



HIMACROW

Harmonized Personnel Training for Macro and Microscopic
Metallographic Examination of Structural Materials

03 Oktatási anyagok a HIMACROW tanfolyamhoz

Project Nrº 2021-1-RO01-KA220-VET-000025835



*A projekt az Európai Bizottság támogatásával valósult meg.
Ez a kiadvány kizárólag a szerző nézeteit tükrözi, és a Bizottság nem tehető felelőssé a
benne foglalt információk bármiféle felhasználásáért.
ERASMUS+: Projektszám 2021-1-RO01-KA220-VET-000025835.*



Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
1. CU1: Bevezetés a metallográfiai vizsgálatba	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.1. A metallográfiai vizsgálatok típusai; a minták metallográfiai vizsgálatokra történő előkészítése során alkalmazandó munkavédelmi feltételek	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.1.1. Mintavételezés biztonsága	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.1.2. Szerelési biztonság.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.1.3. Mechanikai előkészítés biztonsága	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.1.4. Elektrolitikus polírozás és maratás biztonsága	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.1.5. Vágási biztonság (mérgező és gyúlékony anyagok)	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.2. A makro- és mikroszkópos vizsgálatokhoz szükséges minták előkészítésének módszerei	13
1.2.1. Mintavételezés.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.2.2. Szerelés	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.2.3. Jelölés.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.2.4. Tisztítás	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.2.5. Mechanikai felület-előkészítés, csiszolás.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.2.6. Mechanikai felületelőkészítés, polírozás	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.2.7. Elektrolitikus polírozás	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.2.8. Vésés	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.3. Makroszkópos vizsgálat és alkalmazása a hegesztéstechnikában	18
1.3.1. A makroszkópos vizsgálat áttekintése	19
1.3.2. A hegesztett kötések makroszkopikus jellemzői.....	24
1.3.3. Hegesztett kötések hibái	33
1.3.4. A hegesztés minőségének értékelése.....	48
1.3.5. Hegesztésjavítás és hegesztés utáni vizsgálat	59
1.3.6. A fémes anyagok mechanikai vizsgálatának módszerei.....	68
1.4. Mikroszkópos vizsgálat és alkalmazása a hegesztéstechnikában	78
1.4.1. Egyensúlyi fázisok.....	81
1.4.2. Hőkezelések.....	84
1.4.3. A hegesztés mikroszerkezeti szempontjai	88
2. CU2: A makro- és mikroszkópos vizsgálatokhoz szükséges mintaelőkészítés speciális módszerei 90	
2.1. Elektrolitikus polírozás, kémiai polírozás, színes maratás - cél és alkalmazás	90
2.1.1. Bevezetés az elektrolitikus polírozás definíciójába, célja és működése.....	90
2.1.2. A kémiai polírozás elve	102
2.1.3. Színes maratás. Meghatározás és cél	111



2.1.4.	Az elektrolitikus polírozás, a kémiai polírozás és a színes maratás közötti különbségek	
	Hiba! A könyvjelző nem létezik.	
2.2.	Az elektrolitikus polírozás és a színes maratás bemutatása	131
2.2.1.	Elektrolitikus polírozás - cél, alkalmazás és bemutatás	131
2.2.2.	Az elektrolitikus polírozás gyakorlati gyakorlása	131
2.2.3.	Gyakori problémák és megoldás az elektropolírozási technika alkalmazása során a metallográfiai mintaelőkészítés során	131
2.2.4.	Az elektrolitikus polírozásból származó elektrolitok kezelése és ártalmatlanítása	131
2.2.5.	Hibaelhárítás és tippek a metallográfiai minták elektrolitikus polírozásához	131
2.2.6.	Az elektrolitikus polírozás valós példái	131
2.2.7.	Színes maratás - cél, alkalmazás és bemutatás	131
2.2.8.	Kézi gyakorlat a színes maratással	131
2.2.9.	Gyakori problémák és megoldás a színes maratás metallográfiai mintaelőkészítéshez történő alkalmazásakor	131
	2.2. AZ ELEKTROLITIKUS POLÍROZÁS ÉS A SZÍNES MARATÁS BEMUTATÁSA	131
2.3.	A képelemzés mint a metallográfiai vizsgálat eszköze	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.3.1.	Mintavételezés és mintaelőkészítés	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.3.2.	Mező kiválasztása	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.3.3.	2D mérések	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.3.4.	A térfogati hányad meghatározása	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.3.5.	Szemcseméret	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.4.	A program képelemző képességeinek bemutatása	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.5.	Bevezetés a pásztázó mikroszkópiába	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.5.1.	Működési módok	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.5.2.	A kontraszt formái	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.5.3.	Felbontás és kontrasztnövelés	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.5.4.	A mintákra vonatkozó követelmények	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.5.5.	EDS-elemzés	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.6.	A pásztázó mikroszkóp képességeinek bemutatása	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.6.1.	Törési felületek vizsgálata	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
2.6.2.	A SEM alkalmazása fémötvözetek és hegesztési kötéseik tönkremenetelének vizsgálatára	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.	CU3: Makro- és mikroszkópos vizsgálatok bemutatása	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.1.	Az ízületek makroszkópos mintáinak értékelésének bemutatása 1	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.1.1.	Általános megfontolások	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
	Metallográfiai minták előkészítése	Hiba! A könyvjelző nem létezik.



3.1.2.	Makroszkópos elemzés előkészítetlen felületeken	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.1.3.	Az előkészítetlen felületeken lévő fémes anyagok makroszkópos vizsgálata lehetővé teszi a következő szerkezeti jellemzők vizsgálatát és értékelését.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.1.4.	Makroszkópiai elemzés az előkészített felületeken.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
	Metallográfiai minták előkészítése	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.1.5.	A fémes anyagok makroszkópos vizsgálata az előkészített felületeken	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.1.6.	Kérdések.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.2.	Gyakorlati képzés a hegesztési hibák makroszkópikus mintákon történő, segédeszköz nélküli azonosításáról	287
3.2.1.	Bevezetés a hegesztési hibákba	287
	A gyakori hegesztési hibák áttekintése.....	287
	A hegesztési hibák azonosításának fontossága	287
3.2.2.	Szemrevételezéses vizsgálati technikák a hegesztési hibák azonosítására	287
	Vizuális vizsgálati berendezések és eszközök	287
	Ellenőrzési eljárások és legjobb gyakorlatok	287
3.2.3.	A hegesztett kötések makroszkópos vizsgálata	287
3.2.4.	Gyakorlati képzés a hegesztési hibák segédeszköz nélküli azonosításáról	288
	Gyakorlati gyakorlat a vizuális ellenőrzési technikákkal.....	288
	Makroszkópos minták vizsgálata és elemzése.....	288
3.2.5.	A hegesztési hibák dokumentálása és jelentése.....	288
	A pontos dokumentáció fontossága	288
	Jelentési formátumok és követelmények	288
3.2.6.	Biztonsági óvintézkedések a hegesztés ellenőrzése során	288
	Személyi védőeszközökre (PPE) vonatkozó követelmények	288
	Veszélyek és biztonsági intézkedések.....	288
3.2.7.	Összefoglalás és következtetés a hegesztési hibák azonosítására vonatkozó gyakorlati képzéssel kapcsolatban	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.3.	Gyakorlati képzés a minták előkészítéséről (Mhte)	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.3.1.	Szénacélok.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.2.8.	Austenites rozsdamentes acél	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.2.9.	Réz és ötvözetek	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.2.10.	Alumínium és ötvözetek	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.2.11.	Titán és ötvözetek.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.3.6.	Polimerek	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
3.3.	A hegesztéssel és kapcsolódó technikákkal készült kötések minőségének értékelésére vonatkozó szabványok.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.



- 3.3.1. EN ISO 17639 Fémek hegesztési varratainak roncsolásos vizsgálata. A hegesztési varratok makroszkópos és mikroszkópos vizsgálata... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 3.3.2. ISO/TR 15608 Hegesztés - Irányelvek a fémek csoportosítási rendszeréhez **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 3.3.5. EN ISO 17637 Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata - Fúziós hegesztett kötések szemrevételezéses vizsgálata..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 3.3.6. ISO 15614-1 Fémek hegesztési eljárásainak előírása és minősítése: Acélok ív- és gázhegesztése, valamint nikkelt és nikkelt-ötvözetek ívhegesztése. **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 3.3.8. EN 10247 Az acélok nemfémek zárványtartalmának mikrográfiai vizsgálata szabványos képek segítségével. **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 3.3.9. ISO 6520-1, Hegesztési és kapcsolódó eljárások. Fémmanyagok geometriai hibáinak osztályozása. 1. rész: Fúziós hegesztés **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 3.3.10. ISO/TS 17845 Hegesztés és kapcsolódó eljárások. A hibák jelölési rendszere. **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 3.4. Gyakorlati képzés a mikroszkópos minta szerkezetének azonosítására... Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 3.4.1. Szén- és alacsonyán ötvözött acél..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 3.4.1. Austenites rozsdamentes acél **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 3.4.2. Duplex rozsdamentes acél 297
- 3.4.3. Martenzites szerkezet 298
- 3.5. A különböző mikroszkopikus struktúrák bemutatása (Mhte)..... 300
- 3.5.1. A hegesztés elemzése 300
- 3.5.2. Fáziselemzés..... 301
- 3.5.3. Porozításelemzés 301
- 3.5.4. Széntelenítés 302
- 3.5.5. Rézszervezetek..... 302
- 3.5.6. Alumíniumszervezetek..... 303
- 3.5.7. Öntöttvas szervezetek..... 304
- 3.6. A metallográfiai vizsgálathoz szükséges mintaelőkészítési módok bemutatása..... 306
- 3.6.1. A metallográfiai mintaelőkészítési lépések makroszkópos vizsgálata: 306
- 3.6.2. A metallográfiai mintaelőkészítési lépések mikroszkópos vizsgálata: 371



Általános bevezetés (IIS)

A metallográfia a fémötvözetek mikroszerkezetének tanulmányozása. Pontosabban úgy határozható meg, mint a fémötvözetekben lévő szemcsék, alkotórészek, zárványok vagy fázisok térbeli eloszlásának megfigyelésével foglalkozó tudományág, a tulajdonságaikkal összefüggésben, a teljes hőmérséklettartományban.

Az egyik első megközelítés az 1860-as évek környékére nyúlik vissza, amikor a Henry Clifton Sorby (1826. május 10. - 1908. március 9.) , a fémeken a petrográfia néhány technikáját és megfigyelte azok szerkezetét.

Most már lehetséges volt egy fém vagy fémötvözet kémiai, fizikai és mechanikai jellemzőinek összekapcsolása a metallográfiai szerkezettel, a kohászat számára ez volt az átmenet az empirikus tudományból a valódi tudományba.

Mindazonáltal a 120-130 évvel ezelőtti vas- és acélipari eljárások nem tették lehetővé, hogy alacsony zárvány- vagy szennyeződés-ellenőrzéssel rendelkező fémötvözeteket kapjanak; ezért a fent említett jellemzők gyakran véletlenszerűek és nehezen reprodukálhatók voltak.

Következésképpen a metallográfiai technikák fejlődése az elmúlt 50-60 évben, a vas- és fémipar fejlődése után következett be.

Napjainkban a metallográfiai technikus és elemző az iparban, a kohászati laboratóriumokban, a minőségellenőrzésben, a kutatásban és a fejlesztésben talál megfelelő helyet; ezek a személyek sokoldalú ismereteket igényelnek a különböző tudományos és ipari ágazatokban, jól kell ismerniük a fémötvözetek kohászatát és hegeszthetőségét.

A szöveg célja, hogy gyakorlati és elméleti útmutatást nyújtson a metallográfiai technikusok, elemzők, mérnökök és laboratóriumvezetők számára.

A legfontosabb metallográfiai vizsgálatok két nagy családba sorolhatók: makrográfiai és mikrográfiai vizsgálatok. Az első makroszkopikus információkat szolgáltat, például a hegesztési hibákról, míg a második mikroszkopikus információkat, például a mikroszerkezet típusáról, a szemcseméretéről, a zárványok tartalmáról stb. ad.

A makrográfiai vizsgálat általában a következő tevékenységekben kap helyet:

- A hegesztési eljárás és a hegesztő személyzet tanúsítása.



- A hegesztési folyamat optimalizálása.
- Minőségellenőrzés a gyártás során.
- Hibaelemzés.

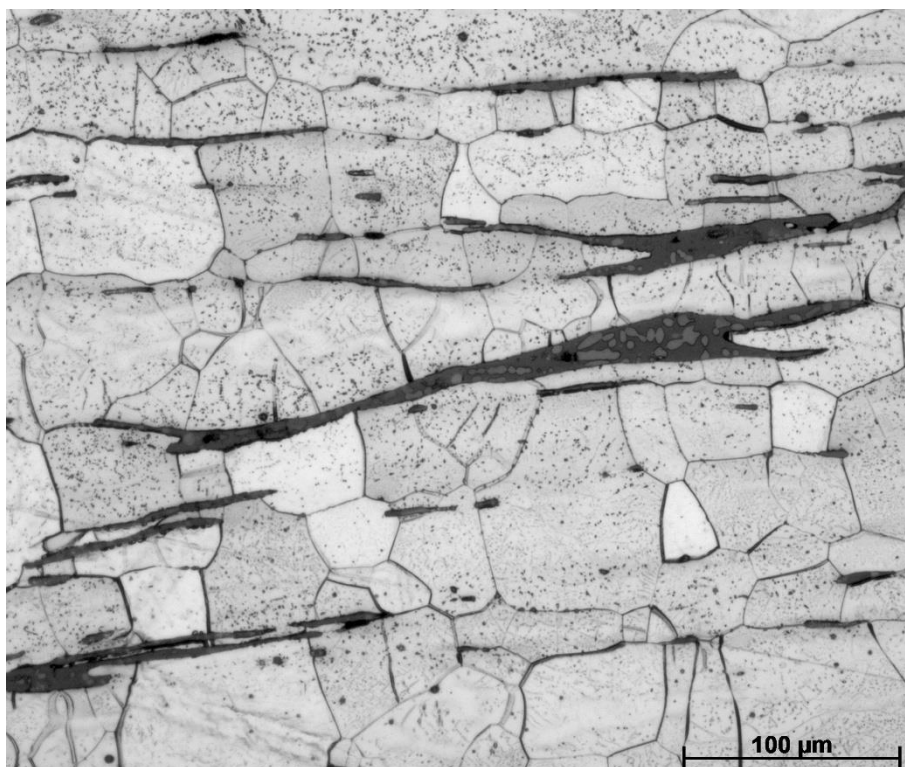
ehelyett a mikrográfiai vizsgálat a következő alkalmazásokban:

- A hegesztési folyamat optimalizálása.
- Minőségellenőrzés a gyártás során.
- Egyes ötvözetek hosszú távú élettartamának értékelése.
- Hibaelemzés.
- Kutatás és fejlesztés.

Az előkészítési technikákat, az elemzési eszközöket és a metallográfiai vizsgálatokkal nyerhető információkat a következő fejezetekben ismertetjük.



1.1. ábra - Henry Clifton Sorby (1826. május 10. -
1908. március 9.).



1.2. ábra - egy 1880-as vasúti hídról származó acél mikrográfiai részlete.



1. CU1: Bevezetés a metallográfiai vizsgálatba

Az anyagvizsgálat nagyon fontos része a metallográfiai vizsgálat. Az anyagok kémiai összetétele és makro- és mikroszerkezete határozza meg az anyag tulajdonságait. A metallográfiai vizsgálat magában foglalja a metallográfiai mintaelőkészítés és a vizsgálati módszerek, a fénymikroszkópia, a képelemzés stb. ismeretét. A metallográfusnak ismernie kell a munkavédelemre vonatkozó fontos szabályokat és előírásokat.

1.1. 1.1. A metallográfiai vizsgálatok fajtái; a fémmográfiai vizsgálatokhoz szükséges minták előkészítése során a munkavédelmi feltételek.

A munkahelyi biztonság és egészségvédelem fontos a metallográfiai laboratóriumokban, figyelembe véve a gépek, vegyszerek, műanyagok stb. használatát. A gépekkel, vegyszerekkel stb. végzett laboratóriumi munka miatt elengedhetetlen a munkavédelemre vonatkozó szabályok és előírások betartása. Az olyan funkciókkal rendelkező laboratórium, mint a vágás, a minták előkészítése és a maratás, számos potenciális veszélyt rejt magában. Az alábbiakban a biztonsággal és egészségvédelemmel kapcsolatos legfontosabb óvintézkedéseket említjük, szem előtt tartva, hogy nem minden lehetséges veszélyt vagy szükséges biztonsági és egészségügyi intézkedést említünk. A laboratóriumban tárolt minden anyagnak rendelkeznie kell biztonsági adattalappal (MSDS). Az MSDS-t úgy tervezték, hogy mind a laboratóriumi személyzetet, mind a vészhelyzetben dolgozókat tájékoztassa az adott anyag kezelésével vagy az azzal való munkavégzéssel kapcsolatos megfelelő eljárásokról. Az adatlapok olyan információkat tartalmaznak, mint a fizikai adatok, az egészségre gyakorolt hatások, az elsősegélynyújtás, a reakcióképesség, a tárolás, az ártalmatlanítás, a védőfelszerelések és a kiömlésre/szivárgásra vonatkozó eljárások. Ezek különösen akkor hasznosak, ha kiömlés vagy egyéb baleset történik.

1.1.1. 1.1.1. Mintavételezés biztonsága

A gépekkel és szerszámokkal végzett munka során szemvédőt és kesztyűt kell használni. A csiszoló-vágógépek rendelkeznek a kezelő számára védőpajzzsal a hűtő fluid, a letört vágókorong darabjai stb. ellen. A biztonsági előírásoknak megfelelően a gépet csak akkor lehet elindítani, ha a védőburkolat zárva van. Bakelit- vagy gumikerékkel történő vágáskor füst keletkezik, nagyobb gépeknél a vágókamrát elszívórendszerre kell csatlakoztatni.

1.1.2. 1.1.2. Szerelési biztonság



A forró préseléses szerelésnél a fő veszélyt a szerelőprésekben alkalmazott magas hőmérséklet jelenti. A forró szerelések kezeléséhez kesztyűt kell használni, és a szerelőanyag, például bakelitpor présbe történő figyelésénél kerülni kell a por belélegzését.

A hideg szerelésnél több potenciális veszély is fennáll. A hideg szerelőgyanták potenciálisan veszélyesek az egészségre, ezért minden kezelést gumikesztyűben (latex) kell végezni a bőrrel való érintkezés elkerülése érdekében, és a keverésnek és a keményítésnek füst (gáz, gőz) zárt térben kell történnie. Ha az epoxi keményedésének felgyorsítására kemencét használunk, szintén kesztyűt kell használni. Az MSDS (anyagbiztonsági adatlap) információknak minden szerelőgyantához rendelkezésre kell állniuk.

Néhány hideg szerelőanyag:

Epoxi:

Ez az anyag, mind a gyanta, mind a keményítő károsíthatja a bőrt, allergiás reakciókat okozva. Az anyag soha nem érintkezhet a bőrrel, és a gőzöket nem szabad belélegezni. Minden epoxival végzett munka füstgátló alatt, egyéni védőfelszereléssel (a személyi védőfelszerelés az MSDS-ben van megadva) történjen. A tartályokat és a keverőszegeket a keverés után ajánlott ártalmatlanítani. Az epoxi teljesen megszilárdulva nem veszélyes, ezért a minta kezeléséhez nincs szükség védelemre.

Akrilok és poliészterek

A keverést mindig füstgátló burkolat alatt kell végezni, és ezen anyagok kezelésénél kesztyűt kell használni a belélegzés és a bőrrel való érintkezés elkerülése érdekében.




1.1.3. 1.1.3. Mechanikai előkészítés biztonsága

A kezelőnek laboratóriumi köpenyt, kesztyűt, védőszemüveget és maszkot kell használnia minden sérülés elkerülése érdekében. A kézi előkészítés során, ha csiszoló/polírozó korongot használ, óvintézkedéseket kell tenni. A kezelőnek a kézi előkészítéshez megfelelő méretű, jól rögzített mintát kell használnia. A félautomata preparáló gépek alapvetően biztonságosan használhatók. Ha a minta a forgatás során a mintatartóról lecsúszik, a minta a gép belsejében marad, és a korongok és a tartók sebessége viszonylag alacsony. A szennyeződések és szennyeződések elkerülése érdekében, különösen a csiszolókorongok és a csiszolópaszta használata esetén, amelyek nagyon finom iszapot hoznak létre, amelyet diffúzióval eltávolítani, ezért gumi- vagy műanyag kesztyűt kell használni. Nagyméretű gépeknél,

amelyek fléghető alkohol alapú kenőanyagot használnak, az alkoholgőz meglehetősen erős lehet, ezért a gépet füstelvezető rendszerrel összekötve kell elhelyezni. Jobb megoldás lehet, ha a kenőanyagot vízbázisú típusra cseréli. A teljesen automatikus rendszerek teljesen zártak, és nem működnek, ha a védőpajzsok nincsenek lezárva.

1.1.4. 1.1.4. Elektrolitikus polírozás és maratás biztonsága

A legsúlyosabb potenciális veszély az elektrolitikus

Fokozottan tűzveszélyes	veszély szimbólumai
Robbanásveszélyes	
Oxidáló	
Veszélykategória A veszély szimbóluma	



Maró		
Irritáló		
Mérgező		

Az ártalmatlanítás problémát jelenthet, és a helyi hatóságok szabályainak és előírásainak megfelelően kell eljárni.

Hivatkozások:

[B. L., Bencotter A. O., Bencotter A. O.: Metallographer's Guide, Practices and Procedures for Irons and Steels. 1st. Ed. ASM International, Materials Park, USA 2002. 169-244.

[1.1.2] McCall J. L., Mueller W. M.: Metallographic Specimen Preparation, Optical and Electron Microscopy 1st. ed. Plenum Press, New York, USA 1973. 1-348.

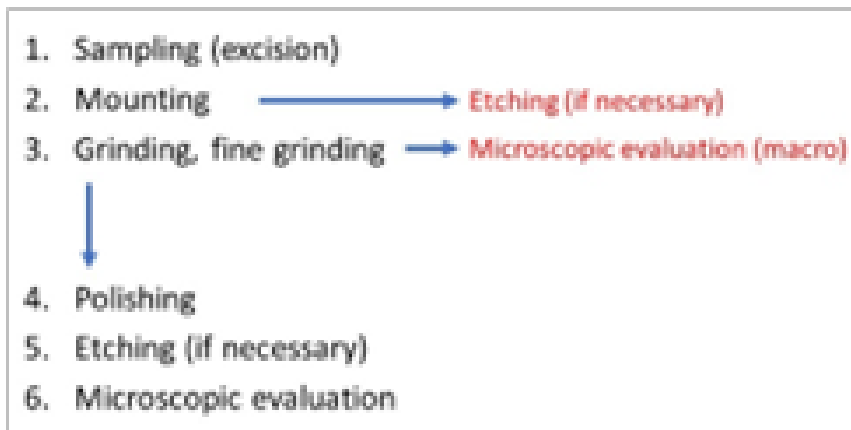
[1.1.3] Vander Voort G. F.: Metallography Principles and Practice. 4st. ed. ASM International, Materials Park, 2007. 1-258.

[1.1.4] Kay Geels: Metallográfiai és matellográfiai mintaelőkészítés, fénymikroszkópia, képelemzés és keménységvizsgálat ASTM International, West Conshohocken, USA 2007. 1-761

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)



1.1. A makro- és mikroszkópos vizsgálatokhoz szükséges minták előkészítésének módszerei



1.2.1. ábra. A makroszkópos és mikroszkópos mintaelőkészítési folyamat
A minták előkészítésének lépéseit az 1.2.1. ábra mutatja.

1.2.1. ábra. A makroszkópos és mikroszkópos mintaelőkészítés folyamata

1.1.1. Mintavételezés

A hegesztett kötések vizsgálatokor célszerű követni a vonatkozó szabványok ajánlásait. A vágási folyamat során biztosítani kell, hogy a minta anyagszerkezete ne változzon. Ezért a vágás során a minta nem melegedhet fel és nem mehet át képlékeny deformáción, mivel mindkettő az anyagszerkezet megváltozásához és téves értelmezéshez vezethet. A megmunkálás mechanikus vágással vagy megmunkálással végezhető. A metallográfiai szakemberek jellemzően gyémánt csiszolóvágó kereket alkalmaznak állítható sebességgel és vízűtéssel, valamint mechanikus/elektromos fűrészt hűtőrendszerrel a minta vágásának elvégzéséhez. Vékony lemezek és fóliák esetében az ollós vágás is szóba jöhet. Speciális esetekben azonban a laboratóriumok speciális vágási technikákat alkalmaznak, például nagy keménységű anyagok esetében a leggyakoribb eljárások az elektroeróziós vagy a vízsugaras vágás. A nyírt felület elkerülhetetlenül deformáción megy keresztül, ezért a felületet csiszolással tovább kell dolgozni.

1.1.2. Szerelés

A szerelés a megmunkált minta vagy kisméretű minta polimer anyagba vagy más vegyületbe történő beburkolására utal. A felhasznált gyanta típusától és a minta jellegétől függően hideg vagy meleg rögzítési módszerek alkalmazhatók. Az elsődleges cél itt az, hogy a rögzítés során a minta szerkezete és kémiai összetétele ne változzon [1, 2, 3]. A hideg rögzítés során jellemzően kétkomponensű gyantát használnak. A gyanta kikeményedése során exoterm reakció megy végbe, ez a fémek és ötvözeteik esetében nem okoz szerkezeti változásokat. A meghibásodás megelőzése érdekében be kell tartani a gyártó által megadott ajánlott előírásokat. A forró szerelés olyan eljárásra utal, amelynek során a fémmintát hőre keményedő műanyag gyantába ágyazzák be hő és nyomás alkalmazásával. Stabil és



egységes környezetet biztosít a fémek és ötvözetek belső szerkezetének és tulajdonságainak vizsgálatához. Óvatosan kell eljárni a kisméretű, törékeny vagy alacsony olvadáspontú minták esetében.

1.1.3. Jelölés

A metallográfiai minták jelölése elengedhetetlen a minta megfelelő azonosításához, amely biztosítja, hogy a metallográfiai szakember a megfelelő mintát használja fel az elemzéshez. A jelölés semmilyen módon nem befolyásolhatja a vizsgálandó felület mikroszerkezetét, ezért a jelölés előtt körültekintően kell eljárni. Figyelembe kell venni azt is, hogy a jelölést olyan helyre írják, ahol az előkészítés során nem távolítják el és/vagy nem sérül meg.

Jelölés vízálló tintával:

Ajánlatos a gyantán vagy az elemzési területtől a lehető legtávolabb végezni. Óvatosan kell eljárni, hogy ne távolítsák el, illetve ne verjék ki részben. Alternatívaként jelölő tinta vagy ceruza is használható.

Azonosító címke

A címkét általában a minta hátoldalán helyezik el, beágyazott minták esetén pedig egy viszonylag átlátszó gyantába kell helyezni, valamint a minta/tartólemez külső oldalán. Óvatosan kell eljárni, hogy a vízben és alkoholban történő tisztítás során ne lehessen eltávolítani.

Vésés

A jelölés egyik legelterjedtebb módszere a rezgésgravírozás. Egy nagyon kemény rezgő tű látható deformációt okoz a tartó/próba felületén. Ez a módszer feszültséget okoz a felület alatti anyagrétegben, és nem alkalmazható vékony minták, például fóliák esetében. Az elektrogravírozás kevésbé károsítja a felületet, de csak elektromosan vezető anyagokon alkalmazható. A gravírozás tiszta és sima felületen, a fém megolvadása/elpárolgása révén történik, amelyet egy magas hőmérsékletű szikra okoz. A legtöbb, nem nagy keménységű anyag esetében kézi véséssel, vésővel történő gravírozás is lehetséges.

Bélyegzés

Szám vagy kód beütése a mintadarabba lehetséges, de nem feltétlenül ajánlott, mert a kezelés vagy feldolgozás során könnyen eltávolítható.

1.1.4. Tisztítás

Fontos, hogy a környezet, amelyben a folyamat zajlik, mentes legyen a szennyeződésektől, és a kezelő keze tiszta legyen.

Tekintettel arra, hogy az előkészítési folyamat gyakran különböző szemcseméretű csiszolópapírokat (80-tól 5000-ig), polírozó kendőt és gyémántsuszpenziót (1-3 μm) tartalmaz, amelyeket fokozatosan cserélnek, nyilvánvaló, hogy keresztkontamináció léphet fel, ezért ajánlott minden egyes



csiszolópapírt csak egyszer használni, mert a korábbi lépésből származó nagyobb szemcsék keresztkontaminációt eredményeznek.

Tisztítás az előkészítés megkezdése előtt

Az alapos tisztítás elmulasztása megakadályozhatja, hogy a hideg és forró tömörítőgyanták megtapadjanak a minta felületén. Az oxidációt és egyéb szennyeződések is el kell távolítani, hacsak nem ezeket a termékeket kell vizsgálni. A durvább tisztítási módszerek, mint például a sörétfúvás és a drótkéfézés, károsíthatják a felületet, ezért mérlegelni kell, hogy ez befolyásolhatja-e a preparálás végső eredményét.

Tisztítás az előkészítés alatt és után

Elvileg a mintát és a mintatartót (fixált minták) a csiszolási és polírozási folyamat minden egyes lépése között meg kell tisztítani, de SiC-papíron végzett nedves csiszolásnál, állandó flúvó víz alkalmazásával a gondos tisztítás az utolsó csiszolási lépés utánra korlátozható. Más hordozókon, például merev kompozit tárcsákon történő csiszolásakor és polírozásakor a tisztítás minden lépés között feltétlenül szükséges. Vannak azonban olyan anyagok, illetve az anyagok egyes összetevői, amelyeket a víz előnyösen megtámad (cinkbevonatok az acélon, ólomzárványok a megmunkálandó acélokban stb.), ezért a vizet az utóbbi előkészítési lépésekben teljesen el kell kerülni.

Kézi tisztítás

A legtöbb fém és egyéb pórusok, repedések stb. nélküli anyag tisztításához a kézi tisztítás a leghatékonyabb módszer. A mintadarabot vagy a mintatartót folyó langyos víz alá kell tartani, és egy puha kefével vagy tisztítószerez vízbe mártott vattapamaccsal kell leöblíteni. Puha anyagok esetén és az utolsó polírozási lépés után egy vattapamacsot használunk az előkészített felület megtisztítására. A tisztítást etilénalkohol szórófejes flakonból az előkészített felületre történő permetezésével és esetlegesen a felület áttörésével fejezzük be, mielőtt száradásra vinnénk. Denaturáló adalékot tartalmazó etanol is használható, amennyiben az adalék nem hagy filmet a mintán. A pórusokkal, repedésekkel stb. rendelkező minták, valamint a rögzítőanyag és a minta között hézagot hagyó rögzítések esetében az ultrahangos tisztítás ajánlott, kivéve a törékeny anyagok esetében.

Polimer vizsgálati minták esetében a tisztítást desztillált vízzel javasolt elvégezni, mivel az etanol egyes polimer anyagokat oldhat.

Ultrahangos tisztítás

Az ultrahangos tisztítás efficient és viszonylag gyors, eltávolítja a szennyeződések a pórusokból, résekből, repedésekből stb. A mintadarabot vagy a mintatartót egy tartályba helyezük egy folyadékba, vízzel, tisztítószerezrel, alkohollal vagy szerves oldószerezrel, például acetonnal. A diffízíven eltávolítható szennyeződések esetén gyenge savak és lúgos oldatok használhatók. A tartály alja alatt egy jelátalakító rezeg, 20-40 kHz-es frekvenciával, amely gázbuborékokat (kavitációt) hoz létre a folyadékban.



Ezek a buborékok implodálnak, és dörzsölő hatás lép fel, amely eltávolítja a szennyeződést. A szennyeződés szennyezi a folyadékot, ezért a mintát szárítás előtt a fent említett módon ki kell öblíteni. Az ultrahang áthatol az üvegen, ezért egy vagy több főzőpoharat lehet a tartályba helyezni, amely körül a főzőpoharak vízzel és tisztítószerrel vannak ellátva. Ha a mintákat csak a főzőpoharakba helyezzük, egy megfelelő folyadékba, ez a folyadék könnyen kicserélhető, ha szennyeződik. A tisztítás általában 0,5-1 percet vesz igénybe. Egyes puha, nagyon porózus és törékeny anyagokat nem szabad ultrahanggal tisztítani, vagy csak 10-30 s-ig. A mintatartók használatával az egész tartó a tartályba helyezhető.

Szárítás

A szárításnak enyhe levegőáramban kell történnie. Fontos, hogy az alkohorréteg ne száradjon meg az előkészített felületen, hanem fújja el és párologjon el a minta/tartólemez oldaláról. A levegőt egy hajszárító típusú készülékből lehet biztosítani, amely lehetővé teszi, hogy mindkét kezünk szabad legyen a minta puha vattával és alkohollal történő tisztítására. Sűrített levegő is használható, ebben az esetben tiszta, száraz, olajmentes levegőt kell biztosítani. A sűrített levegőből származó esetleges olajcseppek elkerülése érdekében hajszárítót ajánlott használni a filmezett mintához.

1.1.5. Mechanikai felület-előkészítés, csiszolás

A minta felületét fokozatosan finomabb csiszolótárcsákkal csiszoljuk. Az alkalmazott csiszolóanyag lehet szilíciumkarbid alapú vagy gyémántcsiszolókorong. A csiszolóanyagok a kereskedelemben különböző szemcseméreteken kaphatók, P60-tól P4000-ig. A P2000 és P4000 közötti szemcseméretű csiszolóanyagokat is polírozóanyagoknak tekintik. Akár kézi, akár automatizált csiszolást alkalmaznak, minden egyes csiszolási lépés során a mintát 90 fokban elforgatják, hogy eltávolítsák az előző csiszolási karcolásokat. Így a csiszolás a korábbi csiszolási karcolásokat merőleges és finomabb karcolásokkal távolítja el (lásd az 1.2.2. ábrát). A csiszolást folyamatos vízellátás mellett végzik, ahol a víz segít eltávolítani a laza részecskéket, a törmeléket és a súrlódás által keletkező hőt.

1.2.5.1. ábra. A felület csiszolással történő előkészítése

1.1.6. Mechanikai felületelőkészítés, polírozás

A következő lépés az előkészített felületnek a kívánt simasági szintre történő polírozása. A polírozás történhet mechanikus, kémiai vagy elektrolitikus módszerekkel. A mechanikus polírozás polírozókorong vagy polírozó kendő segítségével történik. A polírozókendő anyaga lehet természetes vagy szintetikus. A polírozáshoz használhatunk 0,05-15 µm méretű alumínium-oxidot, magnézium-oxidot vagy gyémántrészecskéket tartalmazó polírozópasztát vagy desztillált vizes szuszpenziót, amelynek kompatibilisnek kell lennie a polírozóröngy anyagával és keménységével. A kézi polírozás során a mintát



a polírozókorong forgási irányával ellentétes körkörös mozgással kell mozgatni. A polírozás után a felületet desztillált vízzel, majd alkohollal mossuk. Az alkohol alkalmazhatóságát nem fémes minták esetében ellenőrizni kell. A felületet ezután meleg, fúvott levegővel szárítjuk. A felület polírozása után makroszkópos vizsgálatokat lehet végezni. Ötvenszeres nagyításnál láthatóvá válnak bizonyos repedések, hegesztési hibák és a nem megfelelő olvadás.

1.1.7. Elektrolitikus polírozás

Az elektrolitikus előkészítés a metallográfiai előkészítés gyors és hatékony módszere, amely deformációmentes felületet biztosít, míg a mechanikai csiszolás és polírozás hajlamos vékony deformációs réteget hagyni a felületen. Az elektrolitikus polírozó berendezéssel a mintadarabot megfelelő elektrolitban anódként konfigurálják, és a minta felületének szabályozott oldásával távolítják el az anyagot. Az elektrolitikus polírozást követheti elektrolitikus maratási folyamat, hogy a minta mikroszerkezetében kontrasztokat hozzon létre.

1.1.8. Maratás

A részletesebb vizsgálatokat a felület maratásával végzik az ISO 16060 szabvány ajánlásait követve. A marószer a vizsgált anyag minőségének megfelelően kell kiválasztani. A marószer szelektíven, különböző mértékben támadja meg a minta felületét a szemcsehatároknál és a szemcsék felületén, így azok mikroszkóp alatt láthatóvá válnak. A hőkezelés következtében megváltozott mikroszerkezetek is hatékonyan vizsgálhatók, különösen a szerszámacélok esetében. A színes maratási technikák több információt nyújtanak és javítják a felismerhetőséget. A marószer stabil színű filmet képez a minta felületén, amely lehet oxid, szulfid, kromát vagy komplex vegyület. A marószer elkészítése során a keverési sorrend és az arányok szigorú betartása elengedhetetlen. Kémiaailag ellenálló anyagok esetében elektrolitikus maratás alkalmazható. A hagyományos maratás során a minta felületét beemerítik az etalószerbe, és óvatosan mozgatják. A maratási idő a mikroszkóp felbontásától is függ, a kisebb felbontású mikroszkópok esetében hosszabb, a nagyobb felbontású mikroszkópok esetében pedig rövidebb időre van szükség. A maratás után a mintát alaposan leöblítjük vízzel, majd alkohollal öblítjük, és meleg fúvott levegővel szárítjuk. Néhány gyakori maróanyagot az 1.2.8.1. táblázatban gyűjtöttünk össze.

Table 1.2.8.1. The most used etchants

Név	Etchant	Alkalmazási terület
-----	---------	---------------------



Nital	97 ml etil-alkohol; 3 ml 69%-os salétromsav	ötvözetlen és alacsonyán ötvözött acélok
Pikral	100 ml etil-alkohol; 4 g pikrinsav	Ötvözetlen és alacsonyán ötvözött acél
Sósav-vasklorid	960 ml etil-alkohol; 20 ml 35%-os sósav; 50 g vas(III)-klorid	Réz és ötvözetei
Keller	950 ml desztillált víz; 25 ml 69%-os salétromsav, 15 ml 35%-os sósav; 10 ml 40%-os fluorsav	Titán és ötvözetei, alumínium és ötvözetei
Kroll	10 ml 40%-os fluorsav; 30 ml 69%-os salétromsav; 960 ml desztillált víz	Alumínium és ötvözetei
Oxálsavoldat	100 ml víz (H ₂ O) és 10 g oxálsav (C ₂ H ₂ O ₄)	Rozsdamentes acél

Hivatkozások:

[1.2.1] Bramfitt B. L., Bencotter A. O.: Metallográfus útmutató, vasak és acélok gyakorlata és eljárásai. 1-én. Szerk. ASM International, Materials Park, 2002. 169–244.

[1.2.2] McCall J. L., Mueller W. M.: Metallographic Specimen Preparation, Optical and Electron Microscopy 1. kiadás, Plenum Press, New York, 1973. 1–348.

[1.2. 3] Vander Voort G. F.: Metallográfiai alapelvek és gyakorlat. 4. kiadás ASM International, Materials Park, 2007. 1–258.

[1.2. 4] EN ISO 17639:2022 Fémes hegesztések roncsolásos vizsgálata – Varratok makroszkópos és mikroszkópos vizsgálata 2022.

[1.2. 5] ISO 15614-1:2017 Féanyagok hegesztési eljárásainak előírása és minősítése – Hegesztési eljárás vizsgálata – 1. rész: Acélok ív- és gázhegesztése, valamint nikkell és nikkellötvözetek ívhegesztése.

[1.2. 6] ISO/TR 16060:2003 Fémes anyagok hegesztésének roncsolásos vizsgálata – Maratószerek makroszkopikus és mikroszkópos vizsgálathoz, 2003

1.1. Makroszkópos vizsgálat és alkalmazása hegesztési technológiában

BEVEZETÉS



Ebben a fejezetben a makroszkopikus vizsgálat jelentőségét vizsgáljuk a hegesztéstechnika területén. A hegesztés széles körben használt kötési folyamat a különböző iparágakban, és a hegesztett kötések minősége és integritása döntő szerepet játszik a szerkezetek és alkatrészek teljesítményében és megbízhatóságában. A makroszkópos vizsgálat értékes betekintést nyújt a hegesztések általános szerkezetébe, hibáiba és minőségébe, lehetővé téve a mérnökök és technikusok számára, hogy felmérjék a hegesztés integritását, és megalapozott döntéseket hozzanak az adott alkalmazásokra való alkalmasságukról.

1.1.1. A makroszkópos vizsgálat áttekintése

Ebben az alfejezetben részletes áttekintést nyújtunk a makroszkópos vizsgálatról és annak jelentőségéről a hegesztéstechnikában. Megbeszéljük a makroszkópos vizsgálat célját és céljait, előnyeit más vizsgálati módszerekkel szemben, és hogyan egészíti ki az egyéb ellenőrzési technikákat, például a roncsolásmentes vizsgálatot és a mikroszkópos vizsgálatot.

A makroszkópos vizsgálat, más néven vizuális ellenőrzés, a hegesztési technológiában használt alapvető technika a hegesztések és hegesztett kötések minőségének, integritásának és kivitelezésének értékelésére. Ez magában foglalja a hegesztési felület és a szomszédos területek közvetlen megfigyelését és értékelését szabad szemmel vagy nagyító eszközökkel.

A MAKROSKÓPOS VIZSGÁLAT MEGHATÁROZÁSA ÉS CÉLJA

A makroszkópos vizsgálat célja a hegesztések általános jellemzőinek, hibáinak és kivitelezésének azonosítása és elemzése. Célja annak biztosítása, hogy a hegesztések megfeleljenek a szükséges szabványoknak, specifikációknak és teljesítménykritériumoknak. Ez a vizsgálati módszer kritikus szerepet játszik a hegesztés minőségellenőrzésében, lehetővé téve mind a látható, mind a rejtett problémák észlelését és értékelését, amelyek befolyásolhatják a hegesztett alkatrészek szerkezeti integritását, funkcionalitását és megbízhatóságát. A makroszkópos vizsgálat több okból is jelentős jelentőséggel bír a hegesztéstechnikában:

Minőségbiztosítás: A makroszkópos vizsgálat lehetővé teszi a hegesztés minőségének, valamint az ipari szabványoknak és előírásoknak való megfelelés értékelését. Segít azonosítani a hibákat, a folytonossági hiányokat és az elfogadható kritériumoktól való eltéréseket, biztosítva, hogy a hegesztések szerkezeti szempontból megbízhatóak legyenek, és megfeleljenek a kívánt teljesítménykövetelményeknek.

A hibák korai felismerése: A szemrevételezés lehetővé teszi a hegesztési hibák, például repedések, porozitás, fúzió hiánya, hiányos behatolás, alákínálás és túlzott megerősítés korai felismerését. Ezeknek a problémáknak a korai szakaszban történő felismerése lehetővé teszi az azonnali korrekciós intézkedéseket, csökkentve a további károk vagy meghibásodások kockázatát.

Költséghatékonyság: A makroszkópos vizsgálat viszonylag egyszerű és költséghatékony módszer más fejlett vizsgálati technikákhoz képest. Értékes információkat nyújt a hegesztések általános állapotáról, segítve a további ellenőrzésekkel vagy szükséges javításokkal kapcsolatos döntéshozatali folyamatot.



A roncsolásmentes vizsgálat (NDT) kiegészítése: A makroszkópos vizsgálat kiegészíti az egyéb ellenőrzési technikákat, beleértve a roncsolásmentes vizsgálati módszereket, például az ultrahangos vizsgálatot, a röntgenfelvételt és a mágneses részecskék ellenőrzését. Segít azonosítani a potenciális aggodalomra okot adó területeket az NDT módszerek részletesebb értékeléséhez, ezáltal optimalizálva az ellenőrzési folyamatot.

Vizuális dokumentáció: A makroszkópos vizsgálat lehetővé teszi a hegesztések és jellemzőik vizuális dokumentálását. A vizsgálat során készített fényképek, videók vagy vázlatok alapvető rekordként szolgálnak a hegesztési ellenőrök, mérnökök és érdekelt felek közötti referencia, elemzés és kommunikáció szempontjából.

A makroszkópos vizsgálat számos előnnyel jár a hegesztések értékelésében:

Valós idejű megfigyelés: A vizuális ellenőrzés valós idejű értékelést biztosít, lehetővé téve a látható hibák és rendellenességek azonnali azonosítását.

Költséghatékony: A makroszkópos vizsgálat viszonylag olcsó és hozzáférhető módszer, amely minimális felszerelést és képzést igényel.

Széles körű alkalmazhatóság: Különböző hegesztési típusokhoz, méretekhez és anyagokhoz alkalmazható, így sokoldalú a különböző hegesztési alkalmazásokban.

Roncsolásmentes: A makroszkópos vizsgálat nem okoz kárt a vizsgált mintákban vagy szerkezetekben.

Fontos azonban elismerni a makroszkópos vizsgálat korlátait:

Felületi érzékenység: Elsősorban a hegesztések felületi jellemzőire összpontosít, korlátozva a felszín alatti vagy belső hibák észlelését.

Szubjektivitás: A szemrevételezéses ellenőrzés eredményeinek értelmezése szubjektív lehet, az ellenőr tapasztalatától, készségétől és látásélességétől függően.

A makroszkópos vizsgálat döntő szerepet játszik a hegesztés minőségellenőrzésében, mivel értékes információkat szolgáltat a hegesztések általános integritásáról és kivitelezéséről. Segít biztosítani, hogy a hegesztések megfeleljenek a meghatározott követelményeknek, beleértve a geometriát, a mérettűréseket, a megjelenést és a látható hibák hiányát. A makroszkópos vizsgálat más ellenőrzési technikákkal, például roncsolásmentes vizsgálatokkal és mikroszkópos vizsgálatokkal kombinálva a hegesztés minőségének átfogó értékelése érhető el. Ez az integrált megközelítés növeli a hegesztett szerkezetek, alkatrészek és rendszerek megbízhatóságát, teljesítményét és biztonságát.

Az Európai Unióban (EU) a hegesztési technológia makroszkópos vizsgálatát különböző szabványok és iránymutatások vezérik, amelyek követelményeket és ajánlásokat tartalmaznak az ellenőrzési folyamathoz. A hegesztés során végzett makroszkópos vizsgálatokkal kapcsolatos legfontosabb EU-szabványok közé tartoznak a következők:

EN ISO 5817 - Hegesztés - Fúziós hegesztett kötések acélban, nikkelen, titánban és ötvözetekben (tökéletlenségek minőségi szintjei): Ez a szabvány kritériumokat határoz meg a fúziós

hegesztett kötések makroszkópos tökéletlenségeinek értékelésére. Különböző minőségi szinteket és elfogadási kritériumokat határoz meg a makroszkópos vizsgálat során megfigyelt tökéletlenségek típusa és mérete alapján.

EN ISO 17637 - Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata - Fúziós hegesztett kötések vizuális vizsgálata: Ez a szabvány meghatározza a fúziós hegesztett kötések vizuális vizsgálatának követelményeit. Felvázolja a makroszkópos vizsgálat általános elveit, berendezéseit, eljárásait és elfogadási kritériumait a hegesztési felületek megfelelő ellenőrzésének és a látható hibák azonosításának biztosítása érdekében.

EN 970 - Fúziós hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata: Ez a szabvány útmutatást nyújt a fúziós hegesztett kötések vizuális vizsgálatához. Tartalmazza a makroszkopikus vizsgálat általános elveit, berendezéseit, technikáit és elfogadási kritériumait a felületi viszonyok, hegesztési profilok és a látható hibák jelenlétének felmérésére.

EN 1290 - Fémes anyagok hegesztésének roncsolásos vizsgálata - Hegesztések makroszkópos vizsgálata: Ez a szabvány meghatározza a hegesztett kötések roncsolásos vizsgálati módszerekkel történő makroszkopikus vizsgálatának követelményeit. Részletezi a hegesztések makrometszeteinek vágására, előkészítésére és vizsgálatára vonatkozó eljárásokat minőségük értékelése, valamint az esetleges hibák vagy folytonossági hiányok azonosítása érdekében.

Ezek a szabványok többek között útmutatást nyújtanak a hegesztési technológia makroszkópos vizsgálati technikáihoz, elfogadási kritériumaihoz és dokumentációs követelményeihez az Európai Unióban. Ezeknek a szabványoknak való megfelelés biztosítja a hegesztések következetes és megbízható értékelését, elősegíti a minőségellenőrzést, és támogatja a hegesztett szerkezetek és alkatrészek biztonságos és hatékony használatát.

A MAKROSKÓPOS VIZSGÁLAT JELENTŐSÉGE A HEGESZTÉSTECHNIKÁBAN

A makroszkópos vizsgálat döntő szerepet játszik a hegesztési technológiában, értékes betekintést nyújtva a hegesztett kötések minőségébe, integritásába és megbízhatóságába. Ez az ellenőrzési módszer magában foglalja a hegesztési felületek és makroszerkezetek vizuális ellenőrzését és értékelését a különböző jellemzők, hibák és folytonossági hiányok észlelése és értékelése érdekében. A makroszkópos vizsgálat fontossága a hegesztési technológiában a következő szempontokon keresztül érthető meg:

Minőségellenőrzés és -biztosítás: A makroszkópos vizsgálat a hegesztés minőségellenőrzésének és biztosításának alapvető eszköze. Lehetővé teszi a látható tökéletlenségek, például repedések, fúzió hiánya, porozitás és alámetszés azonosítását és értékelését, amelyek veszélyeztethetik a hegesztett kötések szerkezeti integritását és teljesítményét. Ezeknek a hibáknak a korai felismerésével és kezelésével a makroszkópos vizsgálat segít biztosítani, hogy a hegesztések megfeleljenek a meghatározott minőségi szabványoknak és szabályozási követelményeknek.

Hegesztési integritás értékelése: A makroszkópos vizsgálat értékes információkkal szolgál a hegesztett kötések általános integritásáról. Lehetővé teszi a hegesztési profil ellenőrzését, beleértve az alakot, a méretet és a megerősítést, amelyek döntő fontosságúak a kívánt kötésszilárdság és teherbíró képesség eléréséhez. A makrostruktúra értékelésével, beleértve a szem-



cseszerkezetet, az elkülönítést és a hő által érintett zóna (HAZ) jellemzőit, a makroszkópos vizsgálat segít értékelni a mechanikai tulajdonságokat, például a keménységet, a szívósságot és a repedésre való hajlamot, és biztosítja, hogy a hegesztések alkalmasak legyenek a tervezett alkalmazásokra.

Hibaészlelés és lokalizáció: A makroszkópos vizsgálat lehetővé teszi a hegesztett kötések hibáinak azonosítását és lokalizálását. A hegesztési felület és a keresztmetszeti makrostruktúra szemrevételezéses vizsgálata segít azonosítani az olyan gyakori hibákat, mint a hegesztés folytonossági hiánya, porozitás, fúzió hiánya, hiányos behatolás és alámetszés. Ezeknek a hibáknak a pontos jellemzésével a makroszkópos vizsgálat segít meghatározni azok súlyosságát, mértékét és a hegesztett szerkezetek teljesítményére és élettartamára gyakorolt lehetséges hatását.

Hegesztésjavítás és értékelés: A makroszkópos vizsgálat kritikus információkat nyújt a hegesztési javítás szükségességének felméréséhez és a javítási eljárások hatékonyságának értékeléséhez. A hibák és azok kiváltó okainak azonosításával a makroszkópos vizsgálat segít a megfelelő javítási stratégiák tervezésében és végrehajtásában a megfigyelt problémák kijavítása érdekében. Lehetővé teszi a javítás utáni vizsgálatot is annak biztosítása érdekében, hogy a javított hegesztés megfeleljen az előírt minőségi előírásoknak és megőrizze szerkezeti integritását.

Kiegészítő technika: A makroszkópos vizsgálat kiegészíti a hegesztési technológiában használt egyéb ellenőrzési technikákat, például a roncsolásmentes vizsgálati (NDT) módszereket és a mikroszkópos vizsgálatot. Míg az NDT módszerek, mint például a röntgen, az ultrahangos vizsgálat és a mágneses részecskék vizsgálata értékes információkat nyújtanak a belső hibákról és folytonossági hiányokról, a makroszkopikus vizsgálat a felületi jellemzőkre és a látható hibákra összpontosít. Ezenkívül a mikroszkópos vizsgálat, beleértve a metallográfiai elemzést és a mikroszkópiát, részletes információkat nyújt a mikroszerkezeti jellemzőkről. A makroszkópos vizsgálat más ellenőrzési technikákkal való kombinálásával elérhető a hegesztett kötések átfogó értékelése, javítva a hegesztés minőségének és integritásának általános értékelését.

A makroszkópos vizsgálat rendkívül fontos a hegesztési technológiában. Lehetővé teszi a minőségellenőrzést, az integritás értékelését, a hibák észlelését és a javítások értékelését. Ennek az ellenőrzési módszernek a felhasználásával a hegesztők, hegesztési ellenőrök és mérnökök biztosíthatják a kiváló minőségű hegesztések gyártását, amelyek megfelelnek a szükséges szabványoknak és előírásoknak. Ezenkívül a makroszkópos vizsgálat döntő szerepet játszik a hegesztett szerkezetek és alkatrészek biztonságának, megbízhatóságának és teljesítményének növelésében a különböző iparágakban, beleértve az építőipart, a gyártást, a szállítást és az energiaszekort.

A MAKROSKÓPOS VIZSGÁLAT ELŐNYEI ÉS KORLÁTAI

A makroszkópos vizsgálat előnyei:

Szemrevételezés: A makroszkópos vizsgálat lehetővé teszi a hegesztési felületek és makroszerkezetek közvetlen vizuális vizsgálatát. Ez lehetővé teszi az ellenőrök számára, hogy szabad szemmel azonosítsák a felületi szabálytalanságokat, a hegesztési profil eltéréseit és a látható



hibákat. A vizuális ellenőrzés valós idejű visszajelzést ad, lehetővé téve az azonnali értékelést és döntéshozatalt.

Költséghatékony: A makroszkópos vizsgálat viszonylag költséghatékony ellenőrzési módszer a kifinomult roncsolásmentes vizsgálati technikákhoz képest. Minimális felszerelést igényel, és képzett személyzet végezheti el olyan alapvető eszközökkel, mint a nagyítólencsék, ellenőrző tükrök és a megfelelő világítás.

Hozzáférhetőség: A makroszkópos vizsgálat hozzáférhető és különböző környezetekben alkalmazható, beleértve a helyszíni ellenőrzéseket és a helyszíni értékeléseket. Nem igényel bonyolult beállításokat vagy alapos előkészítést, így alkalmas helyszíni ellenőrzésekre.

Egyéb technikák kiegészítése: A makroszkópos vizsgálat kiegészíti az egyéb ellenőrzési technikákat, például a roncsolásmentes vizsgálati (NDT) módszereket és a mikroszkópos vizsgálatot. Olyan felületi szintű értékelést biztosít, amely kiegészíti az NDT módszerek belső hibadetektálási képességeit. A makroszkópos vizsgálat más technikákkal való kombinálása javítja a hegesztett kötések átfogó ellenőrzését és értékelését.

Gyors és azonnali eredmények: A makroszkópos vizsgálattal az ellenőrök azonnali eredményeket kaphatnak az ellenőrzési folyamat során. A hibák és szabálytalanságok jól láthatóak, lehetővé téve a gyors döntéshozatalt a hegesztések elfogadásával vagy elutasításával kapcsolatban. Ez az azonnali visszajelzés lehetővé teszi az időben történő korrekciós intézkedéseket, és csökkenti a hegesztési folyamat esetleges késéseit.

A makroszkópos vizsgálat korlátai:

Csak felületi ellenőrzés: A makroszkópos vizsgálat a hegesztett kötések felületi jellemzőire és látható hibáira korlátozódik. Előfordulhat, hogy nem nyújt betekintést a belső hibákba vagy mikroszerkezeti jellemzőkbe, amelyek befolyásolhatják a hegesztés hosszú távú teljesítményét. E korlát leküzdéséhez kiegészítő technikákra, például roncsolásmentes vizsgálatra és mikroszkópos vizsgálatra van szükség.

Szubjektivitás: A szemrevételezés az ellenőr tapasztalatára, szakértelmére és értelmezési képességeire támaszkodik. A hegesztések értékelését egyéni megítélés befolyásolhatja, ami bizonyos szintű szubjektivitást vezethet be az értékelési folyamatba. A szubjektivitás minimalizálása érdekében szabványosított ellenőrzési eljárásokat és kritériumokat kell követni.

Korlátozott érzékelési érzékenység: A makroszkópos vizsgálat korlátozott érzékenységgel rendelkezhet bizonyos típusú hibák kimutatására, különösen azokra, amelyek kicsik, felszín alatti vagy vizuálisan nem láthatók. Előfordulhat, hogy egyes hibák, mint például a mikrorepedések vagy a lokalizált porozitás, nem mutathatók ki könnyen pusztán makroszkopikus vizsgálattal.

Felületi állapot befolyásolása: A makroszkópos vizsgálat pontosságát és hatékonyságát befolyásolhatja a hegesztési felület állapota. A felületi szennyeződések, bevonatok vagy felületi érdesség eltakarhatja a hibák láthatóságát, és az ellenőrzés előtt felület-előkészítést vagy tisztítást igényelhet.

A belső integritás meghatározásának képtelensége: A makroszkópos vizsgálat nem tudja felmérni a hegesztett kötések belső integritását. Nem nyújt információt az anyagon belüli hegesztések



szilárdságáról, beleértve a belső repedések jelenlétét, a fúzió hiányát vagy a hiányos behatolást. A belső integritás értékeléséhez kiegészítő technikákra, például röntgenfelvételre, ultrahangos vizsgálatra vagy más roncsolásmentes vizsgálati módszerekre van szükség.

A MAKROSKÓPOS VIZSGÁLAT SZEREPE A HEGESZTÉS MINŐSÉG-ELLENŐRZÉSÉBEN

A makroszkópos vizsgálat szerepe a hegesztési minőségellenőrzésben:

Hibaészlelés: A makroszkópos vizsgálat lehetővé teszi a hegesztett kötések látható hibáinak kimutatását. Lehetővé teszi az ellenőrök számára, hogy azonosítsák a folytonossági hiányokat, például a repedéseket, a porozitást, a fúzió hiányát, a hiányos behatolást és az alákínálást. A hegesztés makrostruktúrájának vizsgálatával az ellenőrök meghatározhatják a hibák jelenlétét és súlyosságát, amelyek veszélyeztethetik a kötés mechanikai tulajdonságait és teljesítményét.

Hegesztési profil értékelése: A makroszkópos vizsgálat segít a hegesztés geometriájának és profiljának értékelésében. Lehetővé teszi az ellenőrök számára, hogy értékeljék az olyan tényezőket, mint a hegesztési gyöngy alakja, mérete és konzisztenciája, valamint a kötés igazítása és behatolása. A megadott hegesztési profiltól való eltérések hegesztési technikával, hegesztési paraméterekkel vagy kötésillesztéssel kapcsolatos problémákat jelezhetnek, amelyek befolyásolhatják a hegesztés általános minőségét és szilárdságát.

Hegesztések elfogadása vagy elutasítása: A makroszkópos vizsgálat eredményei alapján az ellenőrök megalapozott döntéseket hozhatnak a hegesztett kötések elfogadásáról vagy elutasításáról. Az ipari szabványok és specifikációk által meghatározott elfogadási kritériumok útmutatást nyújtanak annak meghatározásához, hogy egy hegesztés megfelel-e az előírt minőségi és teljesítményszabványoknak. A makroszkópos vizsgálat segít felmérni a hegesztéseket ezen kritériumok alapján, és objektív bizonyítékot szolgáltat az elfogadásra vagy elutasításra.

Hegesztési javítás értékelése: Hibák azonosítása esetén a makroszkópos vizsgálat segít a hegesztési javítások hatékonyságának és integritásának értékelésében. Lehetővé teszi az ellenőrök számára, hogy értékeljék a javítóhegesztések minőségét, biztosítva, hogy azok orvosolják az eredeti hibákat és megfeleljenek a szükséges szabványoknak. A javítások utáni makroszkópos vizsgálat elvégzésével az ellenőrök ellenőrizhetik, hogy a javított kötések egészségesek és üzemképesek-e.

Dokumentáció és nyilvántartás: A makroszkópos vizsgálat hozzájárul a hegesztési minőség-ellenőrzés dokumentálási és nyilvántartási folyamatához. Az ellenőrök rögzítik megfigyeléseiket, megállapításukat és értékeléseiket a vizsgálat során, állandó nyilvántartást biztosítva a hegesztési ellenőrzésről. Ez a dokumentáció bizonyítékként szolgál a minőségellenőrzési eljárásoknak való megfelelésre, és megkönnyíti a nyomon követhetőséget és az elszámoltathatóságot a hegesztési folyamatban.

Minőségbiztosítás és megfelelés: A makroszkópos vizsgálat a hegesztés minőségbiztosítási programjainak szerves része. Biztosítja, hogy a hegesztett kötések megfeleljenek a meghatározott minőségi követelményeknek, az ipari szabványoknak és az ügyfelek specifikációinak. A makroszkópos vizsgálatok elvégzésével a gyártók bizonyíthatják a szabályozási követelményeknek való megfelelést, és növelhetik az ügyfelek bizalmát hegesztett termékeik integritásában és megbízhatóságában.



Folyamatfejlesztés: A makroszkópos vizsgálat szintén szerepet játszik a folyamatfejlesztésben és a folyamatos minőségjavításban. A makroszkópos vizsgálat eredményeinek elemzésével a gyártók azonosíthatják az ismétlődő hibákat, értékelhetik a kiváltó okokat és korrekciós intézkedéseket hajthatnak végre. Ez a visszacsatolási hurok segít optimalizálni a hegesztési eljárásokat, javítja a kivitelezést és minimalizálja a hibák előfordulását a jövőbeli hegesztéseknél.

1.1.2. A hegesztett kötések makroszkópos jellemzői

Ez az alfejezet a hegesztett kötésekben megfigyelhető különböző makroszkopikus jellemzőkre összpontosít. Megvizsgáljuk a gyakori hegesztési profilokat, például a filéhegesztéseket, a tompehegesztéseket és a horonyhegesztéseket, és megvitatjuk az egyes kötéstípusokhoz kapcsolódó sajátos jellemzőket és variációkat. Szemrevételezéssel és mérési technikákkal értékelhetjük a hegesztések geometriáját, méreteit és általános megjelenését, betekintést nyújtva a hegesztési folyamat paramétereibe és a kötések konfigurációjába.

A hegesztett kötések metallográfiai vizsgálata magában foglalja a makroszkópos elemzést és a mikroszkópos elemzést. A metallográfiát tudományként és művészetként is leírták. Hagyományosan a metallográfia a fémek és ötvözetek mikroszkópos szerkezetének tanulmányozása optikai metallográfokkal, elektronmikroszkópokkal vagy más felületelemző berendezésekkel. Újabban, ahogy az anyagok fejlődtek, a metallográfia kibővült, hogy magában foglalja az elektronikától a sportos jó kompozitokig terjedő anyagokat. Az anyag mikroszerkezetének elemzésével jobban megérthető annak teljesítménye és megbízhatósága. Ezt a metallográfiát anyagfejlesztésben, bejövő ellenőrzésben, gyártás- és gyártásellenőrzésben, valamint hibaelemzésben használják; Más szóval, a termék megbízhatósága.

A metallográfiai vizsgálat szerves része a hegesztett kötések minőségének vizsgálatának, amely többek között az alábbiakat foglalja magában:

- makromikroszkopikus hibák azonosítása;
- metallográfiai szerkezet vizsgálata a hegesztett kötésekre jellemző összes területen;
- keménység meghatározása nem nemesfémekben, ZIT-ben és hegesztésben;
- a szerkezeti összetevők arányának meghatározása és az átlagos szemcseméret meghatározása;
- a szerkezet szemcséinek mérete szerinti osztályozás;
- a szerkezet egyéb sztereometrikus mennyiségeinek meghatározása (fázisdiszperzió mértéke, deformáció mértéke, orientációs fok stb.).

A szerkezeti elemek méretétől függően a vizsgálatot optikai vagy elektronikus mikroszkóppal végezzük 160 000:1 nagyításig.

A metallográfiai elemzést használják:

- alapanyagok ellenőrzése;
- új hegesztőanyagok asszimilációja;
- egyes termékek gyártásához alkalmazott hegesztési technológiák ellenőrzése;
- a hegesztés utáni hőkezelés alkalmazási lehetőségének ellenőrzése;
- egyes balesetek és mások okainak elemzése.

A metallográfiai vizsgálatokból információkat várunk a következőkről:

- törékeny alkotóelemek megléte a ZIT-ben és a hegesztésben;
- hegesztési hibák jelzése mind a természetben, mind a geometriai méretben és számban;
- a jellemző zónák keménységi csúcsainak megtalálása;
- az alapfém, a ZIT és a hegesztés teljes szerkezeti jellemzése;

- a másodlagos fázis jellege és eloszlása.

A makroszkópos vizsgálat egy vizuális ellenőrzési módszer, amelyet hegesztés vagy fémtárgy felületének vizsgálatára használnak a látható hibák vagy szabálytalanságok azonosítására. Ez magában foglalja a szabad szemmel vagy nagyítólencsével a hegesztés vagy a fémfelület megfigyelését és a felületi folytonossági hiányok, például repedések, porozitás, fúzió hiánya, alávágás és felületi szennyeződés azonosítását.

A hegesztési technológiában a makroszkópos vizsgálat alapvető minőségellenőrzési eszköz, amely segít biztosítani, hogy a hegesztési folyamatokat és eljárásokat helyesen hajtsák végre, és hogy a végső hegesztett termék megfeleljen a szükséges minőségi előírásoknak. A hegesztés felületének vizsgálatára szolgál, miután befejeződött, hogy ellenőrizze a látható hibákat. Különösen hasznos a hegesztéstechnikában, mert lehetővé teszi a szabad szemmel nem látható felületi hibák észlelését. Ez segít a lehetséges problémák korai azonosításában, lehetővé téve a korrekciós intézkedések meghozatalát a végtermék elkészítése előtt. Ezenkívül a makroszkópos vizsgálat segíthet azonosítani a hibák okát, lehetővé téve a hatékonyabb hegesztési eljárások kidolgozását. Használható az alapfém minőségének értékelésére is hegesztés előtt. Az alapfém felületének vizsgálatával azonosíthatók olyan felületi szabálytalanságok vagy hibák, amelyek befolyásolhatják a hegesztés minőségét. Ez segíthet megelőzni a hegesztési hibákat, és biztosíthatja, hogy a végtermék megfeleljen az előírt minőségi előírásoknak.

Ezenkívül makroszkópos vizsgálat használható a hegesztési eljárás vagy technika hatékonyságának értékelésére. A hegesztett kötés felületének vizsgálatával értékelhető a hegesztés minősége és konzisztenciája, és azonosíthatók a gyengeségek vagy hibák. Ez segíthet a hegesztési folyamat javításában és hatékonyabb hegesztési eljárások kidolgozásában. Ezenkívül hegesztési hibák vagy balesetek esetén igazságügyi elemzésre is használható. A hegesztés vagy fémtárgy felületének vizsgálatával azonosítható a hiba vagy baleset oka, ami segíthet megelőzni a hasonló események előfordulását a jövőben.

Összességében a makroszkópos vizsgálat a hegesztési technológia fontos eszköze, amely segít biztosítani a hegesztett termékek minőségét és biztonságát. Lehetővé teszi a hibák korai felismerését és kijavítását, biztosítva, hogy a végtermék megfeleljen az előírt minőségi előírásoknak és biztonságos legyen a használata. Lehetővé teszi a hibák korai felismerését és kijavítását, javítja a hegesztési folyamatokat és eljárásokat, valamint segít megelőzni a hegesztési hibákat és baleseteket.

BEVEZETÉS A MAKROSKÓPOS JELLEMZŐKBE

A makroszkópos jellemzők a hegesztett kötések megfigyelhető jellemzői, amelyek nagyítás nélkül vizuálisan vizsgálhatók. Ezek a jellemzők értékes betekintést nyújtanak a hegesztés szerkezetébe, minőségébe és teljesítményébe. A makroszkopikus jellemzők gondos vizsgálatával az ellenőrök és a mérnökök felmérhetik a kötés integritását, és azonosíthatják az esetleges problémákat vagy a kívánt specifikációktól való eltéréseket. A hegesztett kötések makroszkopikus jellemzői különböző szempontokat ölelnek fel, beleértve a hegesztési gyöngy morfológiáját, a fúziós zónát, a hőhatás zónáját (HAZ) és az alapanyagot. Vizsgáljuk meg ezeket a funkciókat részletesebben:

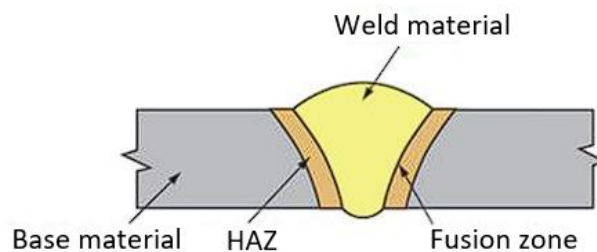
Hegesztési gyöngy morfológiája: A hegesztési gyöngy morfológiája a lerakódott hegesztési fém fizikai megjelenésére és alakjára utal. Ez a hegesztési folyamatától, a töltőanyagától és a kötés konfigurációjától függően változhat. A gyakori hegesztési gyöngymorfológiák közé tartoznak a konvex, konkáv, lapos vagy szabálytalan profilok. A hegesztési gyöngy geometriája és egyenletessége

betekintést nyújt a hegesztési technikába, a hőbevitelbe és a hegesztési folyamat során elért behatolás mértékébe.

Fúziós zóna: A fúziós zóna az a régió, ahol az alapfém és a hegesztési fém teljes olvadáson és keverésen ment keresztül. Ez azt a területet jelenti, ahol az alapfém és a töltőanyag fúziója történt. A fúziós zónának megfelelő fúziót és behatolást kell mutatnia, biztosítva az egészséges és erős ízületet. A fúziós zóna vizsgálata segít meghatározni a fúzió mértékét, a hibák hiányát és a hegesztés általános minőségét.

Hő által érintett zóna (HAZ): A HAZ az alapfémnek a fúziós zónával szomszédos része, amelyet hegesztés közben hőnek tettek ki. A hőbevitel kohászati változásokat okozhat, például szemnövekedést, fázisátalakulásokat és a mechanikai tulajdonságok megváltozását. A HAZ méretét és jellemzőit olyan tényezők befolyásolják, mint a hegesztési paraméterek, az anyagösszetétel és a hűtési sebesség. A HAZ vizsgálata lehetővé teszi a lehetséges mikroszerkezeti változások és a hővel kapcsolatos problémák, például a túlzott szemcsenövekedés vagy a keménységváltozások értékelését.

Alapanyag: Az alapanyag vagy az alapanyag a hegesztéssel összekapcsolt fémre utal. Az alapanyag makroszkópos vizsgálata referenciaként szolgál a hegesztés integritásának értékeléséhez. Ez magában foglalja az alapanyag összetételének, szemcseszerkezetének, felületi állapotának és minden olyan meglévő tulajdonságnak vagy hibának az értékelését, amely befolyásolhatja a hegesztés minőségét. Az alapanyag makroszkopikus jellemzőinek összehasonlítása a hegesztés jellemzőivel segíthet azonosítani a folytonossági hiányokat, eltéréseket vagy eltéréseket.



1.3.1. ábra: Hegesztett kötések alkatrészei. Forrás: <https://www.kobelco-welding.jp/education-center/medium/medium02.html>

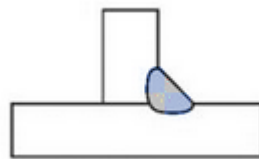
A makroszkópos vizsgálat lehetővé teszi ezeknek a jellemzőknek az átfogó elemzését a hegesztési kötés és a környező területek vizuális ellenőrzésével. Makroszintű megértést nyújt a hegesztés minőségéről, például a fúzió mértékéről, a megfelelő megerősítésről, a repedések hiányáról és a kívánt specifikációknak való általános megfelelésről. A makroszkópos jellemzők értelmezése képzett szemet és a hegesztési folyamat, az anyagok és az alkalmazandó szabványok megértését igényli. Ezenkívül fontos figyelembe venni a hegesztett alkatrész vagy szerkezet speciális követelményeit, mivel a különböző alkalmazások egyedi kritériumokkal rendelkezhetnek a makroszkopikus jellemzők értékeléséhez. Ez az információ alapul szolgál annak értékeléséhez, hogy a hegesztés megfelel-e az előírásoknak, azonosítja az esetleges problémákat vagy eltéréseket, és megalapozott döntéseket hoz a kötés elfogadhatóságáról.

HEGESZTÉSI PROFILOK ÉS KÖTÉSKONFIGURÁCIÓK

A hegesztési technológiában a hegesztési profil és a kötési konfiguráció jelentős szerepet játszik a hegesztett kötés szilárdságának, integritásának és teljesítményének meghatározásában. A hegesztési profil a hegesztett keresztmetszet alakjára és méreteire vonatkozik, míg a hézagkonfiguráció a hegesztendő kötés elrendezését és geometriáját írja le. Ezeknek a szempontoknak a megértése elengedhetetlen a hegesztés minőségének értékeléséhez és a tervezett alkalmazásra való alkalmasságának biztosításához.

Hegesztési beállítás és kötés Profilok:

Filéhegesztés: A filéhegesztés egy általános hegesztési profiltípus, amelyet két, egymáshoz közel merőleges felület összekapcsolására használnak. Háromszög alakú keresztmetszetet képez, és gyakran használják körcsuklókhoz, T-csuklókhoz és sarokcsuklókhoz. A filé hegesztés méretét a láb hossz és a torok vastagsága határozza meg.



1.3.2. ábra: Filéhegesztés

Horonyhegesztés: A horonyhegesztést két lemez vagy szakasz összekapcsolására használják, amelyek között horony vagy rés van. A horony különböző formákban állítható elő, például négyzet alakú, V alakú, U alakú, J alakú vagy ferde, hogy megfeleljen a hegesztési folyamatnak, és elegendő behatolást és fúziót biztosítson. A horonyhegesztéseket általában szerkezeti alkalmazásokban használják, és pontos előkészítést és vezérlést igényelnek a megfelelő hegesztési minőség biztosítása érdekében.

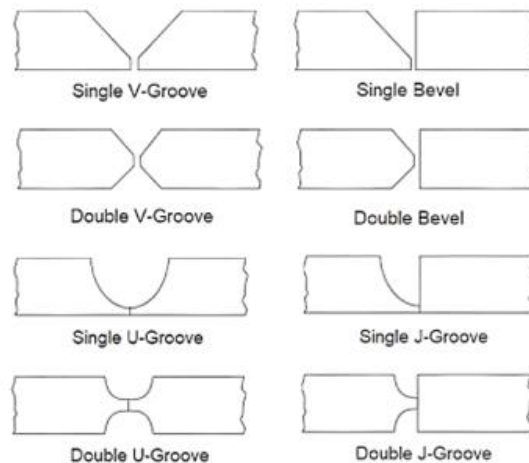


Fig. 1.3.3: Groove weld types

Butt Weld: A tompahegesztés magában foglalja az alapanyag két szomszédos szélének összekapcsolását, fúziót hozva létre vagy teljes behatolással, ahol a teljes kötésvastagság összeolvad, vagy részleges behatolással, ahol csak egy része olvad össze. A hegesztési profilok a csukló konfigurációjától függően négyzet alakú, V alakú, U alakú és ferde lehetnek. Ezzel szemben a csuklócsukló két anyagot köt össze végponttól végpontig, átfedés nélkül, négyzet alakú vagy ferde konfigurációk lehetőségével. A hegesztési módszer kiválasztását a kötés vastagsága és

követelményei határozzák meg, és az erős csuklós kötés elérése aprólékos illesztésre, beállításra és pontos hegesztési paraméterekre támaszkodik.

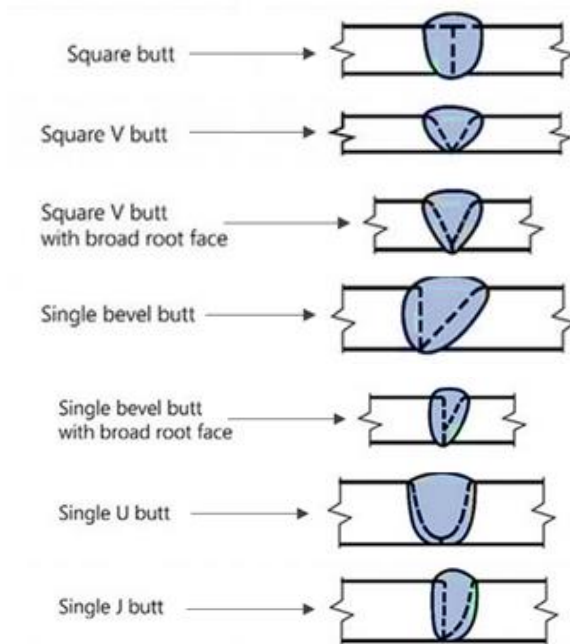


Fig. 1.3.4: Butt weld types



Fig. 1.3.5: Butt joint

Körcsukló: Egy körcsuklóban két egymást átfedő anyagdarabot hegesztéssel kötnék össze az átfedő terület mentén. Általában vékony lemezek vagy fémlemez alkatrészek összekapcsolására használják. A körcsukló szilárdsága az átfedés méretétől, a hegesztés hosszától és az alkalmazott hegesztési eljárástól függ.



1.3.6. ábra: Körcsukló

T-kötés: A T-kötés akkor jön létre, amikor az egyik darab végét egy másik darab felületéhez hegesztik, T-alakú konfigurációt hozva létre. A T-kötéseket széles körben használják szerkezeti alkalmazásokban, és a hegesztési paraméterek és a megerősítés gondos mérlegelését igénylik a megfelelő szilárdság és terhelésátadás biztosítása érdekében.

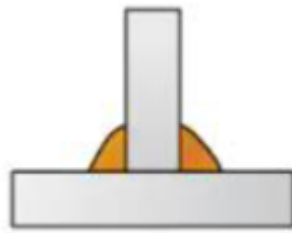


Fig. 1.3.7: T-joint

Sarokcsukló: Sarokcsukló akkor jön létre, amikor két anyagdarab 90 fokos szögben találkozik, és össze vannak hegesztve. Általában dobozszerkezetekben, keretekben és csőrendszerekben használják. A hegesztés megfelelő előkészítése, behatolása és megerősítése döntő fontosságú a sarokkötéseknél a szerkezeti integritás és a feszültségkoncentrációval szembeni ellenállás biztosítása érdekében.



Fig. 1.3.8: Corner joint

A hegesztési profilok és kötésconfigurációk értékelése létfontosságú a hegesztési technológiában, mivel ezek közvetlenül befolyásolják a hegesztett kötés szilárdságát, teherbírását és használhatóságát. Ezeknek a jellemzőknek a vizsgálata magában foglalja a hegesztési keresztmetszet vizuális ellenőrzését, a méretek mérését, a megerősítés értékelését és a megadott követelményeknek való megfelelés ellenőrzését. Fontos, hogy a hegesztési profilok és kötésconfigurációk értékelésekor betartsa az alkalmazandó szabványokat, kódokat és specifikációkat. Ezek a szabványok útmutatást nyújtanak az elfogadható hegesztési profilokhoz, méretekhez, megerősítéshez és minőségi kritériumokhoz az adott alkalmazás és a hegesztendő anyag alapján. A hegesztési profilok és a kötésconfigurációk gondos vizsgálatával a hegesztők, ellenőrök és mérnökök biztosíthatják, hogy a hegesztés megfeleljen a szükséges szilárdsági és integritási követelményeknek, minimalizálva a meghibásodás kockázatát, és biztosítva a hegesztett szerkezet vagy alkatrész hosszú élettartamát és teljesítményét.

HEGESZTÉSI MÉRET, ALAK ÉS BEHATOLÁS

A hegesztés mérete, alakja és behatolása kulcsfontosságú paraméterek a hegesztésben, amelyek közvetlenül befolyásolják a hegesztett kötés szilárdságát, integritását és teljesítményét. Ezeknek a szempontoknak az értékelése és megértése elengedhetetlen a hegesztés minőségének értékeléséhez és a tervezett alkalmazásra való alkalmasságának biztosításához.

Hegesztési méret: A hegesztési méret a hegesztési keresztmetszet méreteire utal, beleértve annak hosszát, szélességét és mélységét. A hegesztés méretét általában a lábhossz, a torokvastagság vagy a hegesztési szélesség határozza meg. A megfelelő hegesztési méret fontos a

kötés szükséges szilárdságának és teherbírásának eléréséhez. Ezt olyan tényezők határozzák meg, mint a kötés kialakítása, az anyagvastagság, a hegesztési folyamat és a hegesztési paraméterek.

Hegesztési forma: A hegesztési keresztmetszet alakja a kötés konfigurációtól, a hegesztési folyamattól és az alkalmazott hegesztési technikától függően változhat. A gyakori hegesztési formák közé tartoznak a domború, konkáv és lapos profilok. A kívánt alakot a hegesztési eljárás és az alkalmazás követelményei határozzák meg. A hegesztés alakja befolyásolhatja az olyan tényezőket, mint a feszültségkoncentráció, a fáradási ellenállás és az alkalmazott terhelések ellenállóképessége.

Hegesztési behatolás: A hegesztési behatolás arra a mélységre utal, ameddig a hegesztési fém az alapanyagba nyúlik. Ez a hegesztés és az alapfém közötti fúzió és kötés mértéke. A hegesztés megfelelő behatolása elengedhetetlen az erős és megbízható kötés eléréséhez. Az elégtelen behatolás hiányos fúziót, az ízületek szilárdságának hiányát és csökkent teherbíró képességet eredményezhet. A túlzott behatolás viszont túlzott hőbevitelhez, torzuláshoz és potenciális hibákhoz vezethet.

A hegesztés méretének, alakjának és behatolásának értékelése vizuális ellenőrzést, mérést és értékelési technikákat foglal magában. A szemrevételezés lehetővé teszi a hegesztési keresztmetszet közvetlen megfigyelését és a megadott követelményektől való eltérések azonosítását. A méretek pontos meghatározásához és a hegesztési minőség értékeléséhez mérőeszközök, például hegesztésmérők, tolómérők és mikroszkópos technikák használhatók.

Fontos, hogy a hegesztés méretének, alakjának és behatolásának értékelésekor vegye figyelembe a vonatkozó szabványokat, kódokat és specifikációkat; Útmutatást és elfogadási kritériumokat biztosítanak a kívánt hegesztési méretekhez és behatolási mélységhez az adott alkalmazás, anyagtípus és az alkalmazott hegesztési eljárás alapján. Ezeknek a szabványoknak a betartása biztosítja, hogy a hegesztés megfeleljen a szükséges szilárdsági és integritási követelményeknek. A hegesztés méretének, alakjának és behatolási eredményeinek megfelelő kommunikációja és dokumentálása elengedhetetlen a minőségellenőrzéshez és a nyomon követhetőséghez. Ezek a nyilvántartások referenciaként szolgálnak a jövőbeli ellenőrzésekhez, javításokhoz és karbantartási tevékenységekhez. A hegesztés méretének, alakjának és behatolásának alapos vizsgálatával és értékelésével a hegesztők, ellenőrök és mérnökök biztosíthatják, hogy a hegesztési kötés megfeleljen a szükséges szilárdsági és integritási követelményeknek.

MEGERŐSÍTŐ ÉS FILÉ HEGESZTÉSI PROFILOK

A megerősítési és filéhegesztési profilok a hegesztési technológia makroszkópos vizsgálatának fontos szempontjai. Értékes információkat nyújtanak a hegesztett kötés minőségéről, szilárdságáról és szerkezeti integritásáról. Ezeknek a jellemzőknek a megértése és értékelése elengedhetetlen a hegesztés megbízhatóságának és teljesítményének biztosításához.

Megerősítés

A megerősítés, más néven hegesztési megerősítés vagy hegesztési korona, a felesleges hegesztési fémre utal, amely túlnyúlik az alapanyag eredeti felületén. Általában a hegesztési



kötés felső oldalán figyelhető meg, általában filé varratoknál és tompavarratoknál látható. A megerősítés jelentős szerepet játszik a kötés szilárdságának és teherbíró képességének növelésében azáltal, hogy további anyagot biztosít a feszültségeloszláshoz. A túlzott megerősítés azonban olyan problémákhoz vezethet, mint a stresszkoncentráció, a csökkent fáradtsági élettartam és a szomszédos alkatrészekkel vagy szerkezetekkel való esetleges interferencia.

A hegesztés megerősítésének megfelelő értékelése magában foglalja magasságának vagy mélységének mérését, amelyet vizuális ellenőrzéssel, hegesztésmérővel vagy profilométerekkel lehet elvégezni. A megerősítés elfogadható szintjeit általában a vonatkozó szabványok, kódok vagy projektspecifikációk határozzák meg, figyelembe véve olyan tényezőket, mint a hegesztési folyamat, a kötés kialakítása és az anyagvastagság. A megerősítés értékelése biztosítja ezeknek a követelményeknek a betartását és biztosítja a hegesztett kötés szerkezeti integritását.

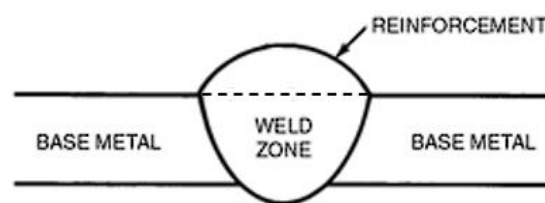


Fig. 1.3.9: Reinforcement in welding

Filéhegesztési profilok

A filévarratokat általában különböző hegesztési alkalmazásokban használják, különösen az alkatrészek körkötésekkel, T-kötésekkel vagy sarokkötésekkel történő összekapcsolásához. A filé hegesztési profil a hegesztési keresztmetszet alakjára és méreteire utal ezekben az ízületekben. Létfonosságú szerepet játszik a kötés szilárdságának, teherbíró képességének és fáradási ellenállásának meghatározásában.

A filé hegesztési profilját jellemzően a lábhossz, a torok vastagsága és a lábujjak sugara jellemzi. A lábhossz az összekötő gyökér és a filé hegesztés és az alapanyag metszéspontja közötti távolságra utal. A torok vastagsága a legrövidebb távolságot jelenti a hegesztés gyökere és felülete között. A lábujjsugár a hegesztés és az alapanyag közötti átmenet simaságára és kerektségére utal.

A filé hegesztési profilok megfelelő értékelése magában foglalja a vizuális ellenőrzést és a pontos mérést olyan eszközökkel, mint a filé hegesztésmérő vagy profilmérő. A mért értékeket ezután összehasonlítják a vonatkozó szabványokban, kódokban vagy projektspecifikációkban felvázolt meghatározott követelményekkel. Az előírt filé hegesztési profiloktól való eltérések olyan problémákat jelezhetnek, mint az elégtelen hegesztési méret, a nem megfelelő fúzió vagy a nem megfelelő hegesztési technikák. Ezeknek az eltéréseknek a kezelése szükséges a kívánt ízület szilárdság és integritás biztosításához. A megerősítési és filéhegesztési profilok értékelése elengedhetetlen a hegesztett kötések minőségének és szerkezeti integritásának értékeléséhez. Szemrevételezéssel és pontos mérésekkel a hegesztők, ellenőrök és mérnökök ellenőrizhetik, hogy a hegesztések megfelelnek-e a vonatkozó szabványoknak és előírásoknak. A megfelelő megerősítés és filéhegesztési profilok biztosításával a hegesztett kötés szilárdsága, megbízhatósága

és teljesítménye fenntartható, minimalizálva a meghibásodás kockázatát és javítva az általános hegesztési minőséget.

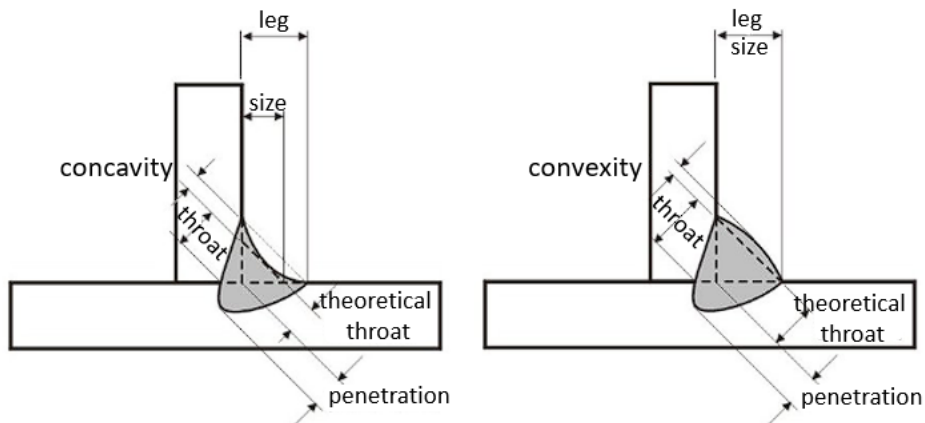
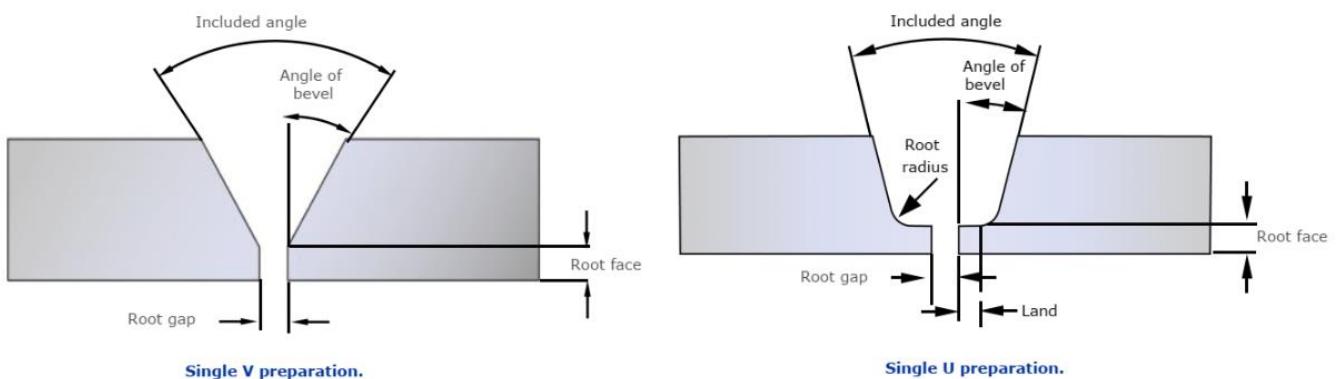


Fig. 1.3.10: Geometrical elements of fillet weld profiles [1.3.25]

HORONYHEGESZTÉSI PROFILOK ÉS FERDE SZÖGEK

A horonyhegesztési profilok és ferde szögek a hegesztési technológia makroszkópos vizsgálatának fontos szempontjai. Értékes információkat nyújtanak a horonyhegesztési kötések geometriájáról, szilárdságáról és integritásáról. Ezeknek a jellemzőknek a megértése és értékelése elengedhetetlen a hegesztés minőségének és teljesítményének biztosításához.



1.3.11. ábra: V- és U-horony hegesztőprofilok ferde szögének ábrázolása [1.3.26]

Horonyhegesztési profilok

A horonyhegesztéseket általában különböző hegesztési alkalmazásokban használják, ahol két vagy több alkatrészt összekötnek egy horony kitöltésével. A horonyhegesztési profil a horonykötés hegesztési keresztmetszetének alakjára és méreteire utal. Létfontosságú szerepet játszik a kötés szilárdságának, teherbíró képességének és fáradási ellenállásának meghatározásában.

A horonyhegesztési profilt jellemzően a mélység, a szélesség és az oldalfalak szöge jellemzi. A mélység a hegesztés gyökerétől az alapanyag felületéig terjedő távolságot jelenti. A szélesség a

horony oldalfalai közötti távolságra utal. Az oldalfalak szöge, más néven a mellékelt szög, a horony oldalfalai között kialakult szög.

A horonyhegesztési profilok megfelelő értékelése magában foglalja a vizuális ellenőrzést és a pontos mérést olyan eszközökkel, mint a mélységmérők, szélességmérők vagy profilmérők. A mért értékeket ezután összehasonlítják a vonatkozó szabványokban, kódokban vagy projektspecifikációkban felvázolt meghatározott követelményekkel. A szükséges horonyhegesztési profiloktól való eltérések olyan problémákat jelezhetnek, mint a nem megfelelő hegesztési behatolás, a nem megfelelő fúzió vagy a helytelen horonyelőkészítés. Ezeknek az eltéréseknek a kezelése szükséges a kívánt ízületi szilárdság és integritás biztosításához.

Ferde szögek

A ferde szögek a horonyhegesztések alapvető szempontjai, különösen a V-horony vagy U-horony konfigurációjú kötéseknel. A ferde szög az alapanyag előkészített felületei között a hegesztés előtt kialakult szögre utal. Meghatározza a horony alakját és méretét, és befolyásolja az olyan tényezőket, mint a hegesztés behatolása, a hegesztés térfogata és a hegesztés egyszerűsége.

A ferde szögek megfelelő értékelése magában foglalja a vizuális ellenőrzést és a pontos mérést olyan eszközökkel, mint a szögmérők vagy szögmérők. A mért értékeket ezután összehasonlítják a vonatkozó szabványokban, kódokban vagy projektspecifikációkban felvázolt meghatározott követelményekkel. A szükséges ferde szögektől való eltérések olyan problémákat jelezhetnek, mint a nem megfelelő horonyelőkészítés, helytelen hegesztési paraméterek vagy nem megfelelő illesztés. Ezeknek az eltéréseknek a kijavítása szükséges a hegesztés megfelelő behatolásának, fúziójának és kötési szilárdságának biztosításához.

A horonyhegesztési profilok és ferde szögek értékelése döntő fontosságú a horonyhegesztési kötések minőségének és integritásának értékeléséhez. Ezeknek a jellemzőknek a szemrevételezésével és pontos mérésével a hegesztők, ellenőrök és mérnökök ellenőrizhetik, hogy a hegesztések megfelelnek-e a vonatkozó szabványoknak és előírásoknak. A megfelelő horonyhegesztési profilok és ferde szögek biztosításával a hegesztett kötés szilárdsága, megbízhatósága és teljesítménye fenntartható, minimalizálva a meghibásodás kockázatát és javítva az általános hegesztési minőséget.

1.1.3. A hegesztett kötések hibái

A hegesztett kötések különböző típusú hibákra hajlamosak, amelyek veszélyeztethetik szerkezeti integritásukat és teljesítményüket. Ebben az alfejezetben megvizsgáljuk a makroszkopikus vizsgálattal azonosítható hibák különböző típusait. Megbeszéljük az olyan hibákat, mint a porozitás, a fúzió hiánya, az alávágás, a túlzott megerősítés, a repedések és a felületi szabálytalanságok. Ezeknek a hibáknak az okainak, jellemzőinek és következményeinek megértése elengedhetetlen a hegesztési minőség értékeléséhez és a hegesztett szerkezetek hosszú távú megbízhatóságának biztosításához.

GYAKORI HEGESZTÉSI HIBÁK ÉS AZOK OKAI

A gyakori hegesztési hibák és azok okainak megértése elengedhetetlen azok előfordulásának megelőzéséhez és a kiváló minőségű hegesztések biztosításához. Ebben a műszaki szövegben



megvizsgáljuk a leggyakoribb hegesztési hibákat és azokat a tényezőket, amelyek hozzájárulnak azok kialakulásához.

Porozitás:

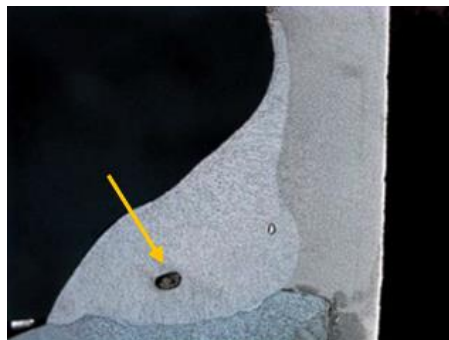
A porozitás egy elterjedt hegesztési hiba, amelyet a hegesztési fémbe lévő kis gázsebek vagy üregek jelenléte jellemez. Ez gyengítheti a hegesztést és hajlamossá teszi a repedésre. A porozitás fő okai a következők:

Szennyeződések az alapfém vagy a töltőanyag felületén, például olaj, nedvesség vagy rozsda. Nem megfelelő védőgáz-lefedettség vagy gázáramlás hegesztés közben, ami nem megfelelő védelmet nyújt a légköri gázok ellen.

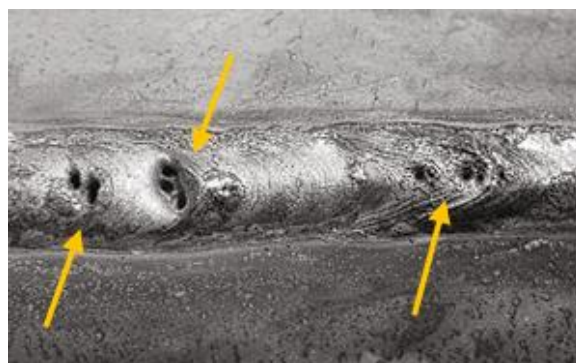
Túlzott hegesztési paraméterek, például nagy áram vagy haladási sebesség, amelyek gázok beszorulását eredményezhetik.



1.3.12.1. ábra: Porozitás 2 dimenziós rajzon keresztül



1.3.12.2. ábra: A porozitás makrografikus példája [1.3.25]



1.3.12.3. ábra: Példa a porozításra [1.3.27]

A fúzió hiánya:

A fúzió hiánya akkor fordul elő, ha az alapfém és a töltőanyag vagy a hegesztés szomszédos rétegei között hiányos kötés van. Ez gyenge ízületekhez és csökkent teherbíró képességhez vezethet. A fúzió hiányának néhány gyakori oka:



Elégtelen hőbevitel, amely megakadályozza az alapfém és a töltőanyag megfelelő olvadását és kötését.

Nem megfelelő behatolás, ahol a hegesztés nem éri el a kötés teljes mélységét, ami hiányos fúziót eredményez.

Rossz illesztés, hézagokkal vagy illesztési hibákkal, amelyek megakadályozzák a fémfelületek közötti megfelelő fúziót.



1.3.13.1. ábra: A fúzió hiánya 2 dimenziós rajzon keresztül

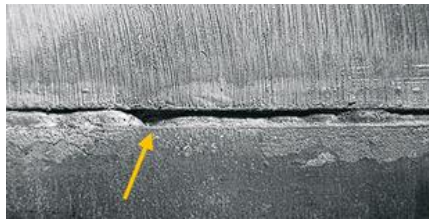


Fig. 1.3.13.2: An example of lack of fusion [1.3.28]

Repedések:

A hegesztett kötések repedései olyan hibák, amelyek különböző formákban fordulhatnak elő, például forró repedések, hideg repedések vagy feszültségrepedések. A repedések jelentősen veszélyeztethetik a hegesztés szerkezeti integritását, és terhelés vagy üzemi körülmények között terjedhetnek. A repedések okai a következők:

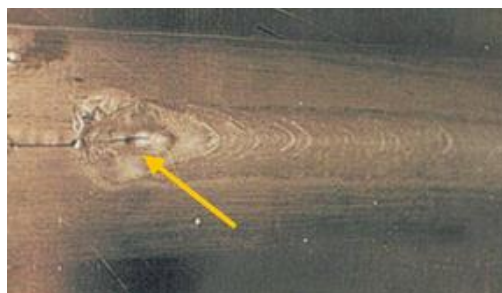
Magas szintű maradékfeszültség, amelyet a nem megfelelő hegesztési technikák, a nem megfelelő előmelegítés vagy a gyors hűtés okozhat.

Nem megfelelő ízületi kialakítás, ami stresszkoncentrációkhoz és lokalizált nagy stresszű területekhez vezet.

Nem kompatibilis hegesztési fogyóeszközök vagy nem megfelelő nem nemesfém tulajdonságok, ami kohászati összeférhetetlenséget és fokozott repedésérzékenységet eredményez.



1.3.14.1. ábra: Repedés 2 dimenziós rajzon keresztül



1.3.14.2. ábra: Példa repedésre [1.3.25]



Aláásza:

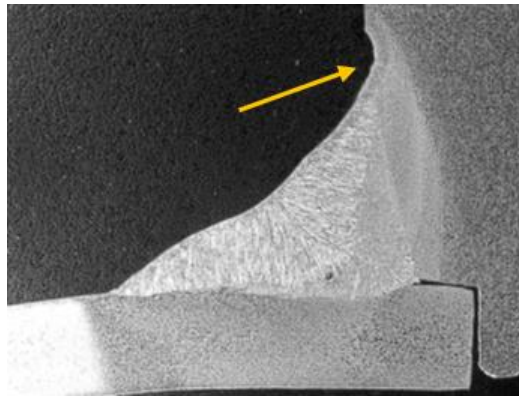
Az aláágások egy horonyszerű mélyedés a hegesztési lábujj vagy a hegesztés oldalfalai mentén. Gyengíti az ízületet, és stresszkoncentrációs pontként működhet. Az aláínálást a következők okozhatják:

Túlzott hőbevitel vagy nagy hegesztőáramok, amelyek túlzott olvadáshoz és anyageltávolításhoz vezetnek a hegesztési éleknél.

Helytelen hegesztési technika, például a hegesztési ív helytelen manipulálása vagy túlzott szövés.



1.3.15.1. ábra: Alámetszések 2 dimenziós rajzon keresztül



1.3.15.2. ábra: Aláínálás makrografikus példája [1.3.25]

Fröcskölés:

A fröccsenés a hegesztés során kis olvadt fémcseppek kilökődésére utal, amelyek a közeli felületekre lerakódhatnak. Bár a fröccsenés nem befolyásolja közvetlenül a hegesztés integritását, kozmetikai problémákat okozhat, és jelezheti a nem megfelelő hegesztési körülményeket vagy az elektróda szennyeződését.



1.3.16.1. ábra: A fröccsenés 2 dimenziós rajzon keresztül

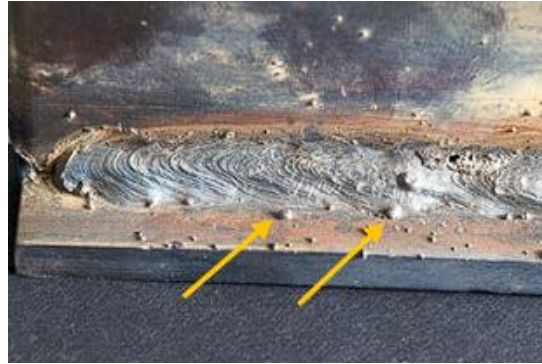


Fig. 1.3.16.2: An example of spatter [1.3.25]

Hiányos behatolás:

A hiányos behatolás akkor következik be, ha a hegesztés nem hatol be teljesen a kötés vastagságába. Gyengítheti a kötést és veszélyeztetheti teherbíró képességét. A hiányos behatolás okai a következők:

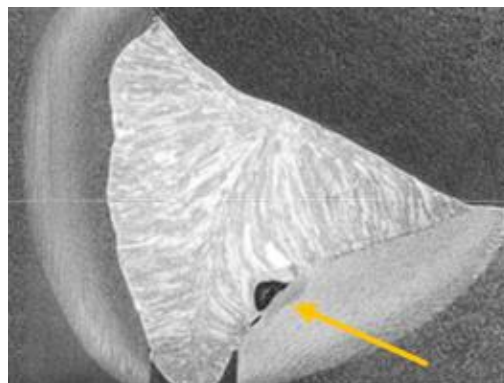
Nem elegendő hőbevitel vagy hegesztési paraméterek, amelyek nem biztosítanak elegendő energiát a teljes kötésvastagság megolvasztásához és olvasztásához.

Nem megfelelő kötéselőkészítés, például túl keskeny ízületi rés vagy nem megfelelően tisztított és előkészített ízületi felületek.

Nem megfelelő hegesztési technika, például helytelen elektródaszög vagy a hegesztési ív helytelen manipulálása.



1.3.17.1. ábra: Hiányos behatolás 2 dimenziós rajzon keresztül



1.3.17.2. ábra: A hiányos behatolás makrografikus példája [1.3.25]

Túlzott behatolás:

A túlzott behatolás arra utal, hogy a hegesztési fém túl mélyen behatol az alapfémbe, ami túlzott fúziót eredményez. Ez torzuláshoz, a kötés szilárdságának elvesztéséhez és a hegesztés hátoldalán lehetséges hibákhoz vezethet. A túlzott behatolást gyakran a következők okozzák:

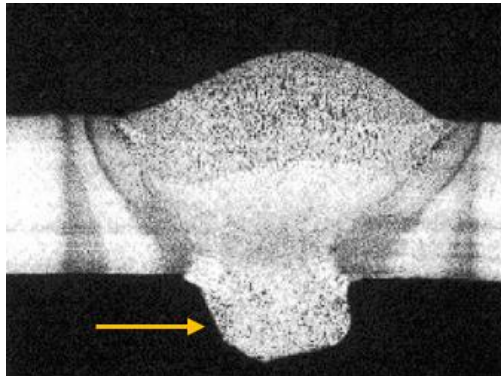


Túlzott hőbevitel vagy nagy hegesztőáramok, amelyek túlzott olvadást és behatolást okoznak az alapfémbe.

Nem megfelelő illesztés vagy illesztés, például elégtelen gyökérhézagú vagy helytelen ferde szögű illesztések.



1.3.18.1. ábra: Túlzott behatolás 2 dimenziós rajzon keresztül



1.3.18.2. ábra: A túlzott behatolás makrografikus példája [1.3.29]

Zárványok:

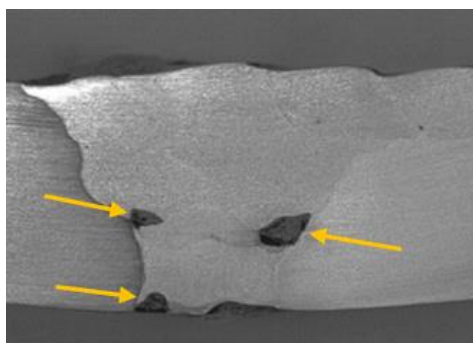
A zárványok idegen anyagok, például salak vagy nemfémes részecskék, amelyek csapdába esnek a hegesztett fémbe. Ezek gyengítik a hegesztést és feszültségkoncentrációs pontként működhetnek. A zárványokat a következők okozhatják:

A hegesztési fogyóeszközök, például a töltőanyag vagy a folyasztószer szennyeződése szennyeződéssel, rozsdával vagy nedvességgel.

Helytelen hegesztési technika, például az elektróda túlzott manipulálása vagy mozgása, ami salak befogadását okozza.



1.3.19.1. ábra: Zárványok 2 dimenziós rajzon keresztül



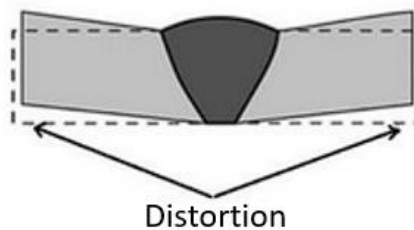
1.3.19.2. ábra: Egy makrografikus példa salak befogadására [1.3.25]

Torzulás:

A torzítás az alapfém vagy a hegesztett kötés hegesztési folyamat miatti deformációjára vagy eltérésére utal. Ez dimenziós pontatlanságokat, a szomszédos komponensekkel való eltéréseket vagy stresszkoncentrációkat eredményezhet. A torzítást különböző tényezők befolyásolják, többek között:

Hőtágulás és összehúzódás hegesztés közben, különösen vastag szakaszok hegesztése vagy nagy hőbevitel esetén.

Nem megfelelő kötéstervezés, például a tágulás és összehúzódás nem megfelelő előírása vagy a torzítás szabályozására szolgáló rögzítés nem megfelelő használata.



1.3.20.1. ábra: Torzítás 2 dimenziós rajzon keresztül [1.3.30]



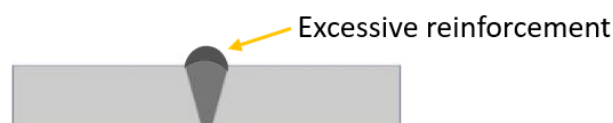
1.3.20.2. ábra: Példa torzításra [1.3.31]

Nem megfelelő megerősítés:

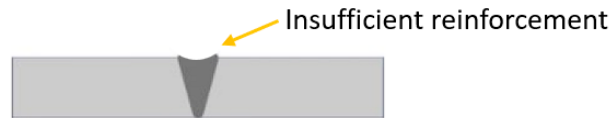
A nem megfelelő megerősítés a hegesztett fém elégtelen felhalmozódását jelenti a filévarratokban, vagy a nem megfelelő hegesztési gyöngymagasságot a horonyhegesztéseknél. Ez befolyásolhatja a kötés szilárdságát és teherbíró képességét. A nem megfelelő megerősítés okai a következők:

Nem megfelelő hegesztési méret vagy nem megfelelő hegesztési technika, ami a hegesztési fém nem megfelelő lerakódását eredményezi.

A hegesztési paraméterek vagy fogyóeszközök helytelen kiválasztása, ami elégtelen fúzióhoz vagy hiányos hegesztési gyöngyképződéshez vezet.



1.3.21.1. ábra: Túlzott megerősítés 2 dimenziós rajzon keresztül



1.3.21.2. ábra: Elégtelen megerősítés 2 dimenziós rajzon keresztül

POROZITÁS ÉS GÁZZÁRVÁNYOK

A porozitás és a gázzárványok gyakori hibák, amelyek hegesztett kötésekben fordulhatnak elő, és jelentős hatással vannak mechanikai tulajdonságaikra és teljesítményükre. Ezeknek a hibáknak az okainak, jellemzőinek és észlelési módszereinek megértése elengedhetetlen a hegesztések minőségének és megbízhatóságának biztosításához. Ebben a részben a porozitás és a gázzárványok témáját és azok következményeit vizsgáljuk a metallográfia területén.

A porozitás kis üregek vagy üregek jelenlétére utal a hegesztési fémbe vagy a hegesztési felületen. Ezek az üregek méretben, alakban és eloszlásban változhatnak. Ezeket általában gázok, például hidrogén, nitrogén vagy oxigén csapdába ejtése okozza a hegesztési fém megszilárdulása során. Ezeknek a gázoknak a forrásai lehetnek nedvesség, szennyeződések a hegesztendő felületeken, vagy az alapfémbe vagy a hegesztési fogyóeszközökben jelen lévő bizonyos vegyületek bomlása.

A gázzárványok viszont diszkrét gázzal töltött üregek, amelyek jellemzően nagyobbak, mint a porozitáshoz kapcsolódó pórusok. Ezek lehetnek gömb alakúak, hosszúkásak vagy szabálytalan alakúak, és gyakran megtalálhatók a hegesztési fémbe. A gázzárványok a gázok megszilárdulása során történő beszorulásából vagy az oldott gázok felszabadulásából eredhetnek, amikor a hegesztés lehűl. A gázzárványok jelenléte káros hatással lehet a hegesztés mechanikai tulajdonságaira, például csökkentheti hajlékonyságát, növelheti repedési hajlamát és veszélyeztetheti szerkezeti integritását.

A porozitás és a gázzárványok okai:

Nedvesség és szennyeződések: A hegesztendő felületeken lévő nedvesség vagy szennyeződések gázok felszabadulásához vezethetnek a hegesztés során, ami porozitást és gázzárványokat eredményezhet.

Nem megfelelő árnyékolás: A nem megfelelő védőgázok vagy fluxusok nem nyújtanak megfelelő védelmet a légköri gázok ellen, ami a hegesztési fémbe való beépülésükhöz vezet.

Nem nemesfémek és fogyóeszközök: Az alapfémbe vagy a hegesztési fogyóeszközökben jelenlévő bizonyos vegyületek hegesztés közben lebomlanak, és olyan gázokat szabadíthatnak fel, amelyek porozitást és gázzárványokat okozhatnak.

Hegesztési paraméterek: A nem megfelelő hegesztési paraméterek, például a túlzott hőbevitel vagy a nem megfelelő ívszabályozás túlzott gázzintet eredményezhetnek a hegesztőmedencében, ami porozitáshoz vezethet.



A porozitás és a gázzárványok jellemzői:

Méret és alak: A porozitás a kicsi, gömb alakú üregektől a nagyobb, szabálytalan alakú üregekig terjedhet. A gázzárványok gyakran nagyobbak és különböző formájúak lehetnek, beleértve a gömb alakú, hosszúkás vagy szabálytalan alakokat.

Eloszlás: A porozitás és a gázzárványok véletlenszerűen eloszthatók a hegesztésben, vagy koncentrálhatók bizonyos területeken, a hegesztési körülményektől és az anyag tulajdonságaitól függően.

Csatlakoztathatóság: A porozitás összekapcsolható, hálózatokat képezve a hegesztésen belül, míg a gázzárványok jellemzően diszkrét és elszigeteltek.

A mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatás: Mind a porozitás, mind a gázzárványok csökkenthetik a hegesztés mechanikai tulajdonságait, például szilárdságát, hajlékonyságát és szívósságát, ami hajlamosabbá teszi a meghibásodásra.

Kimutatási módszerek:

Szemrevételezés: A felületvizsgálat feltárhatja a látható porozitás vagy gázzárványok jelenlétét, bár előfordulhat, hogy nem észlel kisebb vagy felszín alatti hibákat.

Metellográfiai vizsgálat: A hegesztés keresztmetszeti mintái optikai mikroszkóppal vagy elektronmikroszkóppal készíthetők és elemezhetők. Ez lehetővé teszi a porozitás és a gázzárványok pontos jellemzését, beleértve méretüket, alakjukat, eloszlásukat és csatlakoztathatóságukat.

Roncsolásmentes tesztelés (NDT): Az olyan technikák, mint az ultrahangos vizsgálat, a radiográfiai vizsgálat vagy az örvényáram-vizsgálat, észlelhetik és lokalizálhatják a belső hibákat, beleértve a porozitást és a gázzárványokat, anélkül, hogy mintaelőkészítésre vagy megsemmisítésre lenne szükség.

Penetráns tesztelés: Ez a módszer magában foglalja egy folyékony penetráns felhordását a hegesztési felületre, amely beszívároghat és kiemelheti a felületi törést okozó porozitást vagy gázzárványokat, elősegítve azok észlelését.

A porozitás és a gázzárványok pontos kimutatása és jellemzése lehetővé teszi a hegesztők és az ellenőrök számára a hegesztés minőségének értékelését és a megfelelő korrekciós intézkedések elvégzését. Ezeknek a hibáknak a kiváltó okainak azonosításával, például a hegesztési paraméterek beállításával, az árnyékolási gyakorlatok optimalizálásával vagy az anyag tisztaságának javításával lépéseket lehet tenni előfordulásuk minimalizálására és a hegesztett kötések integritásának és megbízhatóságának javítására.

A FÚZIÓ HIÁNYA ÉS A HIÁNYOS BEHATOLÁS

A fúzió hiánya és a hiányos behatolás gyakori hegesztési hibák, amelyek jelentősen befolyásolhatják a hegesztett kötések integritását és szilárdságát. A metallográfiában ezeknek a



hibáknak a tanulmányozása döntő szerepet játszik azok okainak, jellemzőinek és kimutatási módszereinek megértésében.

A fúzió hiányának és a hiányos behatolásnak az okai:

Nem megfelelő hőbevitel: A hegesztési folyamat során elégtelen hőbevitel megakadályozhatja az alapfém és a töltőfém közötti megfelelő fúziót, ami a fúzió hiányához vagy hiányos behatoláshoz vezethet.

Nem megfelelő hegesztési technika: A hegesztőpisztoly vagy elektróda helytelen kezelése, például a nem megfelelő haladási sebesség vagy elektródaszög nem megfelelő fúziót és behatolást eredményezhet.

Kötéstervezés és illesztés: A rossz kötéstervezés, beleértve az alapfémek közötti túlzott rést vagy rossz illeszkedést, akadályozhatja a megfelelő fúziót és behatolást.

Hegesztési medence vezérlése: Az olvadt hegesztőmedence nem megfelelő szabályozása, például a túlzott szövés vagy az ív nem megfelelő manipulálása hozzájárulhat az elégtelen fúzióhoz és behatoláshoz.

A fúzió hiányának és a hiányos behatolásnak a jellemzői:

A fúzió hiánya: A fúzió hiánya akkor fordul elő, ha a töltőfém vagy az alapfém nem megfelelően kötődik. Úgy tűnik, mint egy nem olvasztott terület az alapfém és a hegesztési fém között.

Hiányos behatolás: A hiányos behatolás arra utal, hogy a hegesztési fém nem tud áthatolni a kötés teljes vastagságán. Jellemzője az alapfém és a hegesztési fém részleges fúziója, ami a kötés folytonosságának hiányát eredményezi.

Hely és kiterjedés: A fúzió hiánya és a hiányos behatolás a hegesztés különböző pontjain fordulhat elő, például a gyökéren, az oldalfalakon vagy a felületen. A hiba mértéke a lokalizált folytonossági hiányoktól az ízület jelentős részéig terjedhet.

Az ízület szilárdságára gyakorolt hatás: A fúzió hiánya és a hiányos behatolás jelentősen csökkentheti a hegesztett kötés szilárdságát és teherbíró képességét. Ezek a hibák potenciális utakat teremtenek a repedések kialakulásához és terjedéséhez, ami alkalmazott feszültségek esetén idő előtti meghibásodáshoz vezet.

Kimutatási módszerek:

Szemrevételezés: A hegesztési felület szemrevételezéses vizsgálata gyakran feltárhatja a fúzió hiányát vagy a hiányos behatolást. Előfordulhat azonban, hogy nem elegendő a belső hibák kimutatásához vagy a pontos jellemzéshez.

Metallográfiai vizsgálat: A hegesztés keresztmetszeti elemzése optikai mikroszkóppal vagy elektronmikroszkóppal lehetővé teszi a hegesztési zóna részletes vizsgálatát. Ez a módszer segít azonosítani a fúzió hiányának és a hiányos behatolásnak a jelenlétét, mértékét és helyét.



Radiográfiai vizsgálat: A roncsolásmentes vizsgálati technikák, például a röntgen- vagy gamma-röntgenfelvétel a hegesztés kétdimenziós képének biztosításával kimutathatják a belső hibákat, beleértve a fúzió hiányát és a hiányos behatolást.

Ultrahangos vizsgálat: Az ultrahangos vizsgálat hanghullámokat használ a belső hibák észlelésére és értékelésére. Hatékonyan képes észlelni a fúzió hiányát és a hiányos behatolást a hibákból visszaverődő visszhangok elemzésével.

ALÁMETSZÉS ÉS TÚLZOTT BEHATOLÁS

Az alávágások és a túlzott behatolás gyakori hegesztési hibák, amelyek a hegesztési folyamat során előfordulhatnak. A metallográfia területén ezek a hibák nagy jelentőséggel bírnak, mivel befolyásolhatják a hegesztett kötések szerkezeti integritását és mechanikai tulajdonságait. Vizsgáljuk meg ezeket a hibákat, beleértve azok okait, jellemzőit és kimutatási módszereit.

Az alákínálások előfordulásához vezető okok:

Az alávágásokat általában a túlzott hő vagy a nem megfelelő hegesztési technikák okozzák. Az alákínálás gyakori okai a következők:

Magas hegesztőáram vagy feszültség, ami túlzott hőbevitelhez vezet.

A hegesztési paraméterek, például az utazási sebesség és az ívhossz nem megfelelő ellenőrzése.

Helytelen pisztolyszög vagy helytelen manipulációs technika.

Nem megfelelő vagy nem megfelelő töltőfém-kiválasztás.

Az alákínálás jellemzői:

Az alávágásokat a hegesztési csatlakozás szélei mentén lévő horony vagy üreg jellemzi. Az alámetszés mélysége és szélessége a hiba súlyosságától függően változhat. Az alávágások gyengíthetik az ízületet azáltal, hogy csökkentik a torok tényleges vastagságát, veszélyeztetve a mechanikai szilárdságot és a fáradtságállóságot.

Az alákínálás kimutatására szolgáló módszerek:

A metallográfia különböző módszereket kínál a hegesztett kötések alámetszéseinek kimutatására és értékelésére:

Szemrevételezés: Az alámetszések gyakran szabad szemmel láthatók. A szemrevételezés segíthet azonosítani a hiba jelenlétét és mértékét.

Makroszkópos vizsgálat: A hegesztési kötés metszetével és mikroszkóp alatt történő vizsgálatával mérhető és értékelhető az alámetszések mélysége és mértéke.

Mikroszerkezeti elemzés: A metallográfiai technikák, mint például a maratás, feltárhatják az alámetszésekkel kapcsolatos mikroszerkezeti változásokat, segítve annak súlyosságának és a hegesztési kötésre gyakorolt hatásának meghatározását.

A túlzott behatolás okai:



A túlzott behatolás azt jelenti, hogy a hegesztési fém túlnyúlik a kívánt mélységen az alapfémbe. Ez olyan tényezők miatt fordulhat elő, mint:

Magas hegesztőáram vagy feszültség, ami túlzott hőbevitelt eredményez.

A kötések nem megfelelő előkészítése vagy illesztése, ami a hegesztőmedence alakjának és méretének nem megfelelő szabályozásához vezet.

Helytelen hegesztési technika vagy a hegesztőpisztoly helytelen kezelése.

Nem megfelelő védőgáz vagy fluxus lefedettség.

A túlzott behatolás jellemzői:

A túlzott behatolást a hegesztési fém túlzott behatolása jellemzi az alapfémbe. Ez olyan problémákhoz vezethet, mint a fúzió hiánya, torzulás és csökkent ízületi szilárdság. A túlzott behatolás vizuálisan megfigyelhető a hegesztési kötés keresztmetszetének vizsgálatával.

Methods of Detection of Excessive Penetration:

A metallográfia számos technikát kínál a túlzott behatolás kimutatására és értékelésére:

Szemrevételezés: A túlzott behatolás vizuálisan azonosítható a hegesztési kötés keresztmetszetének vizsgálatával.

Makroszkópos vizsgálat: A hegesztési kötés keresztmetszetének előkészítésével és mikroszkóp alatt történő megfigyelésével értékelhető a túlzott behatolás mélysége és mértéke.

Mikroszerkezeti elemzés: A metallográfiai technikák, beleértve a maratást is, feltárhatják a behatolási mélységet, és felmérhetik annak hatását a hegesztési kötés mikroszerkezetére és mechanikai tulajdonságaira.

Az alávágások és a túlzott behatolás okainak, jellemzőinek és kimutatási módszereinek megértése kulcsfontosságú a metallográfia területén. Szemrevételezéssel, makroszkópos vizsgálattal és mikroszerkezeti elemzéssel a metallográfusok felmérhetik ezeknek a hibáknak a súlyosságát és hatását a hegesztett kötések integritására és teljesítményére. Ez a tudás lehetővé teszi a hatékony minőségellenőrzést, és segít biztosítani a hanghegesztések gyártását a különböző iparágakban.

REPEDÉSEK A HEGESZTETT KÖTÉSEKBEN

A hegesztett kötések repedései jelentős kihívást jelentenek a hegesztéstechnika területén, és jelentős hibákat jelentenek, amelyek a hegesztett kötésekben előfordulhatnak, veszélyeztetve a hegesztett alkatrészek szerkezeti integritását és mechanikai tulajdonságait. Ezeknek a hibáknak az okainak, jellemzőinek, észlelésének és értékelésének megértése elengedhetetlen a hegesztett szerkezetek megbízhatóságának és biztonságának biztosításához. Megfelelő megelőző intézkedések végrehajtásával, alapos ellenőrzések elvégzésével és hatékony javítási módszerek alkalmazásával a mérnökök és a szakemberek csökkenthetik a repedésekkel kapcsolatos kockázatokat, ami jobb hegesztési minőséghez, jobb szerkezeti teljesítményhez és nagyobb biztonsághoz vezet a különböző iparágakban és alkalmazásokban.

A hegesztett kötések repedéseinek típusai és jellemzői:



Forró repedések: Cseppfolyósítási repedések, megszilárdulási repedések
Hideg repedések: Hidrogén okozta repedések, késleltetett repedések, zárványrepedések stb.
Feszültségkorróziós repedések
Fáradtsági repedések
Törékeny törések
Képlékeny törések
Mikrorepedések és mikroüregek

A repedések kialakulását befolyásoló tényezők:

Hegesztési paraméterek: Hőbevitel, hegesztési sebesség, előmelegítés
Anyagtulajdonságok: szilárdság, szívósság, hidrogén ridegedésre való hajlam
Maradék feszültségek
Hegesztési technika: Hézagtervezés, hegesztett gyöngy alak, töltőfém kiválasztása
Környezeti feltételek: nedvesség, maró közeg, hőmérséklet

Repedések kimutatása és értékelése:

Szemrevételezés: Felületvizsgálat, makroszkópos vizsgálat

Roncsolásmentes vizsgálati (NDT) technikák: ultrahangos vizsgálat, röntgenfelvétel, mágneses részecskevizsgálat, festékpenetráns vizsgálat

Mikroszkópos vizsgálat: Metallográfia, optikai mikroszkópia, elektronmikroszkópia

Törésfelület elemzés: Fraktográfia, repedési út elemzés, törési módok meghatározása

Mechanikai vizsgálat: Szakítóvizsgálat, Charpy-ütésvizsgálat, törési szívósság vizsgálata

A repedés mértékének súlyosságának értékelése a javítás tekintetében:

Repedések méretezése és mérése
A repedésterjedési potenciál meghatározása
A repedések növekedési ütemének értékelése
Alkalmasság szolgáltatási számításokhoz és szabványokhoz

Repedések enyhítése és javítása:

Hegesztésjavítási technikák: Hegesztési átfedés, újrahegesztés, hegesztés utáni hőkezelés
Stresszoldó módszerek: Hőkezelés, feszültségoldó izzítás
Hegesztés módosítása és megerősítése
Anyagválasztás és folyamatoptimalizálás a repedések kialakulásának megelőzése érdekében

Jelentéskészítés és dokumentáció:

A repedések és törések értékelésének részletes dokumentációja
Jelentési formátumok és szabványok (pl. ASTM, ISO)
Az értékelés eredményeinek közlése az érdekelt felekkel

Javításra, cserére vagy további vizsgálatra vonatkozó ajánlások



FELÜLETI SZABÁLYTALANSÁGOK ÉS FRÖCCSENÉS

A felületi szabálytalanságok és fröccsenések gyakori problémák a hegesztési folyamatok során, amelyek befolyásolhatják a hegesztett kötések megjelenését, funkcionalitását és minőségét. A felületi szabálytalanságok a kívánt sima és egyenletes felülettől való eltérésekre utalnak, míg a fröccsenés az olvadt fémcseppek hegesztés közbeni kiürülésére utal. Ez a műszaki szöveg részletes áttekintést nyújt a hegesztés során fellépő felületi szabálytalanságokról és fröccsenésekről, beleértve azok típusait, okait, észlelését, megelőzését és mérséklési technikáit.

A felületi szabálytalanságok típusai és jellemzői:

Durva felületek: Hiányos fúzió, elégtelen behatolás, nem megfelelő hegesztési paraméterek

Alávágás és alultöltés: Túlzott hőbevitel, nem megfelelő hegesztési technika, nem megfelelő kötés-előkészítés

Átfedés és túlzott megerősítés: Helytelen hegesztési technika, nem megfelelő hegesztési méretszabályozás

Felületi repedések: Hőstressz, gyors hűtés, nem megfelelő hőkezelés

Felületi porozitás: Szennyeződések, nem megfelelő védőgáz, nem megfelelő hegesztési technika

Oxidációs és temperálási színek: Nem megfelelő védőgáz-lefedettség, levegőnek való kitettség, nem megfelelő tisztítás

A felületi szabálytalanságok és a fröccsenés okai:

Nem megfelelő hegesztési paraméterek: hegesztőáram, feszültség, haladási sebesség

Helytelen elektróda- vagy töltőhuzal-választás

Gyenge ízület illeszkedés és előkészítés

Szennyeződések a munkadarabon vagy a hegesztési fogyóeszközökön

Nem megfelelő védőgáz-lefedettség vagy gázáramlási sebesség

Nedvesség vagy olaj jelenléte a munkadarab felületén

A munkadarab elégtelen tisztítása hegesztés előtt

Hegesztési technika és kezelői készség

Felületi szabálytalanságok észlelése és értékelése:

Szemrevételezés: Felületvizsgálat szabálytalanságok, fröccsenések és hibák szempontjából

Optikai mikroszkópia: Felületi jellemzők és morfológia vizsgálata

Roncsolásmentes vizsgálati (NDT) technikák: Ultrahangos vizsgálat, röntgen, mágneses részecskevizsgálat

A felületi szabálytalanságok és fröccsenések megelőzése és ellenőrzése:

Megfelelő hegesztési paraméterek és technika optimalizálás

Megfelelő ízületi előkészítés és illesztés

A szennyeződések hatékony tisztítása és eltávolítása

A megfelelő védőgáz és áramlási sebesség kiválasztása

Fröccsenésgátló szerek és bevonatok használata

Hegesztőberendezések karbantartása és kalibrálása

A hegesztők képzése és képesítése

Felületi szabálytalanságok enyhítése és javítása:

Csiszolás és felületi újrafényezés
Hegesztési profil módosítása és keverése
A túlzott megerősítés és alávágás eltávolítása
Megfelelő töltőanyagok használata javításhoz

Jelentéskészítés és dokumentáció:

A felületi szabálytalanságok és fröccsenések részletes dokumentálása
Jelentési formátumok és szabványok (pl. ISO, AWS)
Az értékelés eredményeinek közlése az érdekelt felekkel
Megelőzési, enyhítési és javítási javaslatok

A hegesztés során fellépő felületi szabálytalanságok és fröccsenések jelentősen befolyásolhatják a hegesztett kötések minőségét és teljesítményét. A megfelelő hegesztési paraméterek végrehajtása, a kötések előkészítésének optimalizálása, a tisztaság fenntartása, valamint a megfelelő védőgáz és fröccsenésgátló intézkedések alkalmazása kulcsfontosságú a sima, hibamentes felületek eléréséhez. A folyamatos fejlesztés, ellenőrzés és a megállapított szabványok betartása révén a szakemberek kiváló minőségű hegesztéseket biztosíthatnak kiváló esztétikával, funkcionalitással és megbízhatósággal.

1.1.4. Hegesztési minőségértékelés

A hegesztési technológia minőségének értékelése a hegesztési technológia kritikus szempontja. Ebben az alfejezetben azt tárgyaljuk, hogyan használják a makroszkopikus vizsgálatot a hegesztés általános minőségének értékelésére. Megvizsgáljuk az elfogadási kritériumokat, beleértve a hibák méretét, helyét és súlyosságát, valamint a hegesztés vizuális megjelenését és igazítását. A megállapított irányelvek és szabványok követésével objektív értékeléseket végezhetünk, és a makroszkópos vizsgálatok eredményei alapján meghatározhatjuk a hegesztett kötések elfogadását vagy elutasítását a tervezett alkalmazásokhoz.

A HEGESZTÉSI MINŐSÉG ELFOGADÁSI KRITÉRIUMAI

A hegesztési minőség elfogadási kritériumai iránymutatásként és szabványként szolgálnak a hegesztett kötések alkalmasságának és integritásának értékeléséhez. Ezek a kritériumok meghatározzák a különböző hegesztési jellemzők megengedett határértékeit, és biztosítják, hogy a hegesztés megfeleljen a meghatározott követelményeknek és teljesítményelvárásoknak. A világos és következetes elfogadási kritériumok megállapítása elengedhetetlen a minőségellenőrzéshez, az ipari szabványoknak való megfeleléshez, valamint a hegesztett szerkezetek biztonságának és megbízhatóságának biztosításához. Ez a szakasz áttekintést nyújt a hegesztési minőség elfogadási kritériumainak meghatározásakor figyelembe vett legfontosabb tényezőkről és paramétereikről.

Hegesztési kódok és szabványok:



Nemzetközi szabványok: ISO 3834, ISO 15614, ISO 9606 stb.

Nemzeti szabványok: AWS D1.1, ASME IX. szakasz, EN ISO 15614 stb.

Iparág-specifikus szabványok: API 1104, ASME B31.3 stb.

Hegesztési jellemzők és elfogadási szintek:

- Hegesztési méretek: Méret, alak, megerősítés, behatolás és filé hegesztési profilok
- Folytonossági hiányok: porozitás, repedések, fúzió hiánya, hiányos behatolás, alávágások stb.
- Vizuális megjelenés: Felületi szabálytalanságok, fröccsenés, elszíneződés és szennyeződés
- Mechanikai tulajdonságok: szakítószilárdság, ütésállóság, keménység stb.

Roncsolásmentes vizsgálati (NDT) technikák:

- Ultrahangos vizsgálat (UT): Belső hibák, folytonossági hiányok és kötési hibák észlelése
- Radiográfiai vizsgálat (RT): Belső és felületi hibák értékelése röntgen- vagy gamma-sugarakkal
- Mágneses részecskék vizsgálata (MT): Felületi és felületközeli hibák kimutatása ferromágneses anyagokban
- Folyadékpenetráns vizsgálat (PT): Felületi törési hibák és repedések azonosítása
- Szemrevételezés: A hegesztés megjelenésének, méreteinek és felületi viszonyainak vizsgálata

Elfogadási szintek és kritériumok:

- Elfogadási szintek: Elfogadható, javítható vagy elutasítható a hibák súlyossága és hatása alapján
- Elfogadási kritériumok: Konkrét határértékek és küszöbértékek az egyes hegesztési jellemzőkre vagy paraméterekre
- Hibaosztályozás: A hibák kategorizálása méret, hely és típus alapján

Értékelés és értelmezés:

- Képzett személyzet: Minősített ellenőrök vagy NDT technikusok a pontos értékeléshez
- Dokumentáció és nyilvántartás: Az ellenőrzési eredmények, eljárások és elfogadási határozatok megfelelő dokumentálása
- A szabványoknak való megfelelés: A hegesztési minőség ellenőrzése a vonatkozó kódok és specifikációk alapján

Hegesztés javítása és hegesztés utáni vizsgálat:

- Javítási eljárások: Meghatározott módszerek és követelmények a meg nem felelések kezelésére



- Javítás utáni vizsgálat: A javított hegesztések validálása az elfogadási kritériumoknak való megfelelés biztosítása érdekében

Az Európai Unióban (EU) számos szabvány alkalmazható a fúzió hiányának és a hegesztett kötésekbe való hiányos behatolásnak a kimutatására és értékelésére. Ezek a szabványok iránymutatásokat és követelményeket tartalmaznak a vizsgálati módszerekre, az elfogadási kritériumokra és a minőségellenőrzési eljárásokra vonatkozóan.

EN ISO 5817 - Hegesztés - Fúziós hegesztett kötések acélban, nikkelen, titánban és ötvözetekben (A tökéletlenségek minőségi szintjei): Ez a szabvány minőségi szinteket határoz meg a fúzió hiányára és a hiányos behatolásra, többek között a fúziós hegesztett kötésekben. Szemrevételezésen és röntgenvizsgálaton alapuló elfogadási kritériumokat biztosít.

EN ISO 17636-2 - Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata - Radiográfiai vizsgálat - 2. rész: Röntgen- és gamma-sugárzási technikák filmmel: Ez a szabvány meghatározza a hegesztések röntgen- és gamma-sugárzási technikával történő röntgenvizsgálatának követelményeit. Ez magában foglalja a fúzió hiányának és a hiányos behatolásnak, valamint az egyéb hegesztési hibáknak a kimutatását és értékelését.

EN ISO 17636-3 - Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata - Radiológiai vizsgálat - 3. rész: Digitális technikák: Ez a szabvány követelményeket határoz meg a hegesztések digitális technikákkal történő radiográfiai vizsgálatára. Ez magában foglalja a fúzió hiányának és a hiányos behatolásnak, valamint az egyéb hegesztési hibáknak a kimutatását és értékelését.

EN ISO 16810 - Roncsolásmentes vizsgálat - Ultrahangos vizsgálat - Time-of-flight diffrakciós technika, mint a folytonossági hiányok észlelésének és méretezésének módszere: Ez a szabvány meghatározza a repülési diffrakciós (TOFD) technikát a hegesztési folytonossági hiányok észlelésére és méretezésére, beleértve a fúzió hiányát és a hiányos behatolást.

EN ISO 23278 - Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata - Mágneses részecskék vizsgálata: Ez a szabvány felvázolja a mágneses részecskék vizsgálatának követelményeit a hegesztések felületi és felületközelbeli hibáinak észlelésére. Kritériumokat biztosít a jelzések értékeléséhez és elfogadhatóságuk meghatározásához méret, alak és elhelyezkedés alapján.

EN ISO 3452 - Roncsolásmentes vizsgálat - Penetráns vizsgálat: Ez a szabvány meghatározza a folyadékpenetráns vizsgálat elvégzésének követelményeit a hegesztések felületi törési hibáinak észlelésére. Meghatározza az elfogadási kritériumokat a javallatok méretük, alakjuk és láthatóságuk alapján történő értékeléséhez.

EN ISO 10042 - Hegesztés - Ívhegesztett kötések alumíniumban és ötvözetekben - Tökéletlenségek minőségi szintjei: Ez a szabvány kifejezetten az alumínium és ötvözetek ívhegesztett kötéseinek hiányosságainak minőségi szintjeivel foglalkozik. Meghatározza a tökéletlenségek elfogadható határait és méreteit a hegesztési integritás biztosítása érdekében.

EN ISO 15614-1 - Fémananyagok hegesztési eljárásainak specifikációja és minősítése - Hegesztési eljárás vizsgálata - 1. rész: Acélok ív- és gázhegesztése, valamint nikkelen és nikkelőtvözetek ívhegesztése: Ez a szabvány a fémananyagok hegesztési eljárásainak minősítésére összpontosít. Útmutatást nyújt a hegesztési eljárások teszteléséhez, beleértve a hegesztési minőség elfogadási

kritériumait is. **2. rész:** Alumínium és ötvözeteinek ívhegesztése: Ez a szabvány meghatározza, hogy az előzetes hegesztési eljárás specifikációját hogyan minősítik a hegesztési eljárás tesztjei.

EN ISO 14731 - Hegesztési koordináció - Feladatok és felelősségek: Ez a szabvány meghatározza a hegesztési minőség biztosításában részt vevő hegesztési koordinációs személyzet feladatait és felelősségét. Felvázolja a hegesztési folyamatok irányításának követelményeit, beleértve az ellenőrzési és elfogadási kritériumokat.

EN ISO 3834 - Fémanyagok fúziós hegesztésének minőségi követelményei: Ez a szabvány meghatározza a fémanyagok fúziós hegesztésének minőségi követelményeit. Olyan szempontokat foglal magában, mint a hegesztési eljárások, a személyzet képzése, az ellenőrzés és az elfogadási kritériumok a hegesztett kötések általános minőségének biztosítása érdekében.

SZEMREVÉTELEZÉSES ELLENŐRZÉS ÉS ÁTVÉTELI SZABVÁNYOK

A szemrevételezés döntő szerepet játszik a hegesztések minőségének értékelésében, és számos európai szabvány nyújt iránymutatást a szemrevételezéses ellenőrzéshez és az elfogadási kritériumokhoz.

A vizuális ellenőrzési és elfogadási előírásokra vonatkozó uniós szabványok:

EN ISO 17637 - Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata - Fúzióval hegesztett kötések vizuális vizsgálata

Ez a szabvány meghatározza a fúziós hegesztett kötések vizuális vizsgálatának követelményeit. Felvázolja a hegesztések felületi állapotának, méreteinek és általános megjelenésének vizuális ellenőrzési technikákkal történő értékelésére szolgáló eljárásokat, berendezéseket és elfogadási kritériumokat.

EN ISO 5817 – Hegesztés – Fúzióval hegesztett kötések acélban, nikkemben, titánban és ötvözeteikben (Tökéletlenségek minőségi szintjei)

Mint korábban említettük, ez a szabvány minőségi szinteket biztosít a fúziós hegesztett kötések tökéletlenségeire. Vizuális elfogadási kritériumokat tartalmaz a különböző típusú tökéletlenségekre, például porozításra, alávágásra, fúzió hiányára stb.

EN ISO 13920 - Hegesztés - Hegesztett szerkezetek általános tűréshatárai - Hosszúságok és szögek méretei - Alak és helyzet

Ez a szabvány meghatározza a hegesztett szerkezetek általános tűréseit, és útmutatást ad a hegesztett szerkezetek méretbeli és geometriai eltéréseire. Segít meghatározni az elfogadási kritériumokat a megadott méretektől és szögektől való megengedett eltérések alapján.

EN 1290 - Hegesztés - A ferritszám (FN) meghatározása ausztenites és duplex ferrites-ausztenites Cr-Ni rozsdamentes acél hegesztési fémekben



Bár ez a szabvány a rozsdamentes acél hegesztések ferrittartalmának meghatározására vonatkozik, kiemeli a varratok ferrittartalmának meghatározására szolgáló vizuális elfogadási kritériumokat különböző módszerekkel, például makroszkópos vizsgálattal és maratási technikákkal.

EN ISO 17635 - Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata - Fémek általános szabályai

Ez a szabvány általános szabályokat állapít meg a fémek hegesztésének roncsolásmentes vizsgálatára. Rendelkezéseket tartalmaz a szemrevételezéses ellenőrzésre, valamint más vizsgálati módszerekre, például röntgenvizsgálatra, ultrahangos vizsgálatra és mágneses részecskevizsgálatra.

EN ISO 5817 – Hegesztés – Fúzióval hegesztett kötések acélban, nikkelen, titánban és ötvözetekben (Tökéletlenségek minőségi szintjei)

Mint korábban említettük, ez a szabvány minőségi szinteket biztosít a fúziós hegesztett kötések tökéletlenségeire. Vizuális elfogadási kritériumokat tartalmaz a különböző típusú tökéletlenségekre, például porozításra, alávágásra, fúzió hiányára stb.

EN ISO 13920 - Hegesztés - Hegesztett szerkezetek általános tűréshatárai - Hosszúságok és szögek méretei - Alak és helyzet

Ez a szabvány meghatározza a hegesztett szerkezetek általános tűréseit, és útmutatást ad a hegesztett szerkezetek méretbeli és geometriai eltéréseire. Segít meghatározni az elfogadási kritériumokat a megadott méretektől és szögektől való megengedett eltérések alapján.

EN 1290 - Hegesztés - A ferritszám (FN) meghatározása ausztenites és duplex ferrites-ausztenites Cr-Ni rozsdamentes acél hegesztési fémekben

Bár ez a szabvány a rozsdamentes acél hegesztések ferrittartalmának meghatározására vonatkozik, kiemeli a varratok ferrittartalmának meghatározására szolgáló vizuális elfogadási kritériumokat különböző módszerekkel, például makroszkópos vizsgálattal és maratási technikákkal.

EN ISO 17635 - Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata - Fémek általános szabályai

Ez a szabvány általános szabályokat állapít meg a fémek hegesztésének roncsolásmentes vizsgálatára. Rendelkezéseket tartalmaz a szemrevételezéses ellenőrzésre, valamint más vizsgálati módszerekre, például röntgenvizsgálatra, ultrahangos vizsgálatra és mágneses részecskevizsgálatra.

EN ISO 10275 – Hegesztés – Kötések előkészítése – 3. rész: Réz és ötvözetek inert fémgázzal történő hegesztése és volfrám inert gázzal történő hegesztése

Bár kifejezetten a rézre és ötvözetekre vonatkozik, ez a szabvány útmutatást nyújt a fém inert gáz (MIG) hegesztés és a volfrám inert gáz (TIG) hegesztés kötésének előkészítéséhez. Tartalmazza a hegesztés minőségének vizuális elfogadási kritériumait, beleértve a felületi feltételeket és a behatolást.

EN ISO 10042 - Hegesztés - Ívhegesztett kötések alumíniumban és ötvözetekben - Tökéletlenségek minőségi szintjei



Ez a szabvány minőségi szinteket határoz meg az alumínium és ötvözetek ívhegesztett kötéseinek tökéletlenségeire. Vizuális elfogadási kritériumokat határoz meg a különböző típusú tökéletlenségekre, például a porozításra, a fúzió hiányára, a repedésekre és az alávágásra.

MÉRETKÖVETELMÉNYEK ÉS IGAZÍTÁS

A hegesztési minőség értékelése a méretkövetelmények és az igazítás szempontjából magában foglalja annak értékelését, hogy a hegesztett kötések megfelelnek-e a meghatározott mérettűréseknek és igazítási kritériumoknak. Az értékelés célja annak biztosítása, hogy a hegesztett alkatrészek megfeleljenek a tervezett tervezési méreteknak, felszerelésnek és beállításnak, ezáltal biztosítva a végtermék szerkezeti integritását és funkcionalitását.

A metallográfia területén számos technika és módszer alkalmazható a hegesztés minőségének értékelésére a méretkövetelmények és az igazítás tekintetében. Ezek a következők:

Szemrevételezés: A szemrevételezés a legalapvetőbb és leggyakrabban használt módszer a hegesztett kötések méretkövetelményeinek és beállításának értékelésére. Ez magában foglalja a hegesztési kötés vizuális vizsgálatát a megadott méretektől való eltérések szempontjából, például túlzott hegesztési megerősítés, alultöltés vagy túlzott gyökérbehatolás. A szemrevételezéssel történő vizsgálat segít az igazítási hibák, szögeltérések vagy torzulások észlelésében is, amelyek befolyásolhatják a hegesztett alkatrész általános illeszkedését és működését.

Mérés és metrológia: A precíziós mérőeszközök, például tolómérők, mikrométerek, magasságmérők és lézerbeállító rendszerek alkalmazhatók a hegesztett kötések kritikus méreteinek és beállításainak mérésére. Ezeket a méréseket összehasonlítják a műszaki rajzokban vagy az alkalmazandó szabványokban megadott mérettűrésekkel a hegesztési minőség értékeléséhez. A mérési technikáknak biztosítaniuk kell a pontosságot és az ismételhetőséget a megbízható eredmények elérése érdekében.

Koordináta-mérőgépek (CMM): A koordináta-mérőgépek fejlett mérés technikai eszközök, amelyek összetett geometriák pontos és automatizált mérését teszik lehetővé. A koordináta-mérőgépek szondákat használnak a hegesztett kötés meghatározott jellemzőinek vagy referenciapontjainak háromdimenziós koordinátáinak rögzítésére. A kapott adatokat összehasonlítják a CAD modellel vagy a meghatározott méretkövetelményekkel, hogy értékeljék a hegesztés minőségét a méretmegfelelőség és az igazítás szempontjából.

Roncsolásmentes vizsgálati (NDT) technikák: Az NDT módszerek, például ultrahangos vizsgálatok, mágneses részecskék vizsgálata vagy lézerszkennelés szintén felhasználhatók a méretkövetelmények és a hegesztett kötések igazításának értékelésére. Ezek a technikák részletes információkat nyújthatnak a belső és külső jellemzőkről, azonosíthatják a megadott méretektől való eltéréseket, és értékelhetik az igazítási jellemzőket anélkül, hogy károsítanák a hegesztést.

Statisztikai elemzés: Statisztikai elemzési technikák, például folyamatképesség-tanulmányok alkalmazhatók a hegesztés általános minőségének értékelésére a méretkövetelmények és az igazítás tekintetében. Ezek az elemzések magukban foglalják az adatok gyűjtését a hegesztett kötések reprezentatív mintájából, az adatok statisztikai elemzését, valamint a folyamat azon képességének meghatározását, hogy megfeleljenek a megadott mérettűréseknek és igazítási kritériumoknak.



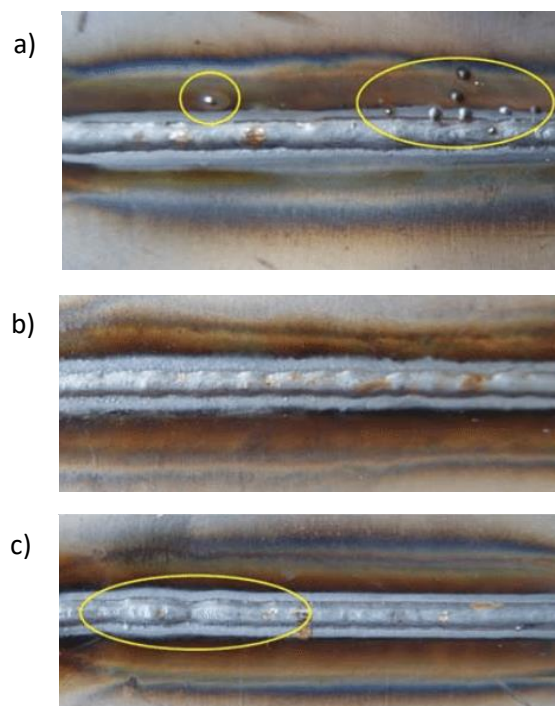
Az európai szabványok, mint például az EN ISO 13920, az EN 1090-2 és az EN ISO 5817, elfogadási kritériumokat és iránymutatásokat biztosítanak a hegesztési minőség értékeléséhez a méretkövetelmények és az igazítás szempontjából. Ezek a szabványok tűrőhatárokat, ellenőrzési módszereket és mérési technikákat határoznak meg a megadott méretkövetelményeknek való megfelelés biztosítása érdekében. A hegesztési minőség értékelése a méretkövetelmények és az igazítás szempontjából elengedhetetlen a hegesztett alkatrészek funkcionalitásának, teljesítményének és szerkezeti integritásának garantálásához, valamint az ipari szabványoknak és az ügyfelek elvárásainak való megfeleléshez.

A HIBA SÚLYOSSÁGÁNAK ÉS OSZTÁLYOZÁSÁNAK ÉRTÉKELÉSE

A hegesztési minőség értékelése a hibák súlyosságának és osztályozásának értékeléséhez magában foglalja a hibák jelentőségének és hatásának meghatározását a hegesztett kötések szerkezeti integritására, teljesítményére és használhatóságára. Az értékelés célja a hibák súlyossági szintjük szerinti kategorizálása, a korrekációs intézkedések rangsorolása, valamint a vonatkozó szabványoknak és előírásoknak való megfelelés biztosítása.

A hegesztési hibák súlyosságának és osztályozásának felmérésére különböző technikák és módszerek alkalmazhatók a metallográfia területén. Ezek a következők:

Szemrevételezés: A szemrevételezés a kezdeti lépés a hiba súlyosságának és osztályozásának értékelésében. Ez magában foglalja a hegesztési kötés szemrevételezéses vizsgálatát olyan hibák jelenlétére, mint a repedések, porozitás, fúzió hiánya, alávágás és fröccsenés. Az ellenőr felméri a hibák méretét, alakját, helyét és eloszlását, hogy meghatározza azok súlyosságát és besorolását.



1.3.22. ábra: A szemrevételezéses vizsgálatok során talált tökéletlenségek: helyi fröccsenések (a); egyenetlen hő által érintett zóna (b); Helyi emelők és a hegesztési felület nem teljesen kitöltött hornya (C) [1.3.32]

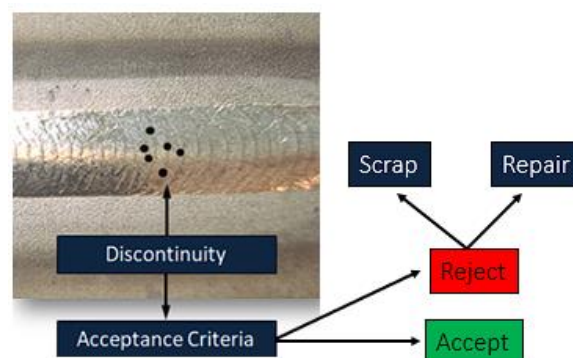
Roncsolásmentes tesztelési (NDT) technikák: Az NDT módszereket, például ultrahangos vizsgálatot, röntgenfelvételt, mágneses részecskevizsgálatot és festékpentráns vizsgálatot általában a hiba súlyosságának és osztályozásának értékelésére használják. Ezek a technikák részletes információkat nyújtanak a hegesztett kötésen belüli hibák méretéről, alakjáról, helyéről és mértékéről. Az NDT módszerek segíthetnek azonosítani azokat a kritikus hibákat, amelyek veszélyeztethetik a hegesztés integritását, és súlyossági szintjük alapján osztályozni őket.

1.3.1. táblázat: A roncsolásmentes vizsgálatok során alkalmazott számos technika:

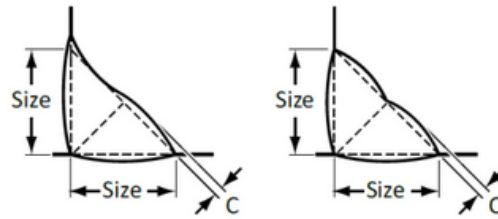
Belső hiba	UT: Ultrahangos tesztelés
	VI: Szemrevételezés
Felületi hiba ET	MT: Mágneses részecskék vizsgálata
Felületnyitási hiba	Felületnyitási hiba PT: folyadékbehatolásos vizsgálat

Makroszkópos vizsgálat: A makroszkópos vizsgálat magában foglalja a makrográfok és a hegesztési kötés keresztmetszetének használatát a hiba súlyosságának és osztályozásának felmérésére. A makrográfok részletesen vizuálisan ábrázolják a hibákat, lehetővé téve méretük, eloszlásuk és a környező hegesztési szerkezettel való kapcsolatuk jobb értékelését. A keresztmetszet magában foglalja a hegesztési kötés vágását a belső jellemzők és hibák feltárása érdekében, lehetővé téve azok jellegének, méretének és helyzetének alapos vizsgálatát.

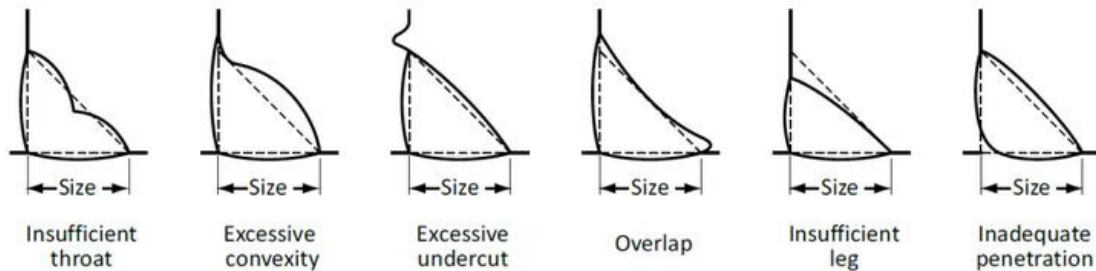
Elfogadási kritériumok és szabványok: A hegesztés minőségének értékelése a hibák súlyossága és osztályozása során megállapított elfogadási kritériumokon és szabványokon alapul. Az európai szabványok, mint például az EN ISO 5817 és az EN ISO 10042, iránymutatásokat és specifikációkat biztosítanak a különböző hegesztési hibák súlyossági szintjeinek értékeléséhez. Ezek a szabványok meghatározzák az elfogadási szinteket, és kritériumokat biztosítanak a hibák osztályozásához méretük, hosszuk, mélységük és egyéb paramétereik alapján.



1.3.23. ábra: Kritikus hegesztésértékelés: elfogadási kritériumok alkalmazása a minőségértékeléshez [1.3.33]



1.3.24.1. ábra: Elfogadható filé hegesztési profilok [1.3.33]



1.3.24.2. ábra: Elfogadhatatlan filé hegesztési profilok [1.3.33]

Szakértői megítélés: Egyes esetekben a képzett személyzet szakértelme és tapasztalata döntő szerepet játszik a hiba súlyosságának és osztályozásának értékelésében. A hegesztési folyamatokat és a hibajellemzőket mélyrehatóan ismerő képzett kohászok, hegesztési ellenőrök és mérnökök értékes betekintést és ítéletet nyújthatnak a hibák súlyosságának és a hegesztés minőségére gyakorolt hatásának meghatározásában.

A hegesztési minőség értékelése során a hibákat általában különböző kategóriákba sorolják, például kritikus, nagyobb és kisebb hibákba, előre meghatározott elfogadási kritériumok alapján. Az osztályozás segít rangsorolni a korrekciós intézkedéseket, meghatározni a javítás vagy átdolgozás szükségességét, és biztosítani a vonatkozó szabványoknak és előírásoknak való megfelelést. Fontos megjegyezni, hogy a hibák súlyossága és besorolása az adott alkalmazástól, hegesztési típustól, anyagtól és ipari követelményektől függően változhat. Ezért a hegesztés minőségének értékelése során figyelembe kell venni az alkalmazandó szabványok és előírások által meghatározott konkrét kontextust és kritériumokat. A hibák súlyosságának és osztályozásának értékelésével a hegesztési minőségértékelés segít azonosítani azokat a kritikus hibákat, amelyek veszélyeztethetik a hegesztett kötés integritását, és biztosítja a megfelelő korrekciós intézkedések végrehajtását. Ez az értékelés döntő szerepet játszik a hegesztett alkatrészek szerkezeti integritásának, teljesítményének és biztonságának fenntartásában a különböző iparágakban és alkalmazásokban.

RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLAT A HEGESZTÉS MINŐSÉGÉRTÉKELÉSÉHEZ

A hegesztés minőségének roncsolásmentes vizsgálati (NDT) technikákkal történő értékelése kulcsfontosságú szempont a hegesztett kötések integritásának és megbízhatóságának biztosításához. NDT módszereket alkalmaznak a hegesztések minőségének értékelésére anélkül, hogy károsítanák a hegesztett alkatrészeket, lehetővé téve a hegesztési hibák átfogó ellenőrzését és értékelését.

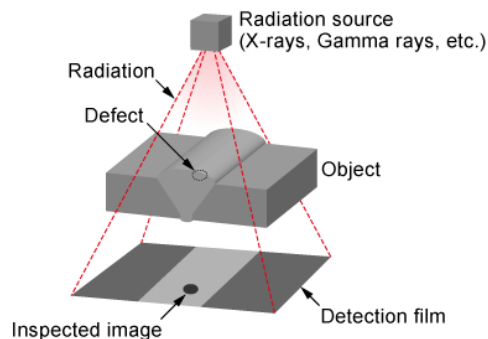
A hegesztési minőségértékelésben általában számos NDT-technikát alkalmaznak, többek között:

Ultrahangos vizsgálat (UT): Az UT nagyfrekvenciás hanghullámokat használ a hegesztett kötések belső és felületi hibáinak észlelésére és értékelésére. Az ultrahangos hullámokat továbbítják a hegesztésbe, és a visszavert hullámokat elemzik, hogy azonosítsák az olyan jeleket, mint a fúzió hiánya, porozitás, repedések és egyéb folytonossági hiányok. Ezeknek a jelzéseknek a méretét, helyét és jellegét értékelik, hogy meghatározzák a hegesztés minőségére gyakorolt hatásukat.



1.3.25. ábra: Hegesztés ultrahangos vizsgálata [1.3.34]

Radiográfiai vizsgálat (RT): Az RT röntgen- vagy gamma-sugarak használatát foglalja magában a hegesztés képének létrehozásához és a belső hibák észleléséhez. A radiográfiai képek részletes képet nyújtanak a hegesztés folytonossági hiányáról, beleértve a repedéseket, a fúzió hiányát, a porozitást és a zárványokat. Ezeknek a jelzéseknek a méretét, alakját és sűrűségét megvizsgálják, hogy felmérjék súlyosságukat és a hegesztés minőségére gyakorolt hatásukat.



1.3.26. ábra: Radiológiai vizsgálat [1.3.35]

Mágneses részecskevizsgálat (MT): Az MT-t elsősorban ferromágneses anyagok felülettörési hibáinak kimutatására használják. Ez magában foglalja a hegesztési terület mágnesezését és mágneses részecskék alkalmazását, amelyek olyan területeken gyűlnek össze, ahol a mágneses fluxus szivárgása a felület folytonossági hiánya, például repedések és a fúzió hiánya miatt következik be. A jelzéseket vizuálisan vizsgálják, hogy meghatározzák súlyosságukat és a hegesztés minőségére gyakorolt hatásukat.



1.3.27. ábra: Mágneses vizsgálat [1.3.36]

Liquid Penetrant Testing (PT): A PT-t nem porózus anyagok felülettörő hibáinak kimutatására használják. A hegesztés felületére folyékony penetránst alkalmazunk, és egy meghatározott tartózkodási idő után eltávolítjuk a felesleges penetránst, és fejlesztőt alkalmazunk. A felületi hibákba beszivárgó behatoló megfelelő fényviszonyok között láthatóvá válik, lehetővé téve a hibák, például repedések és porozitás azonosítását és értékelését.



1.3.28. ábra: Folyadékpenetráns vizsgálat [1.3.37]

Szemrevételezéssel történő ellenőrzés (VI): Bár külön ellenőrzési módszerek tekintik, a szemrevételezéses ellenőrzés a hegesztési minőségértékelés alapvető eleme. Ez magában foglalja a hegesztési kötés alapos vizuális vizsgálatát a felületi hibák, például repedések, alávágás, fröccsenés és hiányos fúzió azonosítása érdekében. A szemrevételezés kiegészíti az egyéb NDT-technikákat, és minőségi értékelést ad a hegesztés minőségéről.



1.3.29. ábra: Szemrevételezéses vizsgálat [1.3.38]

A hegesztési minőség értékeléséhez használt NDT során a jelzéseket és hibákat a vonatkozó szabványok, például az EN ISO 17636 és az EN ISO 9712 által biztosított előre meghatározott elfogadási kritériumok alapján értékelik. Ezek a szabványok meghatározzák a hegesztésekben



elfogadható megengedett méreteket, hosszúságokat, helyeket és jelzéstípusokat. Az NDT eredményeit rögzítik és dokumentálják, lehetővé téve a hegesztés elfogadásával vagy elutasításával kapcsolatos további elemzést és döntéshozatalt. Az NDT technikák értékes betekintést nyújtanak a hegesztett kötések belső és felületi viszonyaiba, lehetővé téve a hegesztési hibák észlelését, értékelését és jellemzését. Ezeknek a technikáknak a alkalmazásával a hegesztési minőségértékelés azonosíthatja a kritikus hibákat, felmérheti azok súlyosságát, és meghatározhatja a hegesztések integritásának és megbízhatóságának fenntartásához szükséges megfelelő intézkedéseket. Fontos megjegyezni, hogy az NDT technikákat szakképzett személyzetnek kell elvégeznie, akik megfelelő képzést és tanúsítást kaptak a vonatkozó szabványoknak, például az EN ISO 9712-nek megfelelően. Ez biztosítja az értékelés pontosságát és megbízhatóságát, és javítja a hegesztett alkatrészek általános minőségellenőrzését a különböző iparágakban.

1.1.5. Hegesztés javítása és hegesztés utáni vizsgálat

A hegesztési javítások gyakran szükségesek a hibák kijavításához vagy a kötés integritásának javításához. Ez az alfejezet a makroszkópos vizsgálat szerepére összpontosít a hegesztési javítások hatékonyságának értékelésében. Megbeszéljük a javított kötés értékeléséhez használt technikákat és eljárásokat, biztosítva, hogy megfeleljen a szükséges szabványoknak és előírásoknak. Ezenkívül megvizsgáljuk a hegesztés utáni vizsgálat fontosságát a javított kötés integritásának és megbízhatóságának ellenőrzése érdekében.

A makroszkópos vizsgálat a hegesztési technológia alapvető technikája, amely lehetővé teszi a hegesztett kötések átfogó értékelését. A makroszkópos jellemzők vizsgálatával, a hibák azonosításával, a hegesztés minőségének értékelésével és a javítások hatékonyságának biztosításával növelhetjük a hegesztett szerkezetek és alkatrészek teljesítményét, biztonságát és megbízhatóságát. Tehát merülünk el a makroszkópos vizsgálat lenyűgöző világában és annak hegesztési technológiában való alkalmazásában!

A hegesztési technológia makroszkópos vizsgálati specifikációi az iparágtól és az alkalmazástól függően változhatnak. Néhány általános specifikáció azonban a következőket tartalmazza:

1. Nagyítás: A makroszkópos vizsgálat során alkalmazott nagyítási szintnek meg kell felelnie a vizsgált hiba méretének. Általában 5x-től 10x-ig terjedő nagyítást használnak az általános hegesztési vizsgálatokhoz, míg a részletesebb vizsgálatokhoz akár 50x-es nagyítást is használhatnak. Ezenkívül fontos megjegyezni, hogy a nagyítás nem lehet olyan nagy, hogy a látómező túl kicsi legyen, ami megnehezíti a hiba helyének vagy mértékének azonosítását. A nagyobb nagyítás használata növelheti a hamis pozitív eredmények valószínűségét is, amikor olyan felületi szabálytalanságokat azonosítanak, amelyek nem hibák. Ezért a nagyítás megfelelő szintjét a vizsgált hibák mérete és típusa, valamint a vizsgált anyag felületi minősége és textúrája alapján kell meghatározni. Ez segíthet a hibák pontos azonosításában, valamint az ellenőrzési folyamat hatékonyságának és eredményességének biztosításában

2. Világítás: A makroszkopikus vizsgálat során megfelelő megvilágítást kell használni annak biztosítására, hogy minden felületi hiba látható legyen. A világítást a vizsgálandó felületre kell irányítani olyan szögben, amely optimális láthatóságot biztosít. A makroszkópos vizsgálat során használt világításnak elég világosnak kell lennie ahhoz, hogy megvilágítsa az összes felületi hibát, és minimalizálja az árnyékokat vagy a tükröződést, amelyek eltakarhatják a kilátást. A világítás irányát is gondosan mérlegelni kell annak biztosítása érdekében, hogy a vizsgált felület olyan szögben legyen megvilágítva, amely optimális láthatóságot biztosít. Ez magában foglalhatja



több fényforrás használatát vagy a megvilágítás szögének beállítását a tükröződés és az árnyékok minimalizálása érdekében.

Ezenkívül figyelembe kell venni a világítás színhőmérsékletét is. A különböző típusú világítások, például a fluoreszkáló vagy a LED, eltérő színhőmérsékletet eredményezhetnek, ami befolyásolhatja a felületi hibák megjelenését. A megfelelő színhőmérsékletet a vizsgált anyag és a vizsgált hibák típusa alapján kell kiválasztani.

Összességében a megfelelő megvilágítás elengedhetetlen a makroszkopikus vizsgálatokhoz, hogy minden felületi hiba látható és pontosan azonosítható legyen. A világítást gondosan kell megválasztani és elhelyezni, hogy optimális láthatóságot biztosítson, és minimalizálja a tükröződést vagy árnyékokat, amelyek eltakarhatják a kilátást

3. Felület előkészítése: A vizsgált felületet az ipari szabványoknak megfelelően meg kell tisztítani és elő kell készíteni. Minden felületi szennyeződést, például olajat, zsírt vagy rozsdát el kell távolítani annak biztosítása érdekében, hogy minden felületi hiba látható legyen. Mintavétel a mintákból

Hegesztett kötések esetén minden jellemző területen (BM, HAZ, WELD) vizsgálatokat kell végezni, ezért a metallográfiai minták tartalmazzák a kötés teljes keresztmetszetét.

A kutatás igényeitől függően a mintákat másképp veszik. Különösen a kárelemzések esetében a mintavételt az ellenőrizendő munkahipotézisek és a vizsgált anyag állapotának és jellegének figyelembevételével végzik, sok esetben párhuzamosan vizsgálják a nem érintett területekről vagy hasonló, működési feltételeknek nem megfelelő anyagokból származó referenciamintákat.

A hegesztési technológiák, az alapanyagok és a hegesztőanyagok asszimilációjának ellenőrzésekor a mintákat úgy veszik, hogy azok reprezentatívak legyenek a teljes vizsgált tételre nézve. E feltétel biztosításának elmulasztása súlyos következményekkel járó téves értelmezésekhez vezet.

A metallográfiai minták mintavétele és előkészítése a STAS 4203 szerint történik.

A sík felület elérése reszeléssel, marással vagy polírozással történik. Az őrlést metallográfiai papírok segítségével végezzük, amelyek a szilícium-karbid által képződött csiszolószemcsék növekvő finomságát mutatják. A felhasznált metallográfiai papírok szemcséje szerint az őrlés lehet:

- durva, ha durva szemcsés metallográfiai papírt használ (80, 100, 180, 240, 320);
- finom, ha finom szemcsés metallográfiai papírt használ (400, 500, 600, 800);
- nagyon finom metallográfiai papírok használata esetén (1000, 1200, 1500, 2000, 2500).

A csiszolás kézzel vagy mechanikusan hajtható végre. Kézi csiszolás esetén (nagy, hegesztett mintákhoz ajánlott) a papírt egy fa tartóra szerelt üveglapra helyezik. Az enyhén préselt metallográfiai minta mindig egy irányba mozog, oda-vissza mozgást végezve. Minden papírcserénél 90°-kal el kell forgatni a mintát úgy, hogy az új ráncok derékszöget zárjanak be az előzőekkel. A csiszolás durva szemcsés papírral (300...400) kezdődik, és finomszemcsés (800...900) és extra finom (1000) papírral végződik.

Mechanikus köszörülés esetén vízszintes vagy függőleges csiszológépeket használnak, ahol a metallográfiai papírt forgó tárcsákra rögzítik. Az őrlési művelet során a következő szabályokat kell betartani:

- ne váltson másik metallográfiai papírra, amíg meg nem győződött arról, hogy az előző csiszolásból származó összes karcolás eltűnt;
- a metallográfiai papírt minden használatkor megtisztítják a fém- vagy csiszolóportól (ha száraz csiszolás történik);
- csiszolás közben az alkatrész nem melegedhet fel;



- ugyanazokat a papírokat nem használják vas- és színesfémötvözetekhez;
- Az őrlési művelet végén a mintát mossuk, hogy eltávolítsuk az őrlés során tapadt összes zárványt.

A hegesztett minták polírozását mechanikusan végezzük a forgó tárcsával felszerelt polírozógéppel, amelyre merinó gyapjúfilc van rögzítve. A polírozás során különböző granulátumú Al-oxid, Mg-oxid és gyémántpor szuszpenziója kerül a filcre. Polírozás után a minta felületének tükör megjelenésűnek kell lennie (ráncok nélkül). A polírozott mintát vízzel mossuk, alkohollal zsírtalanítjuk, majd vattával vagy szűrőpapírral szárítjuk, meleg levegőáramban történő szárítás ajánlott.

Metellográfiai támadás: a művelet célja a kristályszerkezet kiemelése. A polírozott felület megfelelő reagensekkel támadják meg, amelyek szelektíven oldják vagy színezik a jelenlévő összetevőket, megkülönböztethetővé téve azokat egymástól. A támadást merítéssel vagy a minta felületének reagensekkel átitatott pamutdarabbal történő dörzsölésével végezzük. Ha a mintát nem támadják meg kellőképpen, a műveletet meg kell ismételni. Általában az erős számlálók előállításához a reagenseket a lehető leghígítottabban kell használni, így a támadás hosszabb tartási idővel történik. A mikroszkóp nagyobb méretű kutatásához gyengébb támadást hajtanak végre, a szerkezet részleteinek jobb körülmények között történő megfigyelésére, és fordítva kis méretű kutatás esetén. Gyakorlatilag a minta akkor tekinthető megtámadottnak, ha az előkészített felület minden jellemző területen elvesztette fémes fényét, matttá vált, és a területek megfigyelhetők. A túl intenzív támadás torzítja a szerkezetet.

A metallográfiai támadás után a mintát vízzel, majd alkohollal mossuk, és szűrőpapírra vagy meleg levegőáram alatt szárítjuk. A metallográfiai támadáshoz használt reagens kiválasztása az SR CEN ISO/TR 16060 szabvány szerint történik.

4. Elfogadási kritériumok: A felületi hibákra vonatkozó elfogadási kritériumokat az ipari szabványok és az alkalmazás követelményei alapján kell meghatározni. A kritériumoknak meg kell határozniuk az elfogadható és nem elfogadható hibák típusát, méretét és helyét. A felületi hibák elfogadási kritériumait az ipari szabványok és az alkalmazás követelményei alapján kell megállapítani. Ez magában foglalja az elfogadható és nem elfogadható hibák típusának, méretének és helyének meghatározását. Az elfogadási kritériumok a vizsgált anyagtól, a termék tervezett felhasználásától és a hegesztett kötés általános szerkezetben betöltött szerepétől függően változhatnak.

Például a repülőgépiparban a hegesztett kötések felületi hibáinak elfogadási kritériumai sokkal szigorúbbak lehetnek, mint más iparágakban, mivel a repülőgépipari alkatrészek kritikus szerepet játszanak a biztonság biztosításában. Ebben az esetben az elfogadási kritériumok meghatározhatják, hogy bármilyen felületi hiba, mérettől vagy helytől függetlenül, nem elfogadható.

Hasonlóképpen, az autóiparban a felületi hibák elfogadási kritériumai kevésbé szigorúak lehetnek, de továbbra is megkövetelik, hogy a hibák bizonyos méret- és helyhatárokon belül legyenek annak biztosítása érdekében, hogy a hegesztett kötés megfeleljen az előírt szilárdsági és tartóssági szabványoknak.

Az egyértelmű elfogadási kritériumok megállapítása fontos annak biztosításához, hogy a hegesztett termékek megfeleljenek az előírt minőségi előírásoknak, és biztonságosak legyenek a tervezett felhasználásukra. Ez segíthet megelőzni a hibákat és meghibásodásokat, csökkentheti a balesetek kockázatát, és biztosíthatja, hogy a termékek megfeleljenek az ügyfelek elvárásainak. A hegesztett kötések tökéletlenségeinek elfogadási szintjeit az SR EN ISO 5817 szabvány szerint végzik. A fémes anyagok hegesztett kötéseinek geometriai tökéletlenségeinek osztályozása az SR EN ISO 6520-1 szerint történik.

5. Jelentés: Részletes jelentést kell készíteni, amely tartalmazza a makroszkópos vizsgálat eredményeit, beleértve a feltárt hibákat és azok helyét. A jelentésnek szükség esetén korrekciós intézkedésekre vonatkozó ajánlásokat is tartalmaznia kell. A makroszkópos vizsgálat elvégzése után részletes jelentést kell készíteni, amely tartalmazza a vizsgálat eredményeit, a talált hibákat és azok helyét a hegesztett kötésen. A jelentésnek szükség esetén korrekciós intézkedésekre vonatkozó ajánlásokat is tartalmaznia kell az elfogadási kritériumok és az ipari szabványok alapján.

A jelentésnek világosnak és tömörnek kell lennie, és össze kell foglalnia az ellenőrzés eredményeit, beleértve a feltárt hibákat, azok méretét és helyét. Tartalmaznia kell fényképeket vagy diagramokat is, amelyek illusztrálják a hibák helyét és mértékét.

Ha olyan hibákat azonosítanak, amelyek nem felelnek meg az elfogadási kritériumoknak, a jelentésnek korrekciós intézkedésekre vonatkozó ajánlásokat kell tartalmaznia, például a hegesztett kötés javítására vagy cseréjére. A jelentésnek egyértelmű ütemtervet kell tartalmaznia a korrekciós intézkedésekre és a szükséges nyomon követési ellenőrzésekre vonatkozóan is.

Összességében a részletes jelentés elengedhetetlen az ellenőrzési eredmények dokumentálásához, valamint annak biztosításához, hogy az esetleges hibákat időben és hatékonyan azonosítsák és kezeljék. Ez segíthet a hegesztett termékek minőségének és biztonságának javításában, valamint annak biztosításában, hogy megfeleljenek a szükséges ipari szabványoknak és az ügyfelek elvárásainak.

A HEGESZTÉS JAVÍTÁSÁNAK FONTOSSÁGA

A hegesztés javítása jelentős szerepet játszik a hegesztett alkatrészek integritásának és funkcionalitásának fenntartásában. Ha az ellenőrzés vagy tesztelés során hibákat vagy folytonossági hiányokat észlelnek a hegesztett kötésekben, hegesztési javításra van szükség a problémák kijavításához és a hegesztés kívánt minőségének és teljesítményének helyreállításához. A hegesztésjavítás fontosságát a következő szempontok emelik ki:

Szerkezeti integritás: A hegesztések gyakran kritikus elemei a szerkezeteknek, gépeknek és berendezéseknek. A hegesztés bármilyen hibája vagy hibája veszélyeztetheti a szerkezeti integritást, ami potenciális meghibásodásokhoz vagy balesetekhez vezethet. A hegesztésjavítás segít megoldani ezeket a problémákat azáltal, hogy kiküszöböli vagy enyhíti a hibákat, biztosítva, hogy a hegesztett kötés visszanyerje tervezett szilárdságát és teherbíró képességét.

Funkcionális teljesítmény: A hegesztett alkatrészek különböző működési feltételeknek vannak kitéve, beleértve a mechanikai igénybevételt, a hőmérséklet-ingadozásokat és a korrozív környezetet. A hibás hegesztések akadályozhatják az alkatrész működését, befolyásolva annak teljesítményét és megbízhatóságát. A hegesztés javítása biztosítja, hogy a hegesztés megfeleljen a szükséges előírásoknak és szabványoknak, lehetővé téve az alkatrész számára, hogy hatékonyan ellássa tervezett funkcióját.

Költséghatékonyság: A hegesztésjavítás gyakran költséghatékonyabb megoldás, mint a teljes alkatrészek vagy szerkezetek cseréje. A hibás varrat javítása kiküszöböli a teljes átdolgozás vagy csere szükségességét, így időt, erőforrásokat és költségeket takarít meg. Emellett minimalizálja a termelés állásidejét és a kapcsolódó költségeket, így számos esetben praktikus választás.

Szabványoknak és előírásoknak való megfelelés: A különböző iparágakban a hegesztett alkatrészeket speciális szabványok és előírások szabályozzák a biztonság, a megbízhatóság és a



minőség biztosítása érdekében. A hegesztés javítása segít abban, hogy a hegesztett kötések ismét megfeleljenek ezeknek a szabványoknak, biztosítva, hogy a javított hegesztés megfeleljen a szükséges előírásoknak és alkalmas legyen a tervezett alkalmazásra.

Környezetvédelmi megfontolások: A hibás hegesztés javítása minimalizálja a hulladékanyag és a hulladék keletkezését, hozzájárulva a fenntartható gyakorlatokhoz. A hegesztett alkatrészek mentésével és javításával csökken a nyersanyagok és az energiaigényes gyártási folyamatok iránti igény, ami környezeti előnyökkel jár.

A hegesztésjavítás hatékonyságának és megbízhatóságának biztosítása érdekében elengedhetetlen a vonatkozó szabványokban, például az EN ISO 5817 és az EN ISO 15614 szabványban felvázolt eljárások és iránymutatások követése. Ezek a szabványok meghatározzák a hegesztési javítási technikákat, anyagokat és minősítési követelményeket, biztosítva, hogy a javított hegesztés megfeleljen a szükséges minőségi és teljesítménykritériumoknak. Ezenkívül a hegesztés javítását szakképzett személyzetnek kell elvégeznie, aki szakértelemmel rendelkezik a hegesztési technikák és a javítási eljárások terén. A javítás után megfelelő ellenőrzést és tesztelést kell végezni a javított hegesztés minőségének és integritásának ellenőrzése érdekében. Ez biztosítja, hogy a javított hegesztés megfeleljen a szükséges szabványoknak, és biztonságosan el tudja látni a tervezett funkcióját.

A hegesztésjavítás fontossága abban rejlik, hogy képes helyreállítani a hegesztett alkatrészek integritását, funkcionalitását és megfelelőségét. A hibák és folytonossági hiányok kiküszöbölésével a hegesztésjavítás biztosítja a szerkezeti szilárdságot, a funkcionális teljesítményt és a költséghatékonyságot. Lehetővé teszi az alkatrészek újrafelhasználását és megőrzését, csökkenti a hulladékot, és hozzájárul a hegesztési gyakorlatok általános biztonságához, megbízhatóságához és fenntarthatóságához.

A HEGESZTÉSI JAVÍTÁS SZÜKSÉGESSÉGÉNEK FELMÉRÉSE

A hegesztési javítás szükségességének felmérése alapvető lépés a hegesztett alkatrészek minőségének és integritásának fenntartásában. Ez magában foglalja a hegesztési varratokban lévő hibák vagy folytonossági hiányok súlyosságának és hatásának értékelését, valamint annak meghatározását, hogy szükség van-e javításra. Az értékelési folyamat során a következő tényezőket veszik figyelembe:

Ellenőrzési eredmények: A hegesztett kötések különféle ellenőrzési módszereken mennek keresztül, például szemrevételezéssel, roncsolásmentes vizsgálattal (NDT) és makroszkópos vizsgálattal, hogy azonosítsák a hibákat vagy a folytonosságot. Az ellenőrzési eredmények értékes információkat nyújtanak a hibák típusáról, méretéről, helyéről és mértékéről. Ezen megállapítások alapján értékelhető a javítás szükségessége.

Alkalmazandó szabványok és kódok: A hegesztett alkatrészekre speciális szabványok és kódok vonatkoznak, amelyek felvázolják a hegesztési minőség elfogadási kritériumait. Ezek a szabványok meghatározzák a maximálisan megengedett hibaméreteket és típusokat. Az ellenőrzési eredmények és a vonatkozó szabványok összehasonlításával megállapítható, hogy a hibák meghaladják-e az elfogadható határértékeket és javítást igényelnek-e.



Szerkezeti és funkcionális megfontolások: A hegesztett kötés jelentőségét a teljes szerkezetben vagy alkatrészben értékelik. Ha a hiba vagy a folytonosság megszakadása veszélyezteti a szerkezeti integritást vagy a funkcionális teljesítményt, javításra van szükség. Az olyan tényezőket, mint a teherbíró képesség, a feszültségkoncentráció, a fáradási élettartam és az üzemi feltételek, figyelembe veszik a hibák hegesztési teljesítményre gyakorolt hatásának értékeléséhez.

Biztonsági és szabályozási megfelelés: A hegesztett alkatrészeket gyakran használják biztonsági szempontból kritikus alkalmazásokban, például a repülőgépiparban, az autóiparban, valamint az olaj- és gáziparban. A javítás szükségességének felmérése magában foglalja a hibák biztonsági vonatkozásainak figyelembevételét. A személyzet biztonságát veszélyeztető vagy az ipari előírásoknak meg nem felelő hegesztéseket meg kell javítani a megfelelés biztosítása és a lehetséges veszélyek megelőzése érdekében.

Költséggel és idővel kapcsolatos megfontolások: A javításhoz szükséges költséget és időt a hibák jelentőségéhez és a hegesztett alkatrész értékéhez viszonyítva értékelik. Figyelembe veszik az olyan tényezőket, mint a javítási erőforrások rendelkezésre állása, a javítás hatása a gyártási ütemtervekre, valamint a javítás költséghatékonysága a cserével szemben.

Az értékelés alapján döntés születik arról, hogy folytatják-e a hegesztés javítását. Ha a hibákat jelentősnek ítélik, és befolyásolják a hegesztés integritását vagy teljesítményét, általában ajánlott a javítás. A javítási folyamat magában foglalja a hegesztési felület előkészítését, a hibás rész eltávolítását, megfelelő javítási technikák (például hegesztés vagy más jóváhagyott módszerek) alkalmazását, valamint javítás utáni ellenőrzés és tesztelés elvégzését a javított hegesztés minőségének és integritásának ellenőrzése érdekében. Fontos megjegyezni, hogy a hegesztési javítás szükségességének értékelését szakképzett személyzetnek kell elvégeznie, aki szakértelemmel rendelkezik a hegesztési technológiában és a vonatkozó szabványokban. Ezeknek az egyéneknek alaposan meg kell érteniük a hegesztési hibákat, azok következményeit és a megfelelő javítási módszereket annak biztosítása érdekében, hogy a javított hegesztés megfeleljen az előírt minőségi és teljesítménykritériumoknak. A hegesztésjavítás szükségességének felmérése magában foglalja az ellenőrzési eredmények értékelését, az alkalmazandó szabványok és kódok figyelembevételét, a szerkezeti és funkcionális megfontolások értékelését, a biztonság és a szabályozások betartásának biztosítását, valamint a költség- és időtényezők figyelembevételét. Az átfogó értékelés elvégzésével megalapozott döntéseket lehet hozni a hegesztés javításának szükségességéről és megfelelőségéről, biztosítva a hegesztett alkatrészek folyamatos integritását és teljesítményét.

A HEGESZTÉS JAVÍTÁSÁNAK MÓDSZEREI ÉS TECHNIKÁI

Ha megállapítást nyer, hogy a hegesztés hibák vagy folytonossági hiányok miatt javításra szorul, különféle módszerek és technikák alkalmazhatók integritásának és funkcionalitásának helyreállítására. A javítási módszer kiválasztása olyan tényezőktől függ, mint a hibák típusa és súlyossága, a hegesztendő anyag és az alkalmazás speciális követelményei. Íme néhány gyakori módszer és technika a hegesztés javításához:

Hegesztés javítása: A hegesztés a hegesztési hibák javításának leggyakoribb módszere. Ez magában foglalja további hegesztési fém hozzáadását a hibás területhez a hézagok kitöltése, az elégtelen behatolás kijavítása vagy a biztosíték folytonosságának kijavítása érdekében. A



javításhoz használt hegesztési folyamat olyan tényezőktől függ, mint az alapanyag, a hiba típusa és a rendelkezésre álló berendezések. A gyakori hegesztési eljárások közé tartozik az árnyékolt fém ívhegesztés (SMAW), a gázvolfrám ívhegesztés (GTAW), a gázfém ívhegesztés (GMAW) és a fluxusmagos ívhegesztés (FCAW). Megfelelő hegesztési technikákat és paramétereket kell alkalmazni a megbízható és kiváló minőségű javítások biztosítása érdekében.

Hegesztési átfedés: A hegesztési átfedés, más néven burkolat, olyan technika, amikor egy hegesztett fémréteget visznek fel az alapanyag felületére, hogy javítsák annak tulajdonságait vagy megvédjék a korróziótól. Gyakran használják kopott vagy sérült felületek javítására vagy javítására. A hegesztési átfedés olyan eljárásokkal végezhető el, mint a GTAW, a GMAW vagy a plazmaátvitt ív (PTA) hegesztés. A fedőanyag kiválasztása olyan tényezőktől függ, mint a kívánt tulajdonságok, az alapanyaggal való kompatibilitás és a környezeti feltételek.

Mechanikai javítás: Bizonyos esetekben mechanikai módszereket alkalmaznak a hegesztés javításához. Ezek a módszerek magukban foglalják a hegesztés hibás részének vagy a teljes hegesztésnek az eltávolítását, és új hegesztéssel vagy mechanikus rögzítési módszerrel való helyettesítését. A mechanikai javítási technikák közé tartozik az őrlés, megmunkálás, marás vagy fúrás a hibás hegesztés eltávolítása érdekében, valamint a terület előkészítése újrahegesztésre vagy illesztésre. A mechanikai javításokat gyakran kisebb hibák esetén alkalmazzák, vagy ha a hegesztés nem megvalósítható vagy nem praktikus.

Forrasztás és forrasztás: Bizonyos típusú hibák vagy anyagok esetén keményforrasztási vagy forrasztási technikák használhatók javításra. Ezek a folyamatok magukban foglalják az alapanyagnál alacsonyabb olvadáspontú töltőfém megolvasztását és kapilláris hatást gyakorolnak az alkatrészek összekapcsolására. A keményforrasztást és a forrasztást általában színesfémek, elektromos alkatrészek és finom szerelvények javítására használják.

Hőkezelés: Bizonyos esetekben hőkezelési technikákat alkalmaznak a hegesztési javítási folyamat részeként. A hőkezelés segíthet enyhíteni a maradék feszültségeket, javíthatja a mechanikai tulajdonságokat vagy csökkentheti a repedések kockázatát. A javító hegesztés után olyan eljárások alkalmazhatók, mint a hegesztés utáni hőkezelés (PWHT) vagy a feszültségmentesítés a kívánt kohászati és mechanikai tulajdonságok elérésének biztosítása érdekében.

Az alkalmazott javítási módszertől függetlenül elengedhetetlen az iparági szabványok, specifikációk és bevált gyakorlatok betartása. A hegesztési és javítási technikákban jártas szakképzett személyzetnek el kell végeznie a javításokat a megfelelő végrehajtás biztosítása érdekében. A javítás utáni ellenőrzés és tesztelés is szükséges a javított hegesztés minőségének és integritásának ellenőrzéséhez. A megfelelő módszer kiválasztása olyan tényezőktől függ, mint a hibák típusa és súlyossága, az alapanyag és az alkalmazási követelmények. A javított hegesztés hatékonyságának és hosszú távú megbízhatóságának biztosítása érdekében elengedhetetlen a megállapított eljárások és irányelvek követése.

A HEGESZTÉSI JAVÍTÁSOK HATÉKONYSÁGÁNAK ÉRTÉKELÉSE

A hegesztési javítások hatékonyságának értékelése kulcsfontosságú lépés a hegesztési folyamatban annak biztosítása érdekében, hogy a javított hegesztés megfeleljen az előírt minőségi előírásoknak, és ellenálljon a tervezett üzemi körülményeknek. Az értékelés magában foglalja a



javítás különböző aspektusainak értékelését, beleértve annak szerkezeti integritását, mechanikai tulajdonságait és méretpontosságát.

A hegesztési javítások hatékonyságának értékelésekor figyelembe veendő legfontosabb tényezők:

Szemrevételezés: A szemrevételezés a hegesztési javítás hatékonyságának értékelésének kezdeti lépése. A javított területet szemrevételezéssel meg kell vizsgálni annak biztosítása érdekében, hogy a hibákat megfelelően kezeljék, és hogy a hegesztési profil, a megerősítés és az általános megjelenés megfeleljen a meghatározott követelményeknek. A hiányos fúzió, repedések, porozitás vagy egyéb hibák jeleit gondosan meg kell vizsgálni annak biztosítása érdekében, hogy megfelelően kijavítsák őket.

Roncsolásmentes vizsgálat (NDT): A roncsolásmentes vizsgálati módszerek létfontosságú szerepet játszanak a hegesztési javítások minőségének értékelésében. Az olyan technikák, mint az ultrahangos vizsgálat, a mágneses részecskevizsgálat, a festékpenetráns vizsgálat, a radiográfiai vizsgálat vagy az örvényáram-vizsgálat alkalmazhatók a felszín alatti hibák, folytonossági hiányok vagy egyéb rejtett hibák észlelésére, amelyek befolyásolhatják a javított hegesztés integritását. Az NDT segít ellenőrizni a javítás megbízhatóságát és megbízhatóságát, és biztosítja, hogy a fennmaradó hibákat azonosítsák és kezeljék.

Mechanikai tesztelés: A mechanikai vizsgálatokat gyakran végzik a javított hegesztés szilárdságának, keménységének, hajlékonyságának és egyéb mechanikai tulajdonságainak értékelésére. Szakítóvizsgálat, keménységvizsgálat, ütővizsgálat vagy hajlítási vizsgálat végezhető a hegesztés mechanikai teljesítményének felmérésére és a megadott követelményekkel való összehasonlítására. Ezek a tesztek kvantitatív adatokat szolgáltatnak a hegesztés szilárdságáról és integritásáról, segítve annak meghatározását, hogy a javítás elfogadható szintre állította-e vissza a hegesztés mechanikai tulajdonságait.

Méretellenőrzés: A méretellenőrzés elengedhetetlen annak biztosításához, hogy a javított hegesztés megfeleljen a megadott méreteknél, beleértve a hosszúságot, szélességet, magasságot és torokvastagságot. Precíziós mérőeszközök, például tolómérők, mikrométerek, mérőműszerek vagy optikai mérőrendszerek használhatók a javítás méretpontosságának értékelésére. A megfelelő méretbeállítás és illesztés elengedhetetlen a javított hegesztés szerkezeti integritásának és funkcionalitásának biztosításához.

Javítás utáni dokumentáció: Fontos, hogy átfogó dokumentációt tartson fenn a hegesztési javítási folyamatról, beleértve a javítási eljárásokat, az ellenőrzési jelentéseket, a vizsgálati eredményeket és minden egyéb releváns információt. Ez a dokumentáció referenciaként szolgál a jövőbeli ellenőrzésekhez, auditokhoz vagy minőségértékelésekhez, és rögzíti a javítás hatékonyságát és a vonatkozó szabványoknak és előírásoknak való megfelelését.

Szabványoknak és előírásoknak való megfelelés: A hegesztési javítás hatékonyságát az alkalmazandó ipari szabványok, kódok és specifikációk alapján kell értékelni. Ezek a dokumentumok felvázolják az elfogadási kritériumokat, a minőségi követelményeket és az ellenőrzési eljárásokat, amelyeket követni kell. A javított hegesztésnek meg kell felelnie vagy meg kell haladnia a meghatározott szabványokat, hogy biztosítsa a használatra való alkalmasságot és a hosszú távú megbízhatóságot.



A hegesztési javítások hatékonysága pontosan értékelhető a vizuális ellenőrzést, a roncsolásmentes vizsgálatot, a mechanikai vizsgálatot, a méretellenőrzést és a szabványoknak való megfelelést magában foglaló alapos értékelés elvégzésével. Ez az értékelés biztosítja, hogy a javított hegesztés megfeleljen a szükséges minőségi előírásoknak, és bizalmat ad szerkezeti integritásának és működési körülmények közötti teljesítményének.

HEGESZTÉS UTÁNI VIZSGÁLAT MINŐSÉGELLENŐRZÉSHEZ

A hegesztés utáni vizsgálat kritikus lépés a hegesztési folyamatban, amely magában foglalja a hegesztett kötés minőségének és integritásának ellenőrzését a hegesztési művelet befejezése után. A vizsgálat célja annak biztosítása, hogy a hegesztés megfeleljen a szükséges szabványoknak, előírásoknak és teljesítménykritériumoknak. Segít azonosítani a hegesztés során esetlegesen előforduló esetleges hibákat, folytonossági hiányokat vagy tökéletlenségeket, és értékeli a hegesztés általános minőségét.

A hegesztés utáni minőségellenőrzés legfontosabb szempontjai:

Szemrevételezés: A szemrevételezés a hegesztés utáni vizsgálat legalapvetőbb és leggyakrabban használt módszere. Ez magában foglalja a hegesztett kötés alapos vizuális vizsgálatát a látható hibák vagy hiányosságok azonosítása érdekében. Az ellenőr felméri a hegesztést olyan problémák szempontjából, mint a hiányos fúzió, a behatolás hiánya, az alákínálás, a porozitás, a repedések, a fröccsenés vagy bármilyen más szabálytalanság. A szemrevételezéssel történő ellenőrzés a teljes hegesztési profilt, megerősítést és megjelenést is ellenőrzi, biztosítva, hogy azok megfeleljenek a megadott követelményeknek.

Roncsolásmentes vizsgálat (NDT): Roncsolásmentes vizsgálati technikákat alkalmaznak a hegesztés belső és felületi integritásának károsodás nélküli értékelésére. Különböző NDT módszerek, például ultrahangos vizsgálatok, radiográfiai vizsgálatok, mágneses részecskevizsgálat, folyadékpenetráns tesztelés vagy örvényáram-vizsgálatok használhatók a felszín alatti hibák, folytonossági hiányok vagy egyéb rejtett hibák kimutatására. Az NDT segít biztosítani, hogy a hegesztés mentes legyen a belső hibáktól, például porozitástól, repedésektől, fúzió hiányától vagy zárványoktól, amelyek veszélyeztethetik szilárdságát és teljesítményét.

Mechanikai vizsgálat: Mechanikai vizsgálatot végeznek a hegesztett kötés mechanikai tulajdonságainak és szilárdságának értékelésére. A hegesztésből kivont próbadarabokon szakítóvizsgálat, keménységvizsgálat, ütészvizsgálat vagy hajlítási vizsgálat végezhető annak szilárdságának, hajlékonyságának, szívósságának és egyéb mechanikai jellemzőinek értékelésére. A mechanikai vizsgálat mennyiségi adatokat szolgáltat a hegesztés teljesítményéről, lehetővé téve a meghatározott követelményekkel és szabványokkal való összehasonlítást.

Méretellenőrzés: A méretellenőrzés ellenőrzi a hegesztés méretpontosságát és megfelelőségét a megadott követelményeknek. Ez magában foglalja a hegesztés kulcsfontosságú méreteinek, például hosszának, szélességének, magasságának és torokvastagságának mérését precíziós mérőeszközökkel. A méretellenőrzés biztosítja, hogy a hegesztés megfeleljen a tervezett alkalmazáshoz szükséges méreteknek, illesztési tűréseknek és geometriai paramétereknek.



Dokumentáció és nyilvántartás: A hegesztés utáni vizsgálat során elengedhetetlen a megfelelő dokumentáció és nyilvántartás. Részletes nyilvántartást kell vezetni, beleértve az ellenőrzési jelentéseket, a vizsgálati eredményeket, a hegesztő képesítését, a hegesztési eljárás specifikációit és minden egyéb vonatkozó dokumentumot. Ez a dokumentáció bizonyítja a megfelelőséget, lehetővé teszi a nyomon követhetőséget, és referenciaként szolgál a jövőbeli ellenőrzésekhez, auditokhoz vagy minőségértékelésekhez.

Szabványoknak és előírásoknak való megfelelés: A hegesztés utáni vizsgálatot a vonatkozó szabványoknak, kódoknak és előírásoknak megfelelően kell elvégezni. Ezek a dokumentumok meghatározzák az elfogadási kritériumokat, a minőségi követelményeket és az ellenőrzési eljárásokat, amelyeket követni kell. A szabványoknak való megfelelés biztosítja, hogy a hegesztés megfeleljen a szükséges minőségi előírásoknak, és garantálja annak teljesítményét és megbízhatóságát az üzem során.

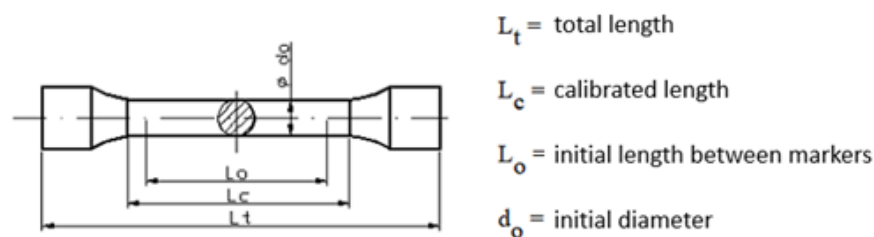
A hegesztés utáni vizsgálat létfontosságú szerepet játszik a hegesztett kötések minőségének és integritásának ellenőrzésében. Alapos szemrevételezéssel, megfelelő roncsolásmentes vizsgálati technikák alkalmazásával, mechanikai és méretvizsgálatok elvégzésével, valamint a megfelelő dokumentáció fenntartásával a hegesztés minősége hatékonyan ellenőrizhető. Ez a vizsgálati folyamat biztosítja, hogy a hegesztés megfeleljen az előírt szabványoknak, növeli szerkezeti integritását, és hozzájárul a hegesztett alkatrész vagy szerkezet általános sikeréhez és megbízhatóságához.

1.1.6. Fémek mechanikai vizsgálatának módszerei

A mechanikai vizsgálatok a fémek viselkedésére vonatkozó összes meghatározásra vonatkoznak meghatározott, hagyományosan meghatározott, mechanikusan előírt körülmények között. A mechanikai vizsgálatok a keletkező makroszkopikus deformáció típusától (feszültség, tömörítés, hajlítás, torzió, keménység stb.), A terhelés alkalmazási módjától (statikus, dinamikus, változó nagyságú és irányú), a vizsgálat elvégzésének hőmérsékletétől (meleg, hideg, szobahőmérsékleten) stb. Függően változnak. A leggyakoribb megközelítések közé tartoznak a statikus szakítóvizsgálatok, a keménységvizsgálatok és a dinamikus ütéhajlítás tesztek.

a) Statikus szakítószilárdsági vizsgálatok

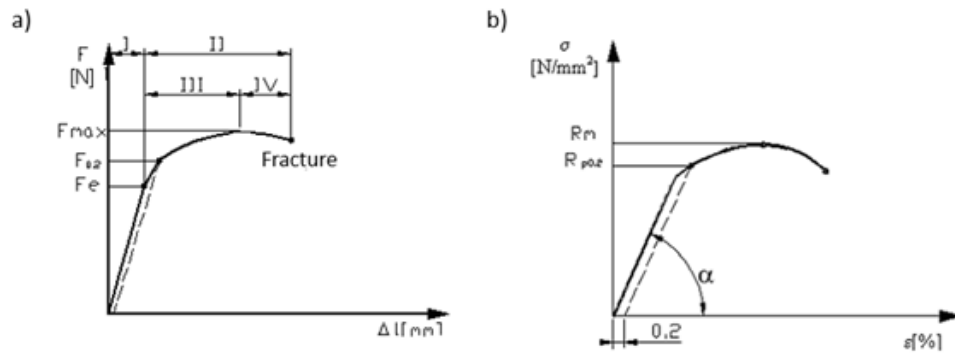
Ezeket a vizsgálatokat szabványos méretű rudak, huzalok vagy szalagok formájában lévő mintákon végzik. A szakítópróba leggyakrabban használt alakját és elsődleges méreteit az 1.3.30. ábra mutatja be.



1.3.30. ábra: Szakítószilárdsági statikus próbadarab

Az L_0 kezdeti hosszt és a d_0 kezdeti átmérőt úgy választjuk meg, hogy az $n = L_0/d_0$ jelölésű dimenzióarány értéke $n = 5$ vagy $n = 10$ legyen. A minták feldolgozását a STAS 7324 - 75 írja le, míg a minta előkészítésének alakját, méreteit és feltételeit a STAS 200 - 87 határozza meg.

A szakítóvizsgálatokhoz használt gépek olyan regisztrálóval vannak felszerelve, amely ábrázolja az F axiális erő és a minta Δl nyúlása közötti kapcsolatot. Az 1.3.31. ábra egy alacsony széntartalmú acél szakítófeszültség-alakváltozás görbéjét ábrázolja.



1.3.31. ábra: a) Alacsony széntartalmú acél szakítógörbéje; b) Alacsony széntartalmú acél hagyományos szakítógörbéje.

Megkülönböztetjük:

- I - A rugalmas deformáció tartománya.
- II - A képlékeny deformáció területe.
- III - Egységes deformáció.
- IV - Nem egyenletes deformáció (nyak).

Az I tartományban az anyag rugalmas deformációja következik be Hooke törvényét követve: $\varepsilon = \sigma/E$.

A hagyományos szakítógörbe (1.3.32. ábra) a mechanikai feszültség σ közötti összefüggést ábrázolja, amelyet az erő és a keresztmetszeti terület ($\sigma = F/A$ [N/mm²]) arányaként határozzuk meg, és a relatív nyúlási ε között, amelyet a minta Δl nyúlásának és kezdeti hosszának arányaként határoznak meg L_0 .

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Ebből a görbéből a következő jellemzők határozhatók meg:

Szakítószilárdság, R_m , a legnagyobb terhelésnek a próbadarab kezdeti keresztmetszeti területéhez viszonyított arányaként meghatározva:



$$R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Hagyományos folyáshatár, $R_{p0,2}$, amelyet a 0,2% képlékeny alakváltozást eredményező terhelés és a próbadarab kezdeti keresztmetszeti területének arányaként kapunk:

$$R_{p0,2} = \frac{F_{0,2}}{S_0} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Hosszanti rugalmassági modulus, E , amely a hagyományos szakítógörbe lineáris részének merekségét jelenti: $\sigma/E = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon$;

Szakadási nyúlás, A_n , amelyet a mintadarab nyúlásának és kezdeti hosszának arányaként határoznak meg:

$$A_n = \frac{L_f - L_0}{L_0} \cdot 100[\%]$$

ahol L_f a próbadarab törés utáni hossza, n pedig a dimenziós tényező.

Nyakkivágás töréskor, Z , a minta kezdeti és végső keresztmetszeti területe közötti különbségként kifejezve a kezdeti keresztmetszeti területhez képest:

$$Z = \frac{S_0 - S_f}{S_0} \cdot 100[\%]$$

ahol S_0 a próbadarab kezdeti keresztmetszeti területe, és S_f a végső keresztmetszeti terület a törészónában.

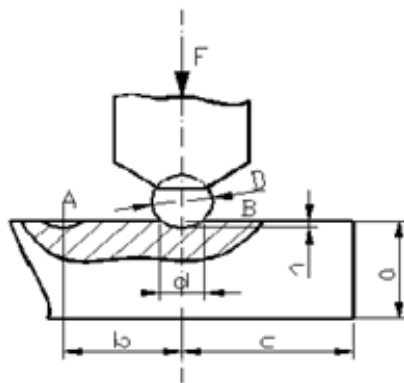
b) Keménységi vizsgálatok

A keménység az anyag azon tulajdonsága, hogy ellenálljon a felületén lévő lokalizált statikus vagy dinamikus érintkezési terhelések által okozott képlékeny deformációnak. Ez az egyik leggyakrabban használt mechanikai tulajdonság a fémes anyagok jellemzésére, és az anyag kémiai összetételétől és szerkezeti állapotától függ.

Számos módszer létezik a keménység meghatározására az anyag felületére meghatározott erővel préselt behatoló által keltett lenyomat mérete alapján. A legmegfelelőbb keménységvizsgálati módszer kiválasztása figyelembe veszi:

- A vizsgált anyag jellege.
- A teszt pontossága.
- A minta méretei.
- A meghatározás költséghatékonysága.

A Brinell-módszer magában foglalja az anyag felületének bemélyesztését egy D átmérőjű, a felületre merőleges acélgolyóval, amint azt az 1.3.32. ábra mutatja.



- D = ball diameter
- h = depth of the trace
- d = trace diameter
- a = thickness of the part
- b = distance between two traces
- c = distance between the trace and the edge of the part

1.3.32. ábra: Brinell-keménység meghatározása

A keménységet az alkalmazott F erő és a behatoló által a vizsgált felületen hagyott benyomás S gömb alakú kupakterületének arányában fejezzük ki:

$$HB = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ [daN/mm}^2\text{]}$$

A terhelés időtartama, a két nyomvonal közötti minimális távolság (b), valamint a nyomvonal és a minta széle közötti távolság (c) az anyag keménységétől függ.

A vizsgálatnak alávetett minták minimális vastagságának (a) a lenyomat mélységének 8-szorosának kell lennie, hogy elkerülhető legyen a készülék támasztékának a keménységre gyakorolt hatása.

A gyakorlatban a keménységi értéket a nyomvonal átmérőjén alapuló táblázatokból származtatják, egy adott terhelési erőre és golyóátmérőre.

Ezt a módszert lágy ötvözetekhez (színesfémek és lágyított acélok) használják.

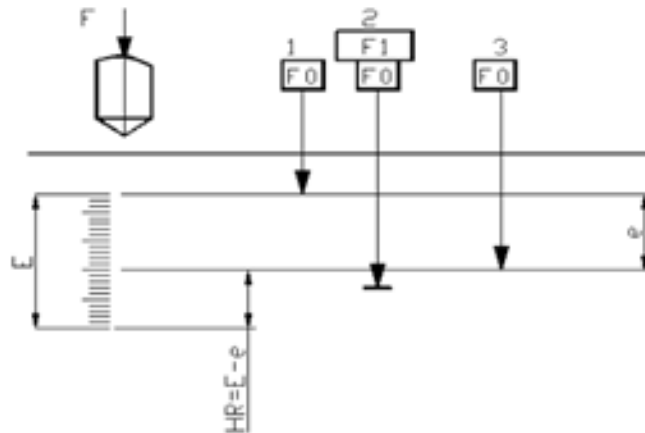
A keménységet a mért érték jelöli, amelyet a HB jel és egy három számból álló csoport követ, amely a golyó átmérőjét mm-ben, a terhelési erőt N-ban és az időtartamot másodpercben jelzi.

Példa: 270HB5/700/5

A Rockwell módszer lehetővé teszi a keménység értékelését a behatoló maradék benyomásának mélységén keresztül. A behatoló lehet gyémántkúp 120°-os csúcshözzel vagy edzett acélgolyó.

Ez a módszer kemény és nagyon kemény anyagokra (edzett acél, fehér öntöttvas), valamint lágy anyagokra egyaránt vonatkozik. A gyémántkúppal (HRC) vagy golyóval (HRB) végzett vizsgálatot az 1.3.33. ábra szerinti séma szerint kell elvégezni, a behatolót először F0 kezdeti erővel nyomják a mérési felületre. A mérési mélység eszköz nullára van állítva, majd az F1 erőt alkalmazzák. 15, 30 vagy 60 másodperces intervallum elteltével az F1 túlerőt eltávolítják, és a HRC keménységét

úgy határozzuk meg, hogy kivonjuk a tényleges behatolási mélységet e a hagyományos E állandó Rockwell-egységmértékéből.



1.3.33. ábra: A Rockwell-keménység meghatározása

A keménység jelölése ezzel a módszerrel a HRC (vagy HRB) szimbólummal történik, amelyet a keménység értéke követ.

Példa: 45 HRC

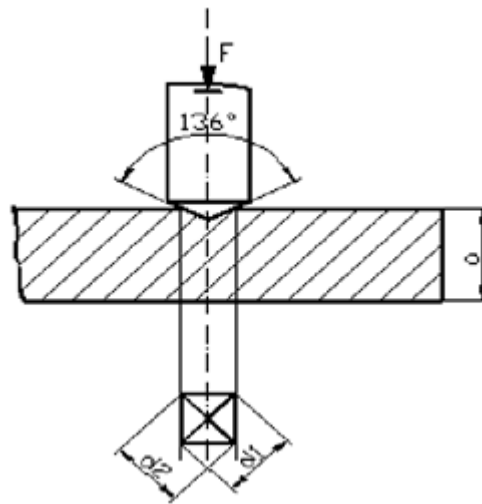
A Vickers-módszer (1.3.34. ábra) elvben hasonló a Brinell-módszerhez, amely magában foglalja egy derékszögű piramis alakú behatoló alkalmazását, négyzet alappal és 136°-os csúcshöszöggel a tesztfelületen. A Vickers-keménységet HV-ként jelöljük, és az alkalmazott F erő és a behatoló által hagyott benyomás oldalterületének aránya határozza meg. A gyakorlatban a területet a nyom átlójának átlagos értéke alapján határozzák meg, a következő képlet szerint:

$$HV = 1,8544 \cdot \frac{F}{d^2} \text{ [daN/mm}^2\text{]}$$

Ez a módszer lágy és kemény anyagokra egyaránt alkalmazható. Mikrocheménység mérésére is használható egy vizsgálóberendezés optikai metallográfiai mikroszkóppal való összekapcsolásával. Ily módon meghatározható a szerkezeti elemek és a nagyon finom szerkezetek keménysége. Ebben az esetben a HV keménységet a következő képlettel határozzuk meg:

$$HV = 1,8544 \cdot \frac{F}{(d+1,5)^2}$$

Ahol d a nyomvonal átlója, és 0,25 korrekciós tényező.



1.3.34. ábra: Vickers-keménység meghatározása

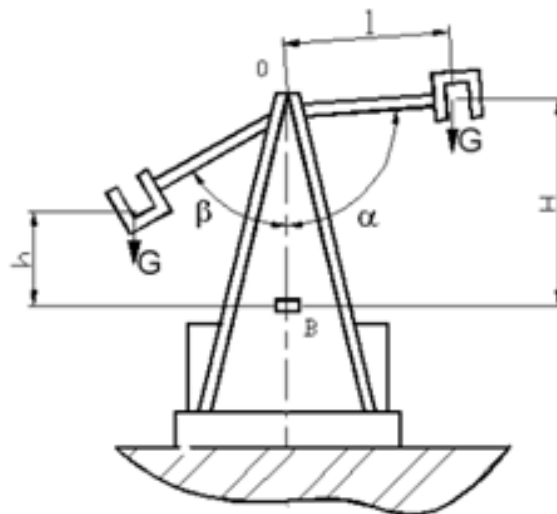
A keménység jelölése a HV szimbólummal történik, amelyet a keménység értéke követ, majd egy daN-ban kifejezett terhelést jelző kijelző követ (ha eltér a 30 daN-tól), majd a terhelés időtartamát másodpercben (ha eltér 10...15s-től).

c) Dinamikus ütközéshajlítási vizsgálat (rugalmassági teszt)

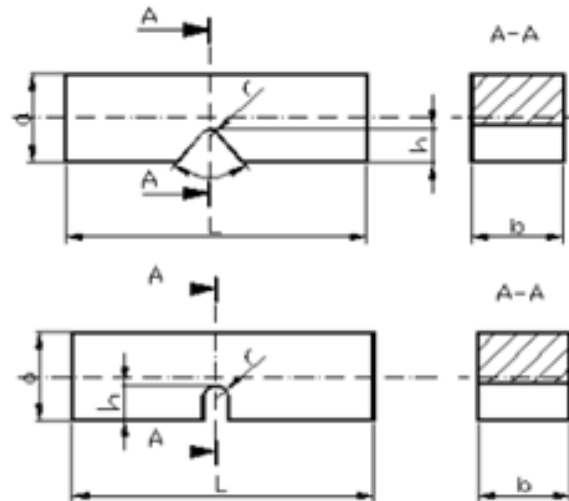
Ez az anyagok szívósságának értékelésére szolgáló módszer.

A szívósság az anyag hirtelen repedésterjedéssel szembeni ellenállását jelenti.

A leggyakrabban használt készülék a Charpy-inga kalapács, amely G súllyal van felszerelve, amely az O középpont körül oszcillál (1.3.35. ábra).



1.3.35. ábra: Charpy-inga kalapács.



1.3.36. ábra: Minták ütközéshajlítási vizsgálathoz

A felhasznált mintadarabok jellemzően prizmaszerűek, 10 x 10 x 55 mm méretűek és "U" vagy "V" bevágással rendelkeznek (1.3.36. ábra).

A keret két tartójára helyezett minta töréséhez a kalapács leesik az eredetileg beállított H magasságból, és miután a minta megszakadt, h magasságra emelkedik.

A próbadarab töréséhez felhasznált energiát a következő egyenlet adja meg:

$$W = W_0 - W_f = G \cdot (H - h)$$

hol:

W_0 = a kalapács potenciális energiája a kiindulási helyzetben.

W_f = potenciális energia a végső helyzetben.

A gyakorlatban a készülék lehetővé teszi annak a szögnek a meghatározását, amelyet a kalapács l hosszúságú rúdja a függőlegessel a kiindulási helyzetben α , valamint azt a szöget, β amelyet a kalapács rúdja a függőlegessel a próbadarab törése után végez. A H és h magasságot α és β szögekben, valamint l hosszúságban kifejezve a minta törése során felhasznált energia a következőképpen írható fel:

$$W = G \cdot l (\cos \beta - \cos \alpha) \text{ [J]}$$

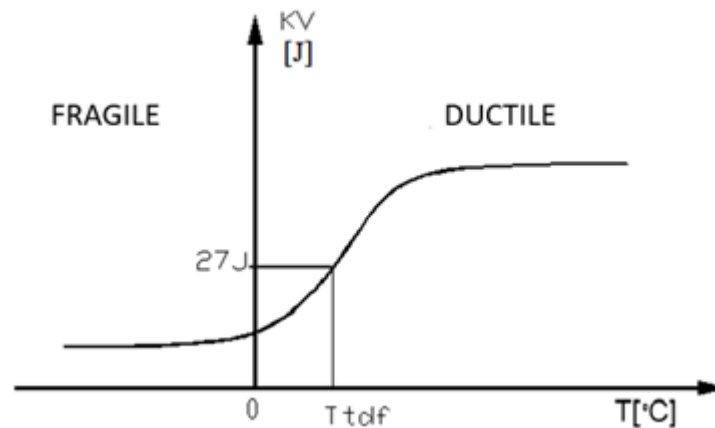
A minták "U" bevágással történő vizsgálata esetén a rugalmasság a minta töréséhez felhasznált energia és a bevágás keresztmetszeti területének aránya. Ezt KCU-ként szimbolizálják, és J/cm²-ben fejezik ki. Így a KCU 150/2/5 = 100 J/cm² jelölés 100 J/cm² rugalmassági értéket jelent, amelyet $W_0 = 150$ J potenciális energiájú ingalapáccsal határoznak meg a h = 2 mm mélységű és b = 5 mm szélességű "U" hornyolt mintákon.

A "V" rovátkolt mintákkal végzett vizsgálatban a rugalmasság a töréshez felhasznált energiát jelenti. Ebben az esetben a szimbólum KV, és J-ben van kifejezve. A KV 300/5 = 70 J jelölés a törési

energia (70 J) értékét jelöli, amelyet $W_0 = 300 \text{ J}$ potenciális energiájú kalapáccsal határoznak meg egy $b = 5 \text{ mm}$ szélességű "V" hornyolt próbadarabon.

A rugalmassági vizsgálat reprezentatívabb, ha különböző hőmérsékleteken végzik a képlékeny törés és a törékeny törés közötti átmeneti hőmérséklet meghatározására, mivel az anyagok különböző üzemi hőmérsékleten eltérően viselkednek.

Megfigyelhető, hogy a törés során elnyelt energia a hőmérséklet csökkenésével csökken (1.3.37. ábra).



1.3.37. ábra: Reziliencia változása a hőmérséklet függvényében

Általában úgy becsülik, hogy az a hőmérséklet, amelyen a képlékeny-törékeny átmenet (TDBT) bekövetkezik, az a hőmérséklet, amelyen a törési energia értéke $KV = 27 \text{ J}$. Reziliencia mintákon az anyag hajlékonysága a kristályos felületnek a teljes törésfelülethez viszonyított arányával értékelhető.

KÖVETKEZTETÉSEK

Összefoglalva, a makroszkópos vizsgálat elengedhetetlen eszköz a hegesztési technológia területén. Értékes betekintést nyújt a hegesztett kötések jellemzőibe, hibáiba és minőségébe, lehetővé téve a hatékony értékelést és értékelést. Az e-tanfolyam során feltártuk a makroszkopikus vizsgálat különböző aspektusait, beleértve annak meghatározását, célját, előnyeit és korlátait.

Megtudtuk, hogy a makroszkópos vizsgálat alapvető módszerként szolgál a hegesztési minőség felmérésére, a hibák azonosítására és a hegesztett kötések integritásának biztosítására. Lehetővé teszi a hegesztési profilok, méretek és felületi szabálytalanságok vizuális ellenőrzését, alapvető információkat szolgáltatva a kötések konfigurációjáról, behatolásáról, megerősítéséről és általános megjelenéséről. A makroszkopikus jellemzők, például a hegesztés mérete, alakja és megerősítése elemzésével értékes betekintést nyerhetünk a hegesztési folyamatba és a kötés integritásába.

Ezenkívül a makroszkópos vizsgálat kiegészíti az egyéb ellenőrzési technikákat, beleértve a roncsolásmentes vizsgálatot és a mikroszkópos vizsgálatot. Segít az olyan hibák kimutatásában és jellemzésében, mint a porozitás, repedések, fúzió hiánya és hiányos behatolás. A



szemrevételezéses ellenőrzés más vizsgálati módszerekkel való kombinálásával átfogó képet kaphatunk a hegesztés minőségéről és teljesítményéről.

A tanfolyam során hangsúlyoztuk a megállapított szabványok és előírások betartásának fontosságát. Az európai szabványok egyértelmű iránymutatásokat adnak a makroszkopikus vizsgálatokhoz és a hegesztési minőség értékeléséhez, biztosítva az ellenőrzési folyamat következetességét és megbízhatóságát. Ezek a szabványok felvázolják az elfogadási kritériumokat, a hibasztyalizásokat és az értékelési módszereket, lehetővé téve a hatékony minőségellenőrzést és ellenőrzést.

Ezenkívül megvizsgáltuk a hegesztés utáni vizsgálat jelentőségét, beleértve a hegesztés javítását és a javítás utáni ellenőrzést. A hegesztés utáni vizsgálat lehetővé teszi a javítási eljárások hatékonyságának értékelését, biztosítva, hogy a javított kötés megfeleljen a szükséges szabványoknak és előírásoknak.

Összességében a makroszkópos vizsgálat döntő szerepet játszik a hegesztés minőségellenőrzésében, a hibák azonosításában és a hegesztett kötések megbízhatóságának biztosításában. Lehetővé teszi számunkra, hogy megalapozott döntéseket hozzunk a hegesztések elfogadásával vagy elutasításával kapcsolatban, értékeljük a kötések teljesítményét és integritását, és megfelelő korrekciós intézkedéseket hajtsunk végre. A makroszkópos vizsgálat alapelveinek és technikáinak megértésével javíthatjuk a hegesztett szerkezetek és alkatrészek minőségét, biztonságát és tartósságát.

A metallográfia és a hegesztéstechnika szakembereiként elengedhetetlen, hogy folyamatosan fejlesszük ismereteinket és készségeinket a makroszkopikus vizsgálatok terén. Ez a kurzus szilárd alapot nyújtott a makroszkopikus vizsgálat jelentőségének, módszertanának és alkalmazásának megértéséhez. A kurzuson szerzett ismeretek alkalmazásával hozzájárulhatunk a hegesztési technológia fejlődéséhez, elősegíthetjük a minőségbiztosítást és biztosíthatjuk a hegesztett szerkezetek sikeres megvalósítását a különböző iparágakban.

REFERENCES

- [1.3.1] EN ISO 5817:2014 - Welding - Fusion-Welded Joints in Steel, Nickel, Titanium, and Their Alloys (Quality Levels for Imperfections)
- [1.3.2] EN ISO 17637:2011 - Non-Destructive Testing of Welds - Visual Testing of Fusion Welded Joints
- [1.3.3] EN 970:1997 - Non-Destructive Examination of Fusion Welded Joints
- [1.3.4] EN 1290:1997 - Destructive Tests on Welds in Metallic Materials - Macroscopic Examination of Welds
- [1.3.5] GAMMON, Luther M., et al. Metallography and microstructures of titanium and its alloys. ASM handbook, 2004, 9: 899-917.
- [1.3.6] ZIPPERIAN, Donald C. Metallographic handbook. Chief Technical Officer PACE Technologies: Tucson, AR, USA, 2011.

- [1.3.7] Hadzihafizovic, Dzevad. Welding Imperfections and Materials Inspection Procedures and Techniques, 2023.
- [1.3.8] PINTO-LOPERA, Jesús Emilio; ST MOTTA, José Mauricio; ABSI ALFARO, Sadek Crisostomo. Real-time measurement of width and height of weld beads in GMAW processes. Sensors, 2016, 16.9: 1500.
- [1.3.9] EN ISO 17636-2:2013 - Non-destructive testing of welds - Radiographic testing - Part 2
- [1.3.10] EN ISO 17636-3:2013 - Non-destructive testing of welds - Radiographic testing - Part 3
- [1.3.11] EN ISO 16810:2004 - Non-destructive testing - Ultrasonic testing - Time-of-flight diffraction technique as a method for detection and sizing of discontinuities
- [1.3.12] EN ISO 23278: Non-destructive testing of welds - Magnetic particle testing
- [1.3.13] EN ISO 3452: Non-destructive testing - Penetrant testing
- [1.3.14] EN ISO 10042: Welding - Arc-welded joints in aluminium and its alloys - Quality levels for imperfections
- [1.3.15] EN ISO 15614-1: Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test - Part 1
- [1.3.16] EN ISO 14731: Welding coordination - Tasks and responsibilities
- [1.3.17] EN ISO 3834: Quality requirements for fusion welding of metallic materials
- [1.3.18] EN ISO 17637: Non-destructive testing of welds - Visual testing of fusion-welded joints
- [1.3.19] EN ISO 5817: Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium, and their alloys (Quality levels for imperfections)
- [1.3.20] EN ISO 13920: Welding - General tolerances for welded constructions - Dimensions for lengths and angles - Shape and position
- [1.3.21] EN 1290: Welding - Determination of Ferrite Number (FN) in austenitic and duplex ferritic-austenitic Cr-Ni stainless steel weld metals
- [1.3.22] EN ISO 17635: Non-destructive testing of welds - General rules for metallic materials
- [1.3.23] EN ISO 10275: Welding - Joint preparation - Part 3: Metal inert gas welding and tungsten inert gas welding of copper and its alloys
- [1.3.24] EN ISO 10042: Welding - Arc-welded joints in aluminium and its alloys - Quality levels for imperfections
- [1.3.25] BODEA, Marius. Sudare și procedee conexe. UT Press, 2016.
- [1.3.26] Information on: <https://amarineblog.com/2019/09/05/groove-design-bevel-preparation/>
- [1.3.27] Information on: <https://www.boconline.co.uk/en/processes/welding/welding-defects/porosity.html>



- [1.3.28] Information on: <https://www.boconline.co.uk/en/processes/welding/welding-defects/lack-of-fusion.html>
- [1.3.29] Information on: <https://www.slideserve.com/anne-lott/visual-guide-to-weld-defects-discontinuities>
- [1.3.30] Information on: <https://in.pinterest.com/pin/types-of-welding-defects-causes-and-remedies-in-2023--838795499369764806/>
- [1.3.31] Information on: <https://www.boconline.co.uk/en/processes/welding/welding-defects/distortion.html>
- [1.3.32] Pulsed Arc Welding Applied to Robotized Joining of Thin Car-Body Steel Sheets - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Imperfections-found-during-visual-inspections-local-spatters-a-b-uneven_fig4_271390435
- [1.3.33] Information on: https://www.linkedin.com/pulse/csa-w59-18-weld-quality-acceptance-criteria-karsten-madsen?utm_source=share&utm_medium=guest_desktop&utm_campaign=copy
- [1.3.34] Information on: <https://www.triquestndt.com/conventional/ultrasonic-testing>
- [1.3.35] Information on: <https://www.matsusada.com/column/words-ndt.html>
- [1.3.36] Information on: <https://wdbgroup.co.uk/blog/what-is-magnetic-particle-inspection-all-you-need-to-know/>
- [1.3.37] Information on: <https://encorus.com/2020/07/17/liquid-penetrant-testing/>
- [1.3.38] Information on: <https://resources.arcmachines.com/how-to-do-a-pipe-welding-visual-inspection-ami/>

1.2. Mikroszkópos vizsgálat és alkalmazása hegesztési technológiában

Az optikai (könnyű) mikroszkóp továbbra is a mikrostruktúra tanulmányozásának legfontosabb eszköze, a kifinomult elektron-metallográfiai eszközök fejlődése ellenére. A pásztázó elektronmikroszkópia (SEM) és a transzmissziós elektronmikroszkópia (TEM) szintén értékes eszközök; A mikrostruktúra vizsgálatát azonban optikai mikroszkóppal kell kezdeni, alacsony nagyítással kezdve, például 25×-os nagyítással, amelyet fokozatosan növekvő nagyítások követnek a mikroszerkezet alapvető jellemzőinek hatékony felmérése érdekében.

A legtöbb mikrostruktúra optikai mikroszkóppal megfigyelhető és jellemzőik alapján azonosítható. A megkérdőjelezhető vagy ismeretlen összetevők azonosítását segítheti a mátrixukhoz viszonyított keménységük, természetes színük, polarizált fényre adott válaszuk és szelektív maratóanyagokra adott válaszuk megfigyelése. Ezeket a megfigyeléseket összehasonlítják a vizsgált anyag fizikai kohászatának ismert részleteivel. Ha továbbra is kétség

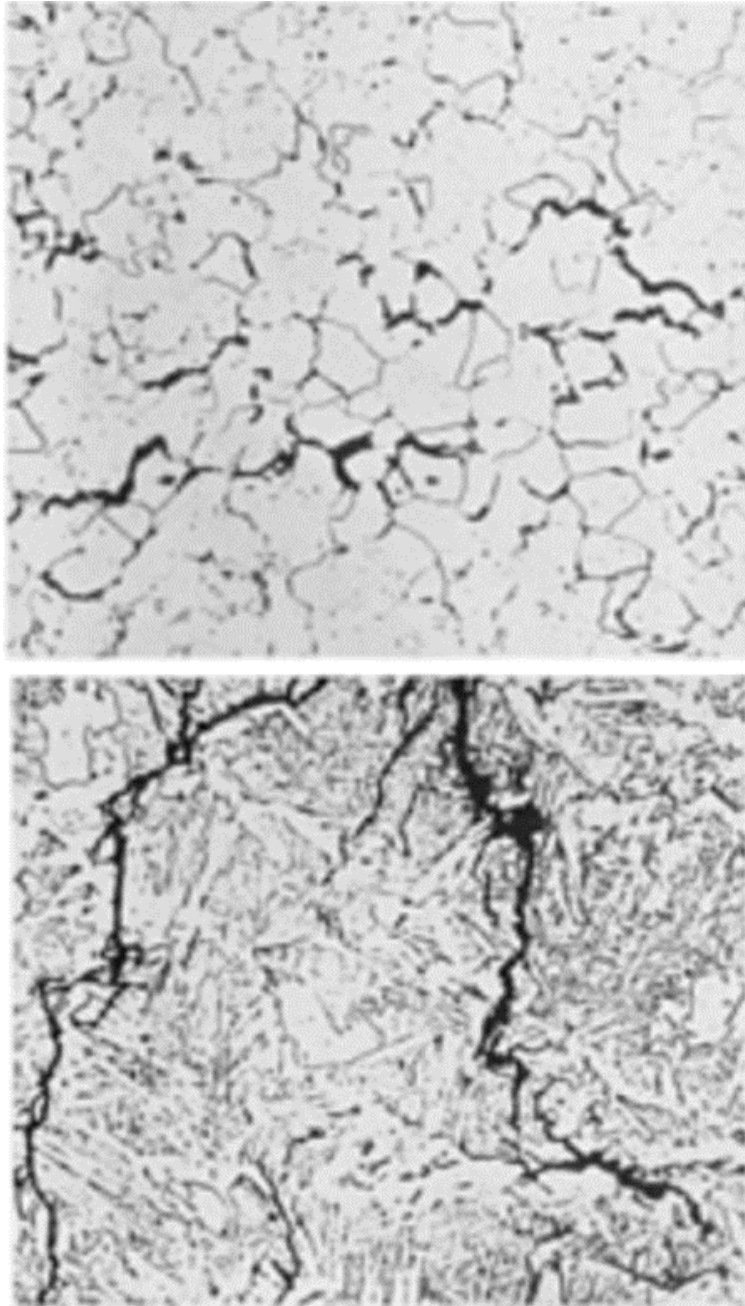


merül fel, vagy ha a szerkezet túl finom ahhoz, hogy megfigyelhető legyen, kifinomultabb technikákat kell alkalmazni, amelyeket optikai mikroszkóppal együtt használnak, nem pedig helyettesítőként.

A pásztázó elektronmikroszkóp az egyik legsokoldalúbb eszköz fémes anyagok mikroszerkezetének vizsgálatára. Az optikai (fény) mikroszkóppal összehasonlítva több mint egy nagyságrenddel kiterjeszti a felbontási tartományt **körülbelül 10 nm-re (100) a rutin műszerekben, 3 nm alatti végértékekkel (30)**. A hasznos nagyítás így túlmutat 10 000× 150 000 ×-ig, bezárva az optikai és a transzmissziós elektronmikroszkóp közötti rést. Az optikai mikroszkópiához képest a fókuszmélység, amely 10 000 m-től 10 000× 2 mm-ig (0,08 hüvelyk) 10×-ig terjed, több mint két nagyságrenddel nagyobb, a nagyon kis sugárnyílás miatt.

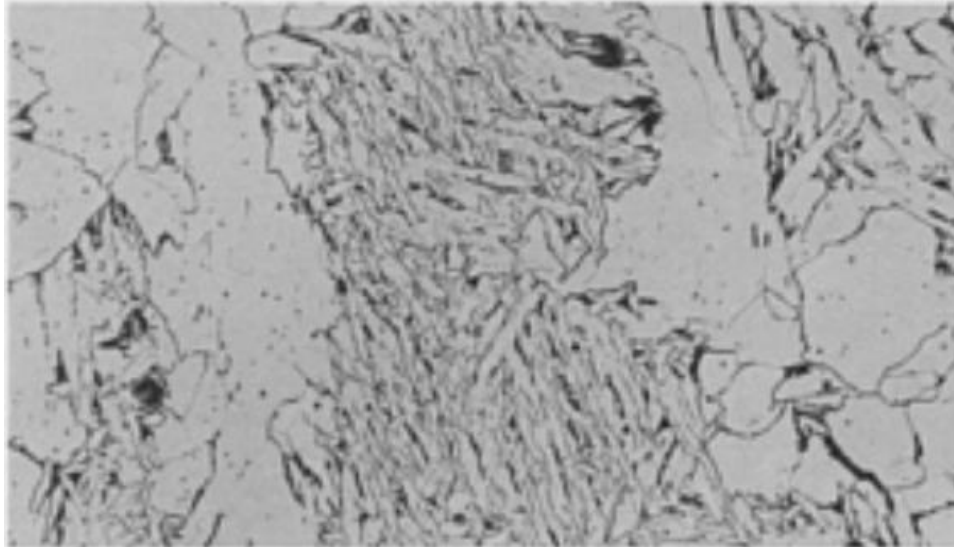
A pásztázó elektronmikroszkópia (SEM) általában könnyen értelmezhető képalkotási lehetőségeket kínál, és tiszta képeket tár fel a polírozott és maratott keresztmetszetekről, valamint a durva felületekről. A pásztázó elektronmikroszkóphoz rutinszerűen csatlakoztatott berendezéssel végzett energiadiszperzív röntgenanalízis az összetétel félkvantitatív és kedvező esetben kvantitatív elemzését tartalmazza kis térfogatból, jó oldalirányú felbontással. A SEM széles körű alkalmazásokat talált az anyagkutatásban, az anyagfejlesztésben, a hibaelemzésben és a minőségellenőrzésben.

Mikroszkópos vizsgálattal a hegesztés különböző aspektusai láthatók és elem- A zhetők. Olyan szempontok, mint a tökéletlenségek vagy hibák (1.4.1. ábra), a mikrostruktúrák (1.4.2. ábra) és a hegesztési folyamat termikus rendszere.



B

1.4.1. ábra. A. Repedések hegesztési fémekben ASTM A285, C osztály, acéllemez. A maró ridegedésből eredő repedések transzgranulárisak és szemcséséek. Maratás: Nital. 275 \times . B. Az ASTM A285 C osztályú acéllemezen lévő repedések, amelyek egy évig 480 °C-on üzemeltek egy finomítói hajón, hidrogén behatolása miatt. Ferrit csak néhány karbid részecskével - a hidrogén dekarburálásának eredménye. Nital. 275-ször
(Forrás: ASM kézikönyv, 9. kötet. Metallográfia és mikrostruktúrák)



1.4.2. ábra. 16 mm-es A-36 acéllemez, többszörös áteresztésű árnyékolt fémív egy-V tom-
pahegesztés. Hőteljesítmény: 1,3 kJ/mm. Hegesztőhuzal: AWS E7018. Fúziós zóna
mikroszerkezet, amely bainitot és ferrit-karbid aggregátumot tartalmaz durva szemcsés
határferritben. 2% nital. 500× (Forrás: ASM kézikönyv, 9. kötet. Metallográfia és
mikrostruktúrák)

1.2.1. Egyensúlyi fázisok

A fázis egy olyan rendszer homogén részét képviseli, amelynek kémiai összetétele és teljes térfogatában azonos az aggregációs állapota, és amelyet fázishatárok, például szemcsehatárok választanak el a rendszer többi részétől. A fázis szerkezete az atomok alakjától, méretétől és kölcsönös elrendezésétől függ.

A mikroszerkezeti alkotórészek két vagy több fázisból állhatnak, amelyek egyidejűleg válnak le a folyadékról a rendszer legalacsonyabb szilárdulási hőmérsékletén (eutektikus átalakulás), vagy amelyek szilárd állapotban történő fázisátalakulások eredményeként jelennek meg (eutektoid transzformáció). Optikai vagy elektronikus mikroszkóppal azonosítják, és tartalmazhat: tiszta fémet, szilárd oldatot, meghatározott vegyületet vagy mechanikai keveréket.

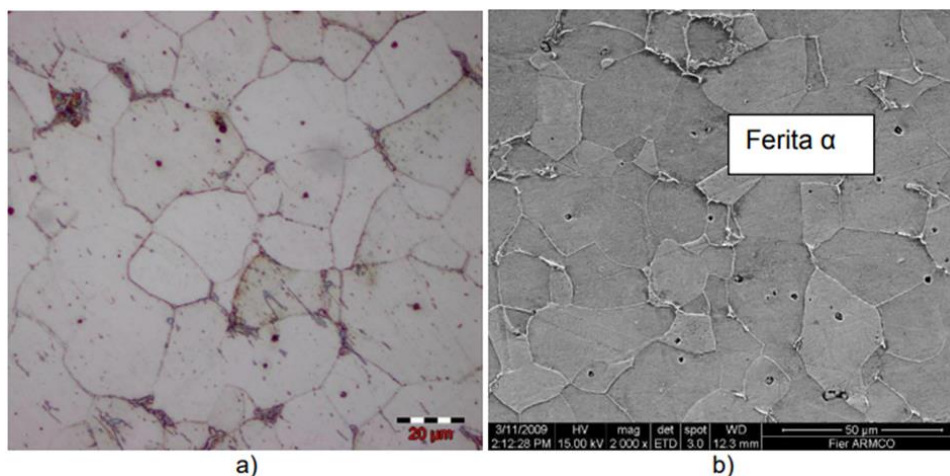
A fűtési vagy hűtési folyamatok során, vagy amikor az aggregáció állapotát folyékonyról szilárdra változtatják, a fémötvözetek szilárd állapotban fázisátalakuláson mennek keresztül. A transzformációk fő típusai a következők: homogén transzformációk, amelyek egyidejűleg zajlanak a darab teljes térfogatában, csírázási és növekedési folyamatok nélkül, valamint



heterogén transzformációk, amelyek csírázás és növekedés útján fordulnak elő (diffúzióval, diffúzió nélkül).

A nem ötvözött acélban vagy gyengén ötvözött acélban található fő egyensúlyi fázisok a következők: **ferrit, gyöngyház és cementit**.

Az alfa-ferrit a vas stabil formája szobahőmérsékleten. 727 °C alatti hőmérsékleten lágy és ferromágneses, 727 és 912 °C között paramágneses. Az alfa-ferrit a lágyacél nagy összetevője, de jelen van minden vas-szénvegyületben, amelyet szobahőmérsékletre hűtöttek, és más formákkal, például cementittel együtt léteznek.



1.4.4. ábra. ALFA-FERRIT: a) optikai mikroszkópia (200x); b) SEM(2000x).

Az ausztenit, más néven gamma-fázisú vas (γ -Fe), a vas fémes, nem mágneses allotropja vagy a vas szilárd oldata ötvözőelemgel. A sima szénacélban az ausztenit a kritikus 727 °C-os eutektoid hőmérséklet felett van. Néhány rozsdamentes acélban szobahőmérsékleten létezik nikkell jelenléte miatt, amely alacsonyabb hőmérsékleten stabilizálja az ausztenitet.

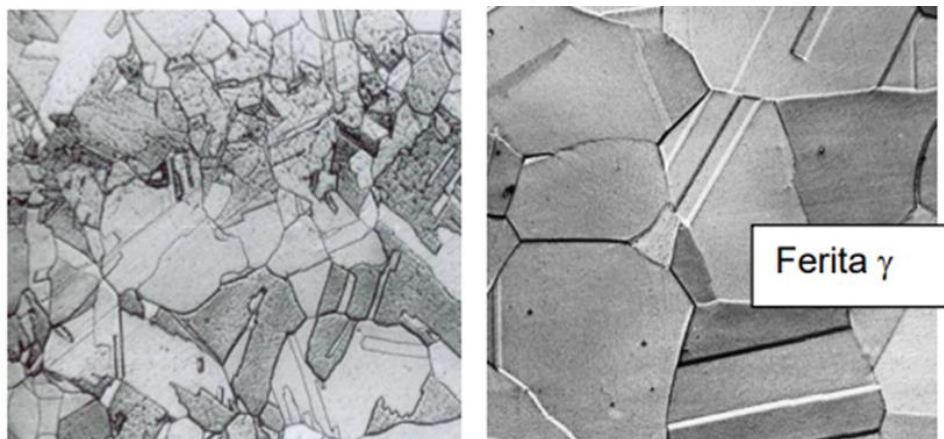


Fig. 1.4.5. AUSTENITE



A delta-ferrit csak nagyon magas hőmérsékleten, az olvadásponthoz közeli állófázis; stabilá válik, ha ferrit stabilizátorokkal társul, mint például: Cr, Mo, Si, Nb. Így a delta-ferrit a rozsdamentes acél gyártásának hűtési fázisában képződik. Ausztenit szemcsés határfázisként kezdődik, amely lehűléskor delta ferrit fázissá válik.

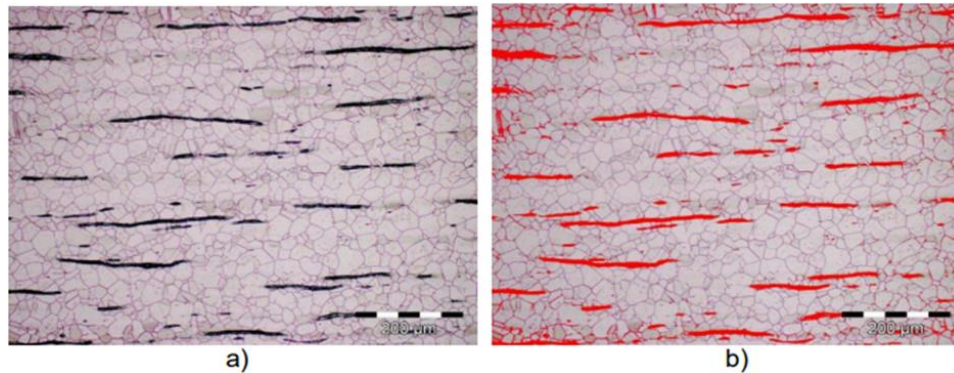
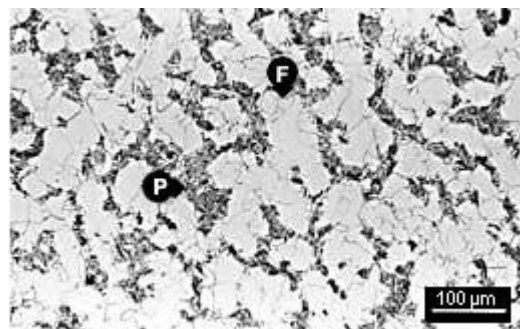


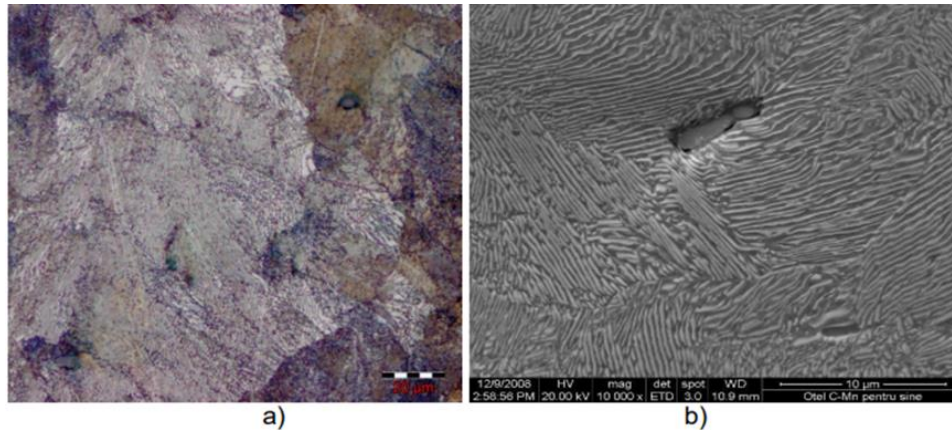
Fig. 1.4.6. Delta ferrite in stainless steel(16% Cr, 10% Ni) disposed inbetween austenite grains.

a) Real microstructure; b) Processed image using an Image Analysis program.

A gyöngyház egy kétfázisú, lamellás (réteges vagy lemezszerű) szerkezet, amely váltakozó alfa-ferrit és cementit rétegekből áll, amely egyes acélokban és öntöttvasokban fordul elő. A gyöngyház csak speciális körülmények között képződik, amelyeket ellenőrizni kell ennek az ötvözeti fázisnak a létrehozásához. Az ausztenit eutektoid bomlásával keletkezik a C atomok diffúziójával történő hűtéskor, amikor a ferrit és a cementit folyamatosan növekszik, a C Fe_3C formájában csapódik ki a ferrit lécei között az előrehaladó határfelületen, párhuzamos Fe és Fe_3C léceket hagyva, ami gyöngyház.

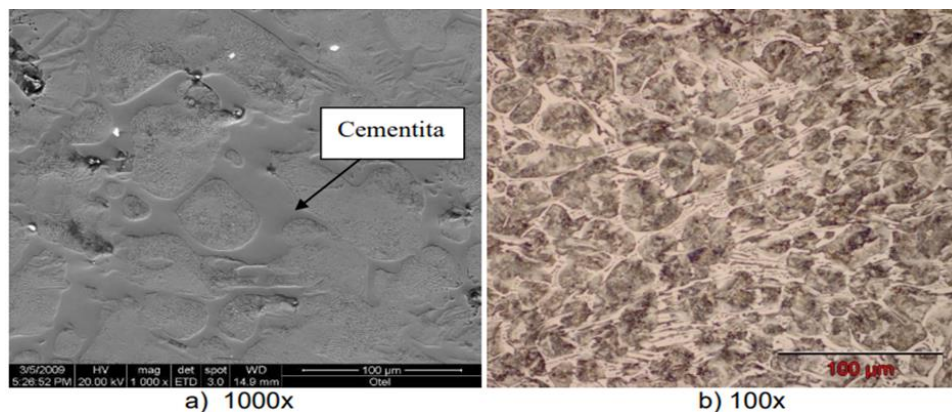


Füge. Alfa-ferrit(F) és peralit(P). Forrás: TWI()



1.4.76. ábra. Lamelláris gyöngyház. Maratás: Nital 2%: a) Optikai mikroszkópia (1000x); b) SEM (10000x)

A **cementit** (vagy vas-karbid) vas és szén vegyülete, pontosabban közbenső átmeneti fémkarbid, Fe_3C képlettel. Tömeg szerint 6, 67% szén és 93, 3% vas. Ez egy kemény és törékeny szerkezet, amelynek Brinell-keménysége általában 700-750HB. A hipereutektoidban az acél a gyöngyszemcséket veszi körül, míg öntöttvasban tú alakú szerkezet vagy poliéderez kristályok vannak.



1.4.87. ábra. Hypereutectoide acél. a) Gyöngyház és cementit (SEM); b) Optikai mikroszkópia

1.2.2. Hőkezelések

A hőkezelés a fémek melegítésének és hűtésének folyamata, speciális, előre meghatározott módszerekkel a kívánt tulajdonságok elérése érdekében. Egyszerűen fogalmazva, a hőkezelés a fém melegítésének folyamata, ezen a hőmérsékleten tartása, majd visszahűtése. A folyamat során a fém rész mechanikai tulajdonságai megváltoznak. Ez azért van, mert a magas hőmérséklet megváltoztatja a fém mikroszerkezetét. A mikrostruktúra fontos szerepet játszik az anyag mechanikai tulajdonságaiban.

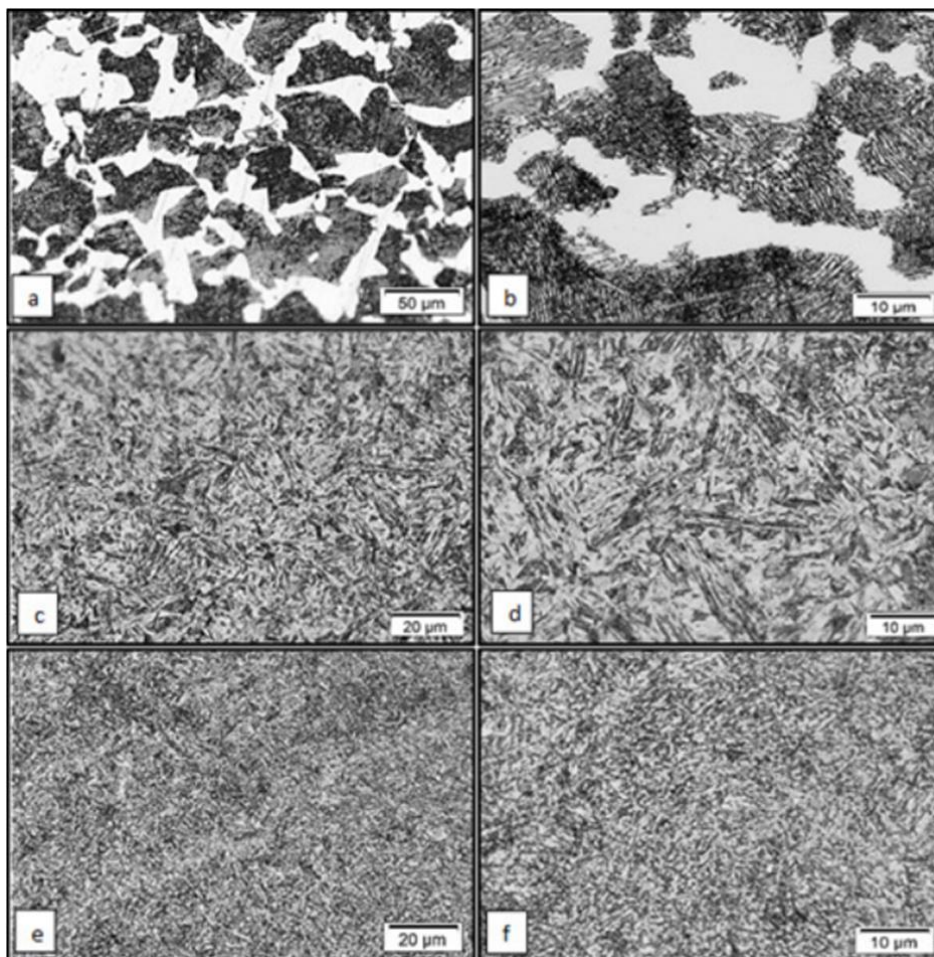
A végeredmény számos különböző tényezőtől függ. Ezek közé tartozik a fűtés ideje, a fémrész bizonyos hőmérsékleten tartásának ideje, a hűtés sebessége, a környezeti



A munkakörülmények közötti technológiai viselkedésre vonatkozó optimális hatás elérése érdekében az edzett alkatrészeket későbbi hőkezelésnek (temperálásnak) vetik alá.

A temperálás a kioltás után alkalmazott hőkezelés annak érdekében, hogy javítsák a kioltás miatt gyengült jellemzőket. Az alkatrészeket AC1-nél alacsonyabb hőmérsékletre melegítik, majd léghűtéssel kezelik.

Az 1.4.10a és 1.4.10b ábrán megfigyelhető a C45 acél kereskedelmi állapotban. Ebben az állapotban a mikrostruktúra ferrit- és gyöngyházszerű főszerveket mutat. Az 1.4.10a ábrát 20X optikai objektívvel, az 1.4.10b ábrát pedig 100X nagyítással kaptuk meg. Az 1.4.10c és 1.4.10d értékeket 50-szeres, illetve 100-szoros nagyítással kaptuk meg, anyagállapot: vízben elfojtva. Az ábrák hosszú szerkezetet mutatnak tű formájában. Lehűlés után a kapott szerkezet martenzit. Az 1.4.10e és 1.4.10f ábrákat 50-szeres és 100-szoros nagyítással kaptuk meg, anyagállapot: edzett és edzett (Q-T), és a megfigyelt szerkezet temperált martenzit volt.



1.4.9. ábra: Vízben leoltott C45 acélra kapott optikai mikrostruktúrák. a) Kereskedelmi állapot 20x-on. b) Kereskedelmi állapot 100x-on. c) 50x-en leoltott víz. d) 100x-on leoltott víz. e) 50x-



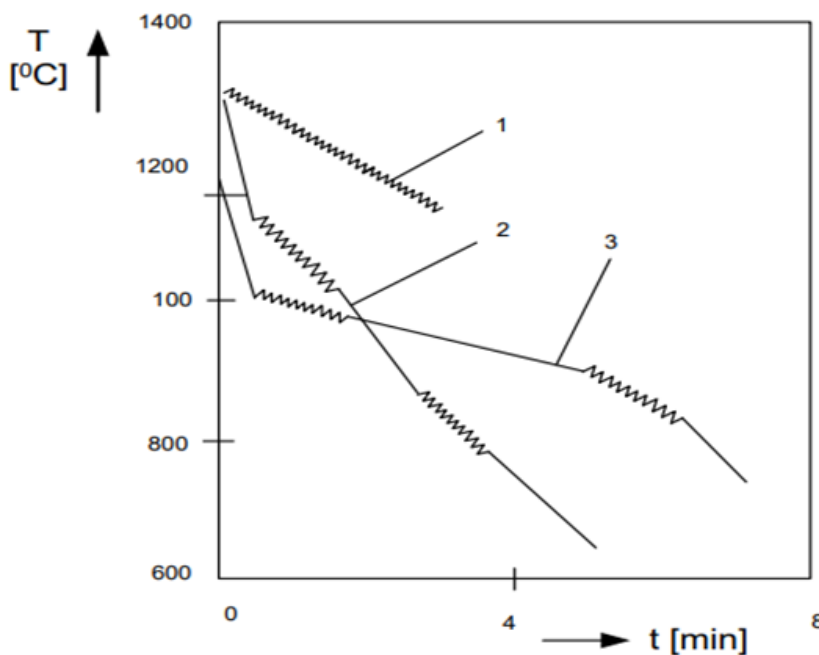
en kioltott és edzett víz. f) 100x-on leoltva és edzetten.(Forrás: 146 editor@iaeme.com

<http://www.iaeme.com/IJMET/index.asp>

International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)

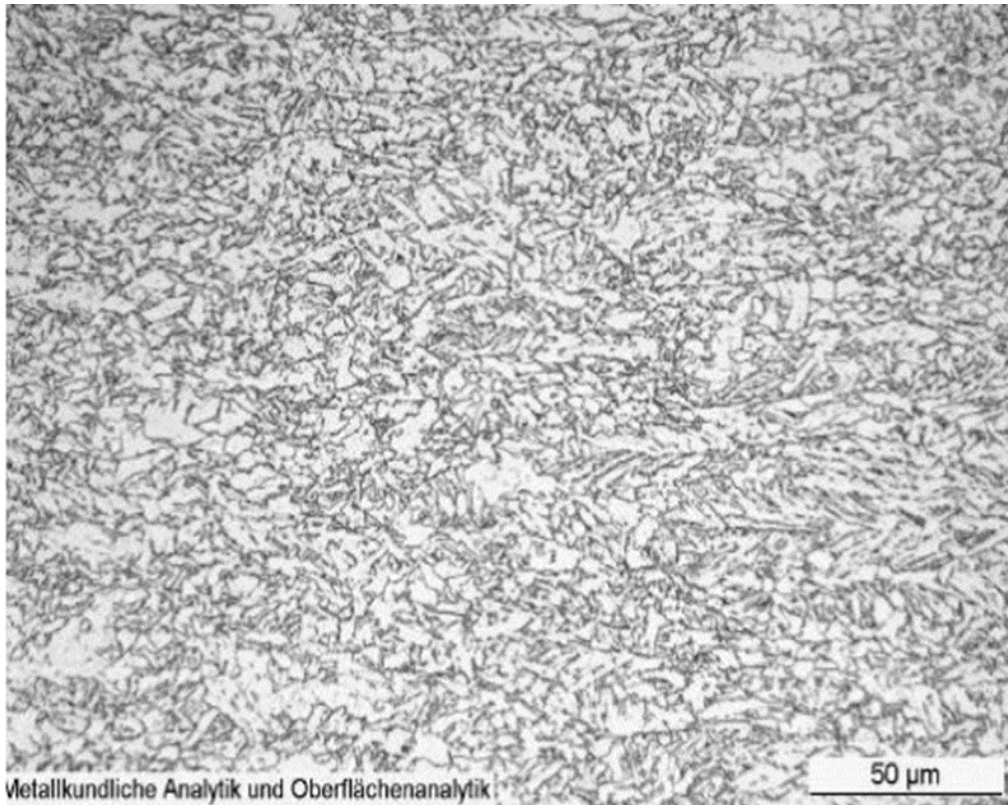
9. kötet, 7. szám, 2018. július, 146–154. o., cikk azonosítója: IJMET_09_07_017)

A termomechanikusan vezérelt feldolgozott (TMCP) acélokat akkor kapjuk meg, ha a hengerléssel történő képlékeny deformációt hőkezeléssel (termomechanikus hengerlési eljárással) kombináljuk. Ez egy egyedülálló eljárás, mert biztosítja az ellenállás és a tartósság legjobb kombinációját alacsony széntartalom mellett, amely semmilyen más hőkezeléssel nem érhető el.



1 – klasszikus meleghengerlési deformáció, magas hőmérséklet az egész folyamat során; 2 – meleghengerlés a vezérlő hőmérsékletének használatával; 3- meleghengerlés termomechanikai kezeléssel kombinálva, alacsonyabb hőmérsékleten végzett közbelső hűtés után.

A mikroötvözet és a melegen hengerelt deformáció kombinálásával alacsonyabb és alacsonyabb hőmérsékleten a ferrites szemcseméret körülbelül 8-szorosára csökken, ami a folyáshatár jelentős növekedését és mindenekelőtt a szakítószilárdsági jellemzők lényeges javulását eredményezi.

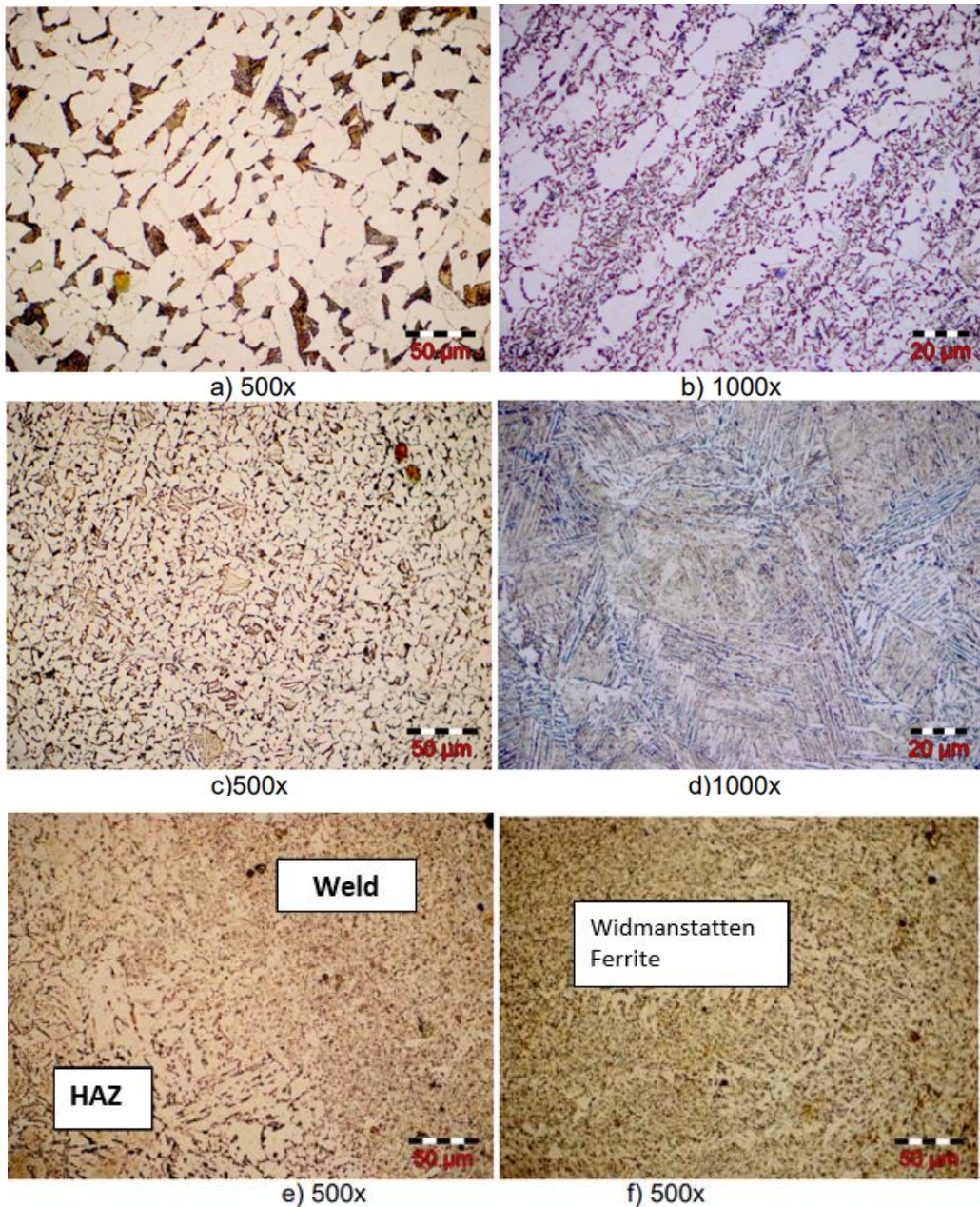


1.4.11. ábra. TMCP acél mikroszerkezete

1.2.3. A hegesztés mikroszerkezeti szempontjai

A következő, optikai mikroszkóppal készített képsorozaton a szénacél hegesztett kötés különböző területei és azok sajátos szerkezetei láthatók, például:

- a) Alapanyag: sokszög-ferrit (fehér szín) és gyöngyház (lamellás ártalmatlanítás, barna-világoskék szín);
- b) A HAZ-nak az átkristályosodási mikroterülete: enyhén módosított ferrit és gyöngyház;
- c) A mikroterület normalizálása: átkristályosodott finom ferrit és gyöngyház;
- d) Túlmelegedett mikroterület: gyöngyház és Widmanstatten-ferrit;
- e) fúziós vonal: ahol a HAZ szemcseméret-különbsége látható;
- f) Hegesztett varrat: finom ferrit, Widmanstatten-ferrit és karbidok csapódnak ki.



Amikor a hűtést közvetlenül az AC3 alatt végezzük, a ferrit elkezd nukleálódni az ausztenit szemcsék határain, és a képződött szemek masszív blokkok formájában növekednek, ami az allotriomorf szemcsék úgynevezett határait képezi.

A megnövekedett hűtési értékek mellett a ferrit növekedési tendenciája masszív lamellás szerkezetek formájában kezd megnyilvánulni, amelyeket Widmanstätten-szerkezetnek neveznek, amelyek a hűtési sebesség növekedésével finomodnak.

References:

[1.4.1] Voiculescu I, Geantă V, Vasile I M, 2016, Aliaje feroase pentru structuri sudate (Ferrous alloys for welded structures).

[1.4.2] International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). Volume 9, Issue 7, July 2018, pp. 146–154, Article ID: IJMET_09_07_017.

[1.4.3] ASM Handbook Volume 4. Heat Treating.

[1.4.4] ASM Handbook Volume 6. Welding, Brazing and Soldering.

[1.4.5] ASM Handbook Volume 9. Metallography and Microstructures.

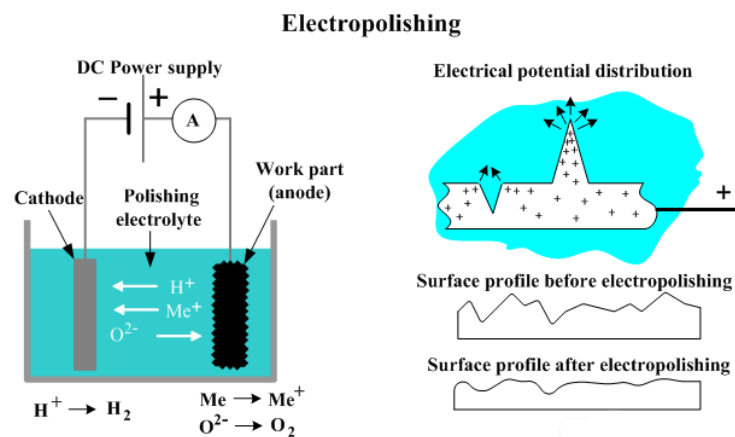
2. CU2: A makro- és mikroszkópos vizsgálatokhoz szükséges mintaelőkészítés speciális módszerei

2.1. Elektrolitikus polírozás, kémiai polírozás, színes maratás – cél és alkalmazás

Ebben a fejezetben a metallográfia területén alkalmazott három alapvető módszert tárgyaljuk: elektrolitikus polírozás, kémiai polírozás és színes maratás. Ezek a technikák létfontosságú szerepet játszanak a fémes anyagok vizsgálatában és elemzésében, egyedülálló betekintést nyújtva mikroszerkezeti jellemzőikbe és felületi jellemzőikbe.

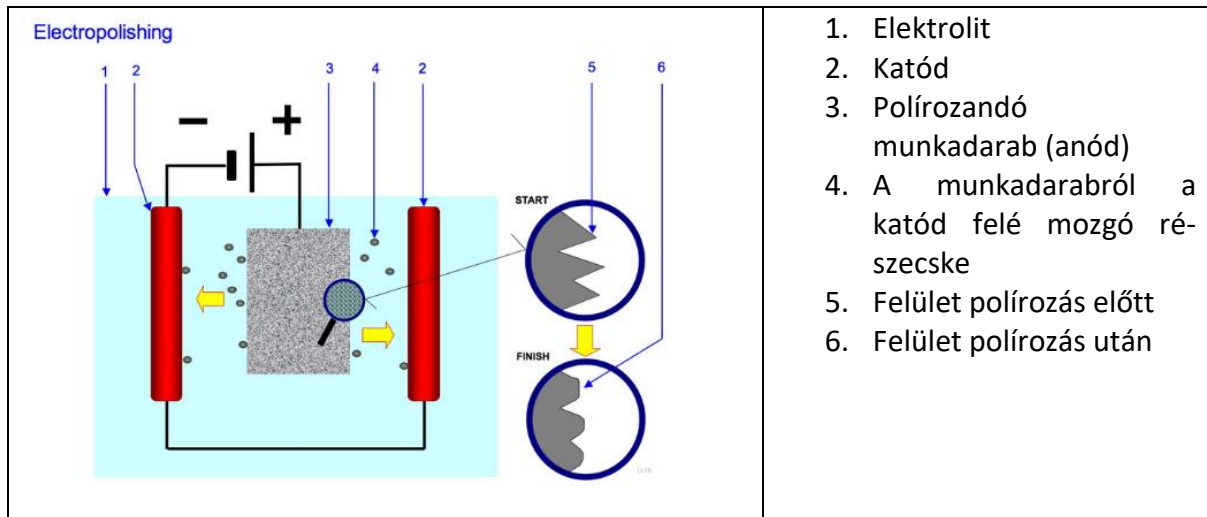
Bevezetés az elektrolitikus polírozásba meghatározás, cél és működés

Elektrokémiai polírozásnak, anódos polírozásnak vagy elektrolitikus polírozásnak is nevezik, az elektropolírozás különösen hasznos törékeny vagy összetett geometriájú alkatrészek polírozásához és sorjázásához. Az elektropolírozás javítja a felületi minőséget azáltal, hogy akár 50%-kal csökkenti a felület érdességét. Az elektropolírozási elvet a 2.1.1. ábra mutatja be.



2.1.1. ábra: Elektrolitikus polírozási elv [2.1.1]

Az elektrolitikus polírozás célja kettős: felületi finomítás és felületi előkészítés. Azáltal, hogy a mintát elektrolit jelenlétében elektromos áramnak tesszük ki, ez a technika kiküszöböli a felületi szabálytalanságokat, például karcolásokat, deformációkat és felületi szennyeződéseket. Az eredmény egy sima és egyenletes felület, amely lehetővé teszi a pontos mikroszerkezeti elemzést és megfigyeléseket, amint az a 2.1.2. ábrán látható. Az elektrolitikus polírozás elsődleges célja egy olyan felület létrehozása, amely pontosan tükrözi az anyag valódi mikroszerkezetét.



2.1.2. ábra. Az elektropolírozás működése [2.1.2]

Az elektropolírozás során a fém alkatrész vagy munkadarab pozitív töltésű anódként szolgál. A munkadarab az egyenáram-egyenirányító pozitív pólusához van csatlakoztatva. A negatív töltésű katód, amely általában rozsdamentes acélból vagy cirkóniumból készül, az egyenirányító negatív csatlakozójához csatlakozik.

Mind az anódot, mind a katódot szabályozott hőmérsékletű elektrolitoldat-fürdőbe merítik. A rozsdamentes acél elektropolírozó vegyi anyagai jellemzően kénsav és foszforsav nagy viszkozitású keverékéből állnak.

Az egyenirányítóból származó elektromos áramot az anódról a katódra vezetik az elektroliton keresztül. Az elektromos áram hatására az alkatrész felületén lévő fémionok oxidálódnak és feloldódnak az elektrolitban. Ez a folyamat rendkívül kicsi, szigorúan ellenőrzött mennyiségű fémet képes feloldani, ami mikron szintű vastagságú felületeltávolítást eredményez, amint azt a 2.1.3. ábra videóján láthatjuk.



2.1.3. ábra: Elektrolitikus mintaelőkészítés polírozása [2.1.3]

A sikeres elektropolírozási folyamat fontos paraméterei

The amount of metal surface removal is controlled by the following factors:



- Elektrolit kémiai összetétele;
- Az elektrolit hőmérséklete (jellemzően 76 °C – 82 °C);
- Az elektromos áramnak való kitettség időtartama;
- Az elektromos áram sűrűsége (elektrolitonként változik; a tipikus tartomány 140 – 250 amper / m²);
- Az elektropolírozás alatt álló fémötvetet összetétele.

Az elektropolírozás során a sorják és a felületi érdesség egyéb csúcsai nagyobb elektromos áramsűrűséget vonzanak, és elsőként erodálódnak az anódos szintezés néven ismert jelenségben. A felületi szerkezet kiálló részeinek előnyös eltávolítása simább fémfelületet eredményez.

Elektrolit áramlás és keverés

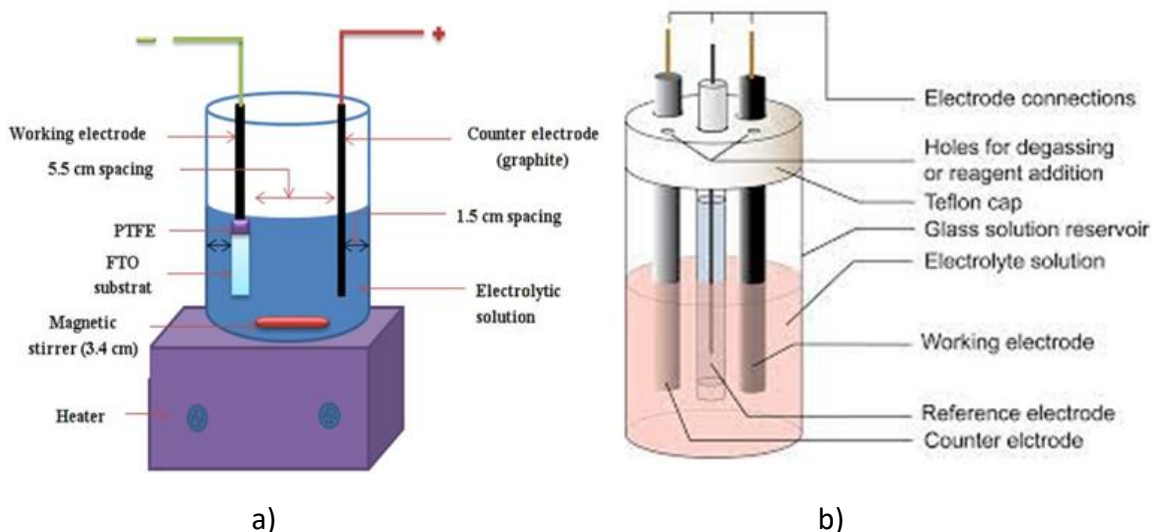
A következetes és ellenőrzött elektrolitáramlás fenntartása elengedhetetlen a hatékony elektrolitikus polírozáshoz. Az elektrolit áramlása segít eltávolítani a törmeléket és megakadályozza az oldott anyag felhalmozódását a minta felületén, ami akadályozhatja a polírozási folyamatot. Elősegíti az egyenletes anyageltávolítást is, biztosítva az egyenletes felületi minőséget.

A keverési technikák, mint például a mechanikus keverés vagy az ultrahangos keverés, tovább fokozhatják az elektrolit áramlását és javíthatják a polírozási eredményeket. A keverés elősegíti a levegő/gázbuborékok kiszorítását, elősegíti az elektrolit egyenletes eloszlását és javítja a tömegátadást a minta felületén. Ez biztosítja, hogy a teljes felület ki legyen téve az elektrolitnak, megakadályozva a lokalizált hatásokat és elérve az anyag egyenletesebb eltávolítását.

Elektróda konfiguráció

Az elektrolitikus polírozás során az elektródák konfigurációja és elrendezése befolyásolja az elektromos áram eloszlását és az anyageltávolítást a minta felületén. Az elektródák az elektromos áram vezetőiként szolgálnak, elhelyezésük és geometriájuk beállítható a polírozási folyamat vezérléséhez.

Általában kétféle elektródaconfigurációt használnak: egy elektróda és kettős elektróda. Egyetlen elektróda konfigurációban maga a minta egy elektródaaként működik, míg külön elenelektródot használnak. Kettős elektródás konfigurációban mind a próbadarabot, mind a külön segédelektródot az elektrolitoldatba merítik. Az elektróda konfigurációjának megválasztása a minta egyedi követelményeitől és a kívánt polírozási eredményektől függ. Az alábbi ábrákon két és három elektródával ellátott egységmaratást mutatunk be.



2.1.4. ábra. Elektróda konfiguráció: a) 2 elektróda, b) három elektróda [2.1.4].

Áramsűrűség és feszültség paraméterek

Az áramsűrűség és a feszültség paraméterei kritikus változók, amelyek szabályozzák az anyag eltávolítási sebességét és a felületi minőséget az elektrolitikus polírozás során. Az áramsűrűség a minta felületének egységnyi területére alkalmazott elektromos áram mennyiségére vonatkozik. Meghatározza az anyageltávolítás sebességét, a nagyobb áramsűrűség gyorsabb eltávolítást és potenciálisan durvább felületeket eredményez. Az áramsűrűséget az alkalmazott feszültség és az elektróda felületének beállításával szabályozzák.

Az alkalmazott feszültség befolyásolja az elektrolitikus polírozási folyamatot is. Meghatározza az elektrokémiai reakciók és az anyageltávolítás hajtóerejét. A feszültség beállításával a kutatók szabályozhatják az anyag eltávolítási sebességét, a felületi érdességet és a polírozási folyamat kiválasztását. Az áramsűrűség és feszültségparaméterek optimalizálása a minta anyagának, az elektrolit összetételének és a kívánt felületi jellemzőknek a gondos mérlegelését igényli. Gyakran iteratív tesztelést és beállítást foglal magában a kívánt eredmények elérése érdekében, miközben elkerüli a túlzott anyageltávolítást vagy a felület károsodását.

Mennyi anyagot távolít el az elektropolírozás?

Az elektropolírozó rendszerek által eltávolított anyag mennyisége közvetlenül arányos a futási idővel / ciklusidővel és az alkatrész felületén áthaladó amperpercekkel. Mindezek a változók szabályozhatók az egységes, megbízhatóan ellenőrzött felületi minőség létrehozása érdekében.

Az eltávolított anyagrétegek vastagsága általában 0,0008 mm és 0,0018 mm között van a legtöbb sorjázó és polírozó alkalmazásban a megmunkálás után. A precíz felügyelettel az elektropolírozás akár 0,00025 mm-t is eltávolíthat. Hosszabb ciklusidővel és amperpercekkel rendelkező elektropolírozási eljárásához akár 0,008–0,0125 mm anyag is eltávolítható. Minél hosszabb ideig alkalmazzák az elektromos áramot, annál több anyagot távolítanak el, de annál kevésbé egyenletes a kapott felületi minőség. Így az eljárást legjobban mikrosorjákra vagy azokra, amelyek kevesebb, mint 0,0038 mm-re nyúlnak ki az alkatrész felületétől.

Az alkalmazásonkénti anyageltávolítási előírások példáit a 2.1.1. táblázat tartalmazza.

2.1.1. táblázat Anyageltávolítási előírások alkalmazásonként

Fémötvözet	An- yageltávolít- ás el- lenőrzése a folyamatban	Minimum/ tisztítás	Mikrofelület	Mikro- sorjázás	Korrózióál- lóság
Titanium	0.0254 mm per surface	0.0254 mm per surface	0.0635 mm per surface	0.127 per surface	N/A
Nitinol	0.0254 mm per surface	0.0254 mm per surface	0.0635 mm per surface	0.127 per surface	N/A
Sárgaréz	0.0635 mm per surface	0.0635 mm per surface	0.127 - 0.254 mm per sur- face	0.127 - 0.254 mm per sur- face	N/A
Réz	0.0635 mm per surface	0.0635 mm per surface	0.127 - 0.254 mm per sur- face	0.127 - 0.254 mm per sur- face	N/A
Acél	0.0635 mm per surface	0.0635 mm per surface	0.127 - 0.254 per surface	0.127 - 0.254 mm per sur- face	N/A
Rozs- damentes acél	0.0254 mm per surface	0.0254 mm per surface	0.127 per surface	0.127 - 0.254 mm per sur- face	0.127 mm per surface
Alumínium	0.0635 mm per surface	0.0635mm per surface	0.127 - 0.254 mm per sur- face	0.127 - 0.254 mm per sur- face	N/A

Az elektropolírozás egy ellenőrzött elektrokémiai eljárás, amely szelektíven távolítja el a felületi anyagot, jellemzően néhány mikrométertől tíz mikrométer mélységig. Az elektropolírozás során az anyag eltávolításának sebességét olyan tényezők befolyásolják, mint az elektrolit összetétele és koncentrációja, a hőmérséklet, az áramsűrűség és a folyamat időtartama. Ezek a paraméterek beállíthatók a kívánt felületi minőség eléréséhez és az anyageltávolítás mennyiségének szabályozásához. Fontos megjegyezni, hogy az elektropolírozást elsősorban a felületi minőség javítására, a tisztaság fokozására és a felületi hibák csökkentésére használják, nem pedig jelentős mennyiségű anyag eltávolítására. A folyamat jellemzően inkább a felület kiegyenlítésére és simítására, a tökéletlenségek eltávolítására és a felület esztétikájának javítására összpontosít. Az elektropolírozás során egy adott alkalmazáshoz eltávolított anyag pontos mennyiségének meghatározásához ajánlott a berendezés gyártója által megadott műszaki előírások tanulmányozása, vagy ellenőrzött körülmények között kísérleti vizsgálatok végzése.

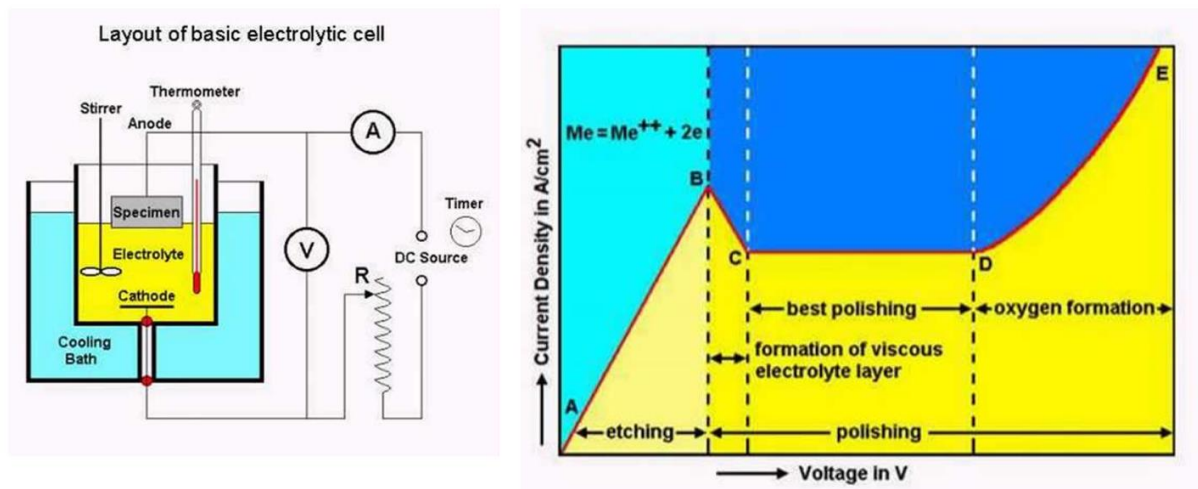
Elektrolitikus készítmény

Az elektrolitikus készítmény elektrolitikus reakciócellát használ, amely folyékony elektrolitot tartalmaz két elektróddal: anóddal és katóddal. A polírozandó / maratandó minta képezi az anódot. Áramot alkalmaznak, amely arra kényszeríti az anód fémét, hogy feloldódjon,



mozogjon és bevonatként lerakódjon a katódra. Az elektródák külső tápegységhez vannak csatlakoztatva, és feszültséget alkalmaznak, hogy reakciót váltsanak ki a cellán belül.

Az alábbi 2.1.5. ábrán látható az elektrolitikus cella jelleggörbéje. Ez a görbe az alkalmazott elektrolittól függ, és a különböző elektrolitok esetében változik. Az anód feszültségének és áramsűrűségének szabályozása, valamint az elektrolit összetétele, a hőmérséklet és a keverés mind kritikus fontosságú a kívánt polírozási/maratási jellemzők eléréséhez. Ezeknek a paramétereknek a megfelelő ellenőrzése nehéz lehet, továbbá sok elektrolit veszélyes vagy akár robbanásveszélyes. Ez utóbbi esetében a hőmérséklet-szabályozás kritikus. Az elektrolitikus polírozást vagy maratást a szükséges tapasztalat és biztonsági intézkedések nélkül nem szabad megkísérelni.



Füge. 2.1.5 Elektrolitikus cella jelleggörbéje [2.1.5]

A maratási/polírozási jellemzőket szabályozó tényezők a következők:

- Elektrolit összetétel;
- Elektrolit hőmérséklet;
- Elektrolit keverés;
- Polírozandó/maratandó terület (áramsűrűség);
- Feszültség.

Az elektropolírozás előnyei

A fémcsöveket többnyire gázok és folyadékok szállítására használják. Vannak háztartási, alacsony költségű és kevésbé érzékeny alkalmazások, mint például a vízellátó vezetékek, a magas költségű, kereskedelmi, nagy érzékenységgű alkalmazások, például az orvosi berendezések. A különböző alkalmazások különböző szabványokat és minőségeket igényelnének. A mechanikai és kémiai tulajdonságok mellett néha a méreteknek pontosnak kell lenniük.

A csöveket úgy készítik, hogy varratmentesek legyenek a rajzoló eljárásokkal a probléma leküzdésére. A varrat nélküli csövek méretpontosak és kevésbé abszolút érdesek lehetnek. De

ha az alkalmazás rendkívül érzékeny, és a cső belsejének a lehető legtisztábbnak és legsimábbnak kell lennie, elektropolírozást alkalmaznak. Az eljárást elektrolízisnek nevezett eljárással hajtják végre, ahol a termék atomonként veszt a felületen, és polírozott felületet kap.

2.1.2. táblázat Az elektropolírozás előnyei

Haszon	Leírás: _____
Decorative appearance	A fényes és fényes felület, amely gyakran erősen fényvisszaverő, esztétikailag kellemes és egyenletes, finom vonalak nélkül, amelyek csiszolópolírozással fordulnak elő.
Mikroszkopikus simaság	Csúcsokat és völgyeket szintez, és akár 50% -kal javítja a felületi érdességet (Ra). A felületi érdesség a külső felület textúrájára vagy megjelenésére utal, megragadva annak szabálytalanságait és a magasság vagy mélység mikroszkopikus változásait. Döntő szerepet játszik annak meghatározásában, hogy a felületek hogyan hatnak egymásra, befolyásolva a súrlódást, a kopást és a tömítési tulajdonságokat. Ezzel szemben a belső érdesség egy felületnek az anyagon vagy alkatrészen belüli állapotára utal, amely jellemzően olyan tökéletlenségekkel vagy szabálytalanságokkal jár, amelyek kívülről nem láthatók. A belső érdesség, például a mikroszerkezeti hibák vagy következetlenségek befolyásolhatják az anyag szerkezeti integritását és mechanikai tulajdonságait, de gyakran nagyobb kihívást jelent a feltárás vagy értékelés, mint a felületi érdesség, és gyakran speciális értékelési technikákat igényel. A mechanikus felületkezeléssel ellentétben az elektropolírozás nem keni el, nem hajlítja meg, nem feszíti meg és nem töri meg a kristályos fémfelületet.
Sorjázás	Mikroszkopikus szinten az elektropolírozás eltávolítja az elmozdult felületi anyag apró darabjait, amelyek megragadhatnak és eltörhetnek.
Ultratiszta felület	Tiszta felületet hoz létre, amely könnyebben sterilizálható. Eltávolítja a beágyazott szennyeződések, amelyek korrózióhoz vezethetnek.
Eltávolítja a felületi hibákat	Növeli az élettartamot azáltal, hogy eltávolítja a repedéseket a felületről, így kiküszöböli azokat a helyeket, ahol korrózió léphet fel. Segít azoknak az alkatrészeknek, amelyeknek hajlítaniuk és hajlítaniuk kell, hogy tovább tartsanak.
Csökkenti a súrlódást	Meghosszabbítja az állandó mozgásban lévő alkatrészek élettartamát. Csökkenti a menetes alkatrészek gallyazódását, javítva a tömítést.
Megszünteti az oxid vízkövet	Removes weld discoloration from heat tint and oxide scale.

Jó törékeny alkatrészekhez	Olyan kényes részeken dolgozik, amelyek megsérülhetnek a bukducsolási folyamat során. Helyettesíthet néhány mechanikus befejezési technikát, például köszörülést, csiszolást, marást és robbantást.
Jó összetett alkatrészekhez	Polírozhatja azokat a területeket, amelyek más polírozási módszerekkel nem érhetők el anélkül, hogy kárt okozna. Hatékonyan kezeli az apró felületeket az összetett alkatrészekben. Polírozhatja azokat a területeket, amelyek más polírozási módszerekkel nem érhetők el anélkül, hogy kárt okozna. Hatékonyan kezeli az apró felületeket az összetett alkatrészekben.
Méretszabályozás	Szükség esetén használható az alkatrészek méretének kismértékű csökkentésére.

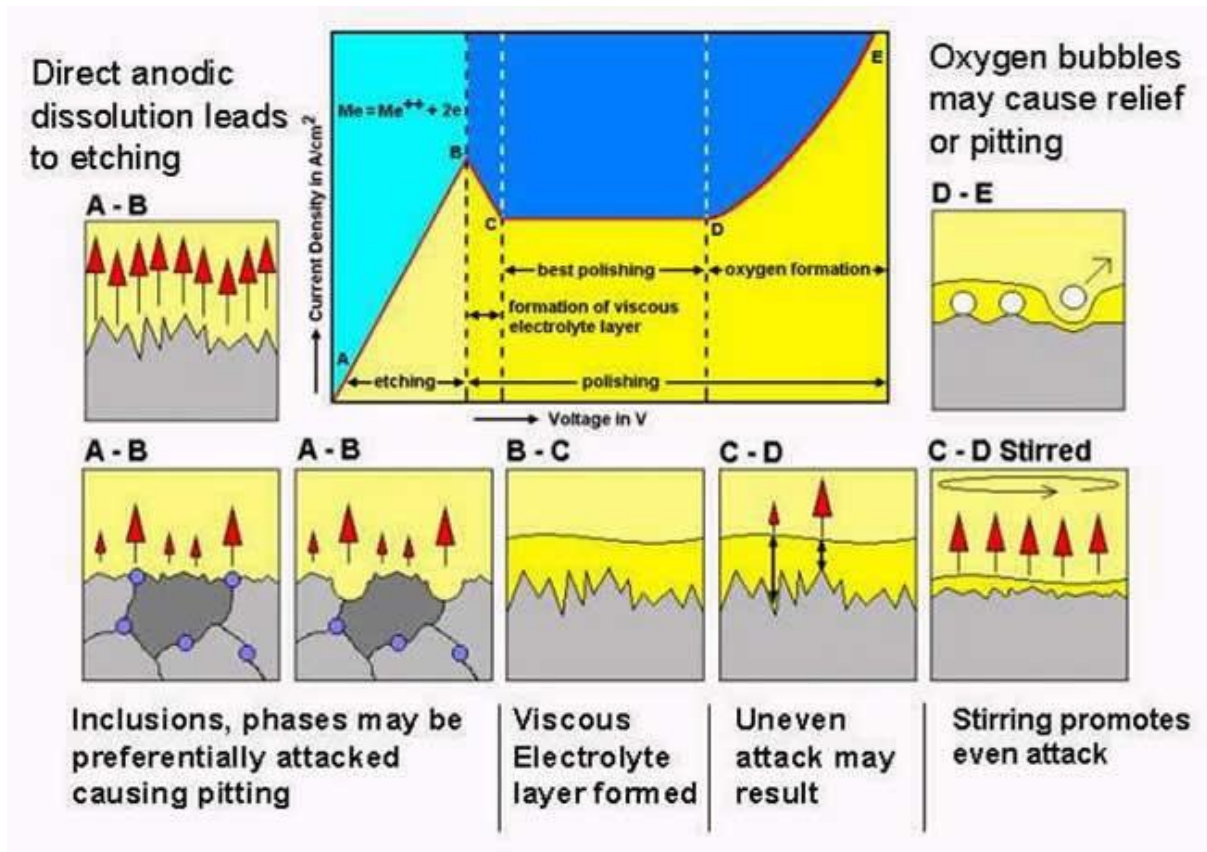
A folyamatnak azonban vannak buktatói is. Még ezzel a módszerrel is, az abszolút érdesség bizonyos mértékig fennmarad. A folyamathoz szükséges idő tolerálható, de költséges, és a felhasznált savak és egyéb vegyi anyagok egy része hatással lenne a késztermékre. A felületi rétegek eltávolítása során az eljárás eltávolítja a szennyeződések is, ami nagyobb korrózióállóságot eredményez.

Rézkarc

A közvetlenül polírozott felületek EBSD (elektron visszaszórásdiffrakció) segítségével vizsgálhatók, de sok esetben a minta minőségét maratással javítják, amint azt a 2.1.6. ábra mutatja. Ezenkívül a maratás körülhatárolja a szemcsestruktúrát, ami nyilvánvaló előnyökkel jár. A maratás azonban előnyben részesítheti a második fázist, vagy túlzottan támadhatja a szemcsehatárokat. Óvatosan kell eljárni a maratószer kiválasztásakor és használatakor. Maratás előtt és után fénymikroszkóppal vizsgáljuk meg a minta felületét a hatás felmérése érdekében. A nehezen polírozható anyagok számára előnyös lehet az ismételt maratás és újrapolírozás. Ez a módszer sértetlen felületet tárhat fel, amely alkalmas az EBSD-re, ha a hagyományos polírozás és maratás nem ér el megfelelő felületet. Speciális sav- vagy lúgálló kendők használatával a polírozás során híg maratószeret is hozzáadhatunk a polírozó kendőhöz. Bár ez hatékony lehet, nehéz lehet ellenőrizni.

Minden használt maratónak egyenletesen kell feloldania a minta felületét, és nem hagyhat oxidokat vagy reakciótermékrétegeket. Az ilyen rétegek teljesen elnyomhatják a diffrakciót.

A metallográfiai tankönyvekben felsorolt rézetések közül sok "kontrasztmaratás", amelyek különböző vastagságú oxidrétegek képződésén alapulnak, hogy fénymikroszkóppal látható színeket hozzanak létre. Ezért az ilyen maratószeret általában nem alkalmasak EBSD-re.



2.1.6. ábra: A minta felületének feszültségre és áramsűrűsége gyakorolt hatása [2.1.5]

Az elektropolírozás általános alkalmazásai

Az 1950-es évek óta a tudósok kereskedelmi forgalomban használják az elektromosság és a vegyi anyagok kombinációját a fémek felületi minőségének javítására. Ez egy általános befejező eljárás számos iparágban, beleértve a következőket:

- A sebészek és fogorvosok elektropolírozást használnak, hogy szerszámaikat tisztán tartsák és jól működjenek.
- Az élelmiszer-, ital- és gyógyszerfeldolgozók kihasználják az elektropolírozás sterilizáló tulajdonságait.
- A készülégyártók elektropolírozást alkalmaznak olyan készülékekben, mint a hűtőszekrények és mosógépek, hogy az alkatrészek hosszabb ideig tartsanak és jobban nézzenek ki.
- A repülőgépgyártók elektropolírozást alkalmaznak a repülés szempontjából kritikus alkatrészekben a súrlódás csökkentése és a csúcsteljesítmény biztosítása érdekében.
- A félvezetőgyártók elektropolírozást használnak törékeny, szabálytalan alakú termékekkel.
- Az autógyártók és a versenyipar elektropolírozó fogaskerekeket és üzemanyagvezetéseket használ a súrlódás csökkentése, a teljesítmény növelése és az alkatrészek hosszú élettartamának biztosítása érdekében.

Példák általában elektropolírozott fém alkatrészekre:

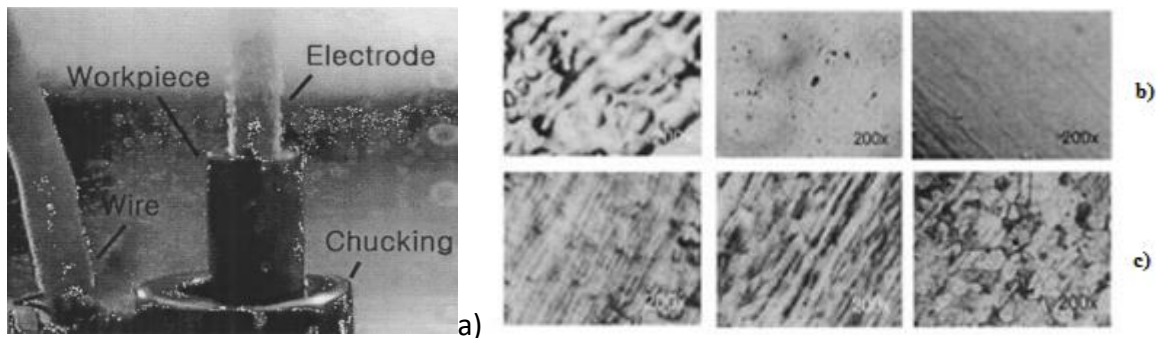


- Csővezetékek és csövek
- Kötőelemek
- Springs
- Huzaltartók
- Pengék

Az elektrolitikus polírozás széles körben alkalmazható olyan iparágakban, mint a repülőgépipar, az orvosi, az élelmiszeripar, az autóipar és az anyagkutató, segítve a szemcsehatárokat, a felületi hibákat és a fáziseloszlás felmérését.

Mely fémek működnek az elektropolírozással?

Elektropolírozás rozsdamentes acél: az elektropolírozás leggyakoribb felhasználása. Amint az a 2.1.7. ábrán látható. Az elektropolírozott rozsdamentes acél sima, fényes, ultratiszta felülettel rendelkezik, amely ellenáll a korrózióknak. Bár szinte bármilyen fém működik, a leggyakrabban elektropolírozott fémek a 300-as és 400-as sorozatú rozsdamentes acél.



2.1.7. ábra Elektropolírozás rozsdamentes acél (STS316L) csőhöz: a) A kísérleti felépítés, b) optikai mikrográfia, c) metallográfiai mikrográfok [2.1.6]

A 400-as sorozatú rozsdamentes acélból (SS) készült alkatrészek előnye a megnövekedett keménység és szilárdság, a korrózióra való fokozott hajlam árán. A rozsdamentes acél elektropolírozásával a mérnökök használhatják a 400-as sorozatú SS-t, és továbbra is védelmet nyújtanak a korrózió ellen. Ha 400-as sorozatú rozsdamentes acélt használ, a rozsdamentes acél alkatrészek elektropolírozására való áttérés mindkét szempontból a legjobbat nyújthatja - korrózióállóság, keménység és szilárdság.

A rozsdamentes acél hegesztés utáni elektropolírozása eltávolíthatja a rozsdamentes acélban hegesztés után fellépő kemény oxidskálát és hőárnyalatot. A vakus elektropolírozás olyan technika, amellyel eltávolítják a vízkövet vagy az oxidációt a hőkezelt fém felületéről. Például egyes rozsdamentes acélból (SS) 17-4 készült sebészeti műszerek hegesztés és/vagy hőkezelés után barnának tűnnek. A barna megjelenés eltávolításához az alkatrészeket elektropolírozzák. A "vaku" arra utal, hogy milyen gyorsan megy végbe a polírozás: mindössze 10 másodperc elektropolírozás, szemben a legtöbb alkalmazás minimum 2 percével.

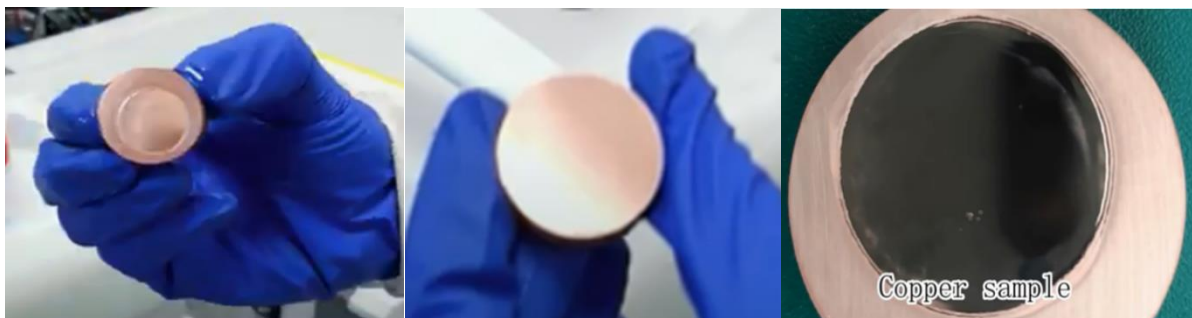
A rozsdamentes acél vakus elektropolírozása az egyetlen módja a vízkő eltávolításának rendkívül munkaigényes folyamat nélkül, és további előnye, hogy egyenletes eredményeket ér el. Ezzel szemben egy SS 17-4 műszere a vízkő eltávolítására szolgáló robbantás 4-szer annyi időt vesz igénybe, és tisztítás után gyakran következtelen, hullámos eredményt ad a felületi

minőségben. Ne feledje, hogy a vaku elektropolírozás különbözik a "flash támadástól", amely a passzíválási folyamat során előfordulhat.

A rozsdamentes acél mellett az elektropolírozással kompatibilis egyéb fémek a következők:

- Alumínium;
- Sárgaréz;
- Szénacélok;
- Kobalt-króm;
- rézötvözetek (2.1.8. ábra);
- Nikkelötvözetek;
- Titán;
- Nitinol.

Csak korlátozott siker érhető el öntött fémekkel, például jelentős mennyiségű szilíciumot, ként vagy szént tartalmazó ötvözetekkel. Az alumínium és cink présöntvények elektropolírozása nem működik jól, de a legtöbb más alumíniumötvözet jó eredményeket hoz. A titán és a nitinol szintén kompatibilis az elektropolírozással; Ezeknek a fémeknek az elektrolitoldata azonban nagyon gyúlékony, és hűtőrendszereket igényel, hogy megakadályozzák az elektrolit szobahőmérsékleten történő égését.



2.1.8. ábra. Réz elektropolírozó mintája [2.1.7]

A 2.1.3. táblázat a rozsdamentes acél elektropolírozásának főbb paramétereit, a réz esetében pedig a 2.1.4. táblázat mutatja be az elektropolírozás folyamatát.

2.1.3. táblázat A rozsdamentes acél munkadarab elektropolírozási folyamatának általános paramétereit:

Elektrolit	Rozsdamentes acél típus	Hőmérséklet	Áramsűrűség-tartomány	Feszültségtartomány
Foszforsav, kénsav és glicerín keverék	304	30 to 700 °C	0.5 to 1A/cm ²	Nincs megadva
Foszforsav, kénsav és glicerín keverék	304	5 to 800 °C	0.5 to 1A/cm ²	Nincs megadva
Foszforsav, kénsav és glicerín keverék	304	30 to 700 °C	0.5 to 1A/cm ²	Nincs megadva



Foszforsav, kénsav és víz	Fe13Cr	25 to 700 °C	0.01 to 0.225 A/cm ²	-0.81 to 1.45 V
Négy elektrolit (kénsav, foszforsav és glicerín keveréke)	316L	50 to 800 °C	Nincs megadva	Voltage scanning rate 5 mV/s
Kénsav, foszforsav és víz keveréke glicerinnel vagy anélkül	316L	50 to 950 °C	0.5 to 2,5 A/cm ²	Nincs megadva
Kénsav, foszforsav és vízglicerín keverékei	316L	65 to 700 °C	Nincs megadva	2.5 to 10V

2.1.4. táblázat A réz munkadarab elektropolírozási folyamatának általános paraméterei:

Electrolyte	Hőmérséklet	Áramsűrűség-tartomány	Feszültségtartomány
Vízmentes orto-foszforsav	250°C	Nincs megadva	nincs megadva
Ortofoszforsav oldat (nem kevert oldat)	-5,60°C to 530°C	0.2 to 1.5 A/dm ²	0,7 to 0,9 V
Ortofoszforsav/víz oldat (kevert oldat)	-5,60°C to 530°C	0.2 to 1.5 A/dm ²	Nincs megadva
Ortofoszforsav/víz oldat	250°C	0.0625 A/cm ²	0.8 to 1.2 V
Foszforsav/víz oldat glicerinnel, etilenglikollal vagy anélkül	170 to 250 °C	2 to 4.2 mA/cm ²	0.25 to 1.5 V
Foszforsav/réz-pfoszfát/víz oldat	250°C	50 to 1000 mA/cm ²	0.2 to 0.8 V
Ortofoszforsav/kénsav/víz oldat	250°C	0.1 A/cm ²	1.8 to 2.2 V

Záró megjegyzések

Az elektropolírozás egy jellegzetes fémfelületi kezelés, amelyet a fémfelületek durva szabálytalanságainak eltávolítására használnak. Bár az elmélet egyértelmű, több paraméter befolyásolja a munkadarab felületi áramsűrűségét és elektropolírozási eredményeit, például az elektrolit típusa, hőmérséklete, koncentrációja, feszültsége, anód/katód távolsága stb. Ezeknek a paramétereknek a pontos hangolása elengedhetetlen a különböző formájú és méretű fém munkadarabok kívánt felületi minőségének eléréséhez, különös tekintettel az elektropolírozó elektrolitra.

Az idő múlásával az elektropolírozást igénylő fémek fejlődtek, a rozsdamentes acélok ma a jelenlegi piac 95% -át teszik ki, szemben a rézzel és a rézötvözetekkel a múltban. Az empirikus megfigyelések kezdetben formálták a technikát, de számos elméletet fejlesztettek ki a mögöttes mechanizmusok megértésére.



Az optimális elektropolírozási eredmények érdekében a munkadarabok felületei gyakran elő- és utókezelési folyamatokon mennek keresztül. A felületi minőségek értékelése különböző mikroszkópos technikákkal történik, a szükséges felületi érdességtől és megfigyelési skálától függően.

Az elektropolírozás előnyei közé tartozik a fémfelület simaságának, megjelenésének, korrózióállóságának javítása, a szennyeződések eltávolítása és a felületi oxidációs réteg finomítása.

A dekorációs célokon túl az elektropolírozás szélesebb körű alkalmazásokat talált a különböző iparágakban, beleértve az élelmiszeripart, az italgyártást, a gyógyszeripart, a biomedicinát, az elektronikát, a félvezetőket, az autóipart, a repülőgépgyártást és így tovább. Az idő előrehaladtával az elektropolírozás továbbra is döntő szerepet fog játszani a különböző fémfelületek feldolgozásában.

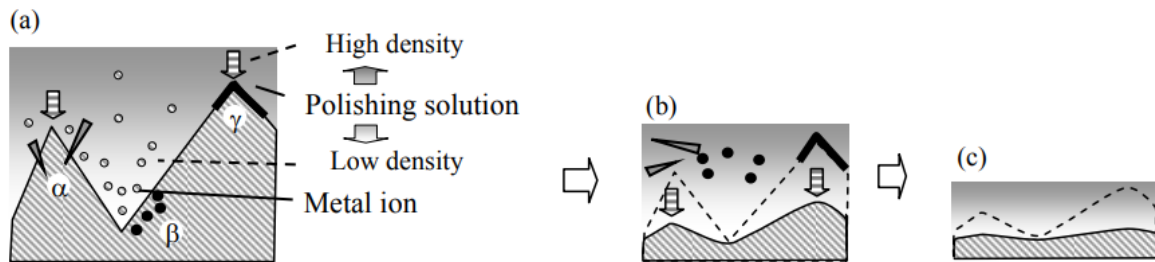
2.1.1. A kémiai polírozás elve

A kémiai polírozás, más néven kémiai maratás, olyan felületkezelési eljárás, amely kémiai reakciókat alkalmaz az anyag szelektív eltávolítására a fémfelületről. A kémiai polírozás célja a tükörszerű felület előállítása, a felületi hibák kiküszöbölése és a mikroszerkezeti jellemzők láthatóságának javítása.

A kémiai feldolgozás rendkívül hatékony, hogy eltávolítson egy vékony anyagréteget az alkatrész teljes merülő felületéről, ami sima, hibátlan felületet eredményez, felfedve a mikroszerkezeti részleteket a további elemzéshez, és biztonságos és költséghatékony megoldást nyújt az alkatrészek speciális tartályokba merítésével. Ez a folyamat hatékonyan eltávolítja a felületi rétegben lévő részecskéket, pórusokat, törmeléket, szennyeződések és szerkezeti károsodásokat. Különösen nagyobb eltávolítási sebességet ér el a felsők és élek mentén, hatékonyan eltávolítva a sorját körülbelül 0,5 mm-es méretig. Az eltávolítási sebesség beállítható a tartályban lévő vegyi anyagok koncentrációjának, az oldat hőmérsékletének és az alkatrész felületén lévő áramnak megfelelően. Ezeknek a paramétereknek a szabályozásával garantálható a feldolgozás megismételhetősége.

A 2.1.9. ábra a kémiai polírozás folyamatát szemlélteti. Amikor egy fémfelületet kémiai polírozó oldatba merítünk, fémionokká oldódik, és ezek az ionok diffundálnak a polírozó oldatban. Olyan helyzetekben, amikor a fém gyorsabban oldódik, mint az iondiffúzió, a fémionok felhalmozódnak a homorú régiókban. Amint az a 2.1.9. (a) ábrán látható, a kationok, elsősorban hidrogénionok (H⁺) sűrűsége a polírozó oldatban csökken a homorú területeken. Ez sima felületet eredményez, mivel a maratási sebesség a domború részekben nagyobb, mint a konkáv részeken, amint azt a 2.1.9. (b) és (c) ábra mutatja.

Ezenkívül a kémiai polírozás hatékonyan eltávolíthatja azokat az anyagokat, amelyeket a precíziós tisztítással nem távolítottak el, amint azt a 2.1.9. (a) és (b) ábra mutatja. Ezek a perisztens anyagok tartalmazhatnak hozzátapadt szennyeződések, például kémiai megváltozott felületi rétegeket, például hegesztés során keletkező oxidációs skálákat, amint azt a 2.1.9. a) ábra – α , β és γ . ábra mutatja.



2.1.9. ábra: A kémiai polírozási elv ábrázolása [2.1.8]

A kémiai polírozást általában gyors módszerként használják a kielégítő eredmények eléréséhez, ahelyett, hogy hibátlan felületre törekednének. Azokban az esetekben azonban, amikor a deformációmentes felület más technikákkal történő előkészítése kihívást jelent, különösen lágyfémek kezelésekor vagy különböző nehézségek felmerülésekor, a kémiai polírozás kínálhatja a legmegfelelőbb megközelítést az előkészítéshez vagy a végső előkészítéshez.

Tűzálló fémek esetében a kémiai polírozást gyakran mechanikus polírozás után végzik a polarizált fényvisszaverés fokozása (pl. Zr, Hf esetében) vagy a kisebb deformációk (pl. Nb, Ta, V) kiküszöbölése érdekében. A technikát úgy tervezték, hogy sima és sík felületet hozzon létre bizonyos mikroszerkezeti összetevők szelektív feloldásával vagy maratásával, míg másokat többnyire érintetlenül hagy.

A kívánt anyageltávolítási sebesség, szelektivitás és felületi minőség elérése az adott maratási összetétel és folyamatparaméterek beállításán alapul. A kémiai polírozás értékes módszer a felületek finomítására kihívást jelentő helyzetekben, optimális eredményeket biztosítva a különböző alkalmazásokhoz. A 2.1.10. ábra egy kémiai polírozásra szolgáló elektromos rendszert mutat be.



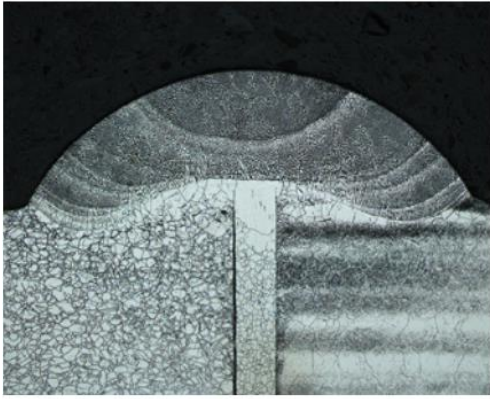
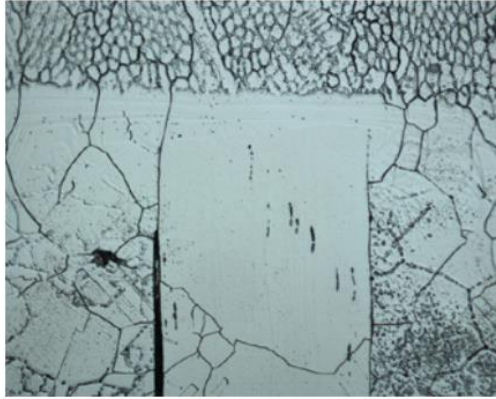
2.1.10. ábra: Kémiai polírozó rendszer [2.1.9]

A kémiai sorjázási és polírozási eljárásokat a következő alkalmazásokban alkalmazzák: merülőtartályok egyedi alkatrészei kosarakkal vagy felfüggesztő berendezésekkel, csövekkel és hosszú fúrt lyukakkal az oldatnak az alkatrészekeken keresztül történő szivattyúzásával, kis alkatrészek, többnyire ömlesztve, feltéve, hogy nem károsíthatják egymást; huzalok és szalagok folyamatos feldolgozással tekercsről tekercsre vagy laza kötegben, nagy tartályok permetezéssel vagy szórással.

Savalapú maratószerkek



A savas maratószerket általában kémiai polírozásban használják, mivel nagy reakcióképességük és a fémes anyagok széles skálájának feloldására képesek, amint azt a 2.1.11. ábra mutatja. A savalapú maratószerke közé tartozik például a salétromsav (HNO_3), a sósav (HCl) és a kénsav (H_2SO_4). Ezek a maratószerke hatékonyan távolítják el az oxidokat, a vízkő és a felületi szennyeződéseket. A savalapú maratószerke különösen hasznosak olyan anyagokhoz, mint a rozsdamentes acélok, alumíniumötvözetek és titánötvözetek. A savalapú maratószerke összetétele és koncentrációja beállítható a szelektivitás és a felületi minőség különböző szintjeinek elérése érdekében.

	
Mechanikusan polírozott és elektrolitikusan maratott metszet mikroimpulzusú volfrám inert gázhegesztéssel Inconel 625 ötvözetben. 10% oxálsavban maratva; 10 V 10 másodpercig. Világos mező, 2,5x.	Ugyanaz az anyag. A hegesztés mikrostruktúrája elsődleges szilárd oldatból és finom, feloldhatatlan másodlagos fázisból áll. A metszet az alapanyag kifejezett szemcsedurvulását mutatja a fúziós felület közelében. Világos mező, 10x.

2.1.11. ábra: Inconel 625 ötvözet a vegyi támadás előtt és után [2.1.10]

Lúgos alapú maratószerke

Az alkáli alapú maratószerke gyakran használják fémek és ötvözetek kémiai polírozására. A nátrium-hidroxid (NaOH) és a kálium-hidroxid (KOH) a metallográfiában használt gyakori lúgos alapú maratószerke. Az alkáli maratószerke hatékonyan távolítják el az oxidrétegeket, és sima és fényes felületeket biztosíthatnak. Az alkáli alapú maratószerke alkalmasak olyan anyagokhoz, mint a rozsdamentes acél, mint a 2.1.12. ábrán, réz, sárgaréz és bizonyos alumíniumötvözetek. A lúgos maratószerke koncentrációja és hőmérséklete beállítható a maratási sebesség és a szelektivitás szabályozására.

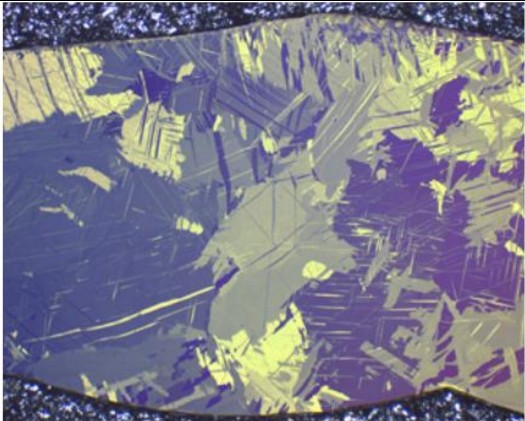
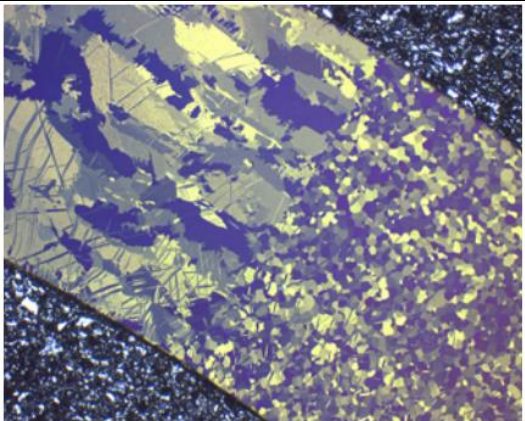


	
<p>Hegesztés-alap fém interfész Duplex rozsdamentes acélon. Mechanikusan előkészítve; elektrolitikusan maratva 40% -os vizes nátrium-hidroxid oldatban. Világos mező, 25x.</p>	<p>Ugyanaz az anyag. A hegesztési mikrostruktúra főleg delta ferritből és ausztenitből áll. Világos mező, 200x.</p>

2.1.12. ábra: Duplex rozsdamentes acél a kémiai támadás előtt és után [2.1.10]

Vegyes rézmaratók

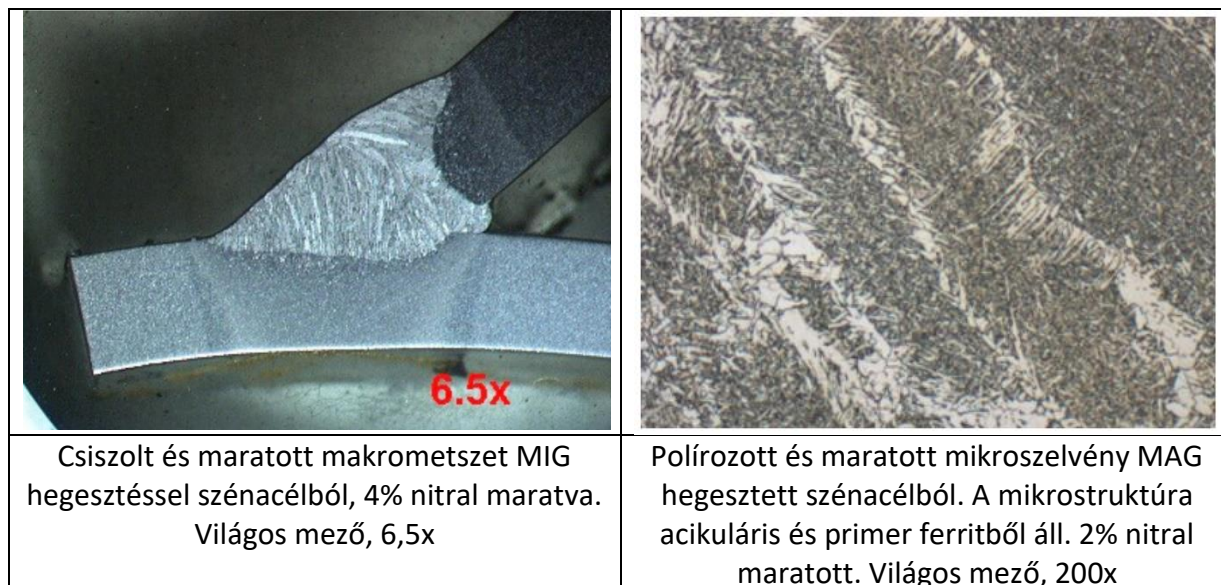
A kevert maratószerek kémiai vegyületek kombinációjából állnak, amelyek szélesebb körű maratási képességeket kínálnak, mint az egyes savas vagy lúgos maratószerek. A kevert maratószerek jobb szelektivitást és ellenőrzött anyageltávolítási sebességet biztosíthatnak bizonyos mikroszerkezeti összetevők esetében, amint azt a 2.1.13. ábra mutatja. Az egyik példa a Kroll-reagens, amely salétromsav és hidrogén-fluorid keveréke. Általában titán és titánötvezetek kémiai polírozására használják, fényes és fényvisszaverő felületi minőséget biztosítva.

	
<p>Hegesztési terület. A teljes behatolású hegesztés mechanikusan polírozott hegesztési szakasza 1. osztályú titánból. A hegesztési mikroszerkezet Widmanstätten α fázisból áll. Polarizált fény érzékeny színezőlemezzel ($\lambda 1/4$-lemez), 50x.</p>	<p>Ugyanaz az anyag. Szülő-hő által érintett zóna interfész. Polarizált fény érzékeny színezőlemezzel ($\lambda 1/4$-lemez), 50x.</p>

2.1.13. ábra: 1. fokozatú titán a kémiai támadás előtt és után [2.1.10]

Speciális maratószerkek speciális ötvözetekhez

Bizonyos ötvözetek speciális maratószerkeket igényelhetnek, amelyek egyedi mikrostruktúrájukhoz és összetételükhöz igazodnak. Ezeket a speciális maratószerkeket úgy tervezték, hogy szelektíven feltárják a specifikus mikroszerkezeti jellemzőket vagy fázisokat. Ilyen például a nital (2.1.14. ábra), amely salétromsav és etanol keveréke, amelyet acélok szemcsehatárainak feltárására használnak, valamint a Beraha-reagens, amelyet réz és rézötvözetek szemcsehatárainak feltárására használnak.



2.1.14. ábra: Szénacél a vegyi támadás előtt és után [2.1.10]

A hőmérséklet és az idő fontos szerepet játszik a kémiai polírozásban. A maratási sebesség nagymértékben függ a maratás hőmérsékletétől. A magasabb hőmérséklet általában gyorsabb anyageltávolítási sebességet eredményez, bár a túl magas hőmérséklet ellenőrizetlen és nem egyenletes maratáshoz vezethet. A maratási idő egy másik kritikus paraméter, amely befolyásolja az anyag eltávolításának mértékét és a felületi minőséget. A hosszabb maratási idő nagyobb anyageltávolítást és simább felületeket eredményezhet. A maratási időt azonban gondosan ellenőrizni kell, hogy elkerüljük a túlzott maratást és a kívánt mikroszerkezeti jellemzők túlzott eltávolítását. A hőmérséklet és a maratási idő paramétereinek optimalizálása elengedhetetlen a kívánt felületi minőség, szelektivitás és a mikroszerkezeti részletek megőrzéséhez.

Általában az őrlött mintát a polírozószerbe merítik, vagy az oldattal addig törölgetik, amíg polírozást nem kapnak, majd szükség szerint maratják vagy mossák és szárítják. A reagenseket a 2.1.5. táblázat sorolja fel [2.1.11].

2.1.5. táblázat: Kémiai polírozó reagensek

Fém	Reagens*	Mennyiség	Idő	Hőmérséklet (OC)	Megjegyzések
	Kénsav (1.84)	25 ml		85	



Alumínium és ötvözetek	Ortofoszforsav	70 ml	30 s-2 perc		Nagyon hasznos az intermetallikus vegyületeket tartalmazó ötvözetek, pl. Al-Cu, Al-Fe, Al-Si ötvözetek tanulmányozására.
	Salétromsav	5 ml			
Berillium	Kénsav (1.84)	1 ml	Néhány perc	49-50	A fémeltávolítás sebessége kb. 1 µm/perc-1. A képződött passzív filmréteg eltávolítható 15-30 másodperces 10 %-os kénsavba merítéssel.
	Ortofoszforsav (1,75)	14 ml			
	Krómsav	20 g			
	Víz	100 ml			
Kadmium	Salétromsav (1.4)	75 ml	5-10 s	20	Néhány másodperces mártási ciklusokat, majd azonnal gyors vízszugárral történő mosást alkalmaznak, amíg fényes felületet nem kapnak.
	Víz	25 ml			
Réz	Salétromsav	33 ml	1-2 perc	60-70	A felület jobb, ha nincs réz-oxid
	Ortofoszforsav	33 ml			
	Jeges ecetsav	33 ml			
Rézöt-vözetek	Salétromsav	30 ml	1-2 perc	70-80	A mintát össze kell keverni
	Sósav	10 ml			
	Ortofoszforsav	10 ml			
	Jeges ecetsav	50 ml			
Réz-cink ötvözetek	Salétromsav (1.40)	80 ml	5 s	40	Használjon 5 másodperces merítési periódusokat, amelyeket azonnal gyors vízszugárral történő lemosás követ. Az α-β és β-γ sárgarézek esetében a differenciális támadás megelőzése érdekében az összetételben enyhe eltérésekre van
	Víz	20 ml			



					szükség. A β - γ ötvözeteknél tompa filmréteg képződik, amely eltávolítható néhány másodperces, füstölgő salétromsavval telített krómsavoldatba való merítéssel, majd mosással.
Germánium	Flúorsav +	15 ml	5-10 s	20	-
	Salétromsav	25 ml			
	Jeges ecetsav	15 ml			
Hafnium	Salétromsav	45 ml	5-10 s	20	Ami a cirkóniumot illeti
	Víz	45 ml			
	Flúorsav +	8-10 ml			
Vas	Salétromsav	3 ml	2-3 perc	60-70	Sűrű barna viszkózus réteg képződik a felületen; a réteg oldatban oldódik. Az alacsony széntartalmú acélok is polírozhatók, de a cementitet előszeretettel támadják meg.
	Folyékony hidrogén-fluorid (40%)+	7 ml			
	Víz	30 ml			
Vasak és acélok	Desztillált víz	80 ml	15 perc	35	Az oldatot használat előtt frissen kell elkészíteni. A kezelés előtt gondos mosás szükséges. Olyan mikroszerkezetet kapunk, amely hasonló a mechanikus polírozással, majd nitalos maratással előállítotthoz.
	Oxálsav (100 g/l)	28 ml			
	Hidrogén-peroxid (30%)	4 ml			
Lead	Hidrogén-peroxid (30%)	80 ml	5-10 s-os időszakok	20	A Russel-reagenssel ellenőrizze, hogy a végső polírozás előtt eltávolítottunk-e minden kiömlött réteget ebben a reagensben.
	Jeges ecetsav				
Magnézium	Füstölgő salétromsav	75 ml	3 s-os időszakok	20	A reakció körülbelül egy perc múlva szinte robbanásszerű hevességet ér el, de ha



					hagyjuk, hogy folytatódjon, néhány perc múlva megszűnik, és egy vizsgálatra kész polírozott felületet hagy maga után.
	Víz	25 ml			A mintát az oldatból való eltávolítás után azonnal le kell mosni.
Nikkel	Salétromsav (1.40)	30 ml	1/2 - 1 perc	85-95	Ez a megoldás nagyon jó polírozást biztosít
	Kénsav (1.84)	10 ml			
	Ortofoszforsav (1.70)	10 ml			
	Jeges ecetsav	50 ml			
Szilícium	Salétromsav (1.40)	20 ml	5-10 s	20	1:1 arányú keveréket is használnak
	Folyékony hidrogén-fluorid (40%)+	5 ml			
Tantál	Kénsav (1.84)	50 ml	5-10 s	20	Az oldat hasznos az eloxálás előtti felületek előkészítéséhez
	Salétromsav (1.40)	20 ml			
	Folyékony hidrogén-fluorid (40%)+	20 ml			
Titánium	Folyékony hidrogén-fluorid (40%)+	10 ml	30-60 s	-	Tamponálás, amíg kielégítő nem lesz
	Hidrogén-peroxid (30%)	60 ml			
	Víz	30 ml			
	Folyékony hidrogén-fluorid (40%)+	10 ml			
	Salétromsav (1.40)	10 ml			
	Tejsav (90%)	30 ml			
Cink	Füstölgő salétromsav	75 ml	5-10 s	20	Ami a kadmiumot illeti
	Víz	10 ml			
	Króm-trioxid	20 g	3-30 perc	20	Az oldatot gyakran kell cserélni
	Nátrium-szulfát	1.5 g			
	Salétromsav (1.40)	5 ml			
	Víz	100 ml			



Cirkónium (Hafnium is)	Savas ammónium-fluorid	10 g	1/2 -1 perc	30-40	Az oldódás sebessége jelentősen változik a hőmérséklettel, és az adott tartományban 20-60 µm min ⁻¹ körül van.
	Salétromsav (1.40)	40 ml			
	Fluzilsav	20 ml			
	Víz	100 ml			
	Salétromsav (1.40)	40-45	5-10 ml	-	A reakció a levegő/oldat határfelületen erőteljes, ezért a mintát a folyadék felszínéhez közel tartjuk. Víz helyett hidrogén-peroxid (30%) is használható.
	Víz	40-45 ml	Ismételt		
	Folyékony hidrogén-fluorid (40%)+	10-15 ml			

* A savak koncentráltak, hacsak másképp nem jelezzük.

A hidrofluoros sav visszafordíthatatlan csontkárosodást okoz, és számos egyéb veszélyt is rejt magában. Még a híg hidrogén-fluorsav oldatokat is nagy körültekintéssel kell kezelni. Vegye figyelembe, hogy a fluorvizes sav megtámadja a laboratóriumi üvegeszközöket.

A maratószer kémiai összetétele határozza meg a kémiai polírozás során lejátszódó reakciók típusát. Például a savalapú marószer jellemzően protonadományozással és oldható fémsók képződésével járnak. Az alkáli alapú marószer ezzel szemben hidroxidion-reakciókra támaszkodnak a felület feloldásához. A felületi passzíválási és gátlási mechanizmusok szintén befolyásolhatják a maratási folyamatot. Ezek a jelenségek a védő oxidrétegek kialakulását vagy olyan inhibitorok jelenlétét foglalják magukban, amelyek bizonyos területeken lelassítják vagy leállítják a maratási reakciót. Ezeknek a mechanizmusoknak a szabályozása döntő fontosságú az egyenletes anyageltávolítás és a kívánt felületkezelés eléréséhez.

A kémiai polírozás mechanizmusai

A kémiai polírozás mechanizmusa a különböző mikroszerkezeti összetevők szelektív feloldását vagy marását foglalja magában a maratószerrel való reakcióképességük alapján. Ez a szelektivitás olyan tényezőktől függ, mint a kristályográfiai orientáció, a kémiai összetétel és a felületi hibák.

Egyes esetekben a maratószer előnyben részesíti a szemcsehatárokat vagy más kristályrajzi síkokat, ami az anyag eltávolításához vezet ezekről a területekről. Más marószer bizonyos fázisokat vagy összetevőket célozhatnak meg, ami azok preferenciális feloldását eredményezi. A szelektivitást befolyásolja a maratószer összetétele, a hőmérséklet és a folyamat paraméterei.

a. Mikroszerkezet-vizsgálat: A kémiai polírozást széles körben használják a mikroszerkezet vizsgálatára. Azáltal, hogy sima és polírozott felületet biztosít, lehetővé teszi a mikroszerkezeti jellemzők, köztük a szemcsehatárok, fázisok, zárványok és csapadékok egyértelmű megfigyelését és elemzését. A kémiai polírozás által megkönnyített mikroszerkezet-vizsgálat segít az anyag összetételének, szemcseméretének, szemcsemorfológiájának és a fázisok eloszlásának

megértésében. Alapvető fontosságú a feldolgozás, a hőkezelés és az ötvözés mikroszerkezetre és az azt követő mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatásainak értékeléséhez.

b. Szemcseméret-meghatározás: A kémiai polírozás fontos szerepet játszik a szemcseméret meghatározásában a fémes anyagokban. A szemcsehatárok egyértelmű feltárásával lehetővé teszi a szemcseméret pontos mérését és elemzését optikai vagy elektronmikroszkópiával. A szemcseméret meghatározása elengedhetetlen az anyag mechanikai tulajdonságainak, például a szilárdságnak, a keménységnek és a fáradásállóságnak az értékeléséhez.

c. Felületi domborzatelemzés: A felületi domborzatelemzéshez kémiai polírozást alkalmaznak, különösen az összetett mikroszerkezetű anyagok esetében. Az anyag szelektív eltávolításával és a felületi jellemzők láthatóságának fokozásával lehetővé teszi a felületi domborzatváltozások, például a felületi hullámosság, a deformációs minták és a textúra vizsgálatát. A kémiai polírozás által megkönnyített felületi domborzatelemzés segít a felületi deformációs mechanizmusok, a felületkezelések hatékonyságának, valamint a mechanikai és termikus folyamatoknak a felületi morfológiára gyakorolt hatásának megértésében.

d. Második fázisú részecskeérzékelés: A kémiai polírozás értékes a fémes anyagokban lévő második fázisú részecskék kimutatására és elemzésére. A mátrixfázis preferenciális feloldásával javítja a második fázisú részecskék láthatóságát és kontrasztját, lehetővé téve azok azonosítását, mérését és jellemzését. A kémiai polírozás által megkönnyített második fázisú részecskék kimutatása lehetővé teszi a második fázisú részecskék eloszlásának, méretének, morfológiájának és térfogattömegének megértését. Ez értékes betekintést nyújt az anyag szilárdságába, szívósságába, kopásállóságába és egyéb mechanikai tulajdonságaiba.

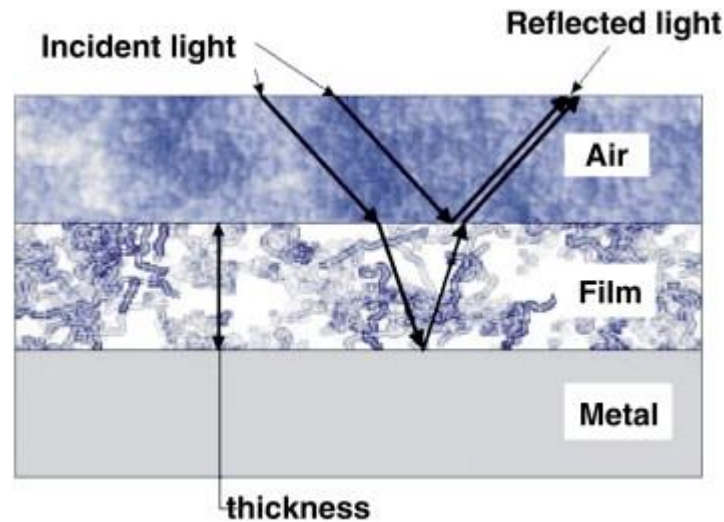
A kémiai polírozás sokoldalúan alkalmazható technika a metallográfiában. Lehetővé teszi a mikroszerkezet vizsgálatát, a szemcseméret meghatározását, a felületi domborzat elemzését és a második fázisú részecskék kimutatását. Az anyag szelektív eltávolításával és a mikroszerkezeti jellemzők feltárásával a kémiai polírozás hozzájárul a fémes anyagok megértéséhez és jellemzéséhez.

- 2.1.6. Színes metszet. Meghatározás és cél

Bevezetés a színes metszésbe

A színes maratás, más néven színmaratás vagy színezés, a fémmintán belül speciális maróanyagok segítségével történő, meghatározott mikroszerkezeti összetevők festésére vagy színezésére szolgáló folyamatot jelenti. A színes maratás célja a különböző fázisok, zárványok, szemcsehatárok és egyéb mikroszerkezeti jellemzők láthatóságának és kontrasztjának fokozása. Ezen alkotórészek szelektív színezésével a technika lehetővé teszi azok azonosítását, jellemzését és elemzését.

A színes maratás a metallográfiában alkalmazott technika, amellyel szelektíven festik vagy színezik a különböző mikroszerkezeti összetevőket egy fémes anyagon belül. Speciális maróanyagok alkalmazásával a technika növeli a különböző fázisok, zárványok és szemcsehatárok láthatóságát és kontrasztját, amint azt a 2.1.15. ábra mutatja.



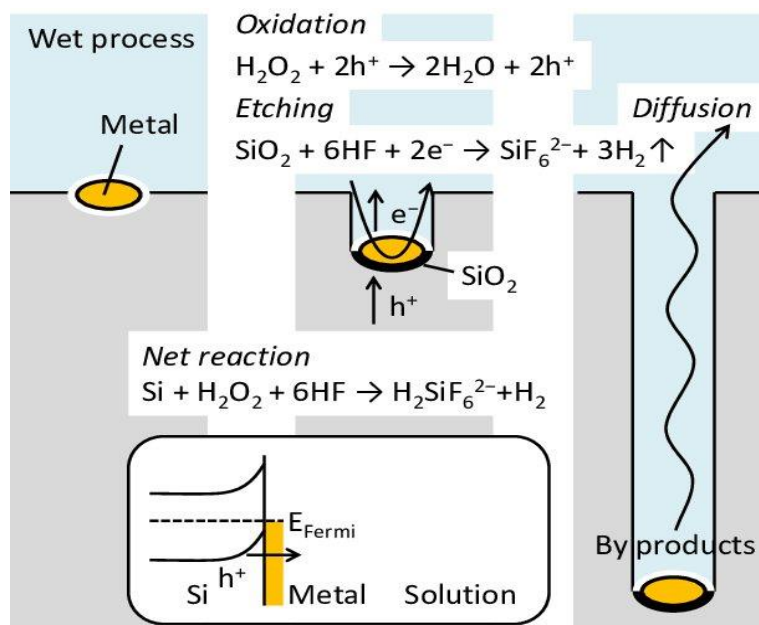
2.1.15. ábra Színes maratás: A maróoldatokat kémiai úton manipulálják a pontos színezés elérése érdekében, jellemzően 0,04-0,5 μm vastagságú réteg kialakításával a minta felületén. Ezek a vékony rétegek oxidokból, szulfidokból vagy komplex molibdátvegyületekből állnak, és az interferenciahatásoknak tulajdonítható színtartományt mutatnak [2.1.12].

A színes maratás jelentős szerepet játszik az anyagok elemzésében és jellemzésében, értékes információkat szolgáltatva azok mikroszerkezeti jellemzőiről.

A színes maratás mechanizmusai

A marószerke és a mikroszerkezeti összetevők kölcsönhatása

A színes maratás mechanizmusai a marószerke és a mikroszerkezet egyes alkotóelemei közötti szelektív kölcsönhatást foglalják magukban, amint azt a 2.1.16. ábra mutatja. A különböző marószerke különböző fázisokhoz, zárványokhoz vagy szemcsehatárokhöz eltérő affinitást mutatnak, ami eltérő színképződést eredményez.



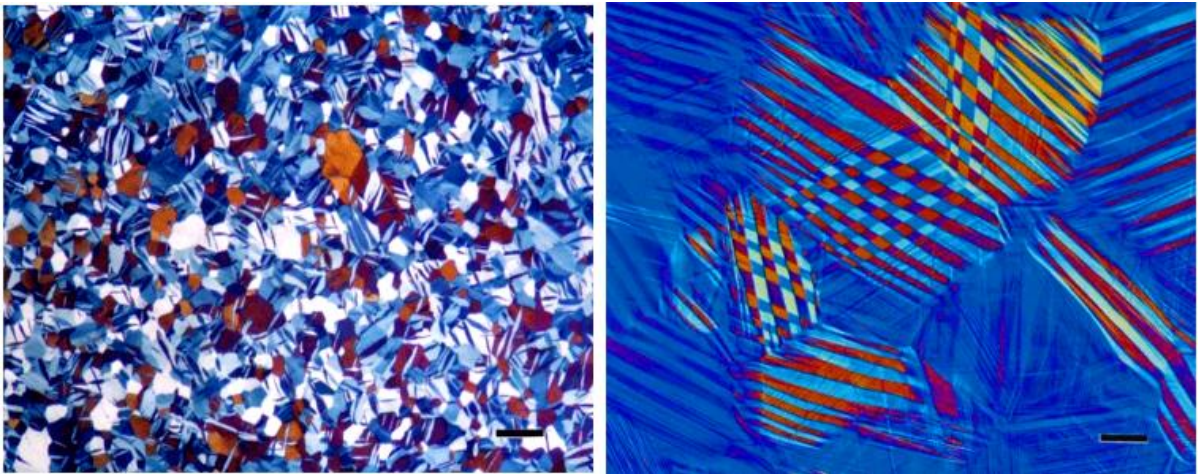


2.1.16. ábra A szilícium fémmel segített kémiai maratásának (MaCE) egyszerűsített mechanizmusa HF és H₂O₂ kevert oldatban [2.1.13].

A marószerek különbözőképpen reagálhatnak az alkotóelemekkel olyan tényezők miatt, mint a kémiai összetétel, a kristályos orientáció és a felület állapota. Ezek a kölcsönhatások színes vegyületek vagy komplexek kialakulásához vezethetnek a mikroszerkezeti elemek felületén, így azok jobban láthatóvá és megkülönböztethetővé válnak.

A színek képzés alapelvei

A szín a felületen képződött színes vegyületek vagy komplexek által a fény meghatározott hullámhosszúságú részeinek elnyelése, visszaverődése vagy interferenciája miatt alakul ki, amint azt a 2.1.17. (balra) és a 2.1.18. (jobbra) ábra mutatja.



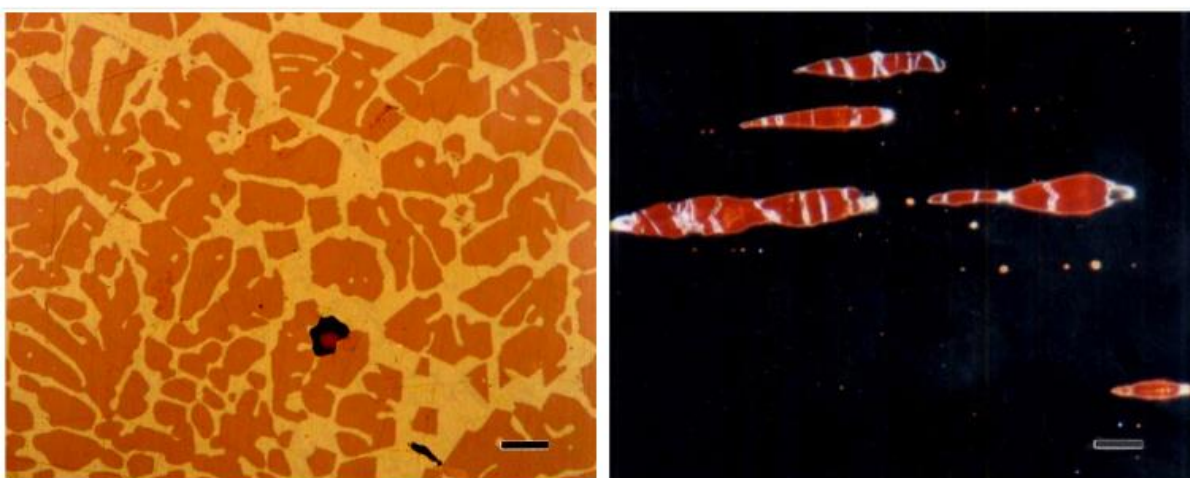
2.1.17. ábra (balra) és 2.1.18. ábra (jobbra): Nagy tisztaságú Zr (balra) melegen megmunkált és hidegen húzott (mechanikai ikrek) szemcseszerkezete polarizált fényben, valamint a martenzit előállítása érdekében polírozott és alakemlékező hatáson keresztül ciklikusan megmunkált Spangold (Au - 19Cu-5Al) szemcseszerkezete, és a szabad felületen a nyírási reakció következtében fellépő felületi felborulás leképezésére Nomarski differenciális interferencia megvilágítást alkalmaztunk. A nagyítási sávok 100, illetve 50 μ m-esek [2.1.14].

A színes (tintás) maróanyagok által előállított színek fényes tér megvilágításban láthatóak, és sok esetben polarizált fényvel további fokozás érhető el. A színeket interferenciával alakítják ki, ugyanúgy, mint a hőszínezés vagy a vákuumos leválasztás esetén. Mint említettük, a színt a film vastagsága határozza meg, általában a sárga, vörös, ibolyaszín, kék és zöld sorrendben, fehér fényben vizsgálva. Anódos rendszereknél a film csak az anódos fázis felett alakul ki, de vastagsága a fázis kristályográfiai orientációjától függően változhat. Katódos rendszereknél, mivel a film vastagsága a katódos fázis felett általában állandó, csak egy szín keletkezik, amely a film növekedésével változik a maratás során. Ezért ahhoz, hogy minden alkalommal ugyanazt

a színt kapjuk, a maratási időtartamnak állandónak kell lennie. Ezt úgy lehet elérni, hogy a maratás időzítését és a minta makroszkopikus színének megfigyelését a festés során végezzük.

A színfejlődést befolyásoló tényezők

A színes maratásnál a színfejlődést több tényező is befolyásolhatja. Ezek közé tartozik a marószer összetétele és koncentrációja, a hőmérséklet, a maratási idő és a minta felületének előkészítése, mint a 2.1.19. és 2.1.20. ábrán látható. Ezenkívül az ötvözőelemek, szennyeződések vagy bizonyos kristályrajzi orientációk jelenléte is befolyásolhatja a szín intenzitását és kontrasztját.



A 2.1.19. ábra (balra) és a 2.1.20. ábra (jobbra) az AuAl₂ intermetallikus (balra) természetes vöröses-lila színét mutatja fényes térben, és a rézoxid jellegzetes rubinvörös színét sötét térben megvilágítva (keményszemes arzénréz minta). A nagyítási sávok 50, illetve 10 μm -esek [2.1.14].

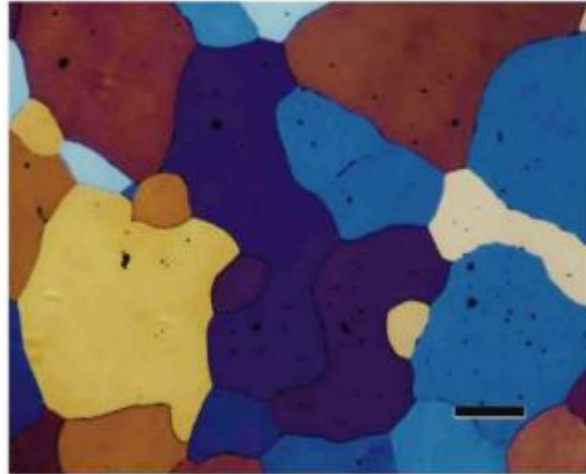
Ezeknek a tényezőknek a megértése döntő fontosságú az optimális színkifejlődés és kontraszt eléréséhez a színes maratásban. A maratási paraméterek gondos ellenőrzése és optimalizálása szükséges a megbízható és reprodukálható eredmények eléréséhez.

A színes maratás különösen akkor hasznos, ha az érdeklődésre számot tartó mikroszerkezeti jellemzők nem különböztethetők meg egyértelműen a maratás nélküli mintában. Lehetővé teszi az optikai vagy elektronmikroszkópos megfigyelést és vizsgálatot, megkönnyítve az anyag összetételének, szerkezetének és tulajdonságainak jobb megértését.

Sok fém esetében, amelyet a szemcsehatárok feltárása érdekében standard reagensekkel maratnak, gyakran nem az összes, hanem csak a határok nagy százalékát kapjuk meg. A színes marószerkezetek azonban teljesen feltárlják a szemcse szerkezetet. Az izzó ikekkel rendelkező fémek esetében nagyon nehéz lehet a szemcseméret megítélése, ha a standard marószerkezet a szemcsék és az ikerhatárok egy részét feltárlja. Valójában egy ilyen minta esetében még kézzel is igen nehéz lehet a szemcseméret pontos mérése, mivel a szemcsék és az ikerhatárok megkülönböztetése (ez utóbbiakat a mérés során figyelmen kívül kell hagyni) nem egyszerű.

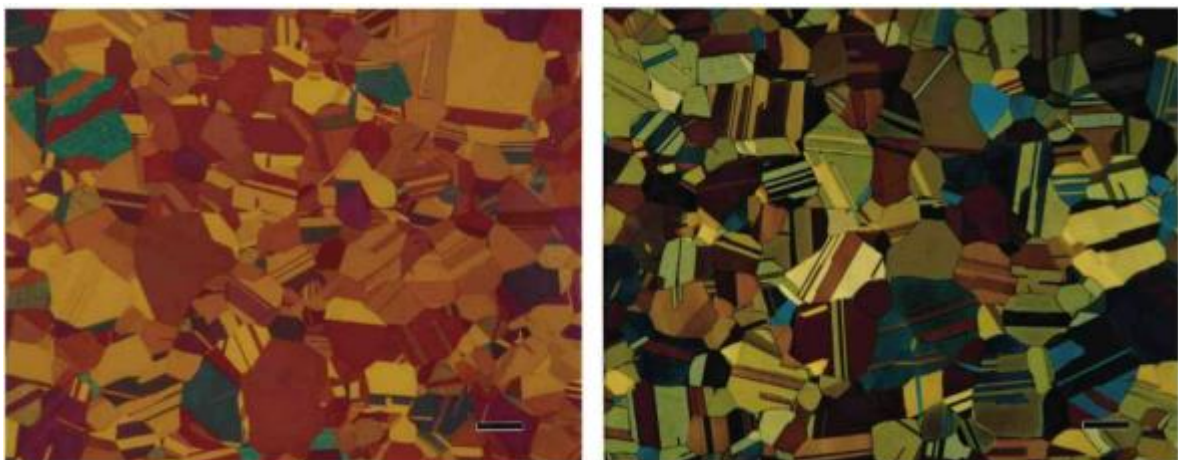


Színesen maratott mikroszerkezet esetén azonban viszonylag könnyű elkülöníteni a szemcséket az ikerhatároktól, legalábbis kézzel. Továbbá a filmek a kristályorientáció függvényében nőnek. Ezért a jelen lévő színtartomány szűkössége alapján bármilyen preferált kristályos orientáció kimutatható. A 2.1.21. ábrán véletlenszerű mintázatban a színek széles skálája van jelen.



2.1.21. ábra Szupertiszta alumínium anodizált kristályok orientációjának kiemelése a Barker-reagenssel (30 Vdc, 2 perc). A nagyításáv 200 μm hosszú [2.1.14].

A szupertiszta alumínium eloxált kristályok orientációja véletlenszerű. Ha a szemcsékben egy szűk színtartomány van jelen, akkor egy preferált orientáció van kiemelve. Az árnyalatmaratási összetételeket a fejezet végén adjuk meg. A minták előkészítésének jobbnak kell lennie a színes módszerek alkalmazásakor a fekete-fehér módszerekhez képest, mert az epitaxiálisan növesztett filmek érzékenyek a maradék, előkészítés okozta sérülésekre, amelyeket nem távolítottak el. Ez a szintű előkészítés a képelemző munkáknál szükséges, és a megfelelő felszereléssel rendelkező, hozzáértő metallográfus által könnyen elérhető. Az elektrolitikus polírozás nem szükséges a sérülésmentes felületek eléréséhez. A leggyakoribb színmarók azok, amelyek szulfid alapú interferenciafilmet raknak le a mintadarabra, amint azt a 2.1.22. és 2.1.23. ábra mutatja. Ezek a legismertebb árnyalatmarók, és általában a legkönnyebben használhatók.

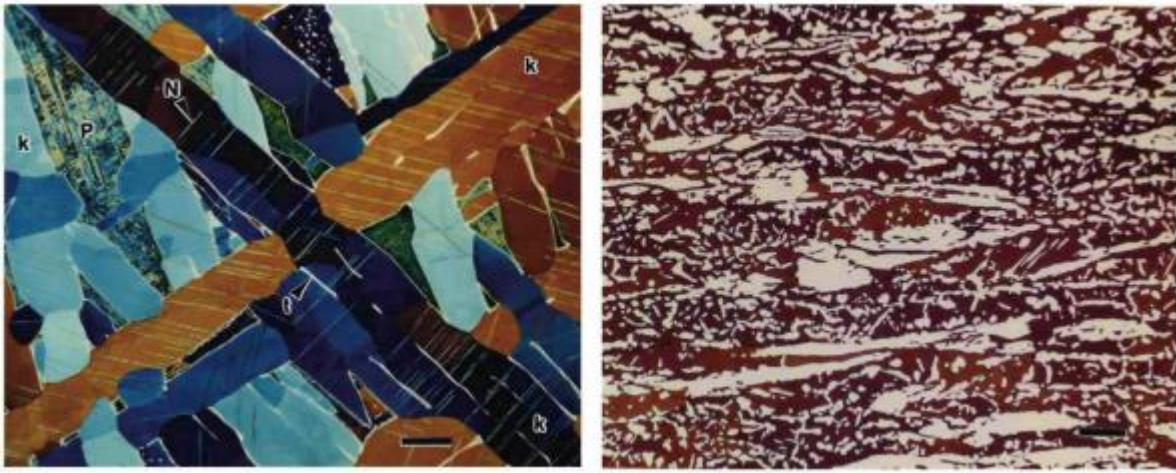


2.1.22. és 2.1.23. ábra: FCC ikerszálas szemcseszerkezetű patronos sárgaréz, Cu - 30% Zn, hidegredukció és teljes izzítás után, Klemm I (balra) és Klemm III (jobbra) reagenssel maratott



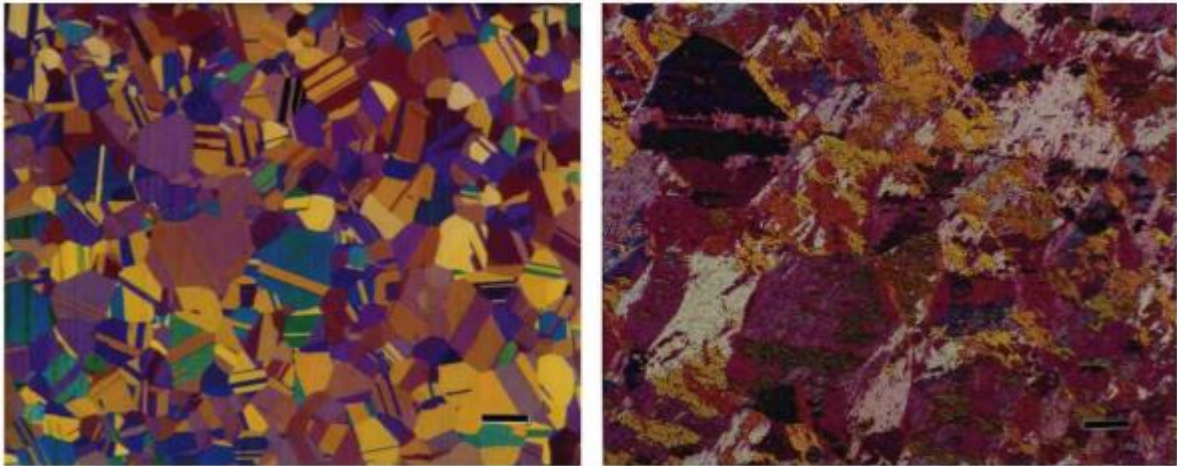
és polarizált fényrel plusz érzékeny színnel nézett színezés. A nagyítási sávok 200 μm hosszúak [2.1.14].

Klemm és Beraha fejlesztette ki a legszélesebb körben használt szulfid alapú színező marószereket, amelyek nátrium-tioszulfátot, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, és kálium-metabiszulfítot, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$, használnak. A Klemm-féle I, II, III (2.1.22. és 2.1.23. ábra) és Berahák egyik reagensében mindkét összetevőt használják (2.1.24. ábra), míg Beraha különböző HCl-koncentrációkat ajánl, amelyet kálium-metabiszulfittal együtt használnak (2.1.25. ábra) különböző vas alapú ötvözetek maratására.



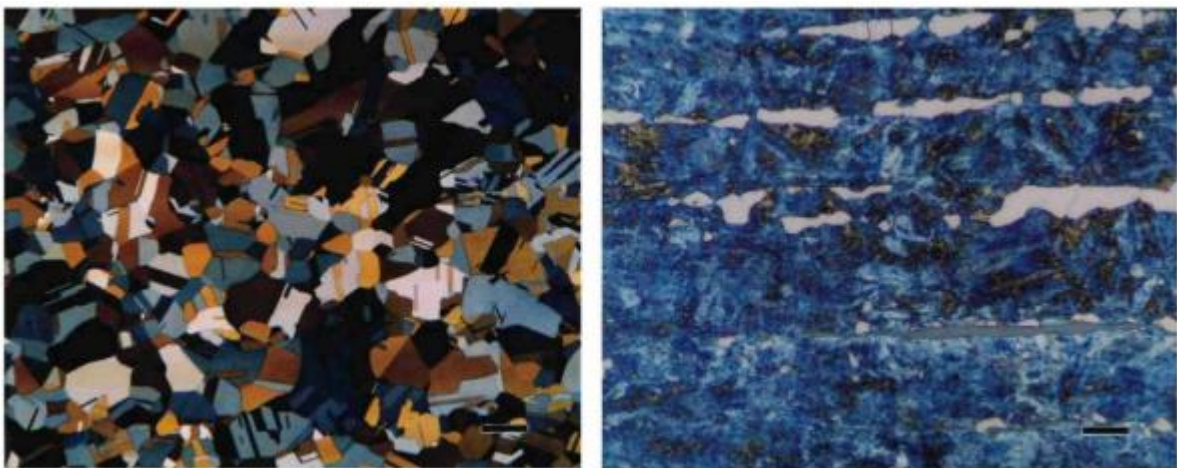
2.1.24. és 2.1.25. ábra: A Gibeon meteorit finom oktahedrit szemcseszerkezete (balra), amelyet Berahas reagenssel (100 ml víz, 10 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ és 3 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$), valamint a 7 Mo PLUS duplex rozsdamentes acéllemezben lévő ferrit, amelyet Berahas reagenssel (85 ml víz, 15 ml HCl, 1 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$) mutattak ki. A nagyítási sávok 500, illetve 50 μm hosszúak [2.1.14].

Ezek a marószerek az öntöttvas, a szén- és az alacsonyán ötvözött acélok ferritjének és martenzitjének színezésére használhatók. A HCl-alapú reagens koncentrációja széles skálán mozog, és rozsdamentes acélok (2.1.26. ábra), Ni alapú és Co alapú ötvözetek szemcseszerkezték színezésére használhatók. A nátrium-metabiszulfítot többféle koncentrációban használták, kb. 1 és 20 g/100 ml víz között, és biztonságos, megbízható, hasznos színmarató a vasak és acélok esetében (2.1.27. ábra).



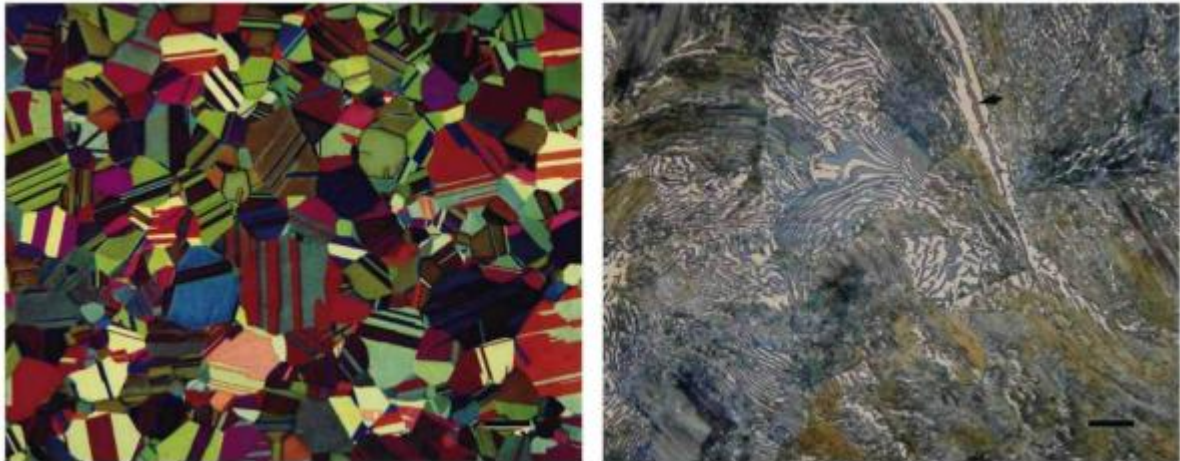
2.1.26. és 2.1.27. ábra: A Berahas BI reagenssel feltárt FCC ikerszerkezetű Custom Flo 302 rozsdamentes acél FCC ikerszerkezete és a 10% nátrium-metabiszulfid felhasználásával feltárt, túlaustenitizált (1093 °C) AerMet 100 ultranagy szilárdságú acél lécmartenzites szemcse szerkezete. Mindkettő polarizált fényben és érzékeny színezéssel megtekintve. A nagyítási sávok 100 μm hosszúak [2.1.14].

Beraha szulfaminsav alapú marószereket is kifejlesztett, amelyek egy gyenge szerves sav, és amelyeket nem sokat használtak, bár igen hasznosak, megbízhatóak és könnyen alkalmazhatók. A szulfámsav alapú reagensek öntöttvas, alacsony széntartalmú és ötvözött acélok, szerszámacélok és martenzites rozsdamentes acélok esetében alkalmazhatók (2.1.27. ábra).



2.1.27. és 2.1.28. ábra: Beraha szulfaminsavas reagenssel feltárt ikres FCC-szemcse szerkezet Fe-39% Ni-ben (balra) és a Carpenter Project 70 típusú 416-os martenzites rozsdamentes acél edzett martenzites szemcse szerkezete Beraha CdS reagenssel feltárva (jobbra). A fehér szemcsék deltaferritek, a szürke zárványok pedig szulfidok. Polarizált fényben plusz érzékeny árnyalattal megtekintve. A nagyítási sávok 100, illetve 200 μm hosszúak. [2.1.14]

Beraha két olyan, meglehetősen speciális árnyalatú maratást is kifejlesztett, amelyek kadmium-szulfid (2.1.28. ábra) vagy ólom-szulfid (2.1.29. ábra) filmeket raknak le acélok és 4 rézalapú ötvözet felületére. Ez a két marószerszám igen hasznos, bár fáradságos az elkészítése



2.1.29. és 2.1.30. ábra: A 2.1.22. és 2.1.23. ábrán látható, Beraha PbS reagenssel maratott patronos sárgaréz mikroszkópia (balra) és Beraha nátrium-molibdát reagenssel színezett cementit egy melegen hengerelt Fe-1%-os C bináris ötvözetben (jobbra). A nagyítási sávok 200, illetve 20 μm hosszúak [2.1.14].

CdS reagensét szén- és ötvözött acélok, szerszámacélok, valamint ferrites, martenzites és csapadékkal edzhető rozsdamentes acélok esetében lehet használni, míg a PbS reagens kiválóan alkalmazható rézalapú ötvözeteken, és az acélok szulfidjainak fehérre színezésére is (a mintát előzetesen nitállal marják, és a maratás megszínezi a sötétített mátrixot, így a fehér szulfidok láthatóvá válnak). Beraha két olyan színező marószert is kifejlesztett, amelyek salétromsavban lévő molibdátionokat használnak. Ezek az acélok cementitjét színezik (2.1.30. ábra).

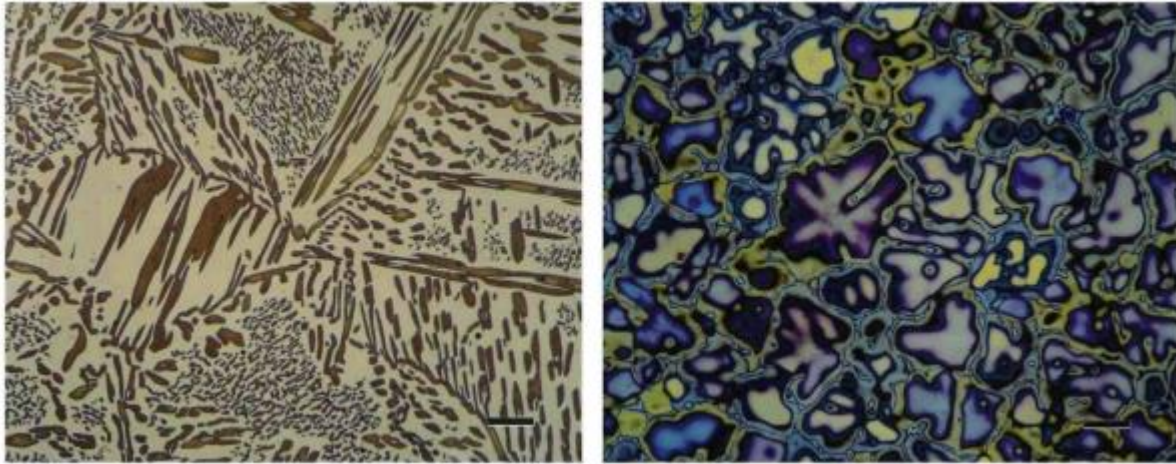


2.1.31. és 2.1.32. ábra: Beraha szelénsavas reagenssel öntöttvasra maratott szürke vas hidegöntési felületén lévő cementit (balra) és Beraha szelénsavas reagenssel rézötvözetekre kimutatott FCC alfa- és béta-fázisú ikerszövet (foltos és körvonalazott) Cu-40%-os Zn-ben. A nagyítási sávok 50, illetve 20 μm hosszúak [2.1.14].

Kidolgozott olyan színező marószereket is, amelyek elemi szelént raknak le az acélok (2.1.31. ábra), a nikkelalapú ötvözetek és a rézalapú ötvözetek (2.1.32. ábra) felületén. Számos más színező maróanyagot is kifejlesztettek különböző metallográfusok. Lichtenegger és Bloch

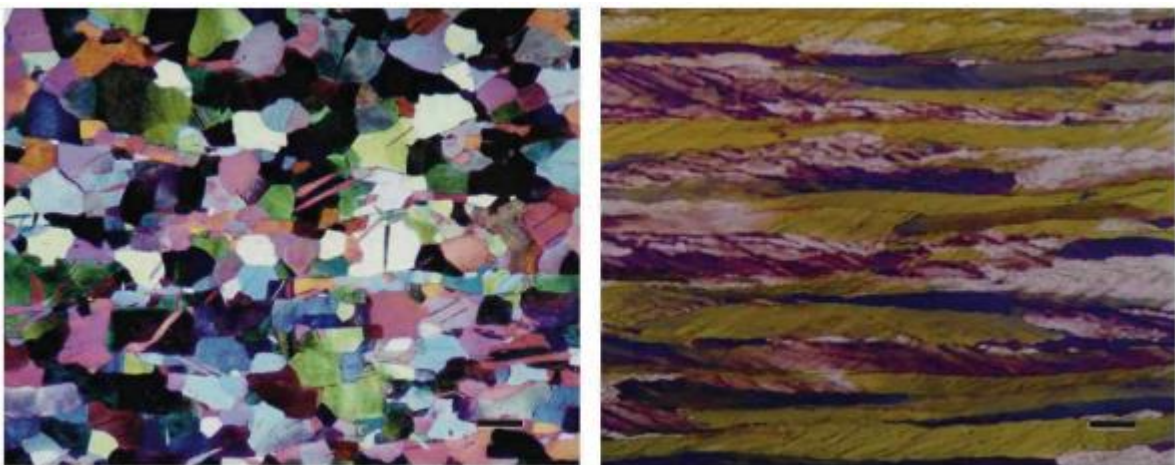


például kifejlesztett egy szokatlan reagens, amely a duplex rozsdamentes acélokban az ausztenitet (2.1.33. ábra) színezi, nem pedig a ferritet (mint szinte az összes többi).



2.1.33. és 2.1.34. ábra: Az ASTM890 Grade 5A osztályú duplex rozsdamentes acélban az LBI reagenssel színezett ausztenit (balra) és a 206-os alumínium öntött szemcseszerkezete, amelyet az Al ötvözetekhez használt Week reagenssel mutattak ki (jobbra). A nagyítási sávok 100, illetve 50 μm hosszúak [2.1.14].

A Hét számos színező maróanyagot fejlesztett ki, miközben sokukat felhasználta a kutatásban. Többet alumínium (2.1.34. ábra) vagy titánötvözetek (2.1.35. ábra) színezésére fejlesztettek ki.



2.1.35. és 2.1.36. ábra: Mechanikai ikreket tartalmazó, hengerelt CP Ti (ASTM F67, Grade 2) szemcseszerkezete (balra), amelyet módosított Week reagenssel marattak, és hidegen hengerelt tiszta molibdén (jobbra), amelyet az Oak Ridge National Laboratory által kifejlesztett reagenssel színeztek. A nagyítási sávok 100, illetve 20 μm hosszúak [2.1.14].

Az öntött ötvözetekkel minden esetben könnyebb jó színt kialakítani, mint a kovácsolt ötvözetekkel. Az Al-Cu ötvözetekben a θ -fázis, az AlCu_2 színezésére két marószert találtak hasznosnak; a Lienard kifejlesztette az egyik legkönnyebben használható. Számos színmaró marószert fejlesztettek ki molibdénre (2.1.36. ábra) és volfrámra [2.1.15].



. A színes maratás alkalmazásai

A kohászat és a hegesztett kötések összefüggésében a színes maratás értékes technika, amely speciális alkalmazásokhoz használható:

Hegesztési hibák elemzése: A színes maratás alkalmazható a hegesztett kötések hibáinak, például a porozitásnak, repedéseknek, zárványoknak és az olvadás hiányának feltárására és kiemelésére. Speciális maróanyagok használatával a különböző hegesztési jellemzők kiemelhetők, ami segít a hegesztés minőségének és integritásának értékelésében.

Mikroszerkezeti vizsgálat: A színes maratás lehetővé teszi a hegesztési varrat és a hőbehatással érintett zóna (HAZ) mikroszerkezetének vizsgálatát. A különböző mikroszerkezeti alkotórészek különbözőképpen reagálhatnak a különböző maróanyagokra, lehetővé téve a kutatók és ellenőrök számára a fázisok megkülönböztetését és a szemcse szerkezettel és -eloszlással kapcsolatos lehetséges problémák azonosítását.

Fázisazonosítás: Bizonyos esetekben a hegesztési varratok több fázisból vagy ötvözetből állhatnak. A színes maratás segíthet megkülönböztetni ezeket a fázisokat azáltal, hogy szelektíven feltárja egyedi mikroszerkezeti jellemzőiket. Ez az információ döntő fontosságú a hegesztett kötés összetételének és tulajdonságainak megértéséhez.

Intermetallikus vegyületek kimutatása: A hegesztés intermetallikus vegyületek kialakulásához vezethet, amelyek jelentős hatással lehetnek a hegesztés mechanikai tulajdonságaira. A színes maratás segíthet e vegyületek azonosításában és jellemzésében, és segíthet felmérni a hegesztés teljesítményére gyakorolt potenciális hatásukat.

Maradó feszültségek elemzése: A színes maratás speciális technikákkal, például rétegtávolítási módszerekkel kombinálva felhasználható a hegesztett kötésekben lévő maradó feszültségek eloszlásának elemzésére és láthatóvá tételére. Ez az információ létfontosságú a szerkezeti integritás és a feszültséggel kapcsolatos esetleges meghibásodás értékeléséhez.

Szemcsehatár-vizsgálat: A színes maratás feltárhatja a hegesztett fém és a HAZ szemcsehatárait. A szemcsehatárok jellemzése alapvető fontosságú a szemcseközi korrózióra való hajlam megítéléséhez és a hegesztés általános mechanikai tulajdonságainak meghatározásához.

Érdemes megjegyezni, hogy a megfelelő maróanyagok és előkészítési módszerek kiválasztása kritikus fontosságú a fémipari alkalmazások színes maratásánál. A különböző ötvözetek és hegesztési eljárások speciális maratási oldatokat és feltételeket igényelhetnek a pontos és értelmes eredmények eléréséhez. Emellett a modern kohászatban a hegesztett kötések átfogó elemzéséhez a színes maratással együtt gyakran használnak más roncsolásmentes és mennyiségi technikákat, például mikroszkópiát, elektronmikroszkópiát és röntgendiffrakciót.

Következtetések

A bemutatott példák megmutatták, hogy a szín- és színárnyaltos maratás milyen nagy értéket képvisel a fémek mikroszerkezetének vizsgálatában. A legtöbb kereskedelmi forgalomban kapható ötvözetrendszerrel léteznek megoldások a szín kialakítására. A példák egyértelműen

bizonyítják e reagensek értékét a szemcseszerkezet teljes feltárásában, még a legnehezebben marható minták esetében is. Továbbá szelektív jellegűek, ami igen hasznos lehet a kvantitatív metallográfiai vizsgálatokhoz. A színezett marószerek nagyon világosan feltárják a szegregációt, és akár az EDS, akár a WDS elvégezhető a színezett maratott felületen anélkül, hogy az interferencia felületi réteg problémákat okozna.

Maratás kompozíciók

A 2.1.6. és 2.1.7. táblázat a közönséges színes reagensek receptjeit mutatja be [2.1.15].

2.1.6. táblázat

Színes reagensek	Receptek reagensek
Klemm I	50 ml törzsoldat, 1 g K S O ₂₂₅ (a törzsoldat Na S O ₂₂₃ -val telített víz).
Klemm III	5 ml törzsoldat, 45 ml víz, 20 g K S O ₂₂₅ (törzsoldat, mint a Klemm's I.)
Beraha 10/3 reagens	10 g Na S O ₂₂₃ , 3 g K S O ₂₂₅ és 100 ml víz.
Beraha BI	100 ml törzsoldat (1000 ml víz, 200 ml HCl, 24 g NH ₄ FHF), valamint 0,1-0,2 g K S O ₂₂₅ martenzites rozsdamentes acélok esetében és 0,3-0,6 g K S O ₂₂₅ ausztenites és ferrites rozsdamentes acélok esetében.
Beraha III. szulfaminsav-reagens	100 ml víz, 3 g K S O ₂₂₅ , 2 g NH ₂ SO ₃ H (két másik hasonló összetételt is közzétettek) szén- és ötvözött acélok esetében.
Beraha IV. szulfaminsav-reagens	100 ml víz, 3 g K S O ₂₂₅ , 1 g NH ₂ SO ₃ H, 0,5 - 1 g NH ₄ FHF magas Cr-tartalmú szerszámacélok és martenzites rozsdamentes acélok esetében.
Beraha CdS és PbS re-agensek	CdS törzsoldat: O ₂₂₃ - 5H ₂ O, 20-25 g kadmium-klorid (vagy kadmium-acetát), 30 g citromsav; PbS törzsoldat: 1000 ml víz, 240 g Na S O ₂₂₃ - 5H ₂ O, 30 g citromsav, 24 g ólomacetát.

Keverje össze az egyes oldatokat a megadott sorrendben.

2.1.7. táblázat

Színes reagensek	Receptek reagensek
Beraha nátrium-molibdát reagens	Készletmegoldás: O. 1000 ml víz, 10 g Na ₂ MoO ₄ - 2H ₂ O. Öntsünk le kb. 100 mL törzsoldatot, és adjunk hozzá HNO ₃ , hogy a pH-t 2,5-3,0-ra állítsuk be. Acélok esetében adjunk hozzá kis mennyiségű NH ₄ FHF-et az elszíneződés szabályozásához (öntöttvas esetében nem). Színezi a cementitet.
Beraha szelénsavas reagens öntöttvashoz	100 mL etanol, 2 mL HCl, 1 mL szelénsav
Beraha szelénsavas reagens Cu ötvözetekhez	300 mL etanol, 2 mL HCl, 0,5-1 mL szelénsav



Lichtenegger és Blösch LB1 reagens	20 g ammónium-bifluoridot, NH_4FHF , és 0,5 g kálium-metabiszulfidot, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$, 100 ml vízben feloldva (használjunk forró vizet). Vessük 25-30 °C-on.
Weck-reagens az Al	100 mL víz, 4 g KMnO_4 és 1 g NaOH
Módosított Weck-reagens a Ti	100 ml víz, 25 ml etanol és 2 g ammónium-bifluorid. Az eredeti képlet 50 mL etanolt írt elő, de ez maratási artefaktumokat eredményez.

- Az elektrolitikus polírozás, a kémiai polírozás és a színes maratás közötti különbségek

Az elektrolitikus polírozás, a kémiai polírozás és a színes maratás három különböző, fémek felületkezelési technikája, amelyek mindegyike különböző elvekkkel és alkalmazásokkal rendelkezik, nevezetesen:

Felületi hibák felderítése és értékelése

A felületi hibák felderítése és értékelése alapvető fontosságú az anyagelemzésben a felület minőségének és integritásának értékeléséhez. A felületkezelési technikák - elektrolitikus polírozás, kémiai polírozás és színes maratás - mindegyike sajátos előnyökkel és megfontolásokkal jár a felületi hibák felderítése és értékelése során:

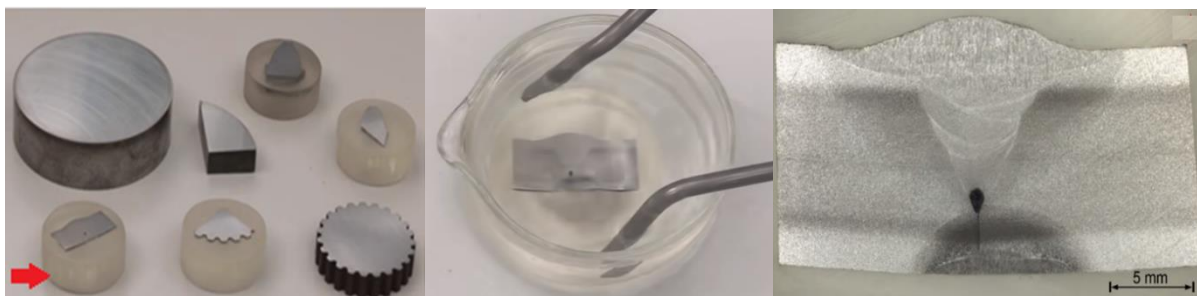
a. Felületi hibák felderítése és értékelése elektrolitikus polírozás után: Az elektrolitikus polírozás általában sima és hibamentes felületeket eredményez, mivel a folyamat során a felületi egyenetlenségeket eltávolítják. Az elektrolitikus polírozás során kevésbé valószínű, hogy felületi hibák, például karcolások, gödrök és repedések keletkeznek, ezért alkalmas a hibákra érzékeny elemzésekre.

A 2.1.37. ábrán látható elektrolitikus polírozás után a felületet szemrevételezéssel vagy mikroszkópos megfigyeléssel lehet ellenőrizni, hogy a fennmaradó hibákat fel lehessen fedezni. A hibák részletesebb értékeléséhez olyan fejlett technikák, mint a pásztázó elektronmikroszkópia (SEM) használható a polírozott felület nagyobb nagyítással történő vizsgálatához.



2.1.37 ábra A felületi hibák felismerése réz elektrolitikus polírozása előtt és után 101 [2.1.16]

b. A felületi hibák felderítése és értékelése a kémiai polírozás után: A kémiai polírozás felületi hibákat okozhat, különösen, ha a folyamatot nem ellenőrzik gondosan. A kémiai polírozás során olyan felületi hibák, mint a marási gödrök, felületi érdesség és egyéb szabálytalanságok keletkezhetnek, amelyek potenciálisan befolyásolhatják a hibák értékelését. Különös figyelmet kell fordítani annak elkerülésére, hogy a 2.1.38. ábrán látható módon ne a kémiai polírozási folyamatból, hanem magából a kémiai polírozásból eredő hibákat értelmezzék félre. A felületi érdesség kvantitatív értékelésére és a kémiai polírozás során bevezetett hibák felderítésére olyan fejlett technikák használhatók, mint az optikai profilometria vagy az atomerő-mikroszkópia (AFM).

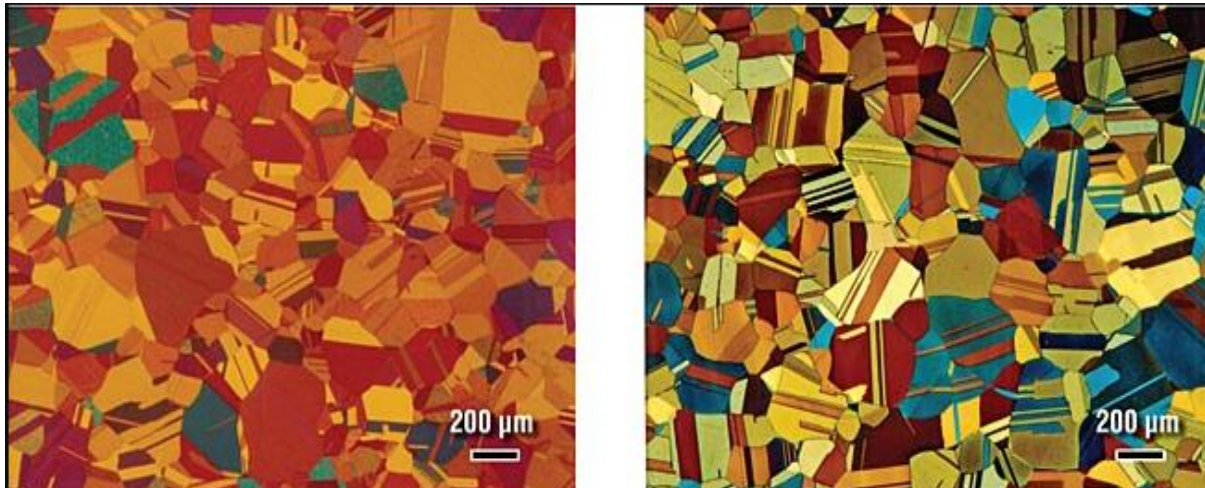


2.1.38 ábra A felületi hibák felismerése rozsdamentes acél kémiai polírozása előtt és után [2.1.17]

c. A felületi hibák felismerése és értékelése színes maratás után: A színes maratás segíthet a fémfelületen lévő hibák kiemelésében és feltárásában, mivel az egyes maróanyagok által előállított kontrasztos színek vagy árnyalatok segíthetnek, amint azt a 2.1.39. ábra mutatja. Az olyan hibák, mint a repedések, zárványok és porozitás könnyebben azonosíthatók és értékelhetők színes maratás után. A technika különösen hasznos a hegesztett kötések és más kritikus alkatrészek hibaérzékeny elemzésére. Alapvető fontosságú azonban annak biztosítása, hogy a színes maratószer ne takarja el vagy ne zavarja bizonyos típusú hibák kimutatását.



A felületkezelési technika kiválasztása minden esetben a hibák felismerésének és értékelésének egyedi követelményeitől függ. Fontos figyelembe venni magának a felületkezelésnek a hiba bevezetésére gyakorolt lehetséges hatását, és biztosítani a megfelelő ellenőrzéseket a mintaelőkészítési folyamat során. Ezenkívül kiegészítő technikák, például a roncsolásmentes vizsgálati (NDT) módszerek, mint az ultrahangos vizsgálat, a festék behatolásos vizsgálat és a röntgenvizsgálat, a felületkezeléssel együtt alkalmazhatók a felületi hibák és az anyagminőség átfogó értékeléséhez.



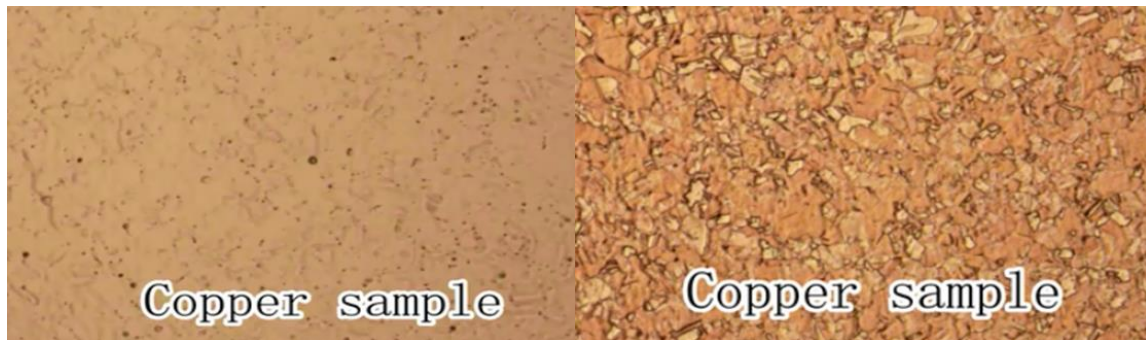
2.1.39. ábra A minta mikroszerkezetének megfigyelése, Berahal oldattal (3 g $K_2S_2O_5$, 10 g $Na_2S_2O_3$ 100 ml desztillált vízben) történő maratás a hagyományos mintaelőkészítési technika után történt [2.1.14].

Szemcsehatárok értékelése

A szemcsehatárok értékelése a mikroszerkezeti elemzés fontos szempontja, különösen a kohászatban és az anyagtudományban. Mindegyik felületkezelési technikának - elektrolitikus polírozás, kémiai polírozás és színes maratás - megvannak a maga előnyei és megfontolandó szempontjai a szemcsehatárok értékeléséhez:

a. Szemcsehatárok értékelése elektrolitikus polírozás után: A szemcsehatárok általában jól megőrződnek és jól láthatók az elektrolitikus polírozás után, így alkalmasak a szemcsehatárok elemzésére, amint azt a 2.1.40. ábra mutatja.

A kiváló minőségű optikai mikroszkópia használható a szemcsehatárok megfigyelésére és elemzésére, lehetővé téve a szemcseméret, az alak és az eloszlás azonosítását. Az elektronvisszaszórásos diffrakciót (EBSD) gyakran alkalmazzák a kristályrajzi orientáció és a szemcsehatárok jellegének részletes megismerésére az elektrolitikus polírozás után.



2.1.40 ábra Szemcsehatárok értékelése réz elektrolitikus polírozása után 101

[2.1.7]

b. A szemcsehatárok értékelése kémiai polírozás után: Figyelmet kell fordítani arra, hogy a kémiai polírozás ne változtassa meg jelentősen a szemcsehatárokat. A szemcsehatárok kémiai polírozás utáni értékeléséhez nagy felbontású mikroszkópai technikákra, például SEM és TEM módszerekre lehet szükség, amint azt a 2.1.41. ábra mutatja. A szemcsehatárok elemzése bizonyos anyagok esetében kihívást jelenthet a szemcsehatárok mentén történő preferenciális maratás lehetősége miatt.

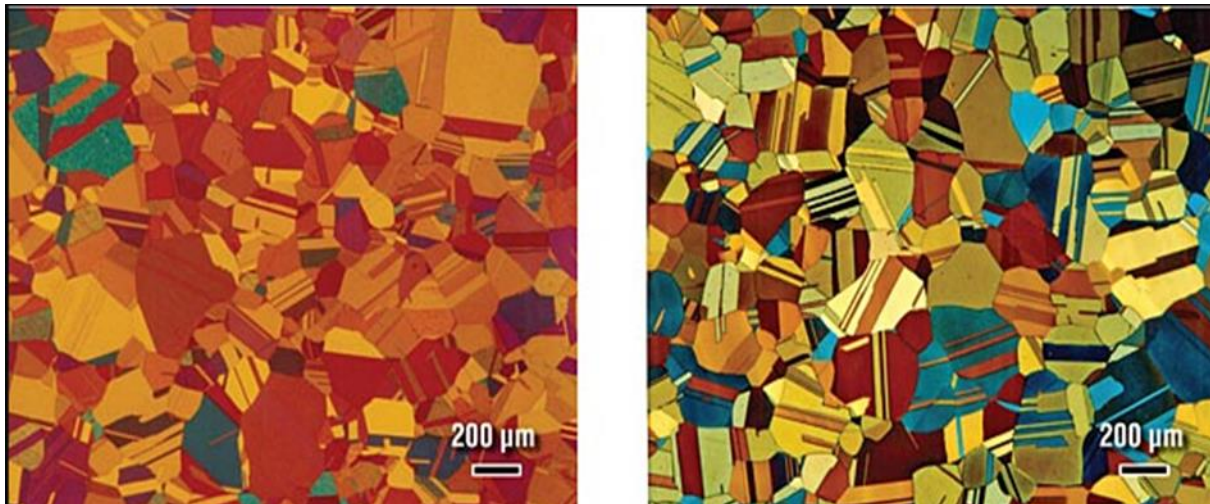


Fig. 2.1.41 Grain Boundary Assessment after Chemical Polishing for Stainless Steel

2.1.41 ábra A szemcsehatárok értékelése rozsdamentes acél kémiai polírozása után

[2.1.17]

c. Szemcsehatárok értékelése színes maratás után: A színes maratás előnyös lehet a szemcsehatárok értékeléséhez, mivel kontrasztos színekkel vagy árnyalatokkal kiemeli a szemcsehatárokat. A technika lehetővé teszi a szemcsehatárok láthatóvá tételét és azonosítását, megkönnyítve a szemcseméret és a szemeloszlás elemzését. A színes maratás különösen hasznos lehet a szemcsehatárok viselkedésének értékeléséhez hegesztési varratokban és más többfázisú anyagokban. Ügyelni kell azonban arra, hogy a színes marószer ne takarja el vagy ne torzítsa el a szemcsehatárokat, amint azt a 2.1.42. ábra mutatja.

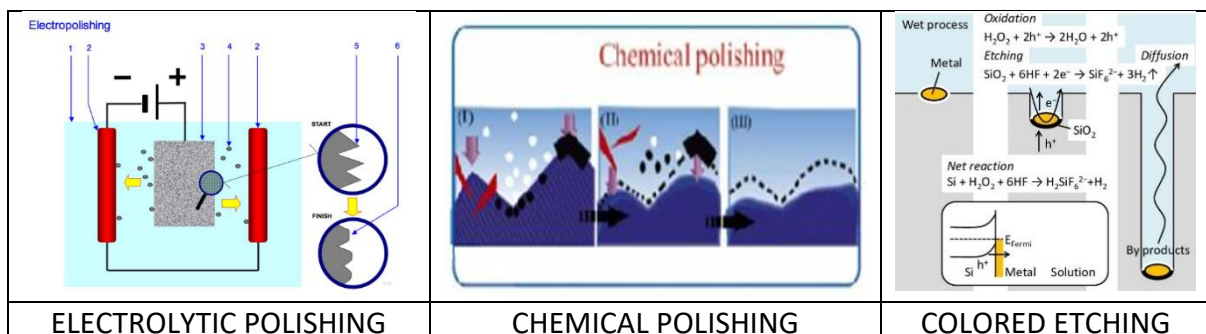


2.1.42. ábra Patronos sárgaréz, Cu-30% Zn, FCC ikerszemcseszerkezete 50%-os hidegredukció és teljes izzítás után, Klemm's I (balra) és Klemm's III (jobbra) reagenssel maratott és polarizált fényvel plusz érzékeny színnel megtekintett színezés. A nagyítási sávok 200 µm hosszúak. [2.1.14].

Általában mindhárom felületkezelési technika használható a szemcsehatárok értékelésére, de alapos megfontolásra van szükség a legmegfelelőbb módszer kiválasztásához az anyagtípustól, az elemzési céloktól és magának a felületkezelésnek a lehetséges hatásától függően. Az olyan fejlett mikroszkópiai technikákat, mint a SEM, a TEM és az EBSD gyakran alkalmazzák a szemcsehatárokról, a kristályrajzi orientációról és a szemcsehatárok jellegéről szóló részletes információk megszerzésére a felületkezelés után. Ezen túlmenően a megbízható és pontos szemcsehatárelemzés biztosítása érdekében elengedhetetlen a szabványosított eljárások és validált technikák alkalmazása.

A folyamatok közötti különbségek

Továbbá összehasonlítjuk az elektrolitikus polírozás, a kémiai polírozás és a színes maratási eljárások közötti összehasonlítást:



Elv:

Elektrolitikus polírozás: Elektrokémiai eljárás, amely elektromos áramot használ a fémfelület simítására a felületi egyenetlenségek szabályozott feloldásával.



Kémiai polírozás: Kémiai eljárás, amely egy vékony fémréteg szelektív feloldását foglalja magában kémiai reakció révén, hogy polírozott és fényes felületet érjen el.

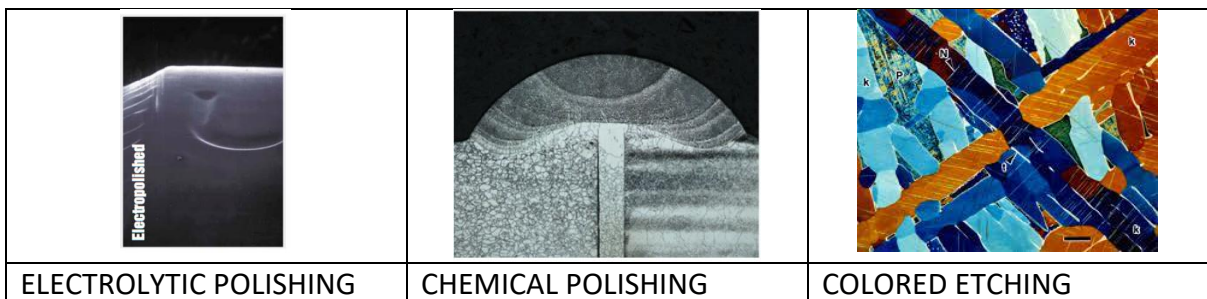
Színes maratás: Metallográfiai technika, amely speciális maróanyagokat használ a különböző mikroszerkezeti jellemzők kontrasztos színekkel vagy árnyalatokkal történő feltárására és kiemelésére.

Felületkezelés:

Elektrolitikus polírozás: Sima, tükörszerű felületet eredményez minimális mechanikai deformációval.

Kémiai polírozás: Csiszolt és fényes megjelenést eredményez, de a felületet befolyásolhatják a bevitt tárgyak vagy egyenetlenségek.

Színes maratás: Kontrasztos színű vagy árnyalatú felületet biztosít, kiemelve a mikroszerkezeti jellemzőket anélkül, hogy jelentősen megváltoztatná a felületet.

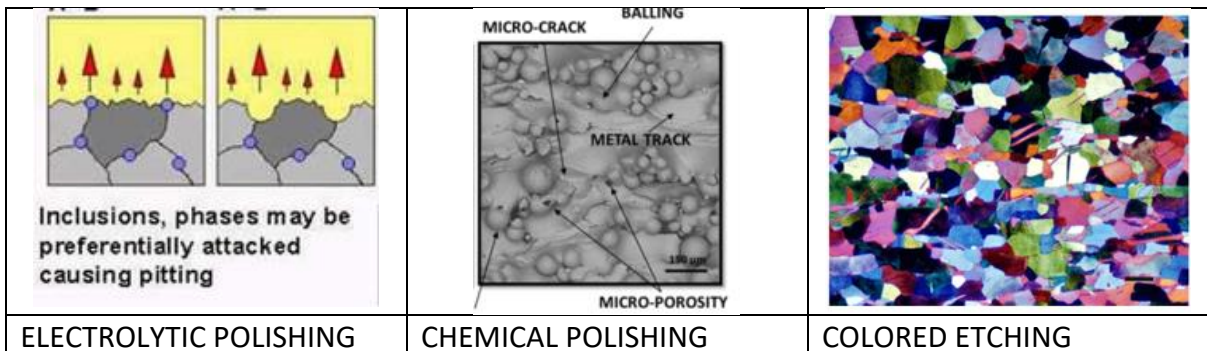


Hiba bevezetése:

Elektrolitikus polírozás: A nem mechanikus jellegének köszönhetően minimalizálja a felületi hibák megjelenését.

Kémiai polírozás: A kémiai reakció irányításától függően felületi hibákat vagy marási mintázatokat hozhat létre.

Színes maratás: Általában nem okoz hibákat, de ügyelni kell arra, hogy a színes maratószer ne fedjen el bizonyos hibákat.



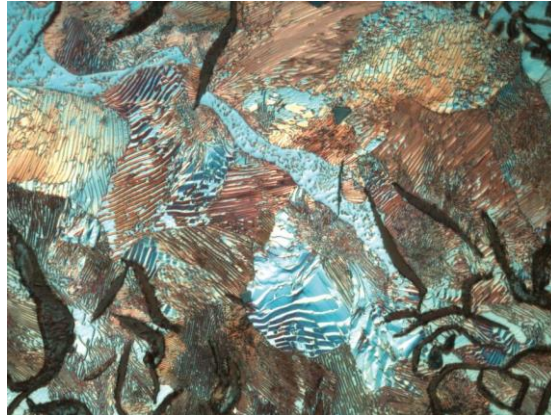


Szemcsehatárok értékelése:

Elektrolitikus polírozás: Alkalmas szemcsehatárelemzésre, jól megőrzött és látható szemcsehatárokat biztosít, mint a 2.1.43. ábrán.

Kémiai polírozás: kihívást jelent a szemcsehatárok értékelése a kémiai maratási folyamat során esetlegesen keletkező műtermékek miatt.

Színes maratás: Hasznos a szemcsehatárok kontrasztos színekkel történő kiemelésére, ami segíti a szemcsehatárok értékelését.



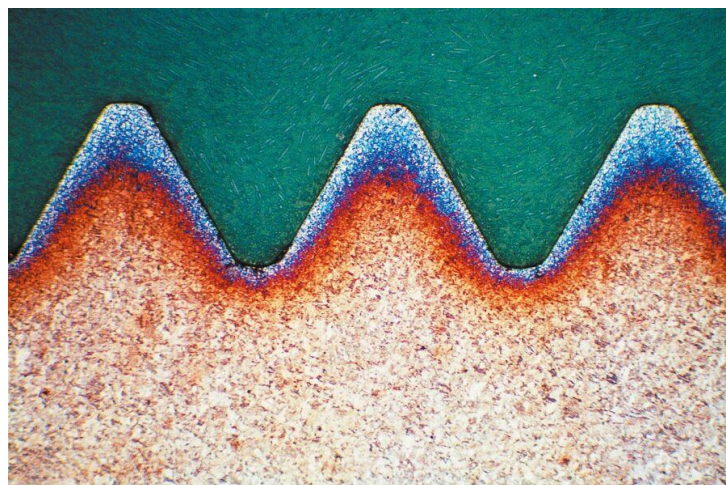
2.1.43. ábra A gyöngykavicsok interlamelláris távolsága szürke öntöttvasban [2.1.18]

Felületi hibák felderítése:

Elektrolitikus polírozás: Lehetővé teszi a hibák hatékony felismerését sima felületeken, minimális artefaktumokkal.

Kémiai polírozás: Felületi hibákat hozhat létre, ami a hibák értékelését bonyolultabbá teszi.

Színes maratás: A 2.1.44. ábrán látható kontrasztos színekkel megkönnyíti a hibák azonosítását, különösen hasznos a kritikus alkatrészek hibáinak felismeréséhez.



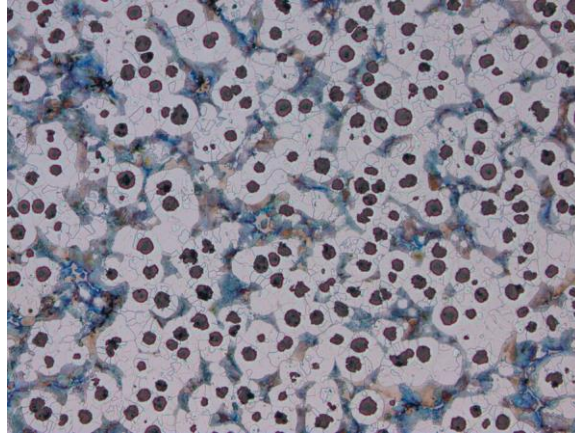
2.1.44 ábra Acélok felületi edzése [2.1.18]

Mikroszerkezeti elemzés:



Elektrolitikus polírozás: Lehetővé teszi a pontos mikroszerkezeti vizsgálatot minimális beavatkozással.

Kémiai polírozás: Gondos ellenőrzést igényel a folyamat során keletkezett hibák félreértelmezésének elkerülése érdekében.



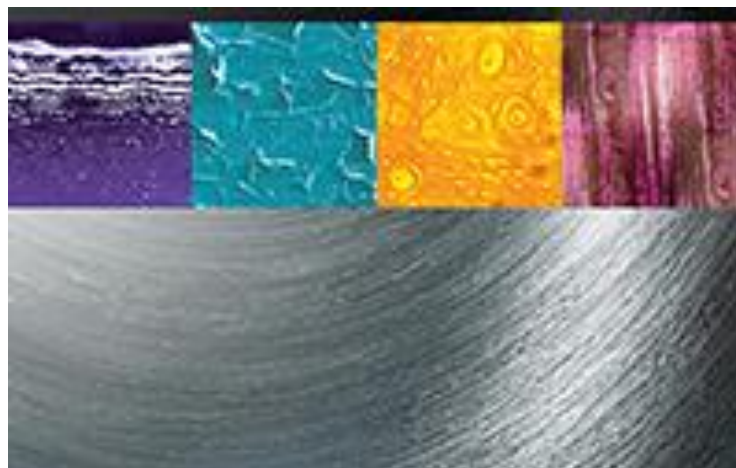
2.1.45. ábra Gömbgrafitos duktilis vas (HC PL Fluotar 10x objektív, fénymező). [2.1.18]

Alkalmazások:

Elektrolitikus polírozás: Elsősorban a metallográfiában használják a minták mikroszkópos és mikroszerkezeti elemzésre való előkészítésére.

Kémiai polírozás: Az elektronikai, optikai, ékszer- és repülőgépiparban alkalmazzák a kiváló minőségű felületi felületek eléréséhez.

Színes maratás: A kohászatban és az anyagtudományban széles körben használják a különböző fémalkatrészek mikroszerkezetének vizsgálatára, amint az a 2.1.46. ábrán látható.



2.1.46. ábra Felületek elektropolírozása: elmélet és alkalmazások [2.1.19]

Összefoglalva, mindegyik eljárásnak megvannak az erősségei és gyengeségei, és a technika kiválasztása az elemzés speciális követelményeitől, az anyagtípustól, valamint a kívánt felületi minőségtől és pontosságtól függ.

Záró megjegyzések

Ez a fejezet az elektrolitikus polírozás, a kémiai polírozás és a színes maratás mélyreható feltárását nyújtotta, meghatározásukra, céljaikra, mechanizmusaikra és az anyagtudományban és a mérnöki tudományokban való alkalmazásukra összpontosítva. Az elektrolitikus polírozás szabályozott elektrokémiai reakciói értékes betekintést nyújtanak a mikroszerkezet elemzésébe, a felületi hibák felderítésébe, a szemcsehatárok értékelésébe és a felületi bevonatok előkészítésébe, támogatva a fejlett fémek fejlesztését.

A kémiai polírozás hatékonyan bizonyult a mikroszerkezet jellemzésében, a felületi minőség javításában, a fázisok azonosításában és az anyagok értékelésében, mivel az anyag szelektív eltávolításának képessége javítja a mikroszerkezeti jellemzők és a hibajellemzők láthatóságát.

A színes maratás a mikroszerkezeti alkotórészekkel való kölcsönhatás révén értékes technika a fázisok azonosítására, a zárványok kimutatására és a szemcseméret-elemzésre, mivel lehetővé teszi a különböző mikroszerkezeti jellemzők szín alapján történő megjelenítését és megkülönböztetését.

Ezek a technikák egymást kiegészítő megközelítéseket kínálnak a fémek tanulmányozásához, és az anyagkutatástól a hibaelemzésen át a folyamatoptimalizálásig terjedő alkalmazásokat kínálnak.

Hivatkozások

- [2.1.1] <https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=electropolishing>;
- [2.1.2] <https://www.besttechnologyinc.com/electropolishing-equipment/how-does-electropolishing-work>;
- [2.1.3] <https://www.youtube.com/watch?v=H28Ebg2igbM>;
- [2.1.4] <https://www.quora.com/Why-do-we-use-a-three-electrode-system-for-analytical-electrochemistry>;
- [2.1.5] <https://www.ebsd.com/hints-and-tips/ebsd-sample-preparation/electrolyte-polishing-and-etching>;
- [2.1.6] Machining Characteristics of the Electropolishing of Stainless Steel (STS316L) E.-S. Lee, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2000) 16:591–599;
- [2.1.7] <https://www.youtube.com/watch?v=CaD-4m4RjLs>;
- [2.1.8] Effect of Chemical Polishing in Titanium Materials for Low Outgassing K. Ishizawa , H. Kurisu, IOP Publishing, Journal of Physics: Conference Series 100 (2008) 092023, IVC-17/ICSS-13 and ICN+T2007;
- [2.1.9] <https://logitech.uk.com/product/chemical-polishing-systems>;
- [2.1.10] <https://www.struers.com/Knowledge/Grinding-and-polishing/#grinding-polishing-methods>;
- [2.1.11] Smithells Metals Reference Book, 8th Edition - December 9, 2003, Editors: William F. Gale, Terry C. Totemeier, eBook ISBN: 9780080480961;
- [2.1.12] Peter J. Szabo, I. Kardos, Correlation between grain orientation and the shade of color etching, Materials Characterization, Volume 61, Issue 8, 2010, Pages 814-817, ISSN 1044-5803, <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2010.05.005>;



[2.1.13] Kenji Ishikawa, Kazuhiro Karahashi, Tatsuo Ishijima, Keizo Kinoshita, &co. Progress in nanoscale dry processes for fabrication of high-aspect-ratio features: How can we control critical dimension uniformity at the bottom, June 2018, Japanese Journal of Applied Physics 57(6S2):06JA01, DOI: 10.7567/JJAP.57.06JA01;

[2.1.14] <https://vacaero.com/information-resources/metallography-with-george-vander-voort/991-color-metallography.html>;

[2.1.15] G. F. Vander Voort, Metallography: Principles and Practice, McGraw-Hill Book Co., NY, 1984 and ASM International, Materials Park, Ohio, 1999;

[2.1.16] https://www.youtube.com/watch?v=yOScziqA4_8;

[2.1.17] <https://www.youtube.com/watch?v=fc8zrgYJCJw>;

[2.1.18] <https://www.leica-microsystems.com/science-lab/applied/metallography-an-introduction>;

[2.1.19] <https://www.tandfonline.com>.

2.2. Az elektrolitikus polírozás és a színes maratás bemutatása

2.2.1. Elektrolitikus polírozás - cél, alkalmazás és bemutató

2.2.2. Kézi gyakorlat az elektrolitikus polírozással

2.2.3. Gyakori problémák és megoldás az elektropolírozási technika alkalmazása során a metallográfiai mintaelőkészítés során

2.2.4. Az elektrolitikus polírozásból származó elektrolitok kezelése és ártalmatlanítása

2.2.5. Hibaelhárítás és tippek a metallográfiai minták elektrolitikus polírozásához

2.2.6. Az elektrolitikus polírozás valós példái

2.2.7. Színes maratás - cél, alkalmazás és bemutató

2.2.8. Kézi gyakorlat a színes maratással

2.2.9. Gyakori problémák és megoldás a színes maratás metallográfiai mintaelőkészítéshez történő alkalmazásakor

2.2.10. A színes maratásból származó reagensek kezelése és ártalmatlanítása

2.2.11. Hibaelhárítás és tippek a metallográfiai minták elektrolitikus polírozásához

2.2.12. A színes maratás valós példái

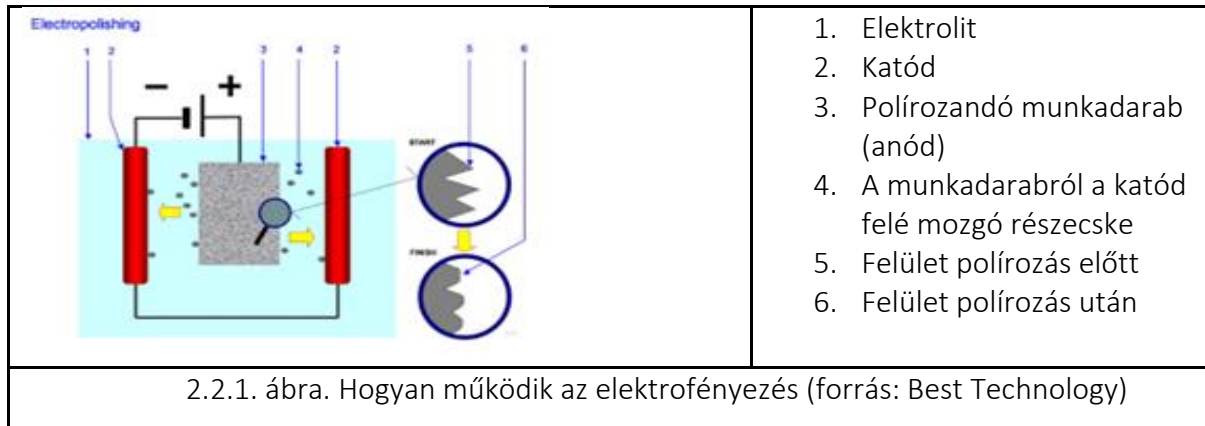
2.2.13. Értse a különbségeket a maratott és az elektropolírozott minta felületi felületére és mikroszerkezetére gyakorolt hatásuk szempontjából

2.2. AZ ELEKTROLITIKUS POLÍROZÁS ÉS A SZÍNES MARATÁS BEMUTATÁSA

2.2.1 Elektrolitikus polírozás - cél, alkalmazás és bemutatás

Az elektrolitikus polírozás egy speciális technika, amelyet arra használnak, hogy anyagot távolítsanak el egy fémfelületről ellenőrzött elektrokémiai reakciók segítségével. Ezt az eljárást általában minták előkészítésére használják mikroszkópiához, metallográfiához és más olyan alkalmazásokhoz, ahol kiváló minőségű felületkezelésre van szükség. A mikroszkópos vizsgálatra szánt fémminták felületi minőségének javítására használják. Elektromos áram és elektrolitoldat

ellenőrzött alkalmazásával szelektíven távolítanak el anyagot a minta felületéről, ami fényes és tiszta felületet eredményez.

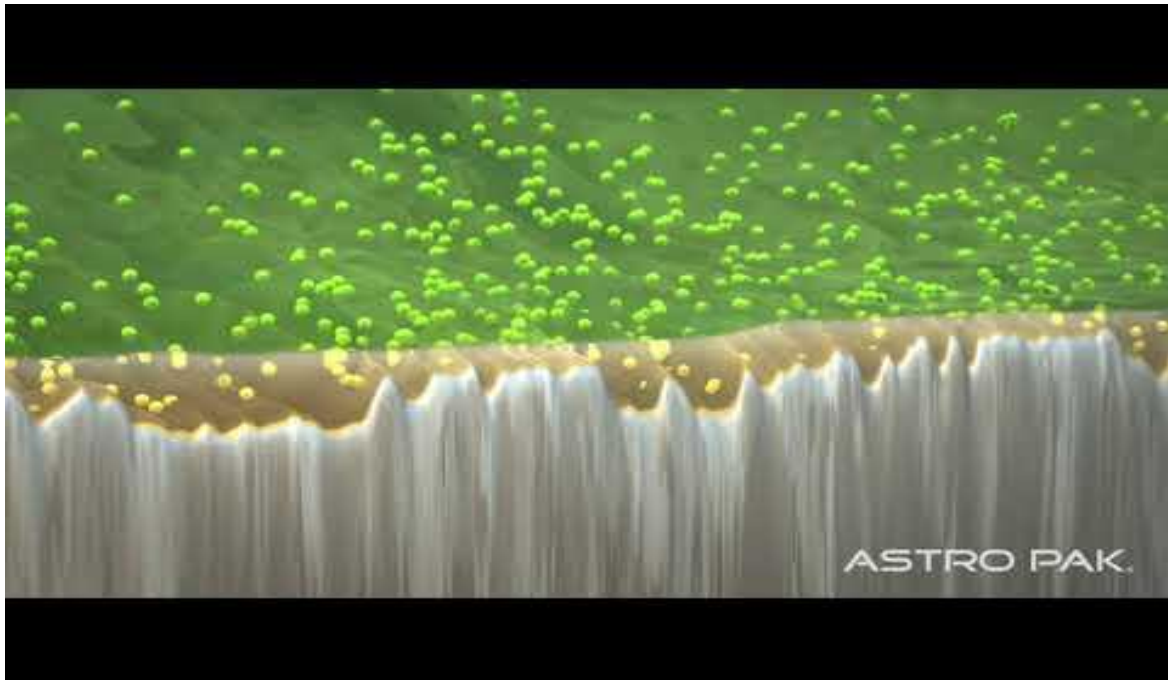


Az elektropolírozás során a fém alkatrész vagy munkadarab pozitív töltésű anódként szolgál. A munkadarabot egy egyenáramú egyenirányító pozitív pólusához csatlakoztatják. A negatív töltésű katód, amely általában rozsdamentes acélból vagy cirkóniumból készül, az egyenáramú egyenirányító negatív csatlakozójához van csatlakoztatva.

Mind az anódot, mind a katódot elektrolitoldat szabályozott hőmérsékletű fürdőbe merítik. Az egyenirányítóból származó elektromos áram az anódtól a katódig az elektroliton keresztül halad. Az elektromos áram hatására az alkatrész felületén lévő fémionok oxidálódnak és feloldódnak az elektrolitban. Ez a folyamat rendkívül kis, szorosan szabályozott mennyiségű fémet képes feloldani, ami mikronos vastagságú felületi eltávolítást eredményez.

2.2.2.2. ábra. Mi az elektropolírozás? | Hogyan működik az elektropolírozás? (forrás: AstroPaK)

A fémfelület eltávolításának mértékét a következő tényezők szabályozzák: az elektrolit kémiai összetétele, az elektrolit hőmérséklete (jellemzően 76 °C - 82 °C), az elektromos áramnak való kitettség időtartama, az elektromos áram sűrűsége (elektrolitonként változó; az elektropolírozandó fémötvözet összetétele). Az elektropolírozáshoz támogatott fémötvözetek: alumínium, szénacél, rozsdamentes acél, rézötvözetek, nitinol, titán, szerszámacél, speciális/egzotikus ötvözetek. A rozsdamentes acél elektropolírozásához használt vegyszerek általában kénsav és foszforsav nagy viszkozitású keverékéből állnak.



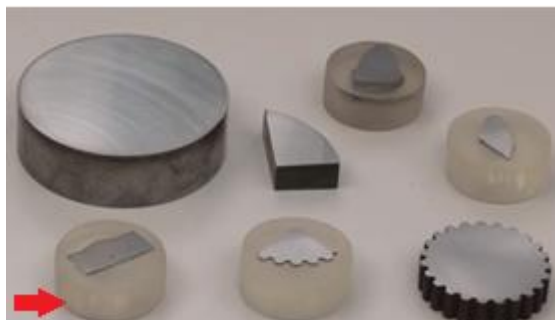
2.2.2 Az elektrolitikus polírozás gyakorlati gyakorlása

Általában laboratóriumi vagy ipari körülmények között végzik a fémminták felületének javítása céljából. Az elektrolitikus polírozás egy speciális technika, amelyet arra használnak, hogy anyagot távolítsanak el egy fémfelületről ellenőrzött elektrokémiai reakciók segítségével. Ezt az eljárást általában minták előkészítésére használják mikroszkópiához, metallográfiához és más olyan alkalmazásokhoz, ahol kiváló minőségű felületkezelésre van szükség.

Mielőtt elkezdenék a folyamatot, győződjön meg róla, hogy minden biztonsági óvintézkedést betartott. Ez magában foglalja a megfelelő egyéni védőfelszerelés viselését, a jól szellőztetett területen való munkavégzést, valamint az intézménye vagy munkahelye által előírt biztonsági irányelvek betartását.

Az elektrolitikus polírozáshoz használt anyagok és berendezések:

- Csiszolandó fémminták





2.2.3. ábra. Elektropolírozásra kész minták (forrás: Kemet International Ltd)

Elektrolitikus polírozó berendezések, beleértve a tápegységet, elektrolitoldatot és elektródákat



2.2.4. ábra. Az elektrolitikus polírozó berendezés a fedetlen elektrolitikus cellával
(forrás: American Buehler Instrument Co., Ltd.)



2.2.5. ábra. Az elektrolitikus polírozó berendezés az elektrolitikus cellával (forrás: Kemet International Ltd.)

- Védőszemüveg, kesztyű és laboratóriumi köpeny
- Üvegtartályok elektrolitoldathoz





2.2.6. ábra. Elektrolytoldatok (forrás: Micro Lit)

- Polírozó kendő vagy párna
- Desztillált víz
- Feszültség- és áramerősségmérők



2.2.7. ábra. Feszültség- és áramerősségmérők (forrás: Pulsivo USA)

- Polírozó berendezés (pl. csiszológép vagy csiszolópapír) a minta kezdeti előkészítéséhez



2.2.8. ábra. Polírozó berendezés (forrás: AzOm)

- Súrolókefe

Elektrolitikus polírozási munkafolyamat:

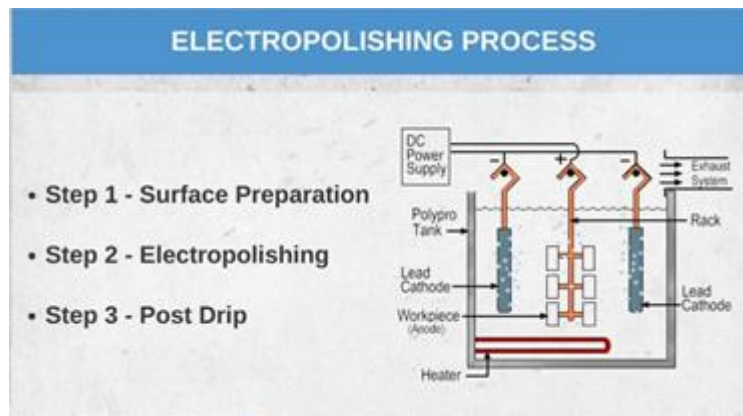
Minta előkészítése:

1. A kezelőnek egy polírozást igénylő fémmintával kell kezdenie, és biztosítania kell, hogy az tiszta és szennyeződésektől mentes legyen.



2. Ha a minta jelentős felületi hibákat mutat, a kezelőnek a nagyobb hibák kiküszöbölése érdekében mechanikus polírozást kell végeznie csiszológéppel vagy csiszolópapírral.
3. Ezt követően a mintát alaposan át kell öblíteni desztillált vízzel a törmelékek és szennyeződések eltávolítása érdekében.

Az elektropolírozó iparban leggyakrabban használt ASTM B912 és [ASTM E1558-09](#). A szabvány útmutatást ad a rozsdamentes acél elektropolírozásához.



2.2.9. ábra. Elektropolírozási folyamat lépései (forrás: Best Technology Ltd.)

Ebben az előkészítő fázisban a kezelőnek el kell távolítania az olyan szennyeződések, mint az olaj és a zsír, amelyek zavarják az egyenletességet az elektromos áram alkalmazásakor. A tisztítás után ügyeljen arra, hogy a rozsdamentes acél alkatrészek ne érintkezzenek kézzel vagy berendezéssel. A nem megfelelő tisztítás az alkatrészek selejtjének gyakori oka.

Elektrolitoldat készítése:

1. Az adott fémhez és alkalmazáshoz megfelelő elektrolitoldatot kell készíteni. Az elektrolit összetétele a polírozandó anyagtól függően változik.
2. A kezelőnek az elektrolitoldatot egy üvegedénybe kell öntenie.

2.2.1. táblázat Az elektrolitikus oldatok típusai (forrás: Quora)



Rozsdamentes acél	10g oxálsav, 100ml víz
	5 ml kénsav, 100 ml víz
ausztenites-ferrites acélok (duplex) esetén	20-40 %-os vizes nátrium-hidroxid oldat
Austenites acélok automatikus szemcseméretének méréséhez	60 % desztillált víz 40 %-os salétromsav

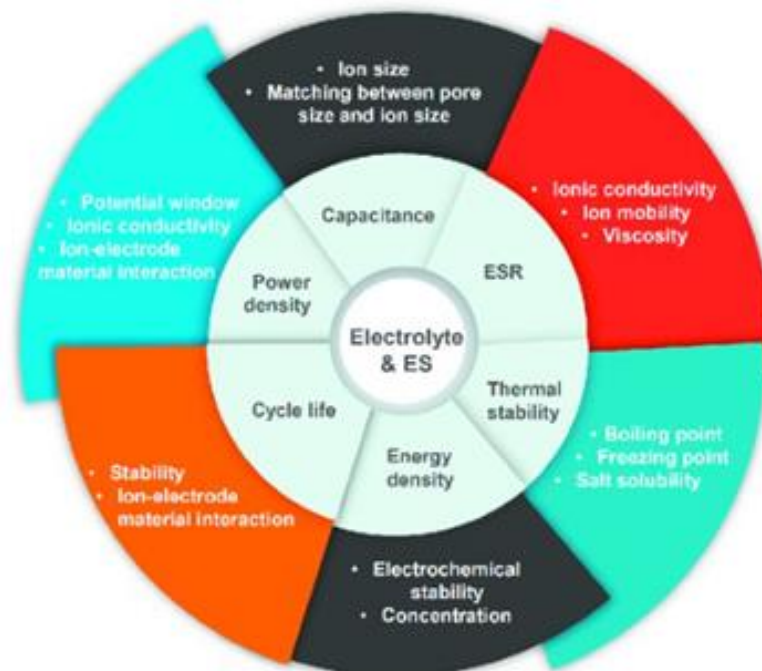
Például a rozsdamentes acél elektropolírozásának tényleges lépéseit ebben a fázisban végzik el a fém simítására, fényesítésére és koromtalanítására.

- Rozsdamentes acél alkatrészek elektropolírozása - A kezelési idő 10 másodperctől 20 percre terjedhet.

- Kiforrálás / permetezéses öblítés vagy holt öblítés - Ez a tartály felfogja a használt elektrolitoldatot.



(a)



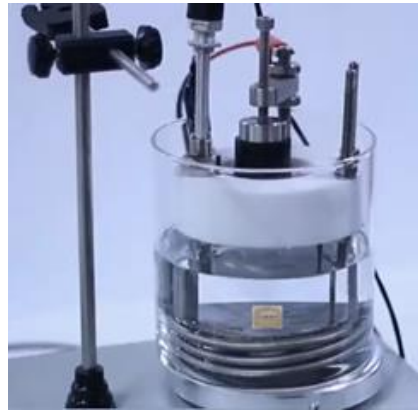
(b)

- 2.2.10. ábra: a) Különböző típusú elektrolitok, amelyek alkalmasak az egyes SC-alkalmazásokhoz, és b) az elektrolit hatása az elektrokémiai SC-k teljesítményére. (Forrás: Tiwari, Santosh & Thakur, Anukul & De Adhikari, Amrita & Zhu, Yanqiu & Wang, Nannan. (2020). A grafénalapú nanokompozitok jelenlegi kutatása és alkalmazásuk szuperkondenzátorokban. 10. 2046. 10.3390/nano10102046.)

- Elektrolitikus cella beállítása:



1. A pozitív elektródát (anód) és a negatív elektródát (katód) a tápegységhez kell csatlakoztatni.
2. A kezelőnek a fémmintát az elektrolitoldatba kell merítenie, és a katódhoz kell csatlakoztatnia.
3. Az anódnak olyan anyagból kell készülnie, amely nem oldódik fel az elektrolitban. Gyakori választás a platina vagy a grafit.



2.2.11. ábra. Speciális egységcella elektropolírozáshoz (forrás: American Buehler Instrument Co., Ltd.)

Elektrolitikus polírozás:

1. A kezelőnek be kell kapcsolnia a tápegységet, és be kell állítania a feszültséget és az áramerősséget az alkalmazáshoz szükséges értékekre. A konkrét paraméterek a fémtől és a szükséges polírozás mértékétől függenek.
2. A kezelő megfigyeli az anyag eltávolítását a fémmintából. A fém az anódon feloldódik, a katódon pedig lerakódik. A folyamatot gondosan figyelemmel kell kísérni a kívánt felület elérése érdekében.

A kezelőnek az ajánlott tartományon belül kell tartania a feszültséget és az áramerősséget, hogy elkerülje a minta túlmelegedését vagy károsodását



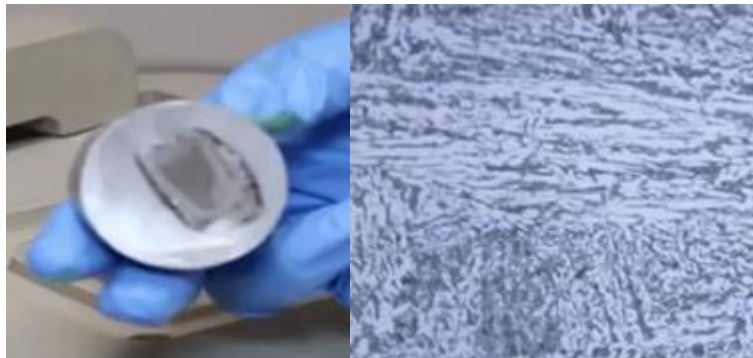
2.2.12. ábra. DPF-2 elektrolitikus polírozó és marógép (forrás: Micro Lit)

Öblítés és végtisztítás:

1. A kívánt polírozás elérése után a kezelőnek ki kell kapcsolnia az áramellátást.
2. A kezelőnek óvatosan ki kell vennie a mintát az elektrolitoldatból.
3. A kezelőnek desztillált vízzel kell átöblítenie a mintát, hogy eltávolítsa a maradék elektrolitot.
4. A kezelőnek egy polírozó kendővel vagy párnával kell a mintát véglegesen kifényesítenie és eltávolítania a fennmaradó hibákat.

Végső ellenőrzés:

A kezelőnek mikroszkóp alatt vagy más minőségellenőrzési célból meg kell vizsgálnia a csiszolt mintát, hogy biztosítsa a kívánt felület elérését.



2.2.13. ábra. A rozsdamentes acélminta mikroszkópos szerkezete elektropolírozás után
(forrás: Kemet International Ltd.)

2. 2.3. Gyakori problémák és megoldás az elektropolírozási technika alkalmazása során a metallográfiai mintaelőkészítés során

Az elektrolitikus polírozás egy precíz elektrokémiai eljárás, amelyet a fémminták kiváló minőségű felületének kialakítására használnak, azonban számos olyan gyakori problémával találkozhatunk, amelyek befolyásolhatják az eredmények minőségét, a következőkben a leggyakoribbakat mutatjuk be:

Egyenetlen polírozás

Kiadvány: A fémminta egyenetlen polírozáson mehet keresztül, ami egyenetlen felületet eredményezhet.

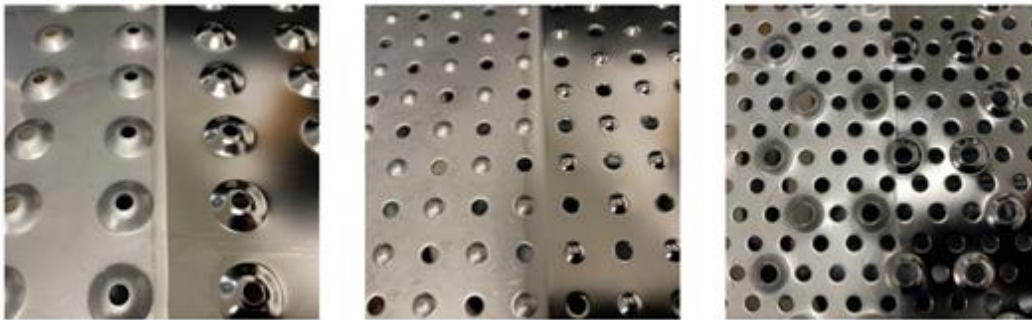


2.2.14. ábra. Egyenetlen polírozás rozsdamentes acéllemezen (forrás: AzOm)

Megoldás: A kezelőnek gondoskodnia kell arról, hogy a minta megfelelően rögzítve és elhelyezve legyen az elektrolitoldatban, az oldatot az egyenetlenség fenntartása érdekében meg kell kevernie, és az elektromos paramétereket (feszültség és áram) úgy kell beállítania, hogy a minta teljes felületén egyenletes polírozást biztosítson.

Túlpolírozás

Kiadvány: Túlpolírozás akkor fordul elő, ha a mintát túl sokáig polírozzák, ami túlzott anyageltávolításhoz és a minta esetleges károsodásához vezet.



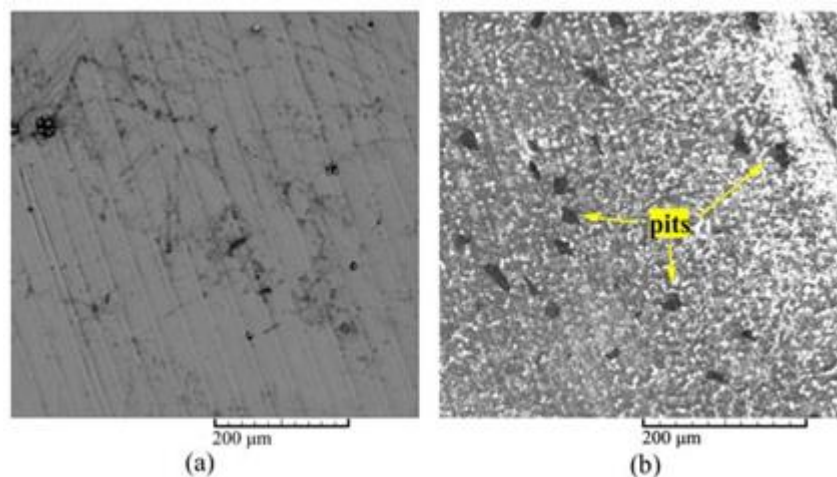
2.2.13. ábra. A rozsdamentes acélminta mikroszkópos szerkezete elektropolírozás után
(forrás: Kemet International Ltd.)

3. 2.3. Gyakori problémák és megoldás az elektropolírozási technika alkalmazása során a metallográfiai mintaelőkészítés során

Az elektrolitikus polírozás egy precíz elektrokémiai eljárás, amelyet a fémminták kiváló minőségű felületének kialakítására használnak, azonban számos olyan gyakori problémával találkozhatunk, amelyek befolyásolhatják az eredmények minőségét, a következőkben a leggyakoribbakat mutatjuk be:

Egyenetlen polírozás

Kiadvány: A fémminta egyenetlen polírozáson mehet keresztül, ami egyenetlen felületet eredményezhet.





2.2.16. ábra. SEM-felvétel a) egy csiszolt acélkorong felületéről és b) egy elektropolírozott acélkorong felületéről. (Forrás: Mašović, R.; Miler, D.; Čular, I.; Jakovljević, S.; Šercer, M.; Žeželj, D. The Effect of Steel Electropolishing on the Tribological Behavior of a Steel-Bronze Pair in the Mixed and Boundary Lubrication Regimes. *Lubricants* **2023**, *11*, 325.

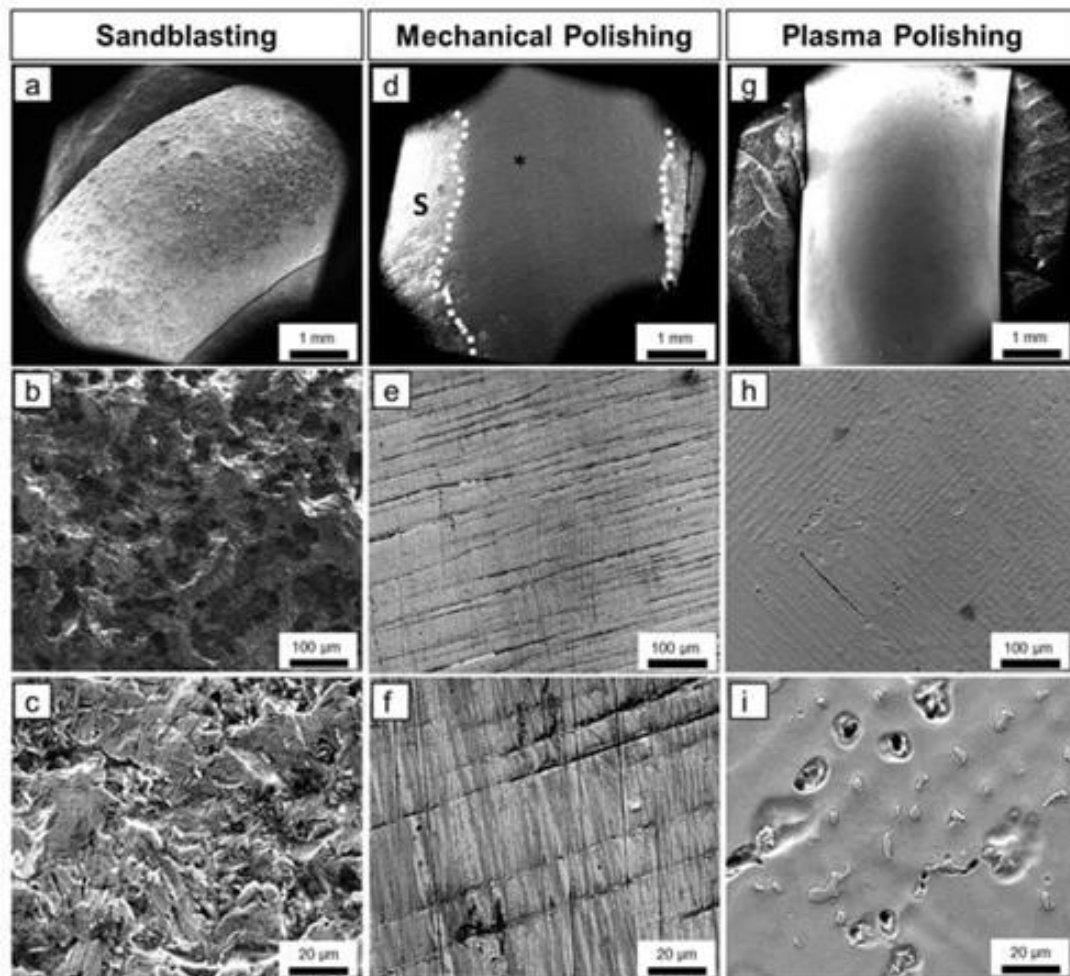
<https://doi.org/10.3390/lubricants11080325>).

Megoldás: Az üzemeltetőnek ellenőriznie kell az elektrolitoldat összetételét és hőmérsékletét, valamint az anód-katód távolságot, és biztosítania kell, hogy az elektrolit jól el legyen keverve. Megfelelően tisztítsa meg és készítse elő a mintát a polírozás előtt, hogy eltávolítsa a szennyeződések.

Durva vagy karcos felület

Kiadvány: Ha a minta felülete az elektrolitikus polírozás után érdesnek vagy karcosnak tűnik, annak oka lehet a nem megfelelő mechanikai előkészítés vagy a piszkos polírozó berendezés.

Megoldás: A kezelőnek gondoskodnia kell arról, hogy a mintát megfelelően előkészítsék a kezdeti mechanikus polírozással, tiszta és jól karbantartott polírozó berendezést használjon, és ellenőrizze a polírozó kendő vagy párna minőségét, hogy nem tartalmaz-e olyan csiszolóanyag-részecskéket, amelyek megkarcolhatják a felületet.

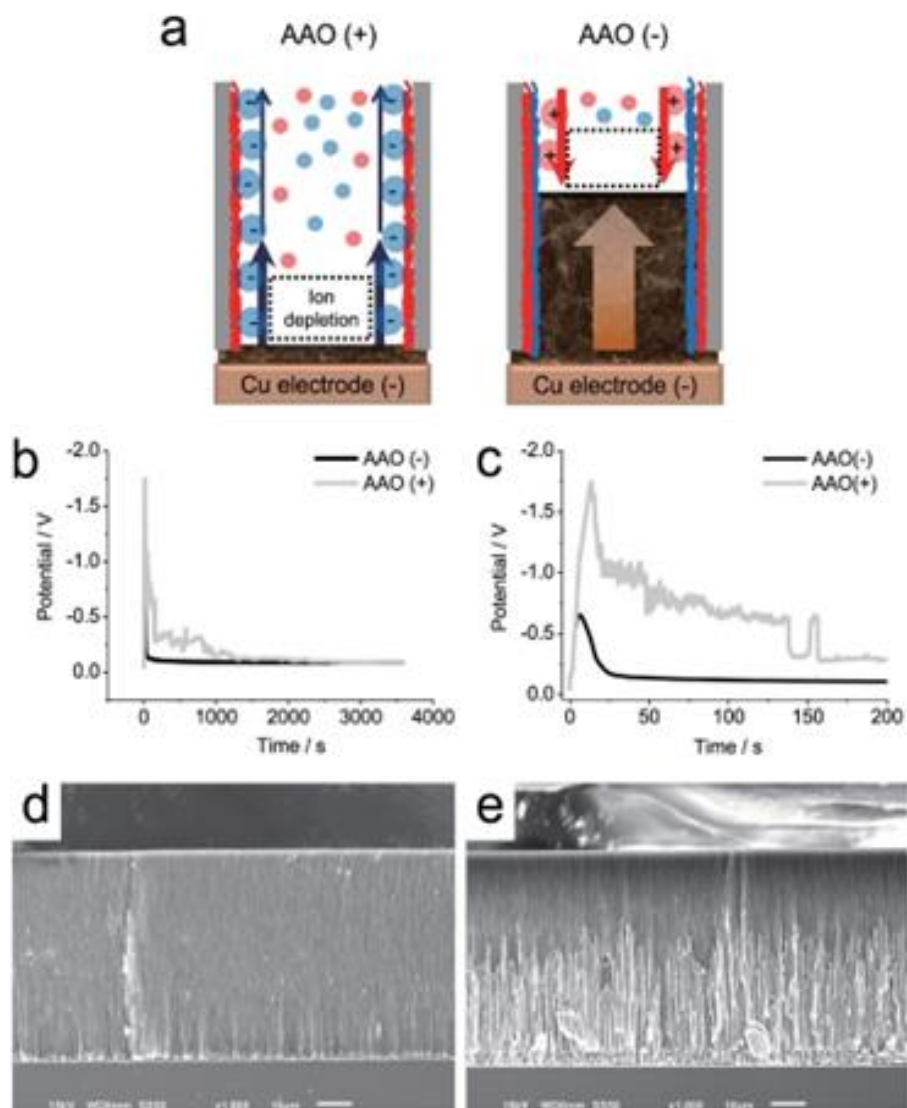


2.2.17. ábra. A homokfúvott, mechanikusan polírozott és plazmaelektrolízissel polírozott Co-Cr ötvözetek összehasonlítását bemutató SEM mikrofelvelelek. (a) A homokfúvott, durva felületi morfológiát ábrázoló áttekintés. (b) Közelkép a homokfúvott felületről, amely durva és repedezett felületet mutat. (c) Nagy nagyításban látható a szabálytalan felület barázdákkal, éllel és mélyebb porozitásokkal. (d) A mechanikusan polírozott minta áttekintése, amely a mechanikusan polírozott (*) és a homokfúvott terület (S) közötti világos határt mutatja. (e,f) A mechanikusan polírozott minta nagy nagyítása sima felületet mutat, számos polírozási foltokkal. (g) A plazmaelektrolízissel polírozott minta áttekintése, amely átfogó sima felületet mutat. (h) A plazmaelektrolízissel polírozott minta közeli felvétele, amely sima felületet mutat számos inhomogenitással. (i) A plazmaelektrolízissel polírozott minta nagy nagyítása, amely sima felületet mutat elszórtan szigetszerű struktúrákkal. (Forrás: Witzke, Katharina & Kensbock, Renko & Willsch, Caroline & Fricke, Katja & Bekeschus, Sander & Metelmann, Hans-Robert. (2023). Fogászati ötvözetek mechanikai és plazmaelektrolitikus polírozása. *Anyagok*.

16. 6222. 10.3390/ma16186222.)

Gázbuborékok és dendritikus növekedés

Kiadvány: Az elektrolitikus polírozás során gázbuborékok vagy dendritikus növekedés alakulhat ki a minta felületén.



2.2.18. ábra a) Az SC hatása az OLC során a töltött nanopórusokban történő elektródleválasztásra. (b) Az AAO(+) és az AAO(-) V-t görbéi -6 mA alkalmazott áram esetén. (c) A (b) adatainak nagyítása az első 200 s-ra. SEM-felvételek elektrolitikusan leválasztott Cu



nanodrótokról (d) AAO(+)-ban és (e) AAO(-)-ban (forrás: Han, Ji-Hyung & Khoo, Edwin & Bai, Peng & Bazant, Martin. (2014). Túlhátróló áram és a dendritikus növekedés szabályozása felületi vezetéssel nanopórusokban. Tudományos jelentések. 4. 10.1038/srep07056).

Megoldás: A kezelőnek a polírozási folyamat megkezdése előtt meg kell győződnie arról, hogy a minta mentes a beszorult levegőtől vagy gázbuborékoktól, majd a buborékképződés megakadályozása érdekében be kell állítania az elektrolit keverését és hőmérsékletét.

Radírozás minták vagy csíkok

Kiadvány: A polírozott felületen nem kívánt marási minták vagy csíkok jelenhetnek meg, gyakran a nem következetes polírozási körülmények miatt.

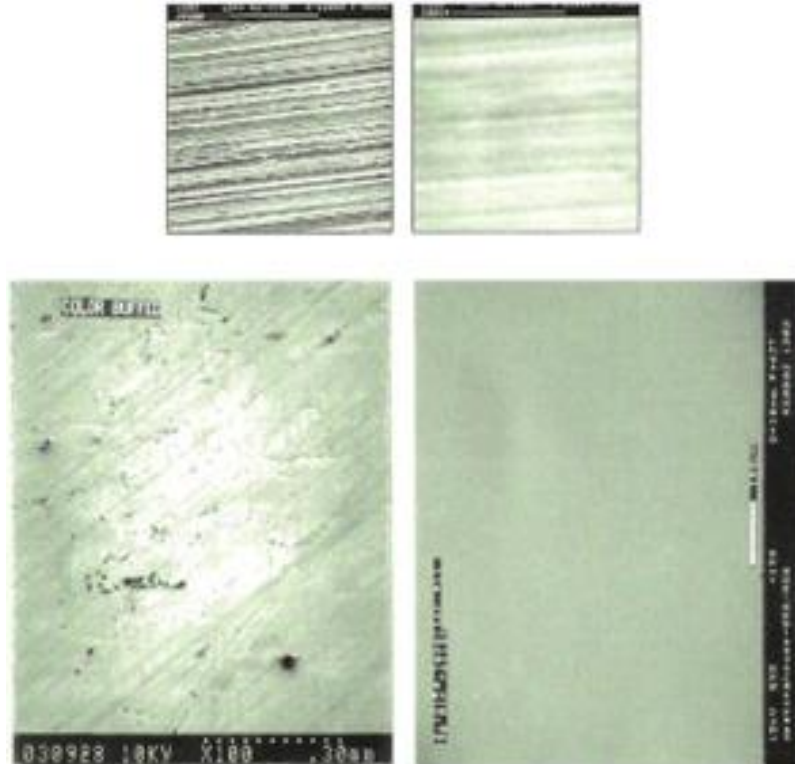


2.2.19. ábra. [Csíkok a megmunkált SS304-en elektropolírozás után](#) (forrás: Global Spec)

Megoldás: A kezelőnek állandó elektromos paramétereket kell fenntartania és szabályoznia kell az elektrolit áramlását az egyenletes eloszlás biztosítása érdekében. Megfelelően tisztítsa és készítse elő a mintát, hogy elkerülje a felületi összetétel eltéréseit.

Nem megfelelő csillogás vagy fényerő

Kiadvány: Ha a polírozott felület nem rendelkezik a kívánt csillogással vagy fényességgel, az a nem optimális elektrolit-összetételből vagy -körülményekből adódhat.



2.2.20. ábra. Optikai (fent) és SEM (lent) mikroszkópos felvételek, amelyek a bal oldali mechanikusan polírozott érdes felület átalakulását mutatják sima felületűvé az elektropolírozás után (forrás: Global Spec).

Megoldás: A kezelőnek be kell állítania az elektrolitoldat összetételét a polírozási eredmény javítása érdekében. Kísérletezzen különböző paraméterekkel, például hőmérséklettel, feszültséggel és árammal a kívánt felület eléréséhez.

Biztonsági aggályok

Kiadvány: Biztonsági problémák merülhetnek fel, ha a vegyi anyagokkal és elektromos berendezésekkel végzett munka során nem tartják be a megfelelő biztonsági óvintézkedéseket.



2.2.21. ábra. Védőfelszerelés (forrás: Micro Lit)

Megoldás: A kezelőnek mindig be kell tartania a biztonsági előírásokat, és megfelelő egyéni védőfelszerelést kell viselnie, jól szellőztetett területen kell dolgoznia, és ki kell képezni a vegyi anyagok és berendezések megfelelő kezelésére.

2. 2.4. Az elektrolitikus polírozásból származó elektrolitok kezelése és ártalmatlanítása

A kezelőnek vagy metallográfiai szakembernek be kell tartania az elektrolitikus polírozás során használt elektrolitok biztonságos kezelésére és ártalmatlanítására vonatkozó különleges eljárásokat.



2.2.22. ábra. Elektrolytoldatok (forrás: Micro Lit)

Az elektrolitikus polírozásból származó elektrolitok kezelése

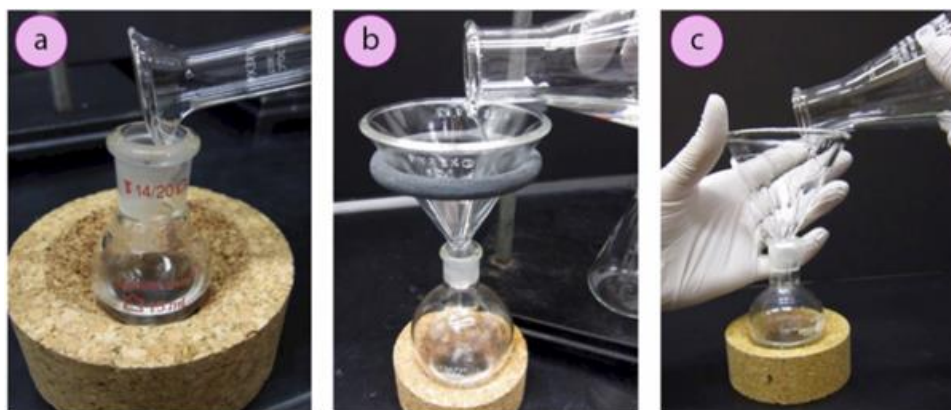
A kezelőnek vagy szakembernek az elektrolit kezelését jól szellőző helyen, például füstelvezetőben vagy jó szellőzésű helyiségben kell végeznie, hogy a lehető legkisebbre csökkentse a füstöknek vagy gőzöknek való kitétséget. Az elektrolitokat tartalmazó tartályokat

egyértelműen fel kell címkézni a nevükkel, összetételükkel, veszélyeikkel és a szükséges kezelési óvintézkedésekkel. Speciális címkéket kell használni, és nyilvántartást kell vezetni. Fontos, hogy az elektrolitokat erre a célra tervezett, vegyszerálló tartályokban tároljuk. Az üveg vagy műanyag tartályok gyakori választási lehetőségek.



2.2.23. ábra. C+ elektrolit (forrás: Micro Lit)

A kezelőknek vagy szakembereknek kerülniük kell az elektrolittal való közvetlen bőrkontaktust. Ha érintkezés történik, az érintett terület azonnali leöblítése bő vízzel elengedhetetlen. Az elektrolitok kezelése során a kezelőnek tartózkodnia kell az evéstől, ivástól és dohányzástól a véletlen lenyelés elkerülése érdekében. Az elektrolitok átadásakor vagy keverésekor ügyelni kell a fröccsenések és balesetek elkerülésére. A savakat célszerű a vízhez adni, nem pedig fordítva. Az üzemeltetőnek vagy szakembernek meg kell győződnie arról, hogy az elektrolitok kezeléséhez használt anyagok (tartályok, keverők stb.) kompatibilisek az adott elektrolittal, és nem lépnek vele reakcióba.



2.2.24. ábra. Folyadék kiöntése, b) Gyűrűs bilinccsel tartott tölcsérbe töltés, c) Kézzel tartott tölcsérbe töltés. (forrás: Micro Lit)

Az elektrolitikus polírozásból származó elektrolitokkal dolgozó személyzetet fel kell világosítani a kockázatokról és a biztonsági eljárásokról. A folyamatos képzés és tudatosság kulcsfontosságú.

Az elektrolitikus polírozásból származó elektrolitok ártalmatlanítására vonatkozó jogszabályi megfelelés

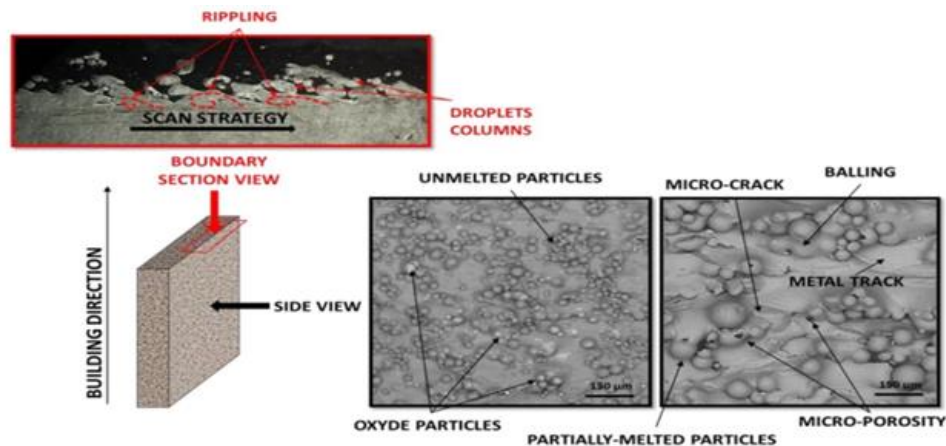
Az üzemeltetőknek vagy metallográfiai szakembereknek be kell tartaniuk a veszélyes hulladékok ártalmatlanítására vonatkozó helyi, állami és szövetségi előírásokat. Ezek az előírások helyenként eltérőek lehetnek. A különböző elektrolitokat külön kell tartani, és az ártalmatlanítás során kerülni kell a keveredést. Azokban az esetekben, amikor semlegesítésre van szükség, az egyénnek követnie kell a biztonságos semlegesítésre vonatkozó kémiai kompatibilitási irányelveket. Ha bizonytalanok a megfelelő ártalmatlanítási módszerekkel kapcsolatban, az üzemeltetőknek vagy szakembereknek konzultálniuk kell egy képzett vegyészsel, hulladékártalmatlanítási szakértővel vagy a szervezetük környezet-egészségügyi és biztonsági osztályával. A hulladéktárolókat egyértelműen fel kell címkézni a tartalmukkal és az esetleges veszélyekkel, hogy az ártalmatlanítás során a biztonságos kezelést biztosítsák.

Nagyon fontos, hogy a hulladéktároló tartályok szorosan zárva legyenek, hogy megakadályozzák a szivárgást vagy a kiömlést. Az üzemeltetőknek vagy szakembereknek gondoskodniuk kell a veszélyes hulladékok elszállításáról és ártalmatlanításáról engedélyezett és engedélyezett hulladékkezelő szolgáltatásokon vagy létesítményeken keresztül. A veszélyes hulladékok önálló ártalmatlanításának megkísérlése nem ajánlott.

Az ártalmatlanítási folyamatra vonatkozó nyilvántartás vezetése, beleértve a dátumokat, az ártalmatlanítási módszereket és a vonatkozó biztonsági adatlapokat (SDS), alapvető fontosságú a hivatkozás és a megfelelés szempontjából. Az üzemeltetőknek vagy szakembereknek fel kell készülniük a vészhelyzetekre, és rendelkezniük kell kiömlés elleni védekező készletekkel, biztonsági zuhanyokkal és szemmosó állomásokkal azon a területen, ahol az elektrolitikus polírozásból származó elektrolitokat kezelik.

2. 2.5. Hibaelhárítás és tippek a metallográfiai minták elektrolitikus polírozásához

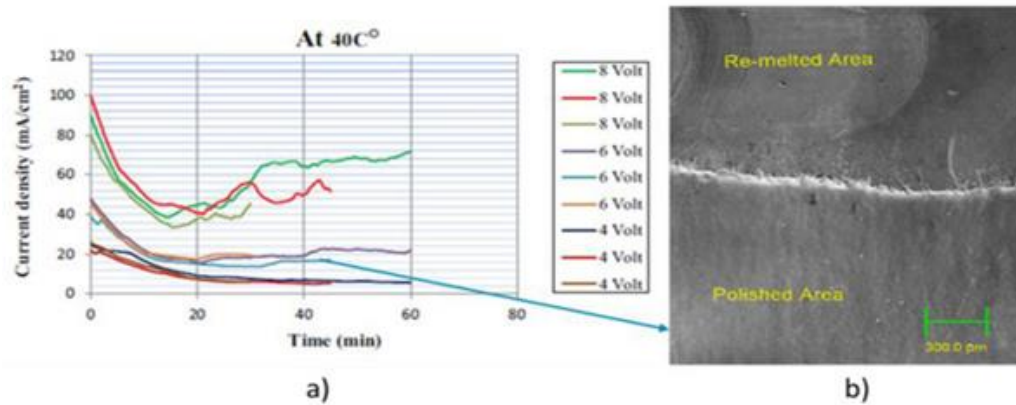
A metallográfiai minták elektrolitikus polírozása kulcsfontosságú lépés az anyagok mikroszkópos vizsgálatra való előkészítésében. A folyamat során azonban problémák merülhetnek fel (lásd az előző fejezetet), ezért ebben a fejezetben a minták szennyeződéséről lesz szó, amely a metallográfiai laboratóriumokban gyakran előforduló probléma. A probléma a mintán lévő szennyeződések, amelyek zavarhatják a polírozási folyamatot. A sikeres folyamat érdekében a kezelőnek biztosítani kell, hogy a minta szennyeződésektől mentes legyen, minden berendezést meg kell tisztítani, és tiszta elektrolitoldatot kell használnia. Más felületi hibák, például karcolások, repedések és gödrök jelentősen befolyásolhatják a fémes anyagok teljesítményét és megbízhatóságát. Az elektrolitikus polírozás létfontosságú szerepet játszik a felületi hibák felderítésében, mivel tiszta és sima felületet biztosít, amely megkönnyíti azok láthatóságát és jellemzését.



2.2.25. ábra. Az additív módon gyártott tárgyak felületi hibáinak ábrázolása (forrás: Acquesta, Annalisa & Monetta, Tullio. (2023). Zöld megközelítés az additív gyártású alkatrészek elektropolírozó felületkezeléseihez: A Comprehensive Review. Metals. 13. 874.

10.3390/met13050874.)

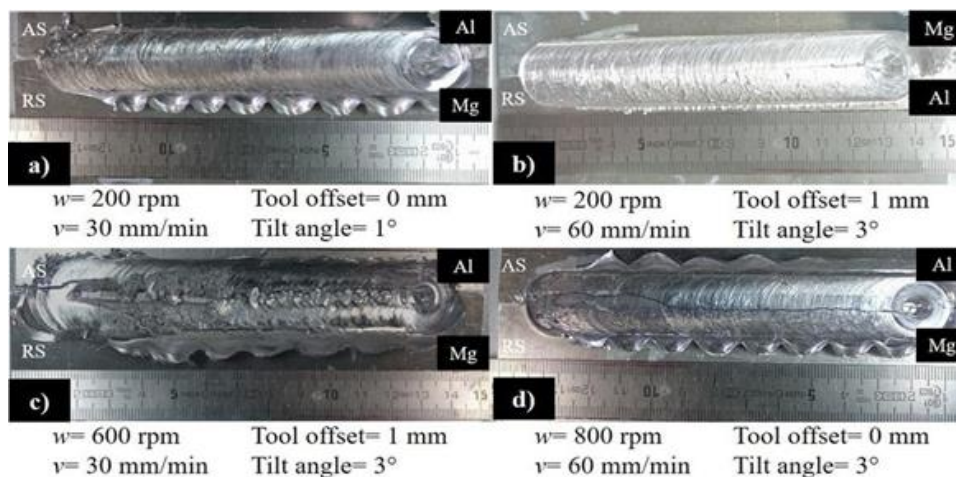
A felületi egyenetlenségek és szennyeződések eltávolításával az elektrolitikus polírozás növeli a kontrasztot a hibák és a környező anyag között. Ez lehetővé teszi a felületi hibák pontos azonosítását, mérését és értékelését.



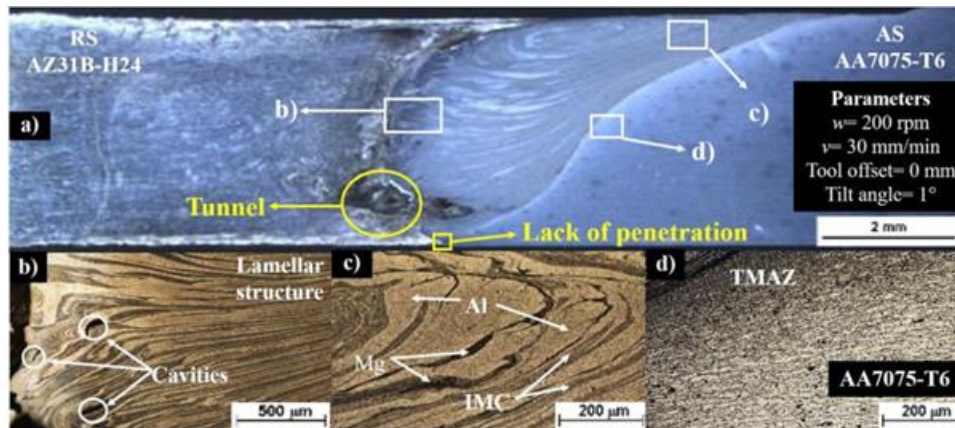
2.2.26. ábra. A 30 és 60 perc közötti időtartamú, 6 V-os, 40 °C-on végzett EP-kezelés során kapott krono - ampero-metrikus görbék. **b)** SEM-felvétel a 6 V-os feszültséget 40 °C-on 45 percig tartó, 40 °C-os hőmérsékleten alkalmazott elektropolírozott mintáról (forrás: SEM): Acquesta, A.; Monetta, T. Zöld megközelítés az additív gyártású alkatrészek elektropolírozó felületkezeléséhez: A Comprehensive Review. *Metals* 2023, 13, 874.

<https://doi.org/10.3390/met13050874>).

A felületi hibák felismerésének és jellemzésének képessége döntő fontosságú az anyag minőségének, tartósságának és az egyes alkalmazásokhoz való alkalmasságának értékeléséhez.



2.2.27. ábra. A hegesztési varratok hibái, a) túlzott villogás, b) repedés, c) felületi töltéshiány és túlzott villogás és d) repedés és túlzott villogás. (Előrelépő oldal: AS és visszalépő oldal: RS) (forrás: Hernández-García, D. & Saldaña Garcés, Rocio & Vázquez, F.J. & Gutiérrez-Castañeda, E.J. & Deaquino-Lara, R. & Verdera, David. (2017). Dissimilar AA7075-T6 és AZ31B-H24 ötvözetek súrlódásos keverési hegesztése. *MRS Advances*. 2. 1-9. 10.1557/adv.2017.609.)



2.2.28. ábra. Mikroszkópos felvételek az eltérő AA7075-T6 és AZ31B-H24 közötti FSW-kötés keresztmetszetéről, belső hibákkal, mint például alagútszerűség, behatolás hiánya (a) és üregek (b), a (c) ábrán látható a Mg és az Al közötti diszperzió az SZ-ben; a (d) ábrán pedig a termomechanikusan befolyásolt zóna (TMAZ) szemcseméretének kb. 70%-os csökkenése figyelhető meg (forrás: Hernández-García, D. & Saldaña Garcés, Rocio & Vázquez, F.J. & Gutiérrez-Castañeda, E.J. & Deaquino-Lara, R. & Verdera, David. (2017). Dissimilar AA7075-T6 és AZ31B-H24 ötvözetek súrlódásos keverési hegesztése. MRS Advances. 2. 1-9.

10.1557/adv.2017.609.)

Általános tippek

- ✓ A kezelőnek megfelelően elő kell készítenie a mintát a felületi szennyeződések eltávolításával és a kezdeti mechanikai polírozással a nagyobb hibák kiküszöbölése érdekében.
- ✓ A kezelőnek az elektrolit összetételét a polírozandó fémhez kell igazítania, a különböző fémek különböző elektrolitokat igényelhetnek.
- ✓ A kezelőnek az elektrolit egyenletes eloszlását keveréssel kell biztosítania, hogy megakadályozza a stagnálást vagy a gázbuborékok kialakulását.
- ✓ A kezelőnek folyamatosan figyelemmel kell kísérnie a polírozási folyamatot a kívánt felület elérése érdekében, és szükség esetén időzítőket kell használnia a túlpolírozás elkerülése érdekében.
- ✓ A kezelőnek be kell tartania a biztonsági előírásokat, megfelelő egyéni védőfelszerelést kell viselnie, és vegyszerek és elektromos berendezések kezelése során jól szellőző helyen kell dolgoznia.
- ✓ A kezelőnek kísérleteznie kell a feszültség-, áram- és hőmérséklet-beállításokkal, hogy megtalálja az ideális feltételeket az Ön egyedi fém- és felületkezelési követelményeihez.



- ✓ Az üzemeltetőnek részletes nyilvántartást kell vezetnie a polírozási folyamatról, beleértve a paramétereket, az elektrolit összetételét és a felmerülő problémákat, hogy segítse a hibaelhárítást és a folyamat javítását.
- ✓ A karbantartásnak rendszeresen karbantartania és tisztítania kell a polírozó berendezést, beleértve az elektródákat és a tápegységet is, a folyamatos teljesítmény biztosítása érdekében.

2. 2.6. Az elektrolitikus polírozás és a színes maratás valós példái

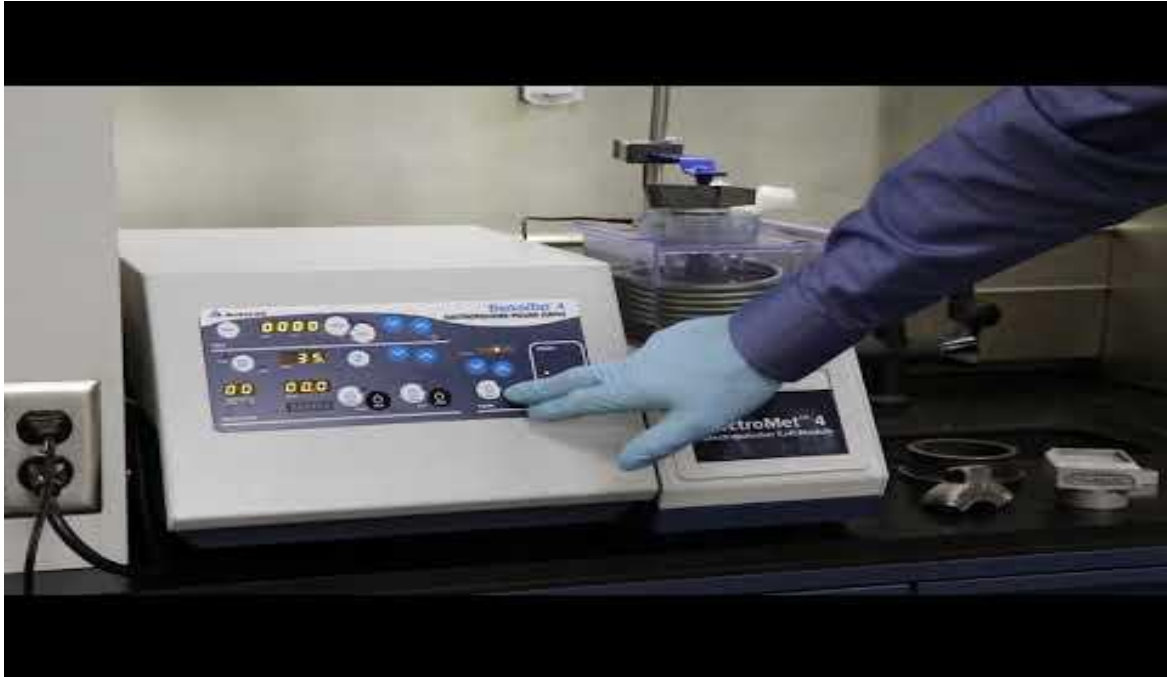
Az elektrolitikus polírozást gyakran használják különböző valós alkalmazásokban a fémminták kiváló minőségű felületének kialakítására. A kohászati laboratóriumokban az elektrolitikus polírozást a metallográfiai minták mikroszkópos vizsgálatra való előkészítésére használják. Ez a technika lehetővé teszi a fémtudósok számára a fémek mikroszerkezetének tanulmányozását, például a szemcsehatárok, fázisok és zárványok vizsgálatát, ami elengedhetetlen a minőségellenőrzéshez és az anyagelemzéshez. A repülőgépipar és az autóipar az elektrolitikus polírozást a fémminták roncsolásmentes vizsgálatához (NDT) való előkészítésére használja. Ez magában foglalja az anyagok, hegesztési varratok és alkatrészek integritásának vizsgálatát olyan technikák segítségével, mint a festék behatolásos vizsgálat és a mágneses részecskék vizsgálata. Az elektrolitikus polírozást a félvezetőgyártásban alkalmazzák vékony fémfilmek vagy ostyák előkészítésére ellenőrzéshez, elektronmikroszkópiához és elektrondiffrakcióhoz. Ez biztosítja, hogy a félvezető alkatrészek felülete sima és hibamentes legyen.



2.2.29. ábra. Elektrolitikus polírozó és maró rendszer (forrás: Metkton USA)

Az elektrolitikus polírozást az elektronikai iparban alkalmazzák, hogy sima és hibamentes felület hozzanak létre a fém alkatrészeken, beleértve a csatlakozókat és a nyomtatott áramköri lapokat. Ez fontos a megbízható elektromos csatlakozások biztosításához és a jelinterferencia csökkentéséhez. A napelemek és szélturbinák alkatrészeinek gyártása során az elektrolitikus polírozást a fémfelületek, például az alumínium vagy a réz előkészítésére használják a jobb energiahatékonyság és a korrózióállóság érdekében.

Az elektrolitikus polírozást optikai rendszerek és csillagászati műszerek fém alkatrészeinek előkészítésére használják. A sima és fényvisszaverő felületek létfontosságúak a távcsövek, tükrök és lencsék számára a pontos megfigyelések és képek eléréséhez.



2.2.30. ábra. ElectroMet 4 polírozási és maratási bemutató (forrás: BuehlerMaterials)

Az orvosi implantátumok és eszközök gyártói az elektrolitikus polírozást a fém alkatrészek felületének javítására használják. Ez kulcsfontosságú a baktériumok megtapadásának kockázatának csökkentése és az anyagok biokompatibilitásának biztosítása szempontjából. A fogászatban az elektrolitikus polírozást a fogászati protézisek, például koronák, hidak és fogászati implantátumok felületének finomítására alkalmazzák. A sima és polírozott felület segít csökkenteni a lepedékképződés kockázatát, és növeli a páciensek kényelmét.

2.7. Színes maratás - cél, alkalmazás és bemutatás

A színes maratás a metallográfiában alkalmazott technika, amellyel szelektíven festik vagy színezik a különböző mikroszerkezeti összetevőket egy fémes anyagon belül. Speciális maróanyagok alkalmazásával a technika növeli a különböző fázisok, zárványok és szemcsehatárok láthatóságát és kontrasztját.



2.2.30. ábra. Makroszkópiai technikák (forrás: MaterialScience2000)

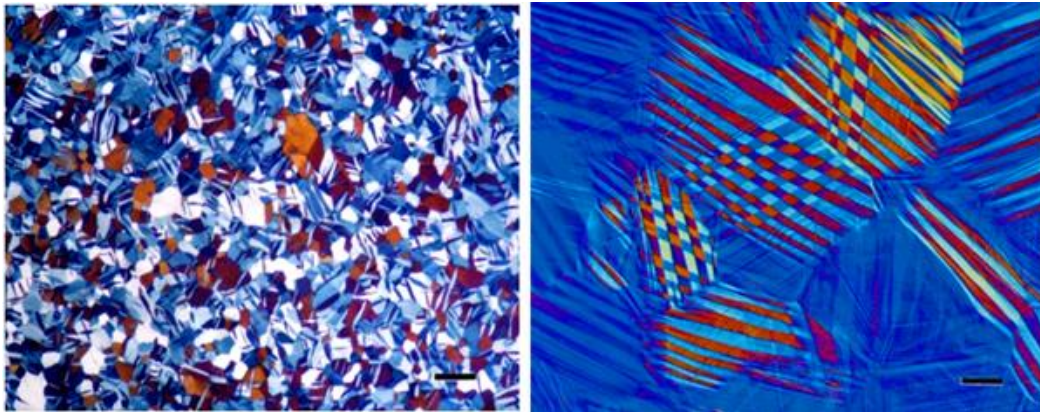
A színes maratás döntő szerepet játszik a metallográfiában, mivel lehetővé teszi a különböző mikroszerkezeti összetevők megkülönböztetését és kiemelését. Segít a fázisok, zárványok, szemcsehatárok és egyéb olyan jellemzők azonosításában, amelyek a nem rögzített mintákban nehezen megkülönböztethetők. Ez a jobb láthatóság lehetővé teszi az anyag szerkezetének és tulajdonságainak átfogóbb elemzését és megértését. A fázisok azonosítása mellett a színes maratás lehetővé teszi a szemcseméret, a szemcsehatárok, a másodfázisú részecskék és más mikroszerkezeti paraméterek jellemzését is. Ez megkönnyíti a mikroszerkezeti homogenitás értékelését, a szegregáció vagy az intermetallikus fázisok kimutatását, valamint az anyaghibák vagy anomáliák elemzését. Lehetővé teszi az optikai vagy elektronmikroszkópos megfigyelést és vizsgálatot, megkönnyítve az anyag összetételének, szerkezetének és tulajdonságainak jobb megértését.

A színeképzés alapelvei

A marószerkezetek különbözőképpen reagálhatnak az alkotóelemekkel olyan tényezők miatt, mint a kémiai összetétel, a kristályos orientáció és a felület állapota. Ezek a kölcsönhatások színes vegyületek vagy komplexek kialakulásához vezethetnek a mikroszerkezeti elemek felületén, így azok jobban láthatóvá és megkülönböztethetővé válnak.

A színezett maratás során a színeképződés elvei a marószerkezet és a mikroszerkezeti összetevők közötti kölcsönhatáson alapulnak. A szín a felületen képződött színes vegyületek vagy komplexek

által a fény meghatározott hullámhosszúságának elnyelése, visszaverődése vagy interferenciája miatt keletkezik.



2.2.31. ábra (balra) és 2.2.32. ábra. (jobbra): Nagy tisztaságú Zr (balra) melegen megmunkált és hidegen húzott (vegyük észre a mechanikai ikreket), polarizált fényben nézett szemcseszerkezete, valamint Au - 19Cu-5Al, amelyet políroztak és ciklikusan alakemlékező hatásnak vetettek alá martenzit előállítás érdekében, és Nomarski differenciális interferencia megvilágítást használtak a szabad felületen a nyírási reakció következtében fellépő felületi felemelkedés leképezésére. A nagyítási sávok 100, illetve 50 μm -esek (forrás: Vac Aero Coloured Metallography)

A színes (tintás) maróanyagok által előállított színek fényes tér megvilágításban láthatóak, és sok esetben polarizált fényvel további fokozás érhető el. A színeket interferenciával alakítják ki, ugyanúgy, mint a hőszínezés vagy a vákuumos leválasztás esetében. Mint említettük, a színt a film vastagsága határozza meg, általában a sárga, vörös, ibolyaszín, kék és zöld sorrendben, fehér fényben vizsgálva. Anódos rendszereknél a film csak az anódos fázis felett alakul ki, de vastagsága a fázis kristályrajzi orientációjától függően változhat. Katódos rendszereknél, mivel a film vastagsága a katódos fázis felett általában állandó, csak egy szín keletkezik, amely a film növekedésével változik a maratás során. Ezért ahhoz, hogy minden alkalommal ugyanazt a színt kapjuk, a maratási időtartamnak állandónak kell lennie. Ezt úgy lehet elérni, hogy a maratás időzítését és a minta makroszkopikus színének megfigyelését a festés során végezzük.

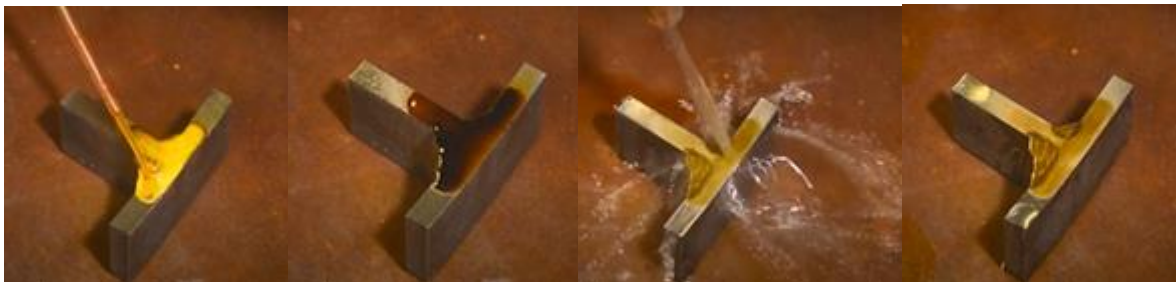
Színes maratás Minta előkészítése

A metallográfiai előkészítés lépései megegyeznek az előző eljárással, amelyet a metallográfiai maratás követ.



2.2.33. ábra. A minta előkészítése a színmaratáshoz (forrás: Vac Aero Coloured Metallography)

A metallográfiai maratás a polírozott felületen a hegesztett minta anyagának megfelelő reagensekkel történő maratással történik, amelyek szelektíven oldják vagy színezik a jelenlévő alkotóelemeket, megkülönböztethetővé téve azokat egymástól. A maratást úgy végzik, hogy a próbadarab felületét a reagensekkel átitatott vattadarabbal pötytyözik. A művelet célja a kristályszerkezet feltárása.

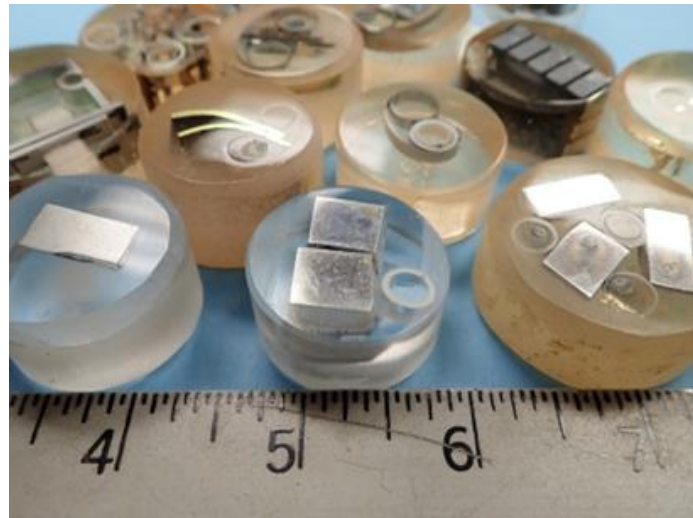


2.2.34. ábra. Hegesztési színmaratás (forrás: Vac Aero Coloured Metallography)

2. 2.8. Kézi gyakorlat a színes maratással

A metallográfiai minták színmaratásakor használt anyagok és berendezések:

- ✓ metallográfiai minták (jellemzően előkészített, szerelt és polírozott fémminták);



2.2.35. ábra. Metallográfiai minták (forrás: Metallurgical Engineering Services, Inc.)

- ✓ kémiai reagensek, amelyeket kifejezetten a fém különböző fázisaival vagy alkotóelemeivel való reakcióra fejlesztettek ki, hogy színeket hozzanak létre;

Name	Chemical Composition
Nital	4% solution of nitric acid in ethanol
Pikral	4% solution of picric acid in ethanol
Klemm	50 ml ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ w H_2O) + 1g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$
LePera reagent	1:1 – pikral + 1% solution $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ w H_2O
Sodium metabisulfite	10% water solution $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$



2.2.36. ábra. Kémiai reagensek (forrás: Micro Lit)

- ✓ csiszoló- és polírozógépek vagy berendezések, csiszolópapírok és polírozó kendők vagy párnák,



2.2.37. ábra. Csiszoló- és polírozógépek vagy berendezések, csiszolópapírok (forrás: Kemet International Ltd.)

- ✓ egyéni védőfelszerelés (PPE), például védőszemüveg, kesztyű és laborköpeny,



- ✓ mikroszkóp segítségével vizsgálja meg a maratott mintákat,



2.2.38. ábra. Metallográfiai mikroszkóp (forrás: Olympus)

- ✓ laboratóriumi üvegeszközök marószerek tárolására és kezelésére,



2.2.39. ábra. Laboratóriumi üvegeszközök (forrás: Kemet International Ltd)

- ✓ desztillált víz a minták öblítéséhez,



2.2.40. ábra. Desztillált víz (forrás: Micro Lit)

- ✓ időzítő vagy óra a pontos maratási idők biztosítására,
- ✓ vegyszerálló anyagok, például polietilén vagy polipropilén tartályok az etánsok kezeléséhez,



2.2.41. ábra. Savmaratott PET műanyag palackok 13g-os műanyag tárolóedény PP csavaros kupakkal (forrás: Micro Lit)

- ✓ szellőztetett munkaterület a füstgázoknak való kitettség minimalizálása és a vegyi anyagok megfelelő ártalmatlanítása érdekében,



A színes maratás eljárása

Minta előkészítése:

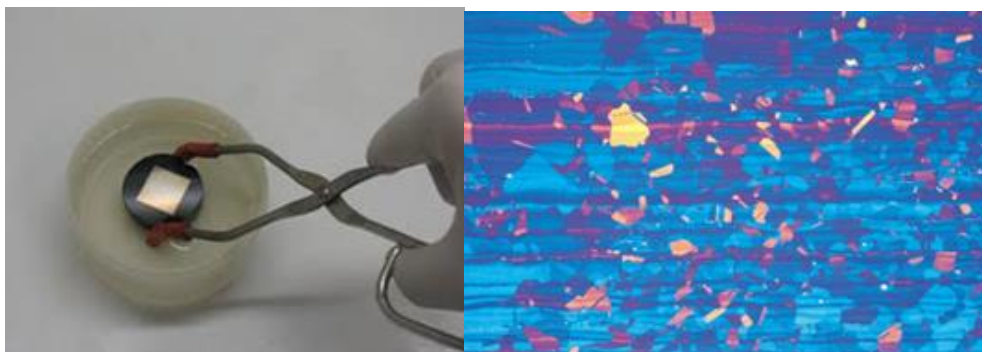
- A szakembernek jól előkészített metallográfiai mintákkal kell kezdenie, amelyeket szereltek és magas szintűre políroztak.
- A szakembernek meg kell győződnie arról, hogy a minták tiszták és mentesek minden szennyeződéstől vagy maradványtól.



2.2.42. ábra. Mintaelőkészítés és mintapélda (forrás: Kemet International Ltd)

Színes marószel kiválasztása:

- A szakembernek az adott fém és a feltárni kívánt jellemzők alapján kell kiválasztania a megfelelő színű marószert.
- A szakembernek a gyártó útmutatójában vagy a közzétett forrásokban kell tájékozódnia az alkalmazáshoz megfelelő marószerekkel kapcsolatban.



2.2.43. ábra. Színes maratással (Beraha, Lichtenegger), sósvartartalmú V2A-lye vagy Adler-aranyozóval maratott minta (jobbra) és magasan ötvözött acél (balra) (forrás: Struers).

Metszőanyag-előkészítés:



- a. A szakembernek gondosan követnie kell a gyártó utasításait a színes marószerszer elkészítéséhez.
- b. Egyes maróanyagokat egy adott oldószerrel kell keverni, vagy egy adott koncentrációban kell elkészíteni.

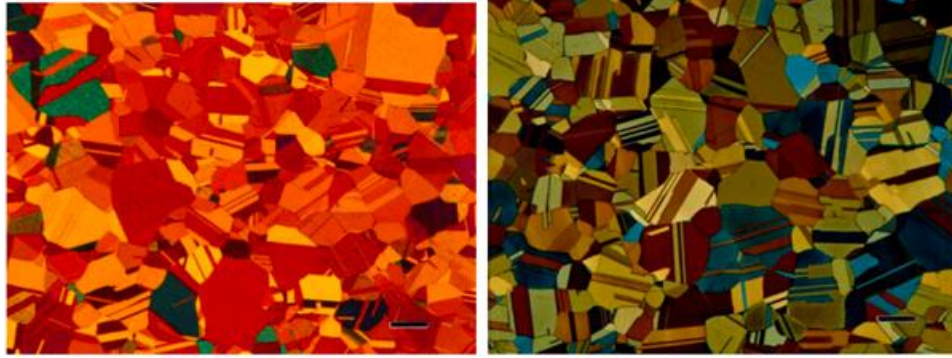
A színes maróanyagok gyakori típusai (lásd a függelék)

Sok fém esetében, amelyet a szemcsehatárok feltárása érdekében standard reagensekkel maratnak, gyakran nem az összes, hanem csak a határok nagy százalékát kapjuk meg. A színes marószerszer azonban teljesen feltárják a szemcseszerkezetet. Az izzó ikerrel rendelkező fémek esetében nagyon nehéz lehet a szemcseméret megítélése, ha a standard marószerszer a szemcsék és az ikerhatárok egy részét feltárja. Valójában egy ilyen minta esetében még kézzel is igen nehéz lehet a szemcseméret pontos mérése, mivel a szemcsék és az ikerhatárok megkülönböztetése (az utóbbiakat a mérés során figyelmen kívül kell hagyni). Színesen maratott mikroszerkezet esetén azonban viszonylag könnyű elkülöníteni a szemcséket az ikerhatároktól, legalábbis kézzel.

Továbbá a filmek a kristályorientáció függvényében nőnek. Ezért a jelen lévő színtartomány szűkössége alapján bármilyen preferált kristályos orientáció kimutatható. Ha a színek széles skálája véletlenszerű mintázatban van jelen, akkor a kristályorientáció véletlenszerű. Ha a színek szűk tartománya van jelen a szemcsékben, akkor egy preferált orientáció van jelen.

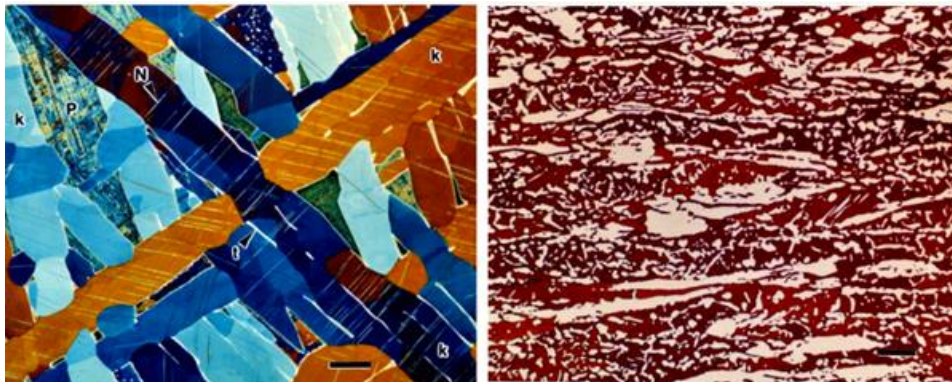
A színes módszerek alkalmazásakor a minták előkészítésének jobbnak kell lennie, mint a fekete-fehér módszereknél, mivel az epitaxiális növesztésű filmek érzékenyek a preparálás okozta, de el nem távolított sérülésekre. Ez a szintű előkészítés a képelemző munkáknál szükséges, és egy hozzáértő metallográfiai szakértő a megfelelő felszereléssel könnyen elvégezheti. Az elektrolitikus polírozás nem szükséges a sérülésmentes felületek eléréséhez.

A legelterjedtebb árnyalatmarók azok, amelyek szulfid alapú interferenciafilmet raknak le a mintán. Ezek a legismertebb és általában a legkönnyebben használható színezőmarók. Klemm és Beraha fejlesztette ki a legszélesebb körben használt szulfid alapú színező marószerszerket, amelyek nátrium-tioszulfátot, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, és kálium-metabiszulfítot, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$, használnak.



2.2.44. és 2.2.45. ábra. Patronos sárgaréz, Cu - 30% Zn, FCC ikerszemcseszerkezete 50%-os hidegredukció és teljes izzítás után, Klemm I (balra) és Klemm III (jobbra) reagenssel maratott és polarizált fényvel plusz érzékeny színnel nézett színezés. A nagyítási sávok 200- μ m hosszúak, illetve (forrás: Vac Aero Coloured Metallography)

A Klemm-féle I, II, III (2.2.12. és 2.2.13. ábra) és Beraha egyik reagensében mindkét összetevőt használják (2.2.13. ábra), míg Beraha a kálium-metabiszulfid (2.2.14. ábra) mellett alkalmazott HCl-koncentrációk tartományát ajánlja a különböző vasalapú ötvözetek maratásához.

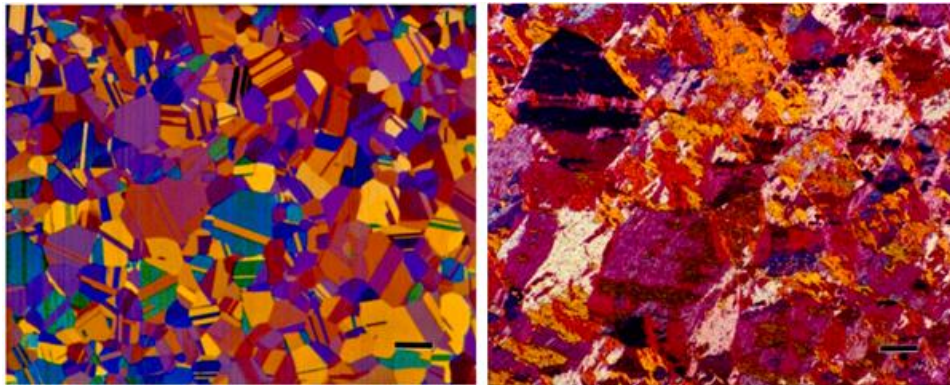


2.2.46. és 2.2.47. ábra : A Gibeon meteorit finom oktahedrit szemcseszerkezete (balra), amelyet Beraha reagenssel (100 ml víz, 10 g Na S O₂₂₃ és 3 g K S O₂₂₅), valamint a 7 Mo PLUS duplex rozsdamentes acéllemezben lévő ferrit, amelyet Beraha reagenssel (85 ml víz, 15 ml HCl, 1 g K S O₂₂₅) mutattak ki. A nagyítási sávok 500, illetve 50 μ m hosszúak [2.2.10].

Ezek a marószerek az öntöttvas, a szén- és az alacsonyán ötvözött acélok ferritjének és martenzitjének színezésére használhatók. A HCl-alapú reagensek koncentrációja széles skálán mozog, és rozsdamentes acélok (2.2.15.), Ni alapú és Co alapú ötvözetek szemcseszerkezetének színezésére használhatók. A nátrium-metabiszulfidot többféle koncentrációban használták, kb. 1

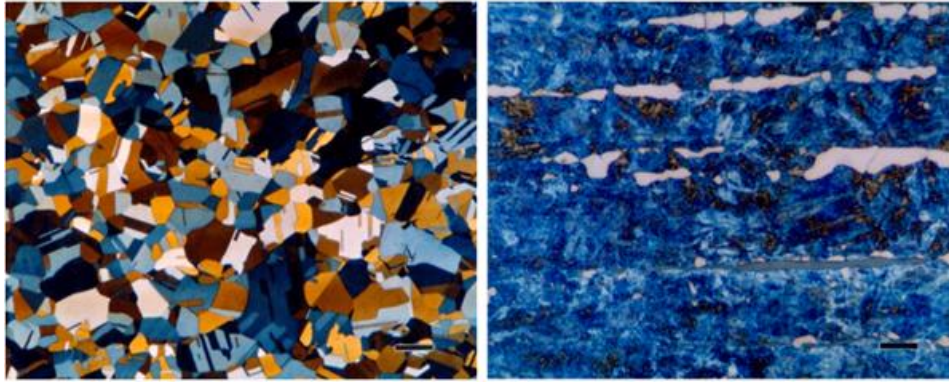


és 20 g/100 ml víz között, és biztonságos, megbízható, hasznos színmarató a vasak és acélok esetében. (forrás: Vac Aero Coloured Metallography)

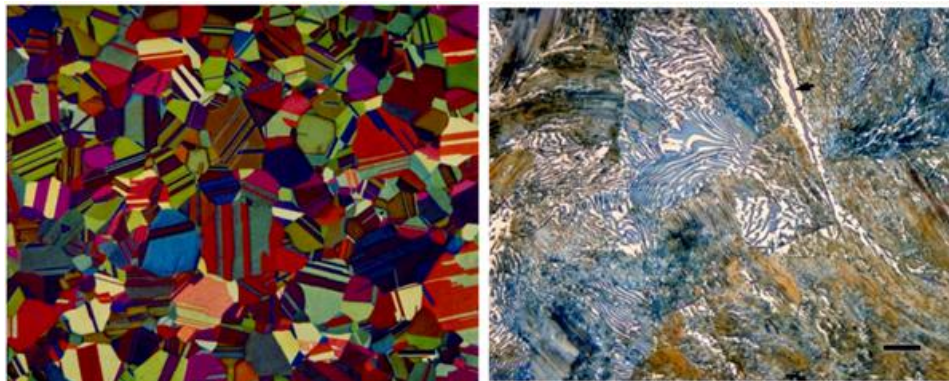


2.2.48. és 2.2.49. ábra: Beraha B1 reagenssel feltárt FCC ikerszálas szemcseszerkezet a Custom Flo 302 rozsdamentes acélból és 10% nátrium-metabiszulfid felhasználásával feltárt, túlságosan ausztenitizált (1093 °C) AerMet 100 ultranagy szilárdságú acélból származó lécmartenzites szemcseszerkezet. Mindkettő polarizált fényben és érzékeny színezéssel vizsgálva. A nagyítási sávok 100 µm hosszúak (forrás: Vac Aero Coloured Metallography)

Beraha szulfaminsav alapú marószereket is kifejlesztett, amelyek egy alacsony koncentrációjú szerves sav, és amelyeket nem sokat használtak, bár igen hasznosak, megbízhatóak és könnyen használhatóak. A szulfámsav alapú reagensek öntöttvas, alacsony széntartalmú és ötvözött acélok, szerszámacélok és martenzites rozsdamentes acélok esetében alkalmazhatóak (2.2.17. ábra). Beraha két meglehetősen speciális színező marószert is kifejlesztett, amelyek kadmium-szulfid (2.2.18. ábra) vagy ólom-szulfid (2.2.19. ábra) filmeket raknak le az acélok és rézalapú ötvözetek felületén. Ez a két marószert igen hasznos, bár mérgező a munka során. A CdS reagens hasznos szén- és ötvözött acélok, szerszámacélok, valamint ferrites, martenzites és csapadékkal edzhető rozsdamentes acélok esetében, míg a PbS reagens kiváló munkát végez rézalapú ötvözeteken, és használható acélok szulfidjainak fehérre színezésére (a mintát előzetesen nittállal marjuk, és a maratás a sötétített mátrixot színezi, így a fehér szulfidok láthatóvá válnak).



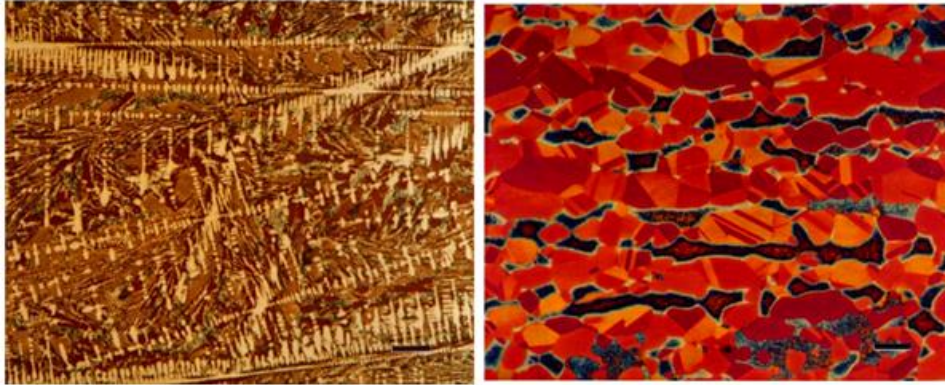
2.2.50. és 2.2.51. ábra: Beraha szulfaminsavas reagenssel feltárt ikres FCC-szemcseszerkezet Fe-39% Ni-ben (balra) és Beraha CdS reagenssel feltárt 416 martenzites rozsdamentes acél edzett martenzites szemcseszerkezete (jobbra). A fehér szemcsék deltaferritek, a szürke zárványok pedig szulfidok. Polarizált fényben plusz érzékeny árnyalattal megtekintve. A nagyítási sávok 100, illetve 200 μm hosszúak (forrás: Struers).



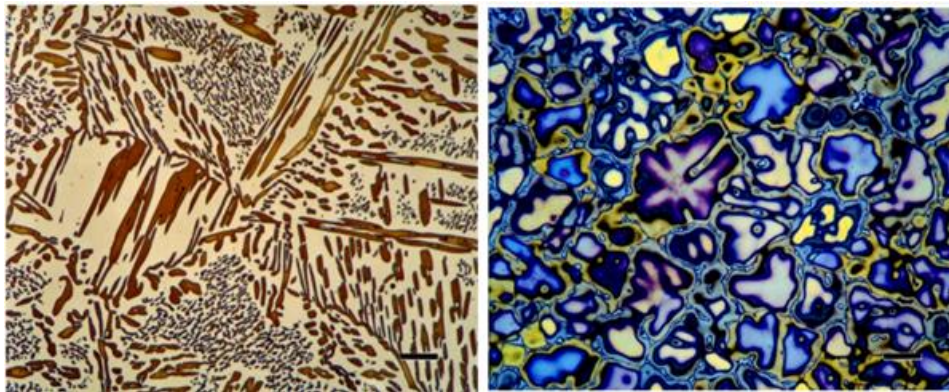
2.2.52. és 2.2.53. ábra: A 2.2.11. és 2.2.12. ábrán látható, Beraha PbS reagenssel maratott patronos sárgaréz mikroszkópia (balra) és Beraha nátrium-molibdát reagenssel színezett cementit egy melegen hengerelt Fe-1%-os C bináris ötvözetben (jobbra). A nagyítási sávok 200, illetve 20 μm -esek (forrás: Vac Aero Coloured Metallography).

Beraha kifejlesztett két olyan színező marószert is, amelyek salétromsavban lévő molibdátionokat használnak. Ezek az acélok cementitjét színezik (2.2.52. ábra). Olyan színező marószereket is kifejlesztett, amelyek elemi szelént raknak le acélok (2.2.53. ábra), nikkelalapú ötvözetek és rézalapú ötvözetek felületén (2.2.54. ábra).

Számos más árnyalatú maróanyag létezik, amelyeket különböző metallográfiák fejlesztettek ki. Lichtenegger és Blöch például kifejlesztett egy szokatlan reagens, amely a duplex rozsdamentes acélokban az ausztenitet (2.2.56. ábra) színezi, nem pedig a ferritet (mint szinte az összes többi).

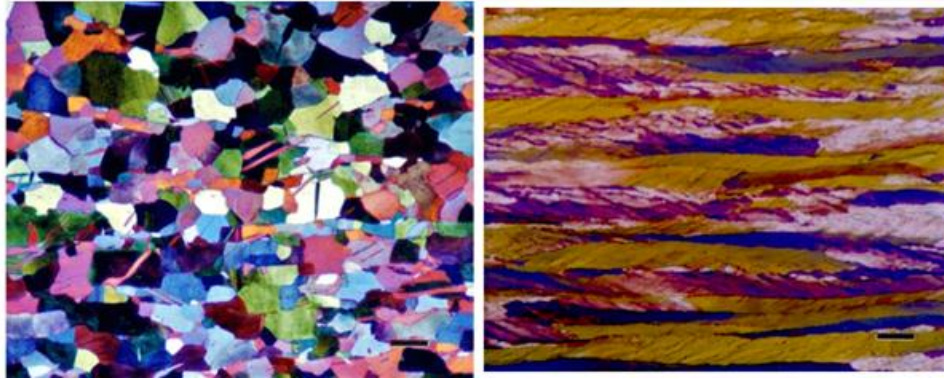


2.2.54. és 2.2.55. ábra: Beraha szelénsavas reagenssel öntöttvasra maratott szürke vas hidegöntési felületén lévő cementit (balra) és Beraha szelénsavas reagenssel rézötvözetekre kimutatott FCC alfa- és béta-fázisú ikerszövet (foltos és körvonalazott) Cu-40%-os Zn-ben. A nagyítási sávok 50, illetve 20 μm hosszúak (forrás: Struers).



2.2.56. és 2.2.57. ábra: Az ASTM A890 Grade 5A osztályú duplex rozsdamentes acélban az LB1 reagenssel színezett ausztenit (balra) és a 206-os alumínium öntött szemcseszerkezete, amelyet az Al ötvözetekhez használt Weck-reagenssel mutattak ki (jobbra). A nagyítási sávok 100, illetve 50 μm hosszúak (forrás: Vac Aero Coloured Metallography).

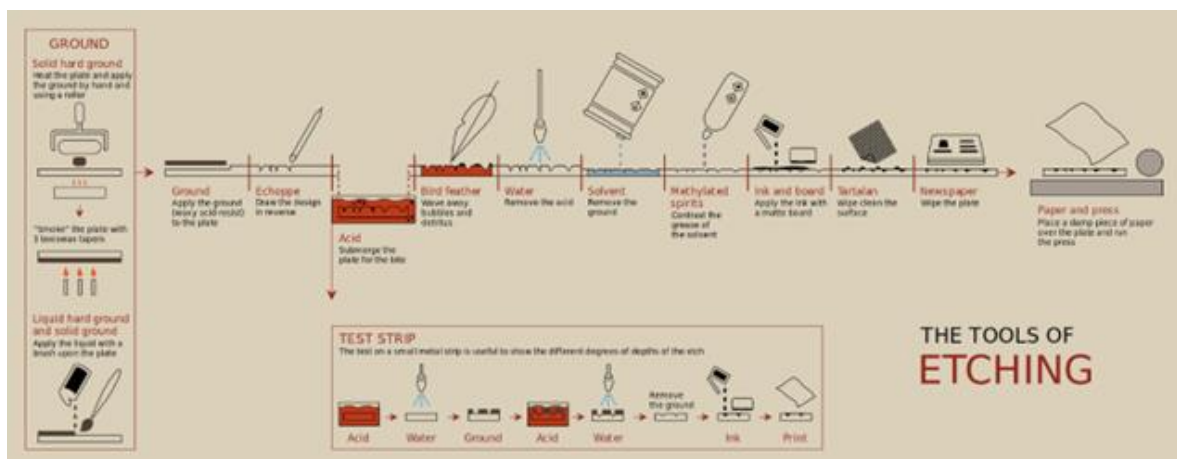
Weck számos tintarajzot fejlesztett ki, miközben sokukat felhasználta kutatásai során. Többet alumínium (2.2.57. ábra) vagy titánötvözetek (2.2.58. ábra) színezésére fejlesztett ki. Mindegyik esetben könnyebb jó szint kialakítani az öntött ötvözetekkel, mint a kovácsolt ötvözetekkel. Az Al-Cu ötvözetekben a théta-fázis, az AlCu_2 színezésére két marószert találtak hasznosnak; a Lierard fejlesztette ki az egyik legkönnyebben használhatót. Számos színmaró marószert fejlesztettek ki molibdén (2.2.59. ábra) és volfrám esetében.



2.2.58. és 2.2.59. ábra: Mechanikai ikreket tartalmazó, hengerelt CP Ti (ASTM F67, Grade 2) szemcseszerkezete (balra), amelyet módosított Weck-reagenssel marattak, és hidegen hengerelt tiszta molibdén (jobbra), amelyet az Oak Ridge National Laboratory által kifejlesztett reagenssel színezték. A nagyítási sávok 100, illetve 20 μm hosszúak (forrás: Vac Aero Coloured Metallography).

Metszési eljárás:

- A szakembernek a polírozott metallográfiai mintát a színes maróoldatba kell merítenie.
- A szakembernek gondosan figyelemmel kell kísérnie a maratási folyamatot, a maratáshoz szükséges idő a fémtől és a használt speciális marószertől függően változik.
- A szakembernek időzített kell használnia, hogy a maratási idő pontos legyen.
- A szakembernek az előre meghatározott maratási idő végén ki kell vennie a mintát a maratószerből.



2.2.60. ábra. A maratás modern technikájának eszközei (forrás: Wikipedia)



Öblítés és tisztítás:

- a. A szakembernek alaposan át kell öblítenie a maratott mintát desztillált vízzel, hogy eltávolítsa a maradék marószert.
- b. A szakembernek szükség esetén puha kefével vagy súrolópárnával óvatosan meg kell tisztítani a felületet.



2.2.61. ábra. Desztillált víz mintaöblítéshez (forrás: Mirco Lit)

Mikroszkópos vizsgálat:

- a. A szakembernek hagynia kell a mintát megszáradni, vagy sűrített levegővel el kell távolítania a felesleges nedvességet.
- b. A szakembernek mikroszkóp alatt meg kell vizsgálnia a maratott mintát, hogy megfigyelje a színes mikroszerkezeti jellemzőket.
- c. A szakembernek dokumentálnia és fényképeznie kell az eredményeket elemzés és nyilvántartás céljából.

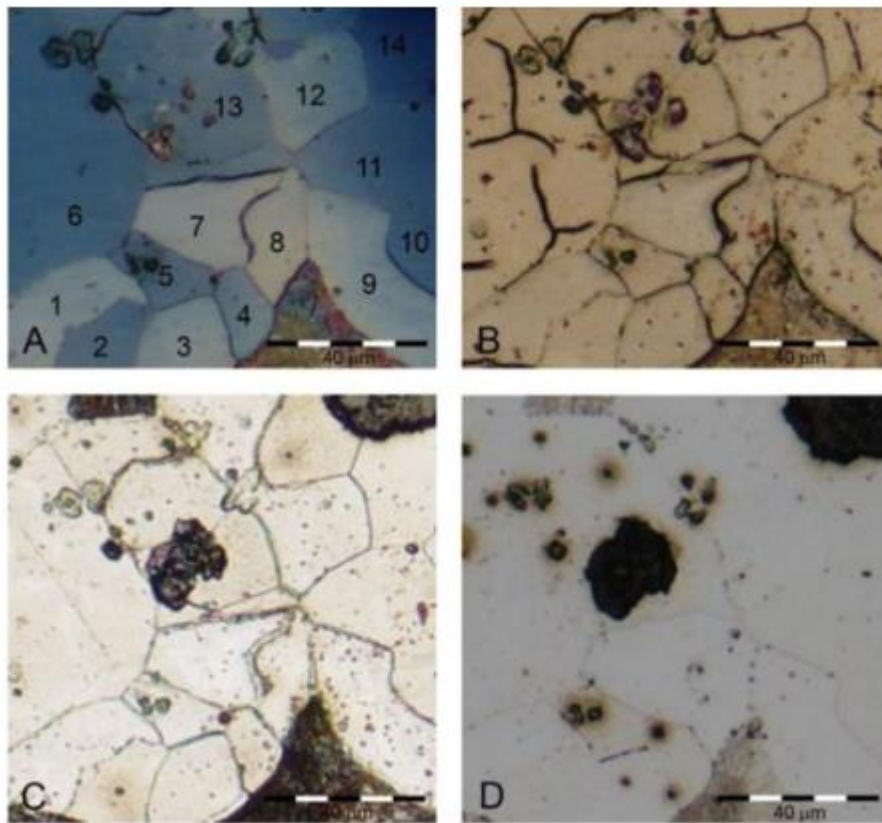


töltőanyag-ötvözet felhasználásával. Science and Technology of Welding and Joining. 24. 1-10. 10.1080/13621718.2018.1553280.)

Megoldás: A szakember ellenőrzi a marószerszámogatás kompatibilitását az adott fémmel és mikroszerkezettel, biztosítani kell, hogy a marószerszámogatás koncentrációja és a maratási idő megfelelő legyen a minta számára. Fontolja meg alternatív marószerszámogatások alkalmazását, amelyek jobb eredményt adhatnak.

Over-Etching

Kiadvány: A túlégetés akkor következik be, amikor a minta túlzott színfejlődést mutat, ami kihívást jelent a mikroszerkezeti jellemzők megkülönböztetése szempontjából.



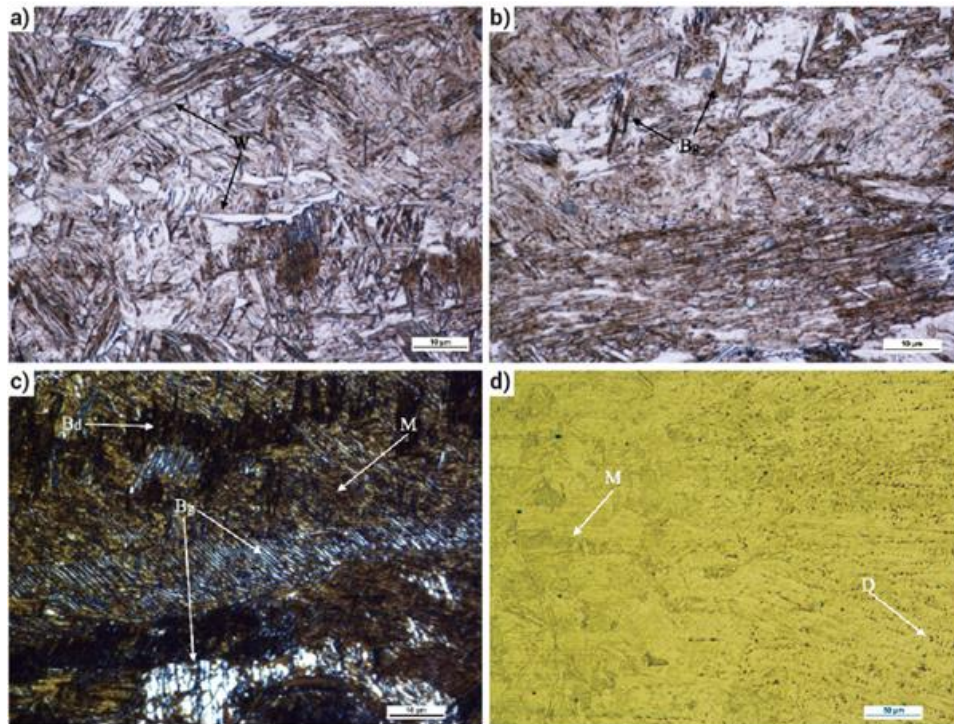
2.2.64. ábra. A minta optikai mikroszkópos felvételei (A) a Beraha-I oldattal végzett színmaratás után, (B) a Beraha-I oldattal végzett túlm maratás után, (C) a zavaró réteg 1%-os kénsavval történő eltávolítása után és (D) a Nital maratás után. (source: Ghasemi, Ali & Pouranvari, Majid. (2018). Intermetallikus fázisok kialakulása egy nikkelötvözet forrasztása során Ni-Cr-Si-Fe-B kvináris töltőanyag-ötvözet felhasználásával. Science and Technology of Welding and Joining. 24. 1-10. 10.1080/13621718.2018.1553280.)



Megoldás: A szakembernek csökkentenie kell a maratási időt vagy koncentrációt a túlzott maratás elkerülése érdekében, és a maratás során szorosan figyelemmel kell kísérnie a mintát a túlzott színfejlődés elkerülése érdekében.

Alulmaratás

Kiadvány: A minta nem mutatja a kívánt szín- vagy kontrasztszintet.



2.2.65. ábra. TRIP acél mikroszerkezete, LOM: a) HAZ, Nital maratással, b) Fúziós zóna, Nital maratással, c) Fúziós zóna, Nital + Klemm reagenssel maratással, d) Fúziós zóna és HAZ, Pikral maratással (forrás: Dobras, Daniel & Rutkowska-Gorczyca, Małgorzata. (2018). Színmaratás alkalmazása a TRIP acél mikroszerkezetének vizsgálatára lézeres újraolvasztás után. *Welding Technology Review*. 90. 10.26628/wtr.v90i12.984.)

Megoldás: A szakembernek növelnie kell a maratási időt vagy a koncentrációt a kívánt kontraszt eléréséhez. Meg kell győződnie arról, hogy a minta felülete megfelelően megtisztított és szennyeződésektől mentes a maratás előtt.

Egyenetlen színeloszlás

Kiadvány: A színek nem egyenletesen oszlanak el a mintán, ami kontrasztbeli eltéréseket eredményez.

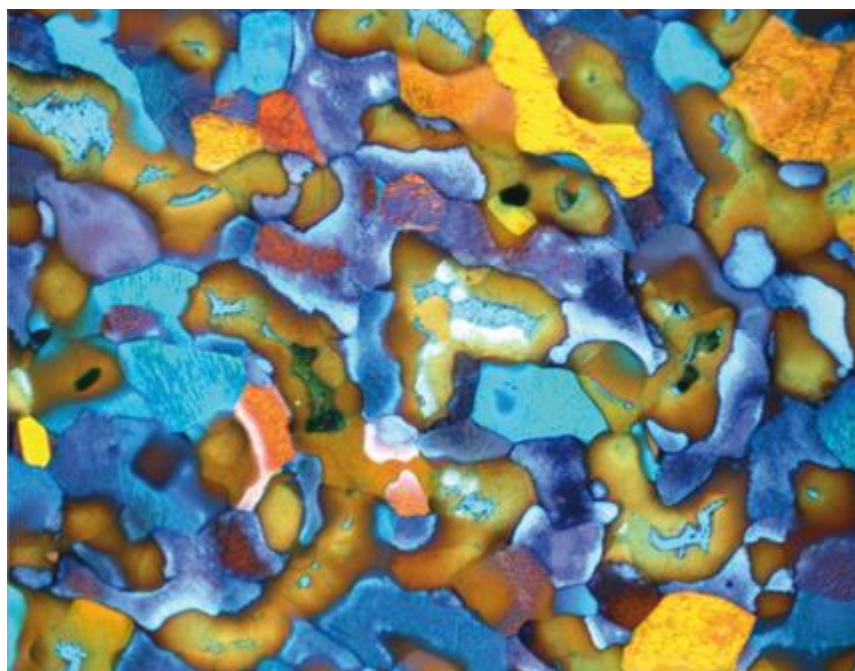


2.2.66. ábra. Különböző szemcsés vagy vegyes kristályos területek és különböző vastagságú szulfátrétegek színes marása - Különböző ausztenites acélhuzalok lézerhegesztéssel történő összekapcsolása (B) (forrás: Leica Microsystems).

Megoldás: A szakembernek javítania kell a minta előkészítését, biztosítania kell az egyenletes felületet a maratás előtt, és a maratóoldatot a folyamat során keverni kell az egyenletes színeloszlás fenntartása érdekében.

Foltosodás vagy elszíneződés

Kiadvány: A minta a maratási folyamat során nem kívánt elszíneződést vagy elszíneződést mutat.



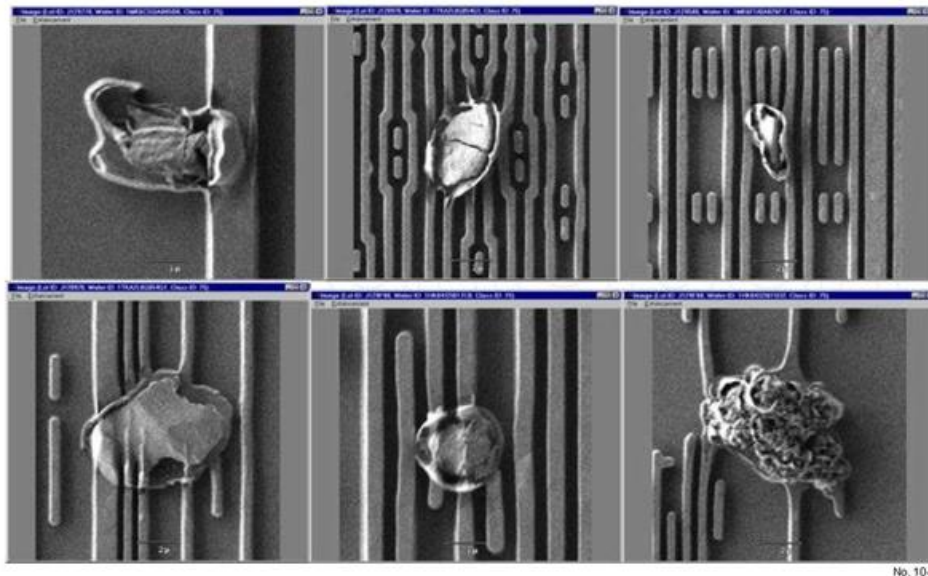


2.2.67. ábra. Koncentrációkülönbségek egy bronzhuzalban (K) (forrás: Leica Microsystems)

Megoldás: A szakembernek meg kell vizsgálnia a marószerszámítást a fémmel és a mikroszerkezettel, és biztosítani kell, hogy a minta a maratás előtt megfelelően megtisztításra kerüljön, hogy elkerülje a szennyeződések, amelyek elszíneződést okozhatnak.

Szennyezés

Kiadvány: A minta felületén lévő szennyeződések zavarhatják a maratási folyamatot.



2.2.68. ábra. Az alumínium fém maratási folyamataiban keletkező gyilkos hibák. (forrás: Steel Data)

Megoldás: A szakembernek alaposan meg kell tisztítani és zsírtalanítani a mintát a maratás előtt, hogy eltávolítsa a szennyeződések. Használjon tiszta laboratóriumi eszközöket, például tartályokat és keféket a szennyeződés kockázatának minimalizálása érdekében.

Biztonsági óvintézkedések

Kiadvány: A nem megfelelő biztonsági óvintézkedések veszélyes marószereknek való személyes kitettséghez vezethetnek.



2.2.69. ábra. Személyi védőeszközök (PPE) (forrás: MicroLit)

Megoldás: A technikusnak be kell tartania a megfelelő biztonsági előírásokat, és egyéni védőfelszerelést (PPE) kell használnia, beleértve a védőszemüveget, kesztyűt és laboratóriumi köpenyt, és jól szellőző helyen vagy füstelvezető alatt kell dolgoznia, hogy csökkentse a füstgázoknak való kitettséget.

Ellentmondásos eredmények

Kiadvány: Ha a különböző mintákban konzisztens eredmények elérése kihívást jelenthet.

Megoldás: A technikusnak pontosan ellenőriznie kell a maratási koncentrációt, a maratási időt és a mintaelőkészítési technikákat az ismételhetőség érdekében, valamint dokumentálnia és szabványosítania kell a maratási folyamatot a következetes eredmények elérése érdekében.

Nem megfelelő nyilvántartás

Kiadvány: A gyenge dokumentáció megnehezíti az eredmények elemzését és megismétlését.

Megoldás: A technikusnak részletes feljegyzéseket kell vezetnie a maratási folyamatról, beleértve a marószert összetételét, koncentrációját, a maratási időt és a minta jellemzőit, a későbbi elemzés és hibaelhárítás megkönnyítése érdekében.

2. 2.10. A színes maratásból származó reagensek kezelése és ártalmatlanítása

A színes maratáshoz használt reagensek kezelése és ártalmatlanítása a biztonságos és környezettudatos laboratóriumi gyakorlat kritikus szempontjai. A színes marató reagensek gyakran tartalmaznak olyan vegyi anyagokat, amelyek veszélyesek lehetnek, ezért elengedhetetlen, hogy mind a kezelésük, mind az ártalmatlanításuk során megfelelő eljárásokat kövessünk. A színes maratáshoz használt reagensek megfelelő kezelése és ártalmatlanítása alapvető fontosságú a biztonságos és környezettudatos laboratórium fenntartása szempontjából. A veszélyes anyagokkal való munka során mindig a biztonságot és a helyi előírások betartását helyezze előtérbe.

Színes maratáshoz használt reagensek kezelése

Személyi védőfelszerelés (PPE): A szakembernek megfelelő egyéni védőfelszerelést kell viselnie, beleértve a védőszemüveget, kesztyűt, laboratóriumi köpenyt vagy védőruházatot, és esetleg arcvédővel kell védekeznie a fröccsenések vagy a reagensekkel való érintkezés ellen.

Szellőzés: A szakembernek a reagensek kezelését jól szellőztetett helyen kell végeznie, például füstelvezetőben vagy jó szellőzésű helyiségben, hogy minimalizálja a füstöknek vagy gőzöknek való kitettséget.

Címkézés: A szakembernek gondoskodnia kell arról, hogy a reagenseket tartalmazó tartályok egyértelműen fel legyenek címkézve, feltüntetve azok nevét, összetételét, veszélyeit és a szükséges kezelési óvintézkedéseket. A speciális címkék használata és a nyilvántartás vezetése kötelező.

Használjon megfelelő tárolóedényeket: A szakembernek a reagenseket erre a célra tervezett, vegyszerálló tartályokban kell tárolnia; az üveg- vagy műanyagtartályok gyakori választási lehetőségek.

Minimalizálja a bőrrel való érintkezést: Ha mégis érintkezésbe kerül, az érintett területet azonnal öblítse le bő vízzel.

Nincs evés és ivás: A szakembernek gondoskodnia kell arról, hogy a reagensek kezelése közben ne egyen, ne igyon és ne dohányozzon, hogy elkerülje a véletlen lenyelést.

Óvatosan kezelje: A szakembernek óvatosnak kell lennie a reagensek átadásakor vagy keverésekor a fröccsenések vagy balesetek elkerülése érdekében.

Kompatibilitás ellenőrzése: A szakembernek meg kell győződnie arról, hogy a reagensek kezeléséhez használt anyagok (tartályok, keverők stb.) kompatibilisek az adott reagenssel, és nem lépnek vele reakcióba.

Oktatás és képzés: A színes maratásban használt reagensekkel dolgozó összes alkalmazottat fel kell világosítani a kockázatokról és a biztonsági eljárásokról; a folyamatos képzés és tudatosság elengedhetetlen.

A színes maratásból származó reagensek ártalmatlanítása

Szabályozási megfelelés: A laboratóriumnak be kell tartania a veszélyes hulladékok ártalmatlanítására vonatkozó helyi, állami és szövetségi előírásokat, amelyek helyenként eltérőek lehetnek. A szakembernek a különböző reagenseket elkülönítve kell tartania, és nem szabad azokat az ártalmatlanítás során összekeverni. Bizonyos esetekben a szakembernek szükség lehet a reagens semlegesítésére az ártalmatlanítás előtt, a biztonságos semlegesítéshez be kell tartania a kémiai kompatibilitási irányelveket.

Konzultáljon szakértőkkel: Ha a szakember bizonytalan a megfelelő ártalmatlanítási módszerekkel kapcsolatban, konzultáljon egy képzett vegyészsel, hulladékártalmatlanítási szakértővel vagy a szervezet környezet-egészségügyi és biztonsági osztályával.

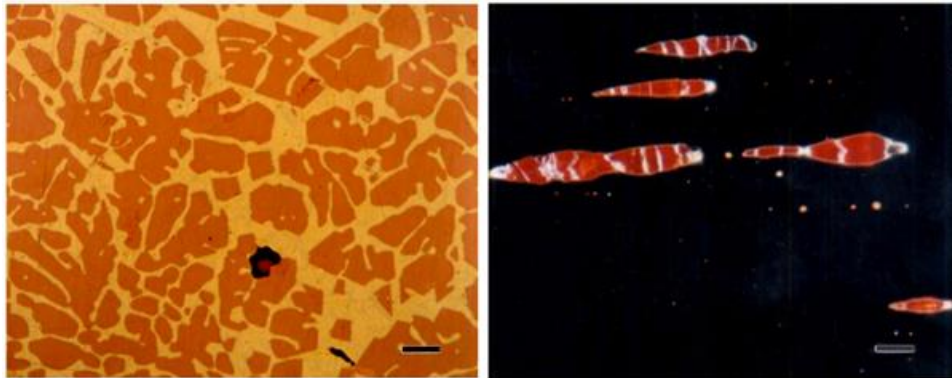
Címkézze fel a hulladéktárolókat: A szakembernek egyértelműen fel kell címkéznie a hulladéktároló edényeket a tartalmukkal és az esetleges veszélyekkel, hogy biztosítsa a biztonságos kezelést az ártalmatlanítás során, és gondoskodnia kell arról, hogy a hulladéktároló edényeket szorosan lezárják a szivárgás vagy kiömlés megakadályozása érdekében.

Hulladék-ártalmatlanítási szolgáltatások: A laboratóriumnak gondoskodnia kell a veszélyes hulladékok elszállításáról és ártalmatlanításáról engedélyezett és engedélyezett hulladékkezelő szolgáltatásokon vagy létesítményeken keresztül, nem szabad megkísérelnie a veszélyes hulladékok saját maga általi ártalmatlanítását. A laboratóriumnak nyilvántartást kell vezetnie az ártalmatlanítási folyamatról, beleértve a dátumokat, az ártalmatlanítási módszereket és minden vonatkozó biztonsági adatlapot (SDS) a hivatkozáshoz. A laboratóriumoknak fel kell készülniük a vészhelyzetekre, és rendelkezniük kell kiömlés elleni készletekkel, biztonsági zuhanyokkal és szemmosó állomásokkal azon a területen, ahol a színes maratásból származó reagenseket kezelik.



2. 2.11. Hibaelhárítás és tippek színes maratott metallográfiai mintákhoz

A színes maratásnál a színfejlődést több tényező is befolyásolhatja. Ezek közé tartozik a marószerszám összetétele és koncentrációja, a hőmérséklet, a maratási idő és a minta felületének előkészítése. Ezenkívül az ötvözőelemek, szennyeződések vagy bizonyos kristályrajzi orientációk jelenléte is befolyásolhatja a szín intenzitását és kontrasztját.



2.2.70. ábra. (balra) és 2.2.71. (jobbra) az AuAl_2 intermetál természetes vöröseslila színe (balra) fényes térben és a rézoxid jellegzetes rubinvörös színe sötét térben megvilágítva (elektrolitikus rézminta). A nagyítási sávok 50, illetve 10 μm -esek (forrás: Vac Aero Coloured Metallography).

Ezeknek a tényezőknek a megértése döntő fontosságú az optimális színkifejlődés és kontraszt eléréséhez a színes maratásban. A maratási paraméterek gondos ellenőrzése és optimalizálása szükséges a megbízható és reprodukálható eredmények eléréséhez.

2. 2.12. A színes maratás valós példái

A színes maratás a metallográfia területén alkalmazott technika, amely a fémes anyagok különleges mikroszerkezeti jellemzőinek feltárására és kiemelésére szolgál. Az autóiparban és a repülőgépiparban a színes maratást gyakran alkalmazzák az alumíniumhoz és acélhoz hasonló anyagok hegesztési varratainak vizsgálatára. Ez a technika segít feltárni a hegesztés épségét, a hibák jelenlétét, valamint a hegesztési gyöngy és a hőhatás által érintett zóna minőségét. A színes maratás fontos eszköz a törvényszéki mérnöki és hibaelemzésben. Segít az alkatrészhibák okainak azonosításában, mint például a repedések, üregek vagy zárványok jelenléte az anyagban.

Az építőiparban és az építőmérnöki ágazatban a színes maratást a szerkezeti acél alkatrészek vizsgálatára alkalmazzák. Segít felmérni az acél minőségét és a szerkezeti integritást veszélyeztető zárványok, szegregációk vagy hibák jelenlétét. színes maratást alkalmaznak motoralkatrészek, például dugattyúk és forgattyús tengelyek vizsgálatára. Segít felmérni az anyag minőségét, és feltárni minden olyan hibát vagy szabálytalanságot, amely befolyásolhatja a teljesítményt.

A repülőgépgyártók és a karbantartó létesítmények a színes maratást olyan kritikus alkatrészek ellenőrzésére használják, mint a turbinalapátok és a futóművek. Ez a technika segít a mikroszerkezeti problémák azonosításában, amelyek az alkatrész meghibásodásához vezethetnek. Az orvosi implantátumok és eszközök gyártása során a színes maratást olyan anyagok minőségének és integritásának értékelésére használják, mint a rozsdamentes acél, a titán és a kobalt-króm ötvözetek. Segít biztosítani, hogy az orvostechikai eszközök megfeleljenek a szigorú biztonsági és teljesítményszabványoknak.

A félvezetőiparban a színes maratást a szilícium osztyák minőségének ellenőrzésére használják. A technika segítségével feltárhatók a kristályográfiai hibák, a szemcsehatárok és más olyan jellemzők, amelyek befolyásolhatják a félvezető eszközök teljesítményét. a színes maratást az olaj- és gáziparban használt anyagok roncsolásmentes vizsgálatára használják. Segít azonosítani a hibákat vagy gyenge pontokat az olyan alkatrészekben, mint a csővezetékek, nyomástartó edények és hegesztési varratok, biztosítva azok megbízhatóságát és biztonságát.

A kutatók és mérnökök a színes maratást különböző anyagok, köztük fémek és ötvözetek mikroszerkezetének tanulmányozására használják. Ezt a módszert a szemcsehatárok, fázisok és zárványok azonosítására alkalmazzák, amelyek elengedhetetlenek az anyagtulajdonságok és a viselkedés megértéséhez. A kohászatban és az anyagtudományban a színes maratással vizsgálják a különböző fémek és ötvözetek mikroszerkezetét és fázisösszetételét. Ez az információ döntő fontosságú az anyagok speciális alkalmazásokhoz való tervezéséhez és javításához.

Függelék

Vésett kompozíciók

Klemm I	50 ml törzsoldat, 1 g K ₂ S ₂ O ₅ (a törzsoldat Na ₂ S ₂ O ₃ -mal telített víz).
Klemm III	5 ml törzsoldat, 45 ml víz, 20 g K ₂ S ₂ O ₅ (törzsoldat, mint a Klemm's I.)



Beraha 10/3 reagens	10 g Na ₂ S ₂ O ₃ , 3 g K ₂ S ₂ O ₅ és 100 ml víz
Beraha BI	100 ml törzsoldat (1000 ml víz, 200 ml HCl, 24 g NH ₄ FHF) plusz 0,1-0,2 g K ₂ S ₂ O ₅ martenzites rozsdamentes acél esetén
Beraha BI	100 ml törzsoldat (1000 ml víz, 200 ml HCl, 24 g NH ₄ FHF) plusz 0,3-0,6 g K ₂ S ₂ O ₅ ausztenites és ferrites rozsdamentes acélok esetében.
Beraha III. szulfaminsav-reagens	100 ml víz, 3 g K ₂ S ₂ O ₅ , 2 g NH ₂ SO ₃ H (két másik hasonló összetételt is közzétettek) szén- és ötvözött acélok esetében.
Beraha IV. szulfaminsav-reagens	100 ml víz, 3 g K ₂ S ₂ O ₅ , 1 g NH ₂ SO ₃ H, 0,5-1 g NH ₄ FHF magas Cr-értékű szerszámacélok és martenzites rozsdamentes acélok esetében.
Beraha CdS és PbS reagensek	CdS törzsoldat: PbS törzsoldat: 1000 ml víz, 240 g Na ₂ S ₂ O ₃ - 5H ₂ O, 20-25 g kadmium-klorid (vagy kadmium-acetát), 30 g citromsav: 1000 ml víz, 240 g Na ₂ S ₂ O ₃ - 5H ₂ O, 30 g citromsav, 24 g ólomacetát.
Beraha szelénsavas reagens öntőt- tvashoz	100 mL etanol, 2 mL HCl, 1 mL szelénsav

2.2.13. Értse és írja le a különbségeket a minta felületi felületeire és mikroszerkezetére gyakorolt hatásuk szempontjából.

Színes maratási technikával készített minták mikroszerkezetének elemzése és vizsgálata

A mikroszerkezelemzés és -vizsgálat alapvető lépések az anyagok tanulmányozásában, hogy megértsük belső szerkezetüket, szemcsehatáraikat, fázisaikat, hibáikat és egyéb mikroszerkezeti jellemzőiket.

A felületkezelési technikák mindegyike - elektrolitikus polírozás, színes maratás - egyedi előnyökkel és megfontolásokkal jár a mikroszerkezet elemzéséhez:

Mikroszerkezet-elemzés elektrolitikus polírozás után:	Mikroszerkezet-elemzés színes maratás után:
---	---



<p>Az elektrolitikus polírozás sima és tükörszerű felületeket hoz létre a fémmintákon mechanikai deformáció bevezetése nélkül.</p> <p>Az elektrolitikus polírozás után feltárt mikroszerkezeteket kevésbé valószínű, hogy a felületi artefaktumok megváltoztatják, mint más technikák esetében.</p> <p>Az elektrolitikus polírozás után a fémminta közvetlenül megfigyelhető optikai vagy elektronmikroszkóp alatt mikroszerkezeti elemzés céljából.</p> <p>A szemcsehatárok, fázishatárok és zárványok egyértelműen azonosíthatók és elemezhetők.</p>	<p>A színes maratás speciális maróanyagokat használ a fémfelületek különböző mikroszerkezeti jellemzőinek feltárására és kiemelésére, szín- vagy árnyékkontrasztot biztosítva.</p> <p>A színes maratás különösen hasznos a különböző fázisok, szemcsehatárok és intermetallikus vegyületek megkülönböztetésére a mikroszerkezetben.</p> <p>A színes maratás által biztosított kontraszt megkönnyíti a mikroszerkezeti összetevők azonosítását és jellemzését.</p> <p>A megbízható és pontos eredmények biztosítása érdekében ügyelni kell a megfelelő maróanyagok és szabványosított eljárások használatára.</p>
--	--

Összességében a két technika - elektrolitikus polírozás, színes maratás - fontos szerepet játszik a mikroszerkezet elemzésében. A technika kiválasztása az elemzés speciális követelményeitől, a vizsgált anyagtól, valamint a kívánt felületi minőségtől és pontosságtól függ. Bizonyos esetekben több technika kombinálható az anyag mikroszerkezetének átfogó megértéséhez. Ezenkívül óvatosan kell eljárni, hogy elkerüljük az olyan artefaktumok bevezetését, amelyek félrevezethetik a mikroszerkezeti elemzést. A felületkezelés utáni nagy felbontású mikroszerkezet-vizsgálat elvégzésére gyakran alkalmaznak fejlett mikroszkópiai technikákat, például pásztázó elektronmikroszkópiát (SEM) és transzmissziós elektronmikroszkópiát (TEM).

Hivatkozások

1. <https://www.besttechnologyinc.com/electropolishing-equipment/how-does-electropolishing-work/>
2. <https://www.kemet-international.com/ca/products/metallography>
3. <http://www.ral.neu.edu.cn/RAL/2012/1001/c4716a91534/pagem.htm>
4. <http://www.ral.neu.edu.cn/RAL/2012/1001/c4716a91534/pagem.htm>;



5. <https://www.steeldata.info/ms/demo/semi/help/defects/10.html>
6. <https://www.microlit.com/a-beginners-guide-to-understanding-liquid-handling/>
7. <https://www.plusivo.com/>
8. <https://www.pbo.co.uk/expert-advice/how-to-polish-stainless-steel-in-the-workshop-at-home-64115>
9. <https://cr4.globalspec.com/thread/49091/Streaks-on-Machined-SS304-after-Electropolishing>
10. <https://en.wikipedia.org/wiki/Etching>
11. <https://www.quora.com/What-are-the-different-types-of-electrolytes>
12. <https://vacaero.com/information-resources/metallography-with-george-vander-voort/991-color-metallography.html>
13. [<https://www.kemel.com;>
14. <https://www.valencesurfacetech.com/the-news/electropolishing-for-aerospace;>
15. <https://www.youtube.com/watch?v=fc8zrgYJCJw;>
16. [https://www.buehler.com/products/grinding-and-polishing/;](https://www.buehler.com/products/grinding-and-polishing/)
17. <https://www.youtube.com/watch?v=NI06GygDpSA;>
18. <https://www.struers.com/Knowledge/Materials/Stainless-Steel#etching;>
19. https://www.youtube.com/watch?v=LihfJ8uyh_w;
20. <https://www.youtube.com/watch?v=9VpOldhTBXA;>
21. [https://vacaero.com/information-resources/metallography-with-george-vander-voort/991-color-metallography.html;](https://vacaero.com/information-resources/metallography-with-george-vander-voort/991-color-metallography.html)
22. G. F. Vander Voort, Metallográfia: Principles and Practice, McGraw-Hill Book Co., NY, 1984 és ASM International, Materials Park, Ohio, 1999;
23. <https://www.youtube.com/watch?v=Qfgf35wPWgo&t=11s;>
24. https://www.keyence.eu/landing/lpc/1807-vh-metallurgical-microscope.jsp?aw=KIB01kw0_11629853&gclid=CjwKCAjw2K6lBhBXEiwA5RjtCdtbWTwPZtL6jzu6Ayh0c9LwKbVysrfp7MCHirLbaR1t_ntJveeSBxoCCWkQAvD_BwE;
25. Yang, G., Wang, B., Tawfiq, K., Wei, H., Zhou, S., & Chen, G. (2016). Felületek elektropolírozása: elmélet és alkalmazások. Surface Engineering, 33(2), 149-166;



26. [Acquesta, A.; Monetta, T. Zöld megközelítés az additív gyártású alkatrészek elektropolírozó felületkezeléséhez: A Comprehensive Review. *Metals* 2023, 13, 874.
<https://doi.org/10.3390/met13050874>;
27. Alrbaey, K.; Wimpenny, D.I.; Al-Barzinjy, A.A.; Moroz, A. Electropolishing of Re-melted SLM Stain-less Steel 316L Parts Using Deep Eutectic Solvents: 3 × 3 teljes faktoriális tervezés. *J. Mater. Eng. Per-form.* 2016, 25, 2836-2846;
28. Hernández-García, D. Saldaña Garcés, R. Vázquez, Dissimilar AA7075-T6 to AZ31B-H24 Alloys, *MRS Advances*, (2017), 2. 1-9. [10.1557/adv.2017.609](https://doi.org/10.1557/adv.2017.609).

- **A képelemzés mint a metallográfiai vizsgálat eszköze**

A kohászok általában a mikroszerkezetek minőségi leírására támaszkodtak, néhány minta esetében az ilyen minősítés pontossága, bár korlátozott, de a tervezett célnak megfelelő, de sok esetben nagyon fontos a mennyiségi információ megszerzése; ma már a fénymikroszkópokhoz csatlakoztatott modern képelemző szoftverek lehetővé teszik a mennyiségi kimenet, például a lineáris vagy területmérés, illetve a fázisok vagy a porozitás százalékos értékeinek meghatározását.

A metallográfiában a képelemzés leggyakrabban a mikroszerkezeti kép digitális mennyiségi kiértékelésére utal. A modern képelemző rendszerek fontos eszközzé váltak a mikroszerkezeti szempontok kvantitatív méréseihez; a kvantitatív mérések jellemzően hossz, szélesség és terület, ezeket a metallográfiai jellemzők, például szemcseméret, zárványok, rétegek, fázisok vagy más összetevők értékelésére használják.

Korábban a méréseket képkivetítőkön kellett elvégezni, az objektívekkel megegyező nagyítással, vagy fotomikroszkópokon, amelyeknél fontos volt a valós nagyítás fogalma. Ma már a modern programok lehetővé teszik a megjelenített kép és az objektív összekapcsolását, és azt, hogy a monitor képernyőjén közvetlen méréseket lehessen végezni. Ez lehetővé teszi az azonnali kvantitatív elemzések elvégzését, elkerülve a korrekciós paraméterek használatát.

Általánosságban a következő óvintézkedéseket kell betartani a megbízható és megismételhető eredmények elérése érdekében.



- Mintavételezés és mintaelőkészítés

A mintákat megfelelően kell kiválasztani és előkészíteni. A véletlenszerű mintavételt gyakran alkalmazzák a statikusan szignifikáns adatok megszerzéséhez, mivel ez azt jelenti, hogy a fémtárgy minden régiója és irányultsága egyenlő eséllyel vágható és vizsgálható. Ez azonban gyakran nem lehetséges, és a mintavételt a vizsgált alkatrész (pl. hegesztési illesztés) alapján történő értékelés alapján kell elvégezni.

Nehéz merev szabályokat felállítani a vizsgálati minták számára és helyére vonatkozóan.

Miután a mintákat felvágták és azonosították, elő kell készíteni őket a vizsgálathoz. A minta előkészítését (polírozás és maratás) gondosan kell elvégezni, hogy elkerüljük a torzulásokat, véséseket, lekerekített éleket stb.

A síkosság és az eredmények megismételhetősége érdekében automatikus csiszoló- és polírozóberendezések használata ajánlott.

- Mező kiválasztása

Sokféle mérésnél a technikusnak/kezelőnek kell eldöntenie, hogy hány mezőt kell mérni, hogyan kell a mezőket elhelyezni, és mi a legjobb nagyítás, más méréseknél a szabványos módszerek vagy termékleírások (pl. ASTM E562) tartalmazzák.

Általában a nagyítás növelésével a mező területe csökken; ha a nagyítást 100X-ről 200X-re növeljük, négyszer annyi mezőt kell mérni ugyanannak a területnek a lefedéséhez.

A bizonyos mérési pontosság eléréséhez szükséges mérési terület a szerkezet homogenitásától függ. A megfigyelt mezők száma befolyásolja a mérések pontosságát; általában ahhoz, hogy a megfigyelt pontosságot az x számú mérés után kapott érték felére csökkentsük, négyszer x mérést kell még elvégezni.

- 2D mérések

A metallográfiai elemzés során a legfontosabb mennyiségi eredmények a lineáris vagy területi mérések. Általában minden képgyűjtő program lehetővé teszi a közvetlen mérések valós idejű elvégzését a monitoron, a megfelelő nagyítást társítva a használt tárgy alapján.

Jellemzően lineáris mérésekre van szükség, mint például hossz-, vastagság- vagy területmérésre zárt vonalakkal vagy képfeldolgozással (kontraszttal).



Ezeket a méréseket statisztikai hibával terheltnek kell tekinteni, amely a hitelesített mikrométerekkel végzett időszakos ellenőrzési eljárások és a mikroszkóp gyártója által megadott adatok alapján kiszámítható.

Az alábbiakban felsoroljuk azokat a főbb eseteket, amikor erre szükség lehet.

- A hegesztési kötések jellemző mérései (hegesztési torok a, hegesztési oldalak Z, tökéletlenségek hossza)
- A széntelenítés mélysége.
- A felületi hőkezelések mélysége (felületi edzés, karburálás, nitridálás, cianidálás stb.).
- Bevonatvastagság (fémbevonat, szerves bevonat, kerámiabevonat, termikus permetezés).
- A korrózió mélysége (üzemelés vagy korrózióvizsgálat után).

Több mérést kell végezni egymástól távol eső időközönként, hogy statisztikai becslést kapjunk a tényleges mélységről.

- *Széntelenítés*

Általában a dekarbonizáció mélységét optikai mikroszkóppal mérik a mérés pontosságának növelése érdekében, továbbá mikrokeménység- vagy szénelemzés is végezhető.

Gyakran előfordul, hogy a dekarbonizációs réteg vastagsága nem egyenletes, például a téglalap alakú szelvények sarkai nagyobb dekarbonizációs mélységet mutatnak, mint az oldalak, mintha több mintát választanának ki különböző vizsgálati helyekről.

Csiszolás előtt a mintát bakelit vagy más kemény gyantával kell rögzíteni, hogy elkerüljük az élek lekerekítését.

A mikroszerkezetet a "Nital" vagy a "Picral", illetve szükség szerint más reagensek használatával tárják fel.

A dekarbonizáció mélységét a mikroszkópos felvételi szoftverrel mérik, miután megfelelően ellenőrizték, hogy a képernyőn megjelenő nagyítás helyes-e.



A nagyítást a megfigyelt struktúra alapján kell megválasztani, és a technikusnak/operátornak legalább öt mérést kell végeznie, véletlenszerű helyeken az egyes minták felületén, majd kiszámíthatja az átlagot és a szórást.

Ha van egy szabad-ferrit réteg, a vastagságmérés könnyebb, mert jó kontraszt van e zóna és a szomszédos, részben elszéneseedett réteg között.

Egy hipoeutektoid ferrites-perlites acélmintában a kezelő azt a mélységet keresi, ahol a perlit és a ferrit mennyisége állandónak tűnik.

Míg az értékelés nehezebb egy olyan minta esetében, ahol a részlegesen dekarbonizált réteg martenzitből és/vagy bainitből áll, ahol nem figyelhető meg egyértelmű különbség.

- *A felületi hőkezelések mélysége*

A karburálás, nitridálás, cianidálás és láng- vagy indukciós edzés ugyanolyan módszerrel mérhető, mint a dekarburálás. A mikroszkópos módszer pontossága a felület és a mag mikroszerkezetétől függ. Például a karburálás könnyebben értékelhető a nem edzett acélban, míg a nitridálás nehezen becsülhető.

Gyakran előnyösebb a mélységet mikrokeménységméréssel vagy kémiai elemzésekkel meghatározni.

- *Bevonat vastagsága*

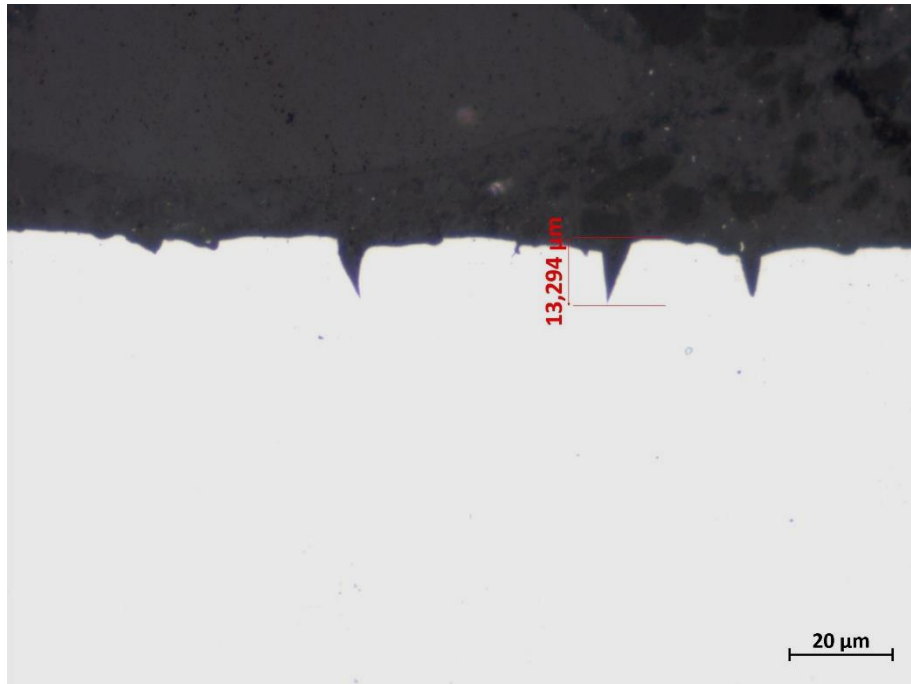
Többféle bevonat létezik, lehetnek fémbevonatok, mint például cinkelés, krómozás, nikkelezés, szerves bevonatok, kerámia bevonatok, és különböző eljárásokkal, például termikus permezzéssel nyert bevonatok.

Általában a bevonat hatékonyságát annak vastagsága határozza meg, és a mérést több területen kell elvégezni, különös tekintettel az élekre és a sarkokra.

- *A korrózió mélysége*

Egy fémötvözet korróziós viselkedését gyakran időegységre vetített behatolásban (mm/év) becsülik meg. Emiatt gyakran szükség van a korróziós mélység mérésére, az adott ötvözet viselkedésének előrejelzésére irányuló üzemi vagy korróziós vizsgálatok felett.

Ha meg akarjuk becsülni az általános korróziót, ismerni kell a kiindulási vastagságot. A nem egyenletes korrózió vagy helyi korrózió mérése egyszerűbb, mint az általános korrózióé.



2.3.1. ábra - a korrózió helyi mélységének mérése egy próbadarabon laboratóriumi korróziós vizsgálatok után. Forrás: IIS laboratórium

- A térfogatarány meghatározása

A képelemzés legfontosabb és leggyakoribb felhasználási területe a mikroszerkezetben lévő fázisok, alkotórészek térfogattömegének és porozitásának meghatározása.

Ezt a becslést általában két fő módszerrel lehet elvégezni:

- A térfogattöredék meghatározása pontszámítási módszerrel (ASTM E562).
- A térfogattöredék meghatározása képelemzéssel (ASTM E1245).

A meghatározás a terület hányadának becslése, és hibás.

- *Pontszámlálás*

A térfogattöredék meghatározására szolgáló pontszerű számlálási módszert az ASTM E562 szabvány írja le. Három különböző tudós egymástól függetlenül javasolta (Thomson 1933-ban, Glasgolev 1933-ban és Chalkley 1943-ban).

Egy kétdimenziós (vagy egydimenziós) pont rácst helyeznek a kép fölé, majd megszámlálják, hogy hány rácspont van a meghatározandó fázisban. Jelenleg a rácst a képfelvételi programok segítségével alkalmazzák.



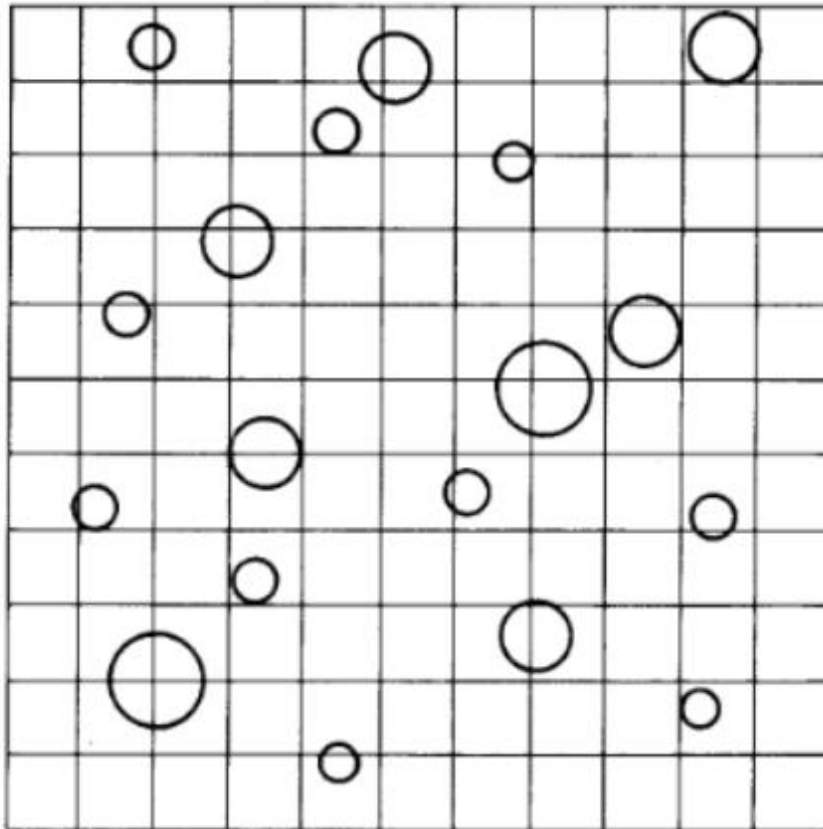
A nagyításnak elég nagyoknak kell lennie ahhoz, hogy a vizsgálati pontok elhelyezkedése az elemekhez képest jól kivehető legyen; fontos kompromisszumot kötni a felbontás és a mezőméret között.

A pontrácsot egy véletlenszerűen kiválasztott mezőre kell alkalmazni; a P_a (például delta ferrit) fázisban fekvő pontokat meg kell számolni, a részecske- vagy fázishatáron fekvő pontokat pedig felezní kell. A ponttöredék kiszámítása az alábbiak szerint történik.

$$P_P = \frac{\Sigma P_\alpha}{P_T} = \frac{\Sigma P_\alpha}{nP_0}$$

Ahol n a mezők száma, P_0 a rácspontok száma.

Általában 16, 25, 49, 64 vagy 100 pontból álló pontrácsokat használnak; a kb. 50%-os fázis méréséhez 16 pontos rácst lehet használni. Ha a fázistartalom csökken, nagyobb pontrácsot kell használni (lásd az 5.1. lapot).



$$\begin{aligned}A_T &= 12,100 \text{ mm}^2 \\L_T &= 2200 \text{ mm} \\P_T &= 100\end{aligned}$$

Areal analysis

$$V_{V\alpha} = \frac{\sum A_{\alpha}}{A_T} = \frac{\text{areas of circles}}{\text{frame area}} = \frac{884,75}{12,100} = 0.073$$

Lineal analysis

$$L_{La} = \frac{\sum L_{\alpha}}{L_T} = \frac{\sum \text{intercept lengths}}{\text{total line length}} = \frac{152,3}{2200} = 0.069$$

Point count

$$P_{Pa} = \frac{\sum P_{\alpha}}{P_T} = \frac{\sum \text{points in } \alpha}{\text{total points}} = \frac{5 + 2 \left(\frac{1}{2}\right)^*}{100} = 0.06$$

*Tangents to particles counted as $\frac{1}{2}$

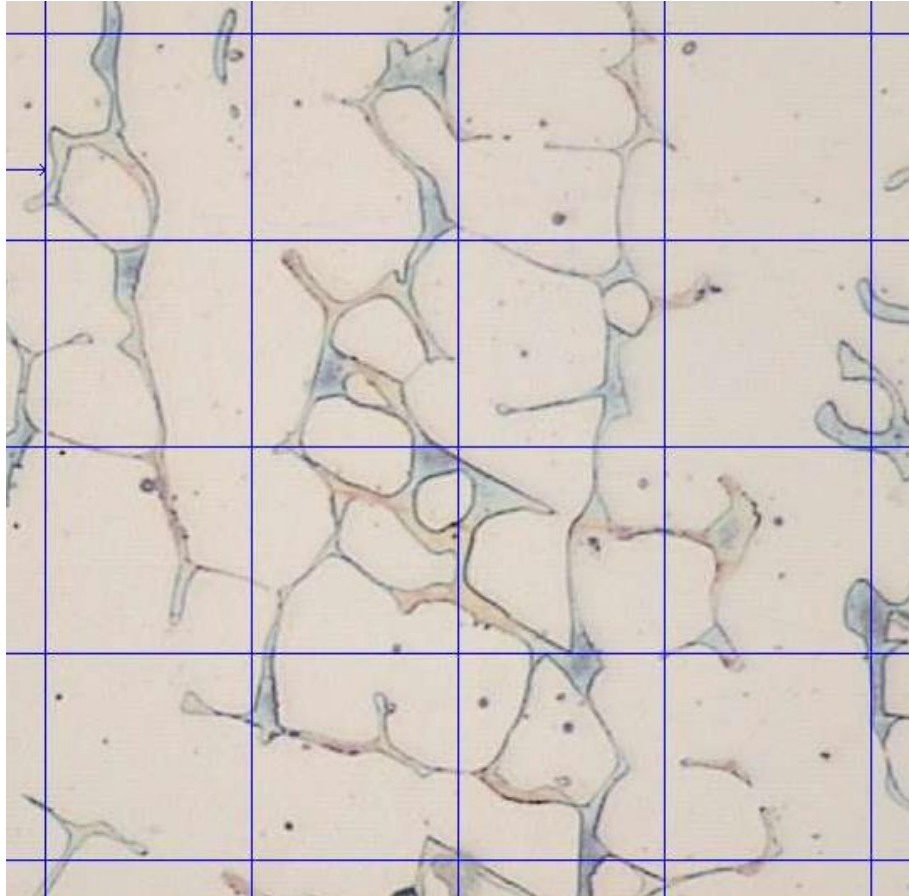
2.3.2. ábra - példa a VV becslésének három módszerére egy idealizált mikroszerkezet gömb alakú, egy metszési sík által metszett segítségével. Forrás: [2.3.3] ASTM E562:2011 - Szabványos vizsgálati módszerek a térfogatarány meghatározására szisztematikus kézi pontszámlálással.



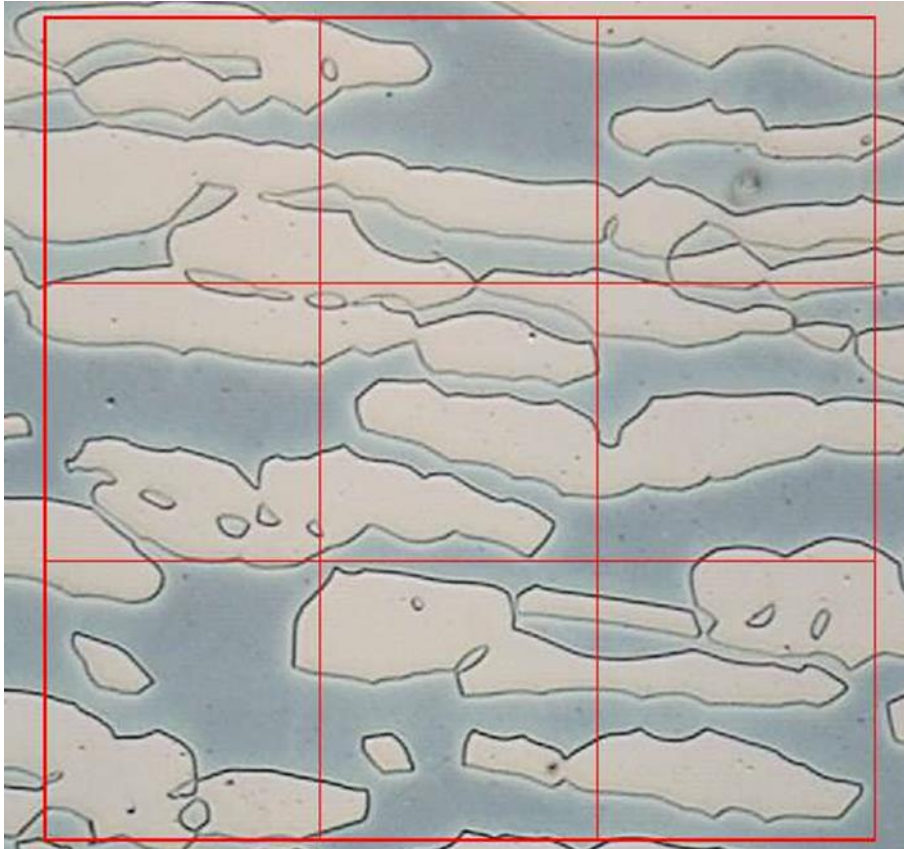
<i>A vizuális terület hányadosának becslése Százalékban kifejezve</i>	<i>Rácsméret (pontok száma, P)_T</i>
2-5 %	100
5-10 %	49
10-20 %	25
>20 %	16

Tab. 2.3.1 - iránymutatás a rácsméret kiválasztásához. Forrás: [2.3.3] ASTM E562:2011 - Szabványos vizsgálati módszerek a térfogatfrakció meghatározására szisztematikus kézi pontszámlálással.

Ezzel a módszerrel meghatározható a fémfázis, a csapadék, a nem fémes zárványok vagy a porozitás aránya.



2.3.3. ábra - példa a delta-ferrit térfogattömegének meghatározására 25 pontos ráccsal.
Forrás: IIS laboratórium.



2.3.4. ábra - példa a delta-ferrit térfogattömegének meghatározására 16 pontos ráccsal.

Forrás: IIS laboratórium.

- *A térfogattartalom meghatározása képelemzéssel*

A pontszerű számlálási módszer alternatívájaként automatikus képelemző készülék is használható; ezt a módszert az ASTM E1245 szabvány írja le.

A képet egy televíziós típusú szkennercsővel érzékelik, és nagy felbontású videomonitoron jelenítik meg. A zárványok, fázisok és a porozitás felismerhetők és kiemelhetők az egymáshoz és a maradás nélküli mátrixhoz viszonyított szürkeintenzitásbeli intenzitáskülönbségük alapján.

A mérések a képen lévő megkülönböztetett képpontelemek jellege alapján történnek. Ezeket a méréseket minden egyes kiválasztott látómezőn el kell végezni. A mérések statisztikai kiértékelése, illetve jellemzőnkénti változékonysága.

Ez az eljárás nem alkalmas acélok és más fémek exogén zárványainak értékelésére. Az exogén zárványok eloszlásának szórványos, kiszámíthatatlan jellege miatt más, teljes vizsgálatot magában foglaló módszereket, például ultrahangot kell alkalmazni jelenlétük megállapítására.



Általában a próbatetek tájolásának párhuzamosnak kell lennie a forró megmunkálás tengelyével, és leggyakrabban a negyedvastagságnál kell mérni. Más vizsgálati helyekről is lehet mintát venni, például a felszín alatti és a középső helyről, ha szükséges vagy kívánatos.

A csiszolandó felületnek elég nagynek kell lennie ahhoz, hogy a szükséges nagyítás mellett legalább 100 mező mérését tegye lehetővé. Előnyben részesül a legalább 160 mm-es felület.²

A metallográfiai minták előkészítését gondosan ellenőrizni kell, hogy a képelemzéshez elfogadható minőségű felületet lehessen előállítani. A polírozási eljárás nem változtathatja meg az alkotóelemek valódi megjelenését a polírozási síkban, túlzott domborulat, lyukak, repedések vagy kihúzóadások kialakulásával. A kisebb finom karcolások, például az 1 µm-es gyémántcsiszólótól származó karcolások általában nem zavarják a zárványok kimutatását, de a súlyosabb karcolásokat el kell kerülni. A minta megfelelő tisztítása szükséges. Automatikus csiszoló és polírozó készülék használata ajánlott.

Ellenőrizni kell a mikroszkóp fényforrásának helyes beállítását, és a megvilágítás intenzitását a monitor által megkövetelt szintre kell állítani.

A nagyítórendszer beállítása az alkotórészek/fázisok megfelelő felbontásának biztosítása érdekében a lehető legnagyobb mezőméret mellett. Az optimális nagyítás kiválasztása kompromisszum a felbontás és a mezőnkénti mérési változékonyság között. A nagyobb nagyítású objektívek nagyobb numerikus apertúrával rendelkeznek és jobb felbontást biztosítanak. A nagyítás növekedésével azonban a mezőnkénti mérési variabilitás is nő, ami növeli a mérés szórását. A nagyítás növekedésével a mező területe is csökken. Például, ha a nagyítás kétszeres, négyszer annyi mezőt kell mérni ugyanannak a vizsgálati területnek a lefedéséhez.

Kerülje az olyan kisebb nagyítású objektívek használatát, amelyek nem teszik lehetővé a kisebb alkotóelemek kimutatását.

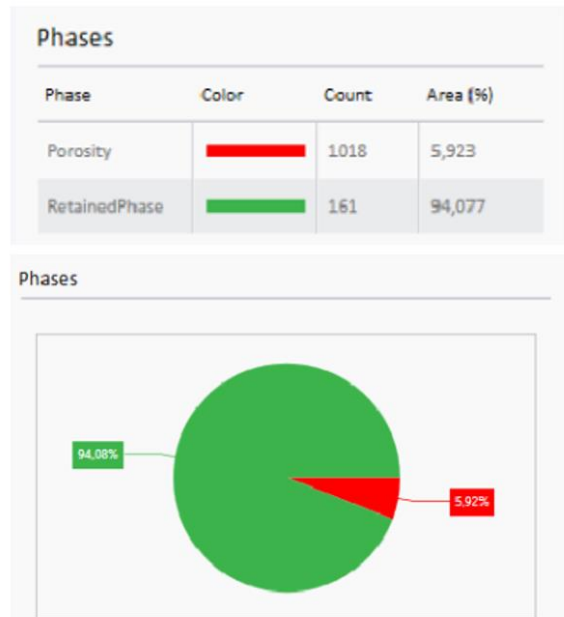
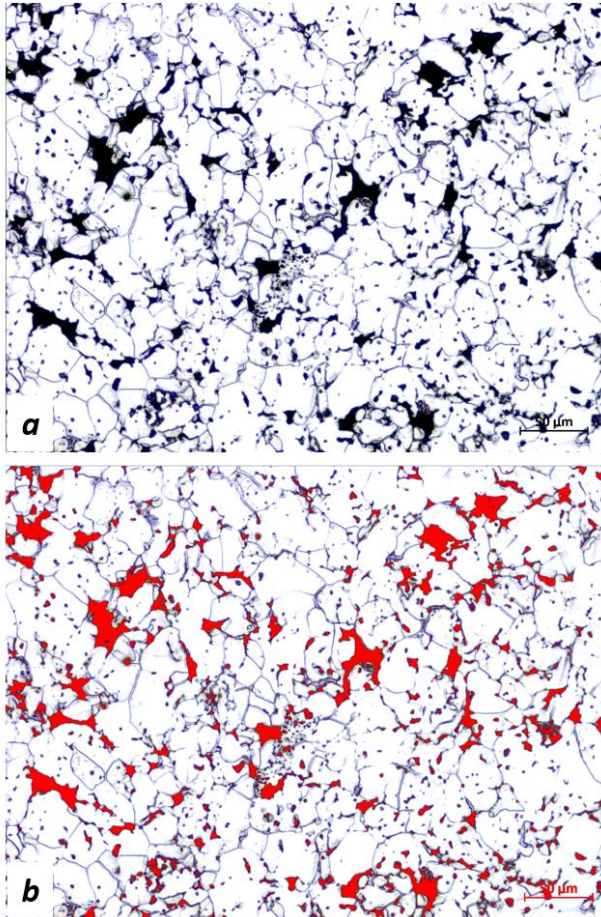
A szűrkeszint küszöbérték beállítások úgy vannak kiválasztva, hogy lehetővé tegyék egy adott diszkrét másodlagos fázis független észlelését, a "villódzási módszer" alkalmazásával a befogadó kép és a csorbító kép közötti oda-vissza váltáskor. A küszöbérték beállítása kisebb kompromisszumot igényelhet a legkisebb alkotóelemek észlelése és a legnagyobbak túlzott észlelése között. A kiválasztott küszöbérték-beállításokat az elemzés megkezdése előtt több mezőben található alkotórészekon kell kipróbálni. Például az oxidok küszöbérték-tartománya



közel van a reflexiós skála fekete végéhez, míg a szulfidoké valamivel magasabb. A küszöbérték-beállítások meghatározásának alternatív megközelítése a jelen lévő zárvány- vagy alkotóelem-típusok, valamint a mátrix (általában polírozott állapotban) szürke szintű reflexiós hisztogramjának elkészítése. A hisztogramot az egyes zárványtípusok tartományának kezdetének (legsötétebb szürke) és végének (legvilágosabb szürke) meghatározására használják, két olyan zárvány vagy alkotóelem-típus metszésszürke szintjénél, amelyek szürke szint tartományai átfedik egymást. Ellenőrizze ezeket a beállításokat a flicker módszerrel több véletlenszerűen kiválasztott mezőn.

A mért mezők számát a következő fejezetben meghatározott mérések relatív pontosságán vagy a gyártó és a végfelhasználó közötti megállapodáson kell alapulnia.

Az adatbeviteli képelemző vezérlésére, a mérésre és az adatelemzésre kifejlesztett számítógépes programot a központi feldolgozó egységbe olvassák be az elemzés elindításához. A minta azonosítására, az adatkérőre, a kalibrációs konstansra, a dátumra, a mezők számára, a mezőtávolságra stb. vonatkozó beviteli adatok kerülnek bevitelre.



2.3.5. ábra - a porozitás százalékos arányának meghatározása egy szinterelt acélban képelemzéssel. A mikroszerkezet részlete a képfeldolgozás előtt (a) és után (b). Forrás: IIS laboratórium

2.2.9.1. Statisztikai elemzés

Az elemzési hibák számos forrásból adódhatnak; ezek közül néhányról a következőkben számolunk be:

- A kiválasztott minta nem lehetett reprezentatív a teljes mikroszerkezetre.
- Helytelen mintaelőkészítés.
- A kezelői kompetenciák és készségek (pl. nem megfelelő képesség a mikroszerkezetek azonosítására).
- A minta homogenitása, a nagyítás és a mért mezők száma befolyásolja az adatok szórását és megismételhetőségét.

A mikroszerkezeti változékonyság nem a hibák mérése, de befolyásolja a vizsgálati eredményeket, mivel a változékonyság növekedésével nő a szerkezeti paraméterek megbízható statisztikai becsléséhez szükséges erőfeszítés.

Az alábbiakban a becsült térfogatszázalék és a százalékos relatív pontosság kiszámítását közöljük. A t szorzó értéke az ASTM E562 szabványból származó alábbi táblázatban található.

<i>Nem. n mező</i>	<i>t</i>	<i>Nem. n mező</i>	<i>t</i>
5	2,776	19	2,101
6	2,571	20	2,093
7	2,447	21	2,086
8	2,365	22	2,080
9	2,306	23	2,074
10	2,262	24	2,069
11	2,228	25	2,064
12	2,201	26	2,060
13	2,179	27	2,056
14	2,160	28	2,052
15	2,145	29	2,048
16	2,131	30	2,020
17	2,120	40	2,000
18	2,110	60	1,960

Tab. 2.3.2 - 95%-os konfidenciaintervallum-szorzók. [3] ASTM E562:2011 - Szabványos vizsgálati módszerek a térfogatfrakció meghatározására kézi pontszámlálással. Forrás:

[2.3.3] ASTM E562:2011 - Szabványos vizsgálati módszerek a térfogatarány meghatározására kézi pontszámlálással.



Az átlagos \bar{P}_p , a szórásbecslő S , a 95%-os konfidenciaintervallum 95%CI, minden egyes mezőcsoportra vonatkozóan ki kell számítani és fel kell jegyezni; az ezen értékek kiszámításához használt egyenleteket az alábbiakban mutatjuk be.

$$\bar{P}_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_p(i)$$

$$s = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [P_p(i) - \bar{P}_p]^2 \right]^{1/2}$$

$$95\% \text{ CI} = t \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

A térfogatszázalék becslése a következő:

$$V_v = \bar{P}_p \pm 95\% \text{ CI}$$

A becsléshez kapcsolódó százalékos relatív pontosság becslése a következőképpen kapható:

$$\% \text{ RA} = \frac{95\% \text{ CI}}{\bar{P}_p} \times 100$$

A 10, 20 vagy 33 %-os relatív pontosság eléréséhez szükséges mezők számának becsült értékeit különböző térfogatszázalékok és rácsméretek esetén az ASTM E562 szabványból származó alábbi táblázat tartalmazza. Ezeket az értékeket azzal a feltételezéssel számították ki, hogy a jellemzők véletlenszerűen oszlanak el a metallográfiai szelvényen.

	33 % Relatív pontosság	20 % relatív pontosság	10 % relatív pontosság
	<i>Az n mezők száma egy P_T</i>	<i>Az n mezők száma egy P_T</i>	<i>Az n mezők száma egy P_T</i>



<i>A térfogat- töredék mennyisége</i>	<i>16</i>	<i>25</i>	<i>49</i>	<i>100</i>	<i>16</i>	<i>25</i>	<i>49</i>	<i>100</i>	<i>16</i>	<i>25</i>	<i>49</i>	<i>100</i>
<i>V_v százalékban kifejezve</i>	<i>pont</i>	<i>pont</i>	<i>pont</i>	<i>pont</i>	<i>pont</i>	<i>pont</i>	<i>pont</i>	<i>pont</i>	<i>pont</i>	<i>pont</i>	<i>pont</i>	<i>pont</i>
2	110	75	35	(20)	310	200	105	50	1250	800	410	200
5	50	30	(15)	(8)	125	80	40	(20)	500	320	165	80
10	(25)	(15)	(10)	(4)	65	40	(20)	(10)	160	160	85	40
20	(15)	(5)	(5)	(4)	30	(20)	(10)	(5)	80	80	40	(20)

Tab. 2.3.3 - a megfigyelendő mezők számának (n) előrejelzése a kívánt relatív pontosság és az alkotóelem térfogattöredékének becsült nagysága függvényében. Forrás: [2.3.3] ASTM E562:2011 - Szabványos vizsgálati módszerek a térfogatarány meghatározására szisztematikus kézi pontszámlálással.

A jelentett százalékos relatív pontosságot mindig a mintaadatokból kell kiszámítani, és nem az előző táblázatból kell venni.

▪ Szemcseméret

A fémötvözetek tulajdonságait és viselkedését közvetlenül befolyásolja a szemcseméret. Valójában a szemcseméret mérése egy polikristályos fémekben az egyik legfontosabb meghatározandó tényező, különösen a gyártás és a minőségellenőrzés során.

Általában azonos kémiai elemzés mellett a finom szemcsés acél nagyobb szakítószilárdsággal és ütésállósággal rendelkezik, mint a durva szemcsés acél. Ezzel szemben a durva szemcsés acél jobban viselkedhet a kúszási rendszerben, mint a finom szemcsés acél.

A síkbeli szemcseméret meghatározásához a szerkezet keresztmetszetén megfigyelt szemcsék méretét használják. A szemcseméret kifejezésére többféle mérés használható:

- Átlagos átmérő
- Átlagos terület
- A szemek száma egységnyi területre vetítve
- Átlagos metszeshossz szemek száma térfogategységenként
- Átlagos átmérő az átlagos szemtérfogat alapján



A szemcseméret meghatározásához a metszeteket gondos csiszolással és polírozással kell előkészíteni, hogy a metallográfiai maratással láthatóvá váljanak a szemcsehatárok. Az alábbiakban példákat ismertetünk az eljárásokra:

- A ferrites szemcséket "Nital" vagy megfelelő reagenssel történő maratással kell feltárni.
- Az egyfázisú vagy kétfázisú ausztenites szerkezetű acéloknál (delta-ferrit szemcsék ausztenites mátrixban) szobahőmérsékleten a szemcséket gliceregiával, "Kalling,s reagenssel", "Marble's reagenssel" vagy elektrolitikus vizes 10%-os oxálsavval kell feltárni.
- A martenzites vagy bainitos szerkezetű acélok esetében néha kimutatható a prior-ausztenitos szemcse. Ezt az UNI EN ISO 643 szabványban ismertetett alábbi módszerrel kell feltárni:
 - "Bechet-Beaujard" módszer vizes telített pikrinsavoldattal történő maratással.
 - "Kohn" módszer ellenőrzött oxidációval.
 - "McQuaid-Ehn" módszer karburálással.

Az előző pontban említett módszerek leírása nem tartozik ebbe a fejezetbe. További információkat az UNI EN ISO 643 szabvány tartalmaz.

Mind az UNI EN ISO 643, mind az ASTM E112 szabvány három módszert mutat be az átlagos szemcseméret meghatározására. Ezekről a következő pontokban számolunk be, és az alábbiakban ismertetjük őket:

- Összehasonlítási eljárás.
- Planimetrikus (vagy Jeffries-féle) eljárás.
- Intercept eljárás - lineáris intercept eljárás (Heyn) és körkörös intercept eljárás.

Az ASTM E112 a szemcseméretet egy G indexszel határozza meg, amely az 5.4. táblázatban látható ASTM szemcseméret néven ismert; az ASTM G szemcseméretindexet az UNI EN ISO 643 európai szabvány is használja.



Szem- cse- méret No. G	Szemek/ terület egységnyi		Átlagos szemterület		Átlagos átmérő		Átlag Intercept		N_L
	Nem/ ln^2 100x	No./mm ² 1x-nél	mm ²	μm^2	mm	μm	mm	μm	No./mm
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	454.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.71
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.0
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	99.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1884.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	364.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11.223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0



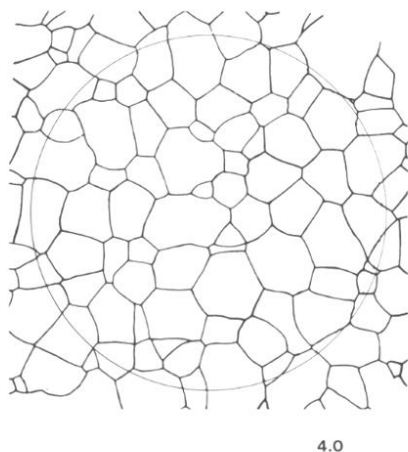
Tab. 2.3.4 - Egyenletes, véletlenszerűen orientált, egyenlő tengelyű szemcsékre számított szemcseméret-összefüggés. Forrás: [2.3.6] ASTM E112 - Szabványos vizsgálati módszerek az átlagos szemcseméret meghatározására

2.2.9.1. Összehasonlítási eljárás

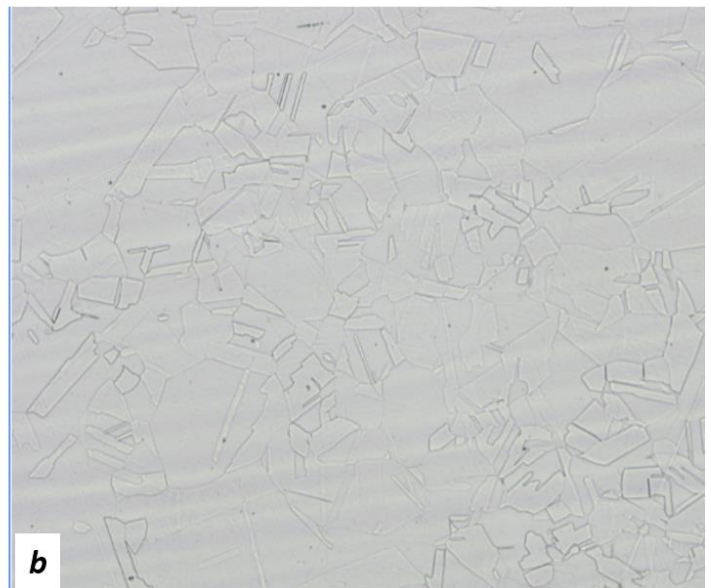
A képernyőn vizsgált képet egy sor szabványos grafikonnal hasonlítják össze. A szabványdiagramok 100 x-es nagyításnál - 07-től 17-ig vannak számozva, úgy, hogy a G indexnek feleljenek meg. Az összehasonlítási eljárást teljesen átkristályosodott vagy öntött, egyenlő tengelyű szemcsékkel rendelkező anyagokra kell alkalmazni.

Ha a szemcseméret becslését a legmegfelelőbb összehasonlító módszerrel végezzük, a szakemberek által végzett ismételt ellenőrzések és/vagy a laboratóriumok közötti vizsgálatok azt mutatják, hogy hiba léphet fel, ha a szabvány megjelenése nem tükrözi a minta megjelenését. Az ASTM E 112 négyféle összehasonlító táblázatot mutat be, amelyek minimalizálják az ilyen hibákat.

Nagyon fontos ellenőrizni, hogy az összehasonlított nagyítás megegyezik-e. A jelenlegi szoftverek tartalmaznak olyan alkalmazásokat, amelyek betöltött diagramokkal lehetővé teszik a közvetlen összehasonlítást.

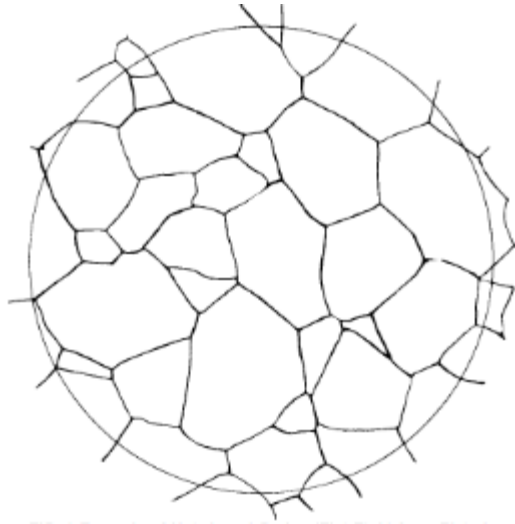


a

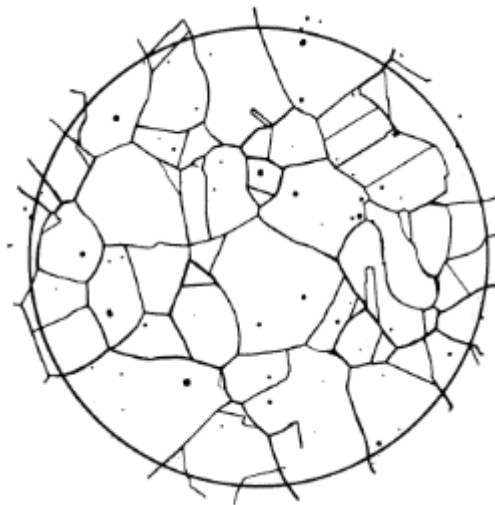


b

2.3.6. ábra - példa az összehasonlítási módszerre. Egy összehasonlító táblázat képe (a) és egy OM által nyert ausztenites acél részlete. Forrás: IIS laboratórium



2.3.7. ábra - példa az I. lemezből származó, nem összefonódott szemcsékre (lapos maratás)
- 3. számú szemcseméret 100X-nél - az ASTM E112 szabványból vett kép. Forrás: E.E:
[2.3.6] ASTM E112 - Standard vizsgálati módszerek az átlagos szemcseméret me-
ghatározására



2.3.8. ábra - példa az ikerszemcsékre (Flat Etches) a II. lemeztől - 3-as szemcseméret 100X-
nél - az ASTM E112 szabványból vett kép. Forrás: [2.3.6] ASTM E112 - Standard vizsgálati
módszerek az átlagos szemcseméret meghatározására



2.3.9. ábra - példa az ikerszemcsékre (kontrasztos maratás) a III. lemezzről - szemcseméret 4, 75X - az ASTM E112 szabványból vett kép. Forrás: [2.3.6] ASTM E112 - Standard vizsgálati módszerek az átlagos szemcseméret meghatározására

2.2.9.2. Megszakítási eljárás

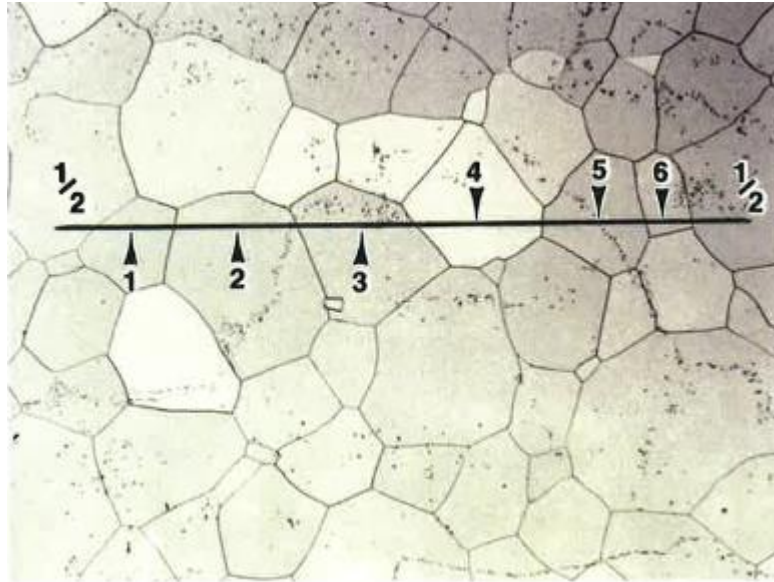
Ehhez az eljáráshoz a megszakított szemcsék számát, N , vagy a szemcsehatárok metszéspontjainak számát, P , egy számítógép monitorján vagy a minta egy reprezentatív példányának ismert nagyítású fotomikroszkópos felvételén ismert hosszúságú tesztosz segítségével kell megszámlálni.

Az átvágási eljárás minden olyan szerkezet esetében ajánlott, amely eltér az egyenletes, egyenlő tengelyű formától. Az anizotróp szerkezetek esetében az átlagos méret becsléséhez a három fő irány mindegyikében külön méretbecslések végezhetők.

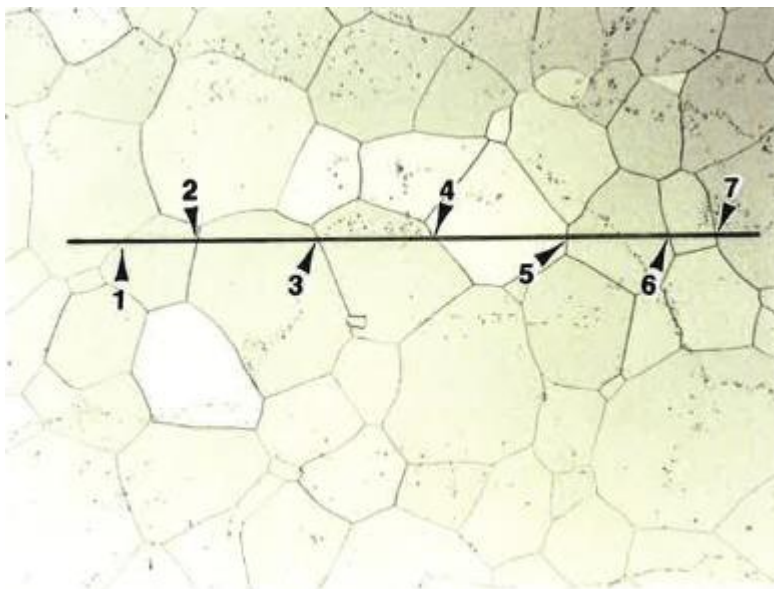
A mérővonal lehet egyenes vagy kör alakú. A rácstól véletlenszerűen kell alkalmazni megfelelő számú mezőn, hogy statisztikai eredményt kapjunk.

Nincs közvetlen matematikai kapcsolat az ASTM szemcseszám, G , és az átlagos lineáris metszéspont között, ellentétben az átlagos lineáris metszéspont, I , és az átlagos szemcsefelület

közötti pontos összefüggéssel, amely körök esetén pontos, de nem egészen pontos az egyenletes, egyenlő tengelyű szerkezet esetén.



2.3.10. ábra - példa az N metszéspontra (metszésponatok). [2.3.7]



2.3.11. ábra - példa a P. keresztveződésre: [A látszólagos szemcseméret mikrográfiai meghatározása.]



Lineáris metszet szegmensek módszere:

Az átlagos szemcseméret becsléséhez ajánlott megszámlálni a megszakított szemcsék számát egy vagy több egyenes vonal segítségével, amelyek elég hosszúak ahhoz, hogy legalább 50 megszakított szemcsét kapjunk. Kívánatos a vizsgálati vonal hosszának és a nagyításnak olyan kombinációját megválasztani, hogy egyetlen mezővel a szükséges számú metszéspontot kapjuk.

A szemcseméret becslések pontossága a metszési módszerrel a megszámlált szemcseméretek számának függvénye.

A metszéspont a vizsgálati vonal egy szemcsét átfedő szegmense. A metszéspont az a pont, ahol a vizsgálati vonalat szemcsehatárok vágják. Ugyanezzel az eredménnyel számolható az egyfázisú fémben is.

Az egyenlő tengelyű struktúrától való mérsékelt eltérés hatása kiküszöbölhető a négy vagy több orientációjú vonalak megszámlálásával, egy vonalmezőn végzett metszésszámlálással.

Körkörös metszéspont módszer:

A mérővonal három koncentrikus körből áll. A kör nagyítását vagy átmérőjét úgy kell megválasztani, hogy 40-50 metszéspont legyen, amikor a mérőrács meghaladja a vizsgálandó mezőt.

A kör alakú megszakított szegmens módszer általában valamivel magasabb megszakított szegmens értékeket és így valamivel alacsonyabb számú kereszteződést eredményez. Ennek minimalizálása érdekében a hármass pont által okozott metszéspontokat két metszéspontnak kell számolni 1,5 helyett, mint a lineáris metszett szegmens módszer esetében.

Eredmények:

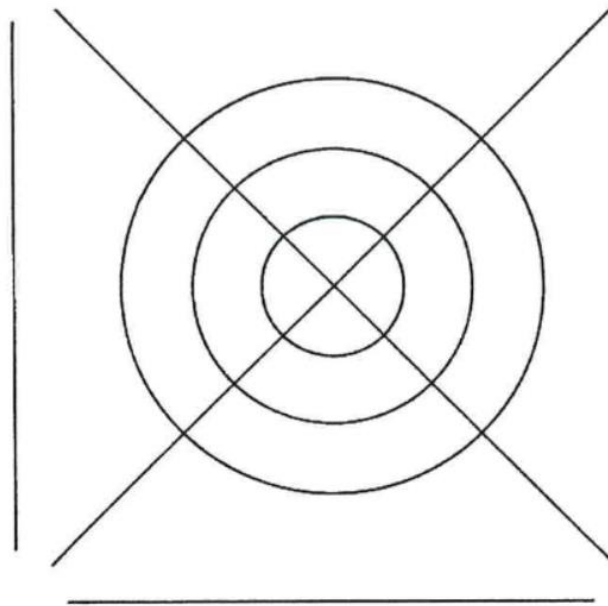
A metszéspontok számának átlagértéke \bar{N} , vagy metszéspont, \bar{P} a következő képlettel számítható ki:

$$\bar{N}_L = \bar{N}/LT \text{ és } \bar{P}_L = \bar{P}/LT$$

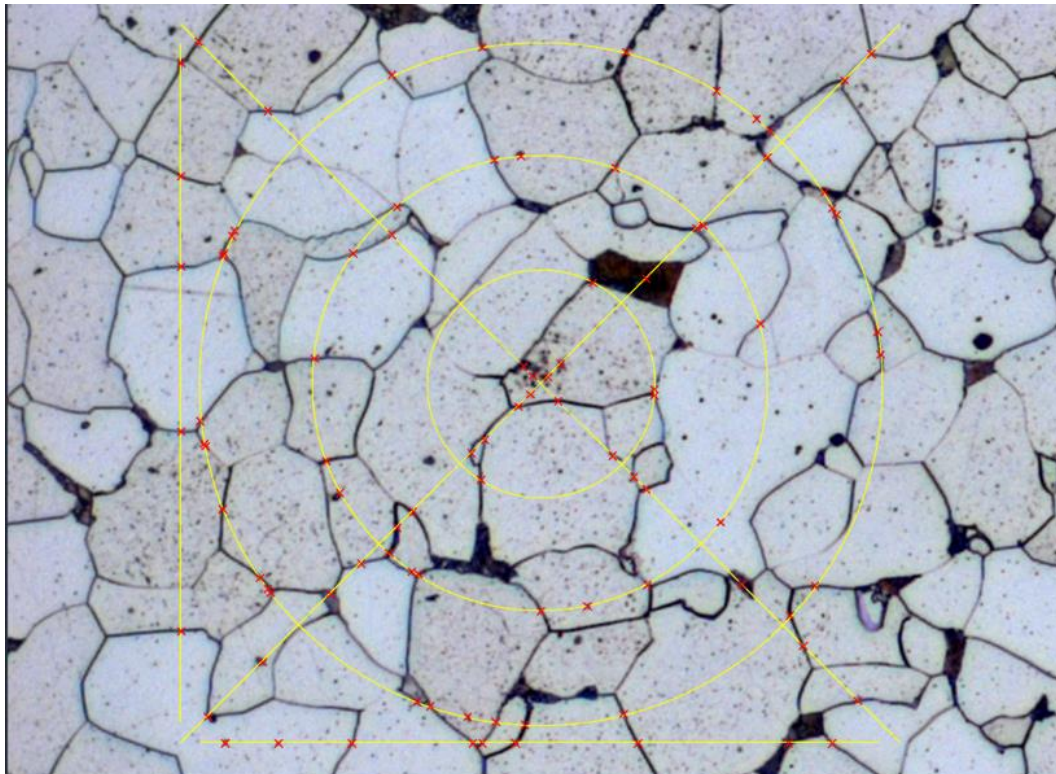
A nem egyenletes szemcsehatár esetén három, a három fő vizsgálati sík vonalával párhuzamos vonal használható (hosszanti, keresztirányú és síkbeli). A metszéspontok átlagos számát, vagy a metszéspontok átlagos számát a három mérés szorzatának köbgyökéből határozzuk meg, az alábbiak szerint:

$$\overline{N}_L = (\overline{N}/L T_x \times \overline{N}/L T_y \times \overline{N}/L T_z)^{1/3} \text{ és } \overline{P}_L = (\overline{P}/L T_x \times \overline{P}/L T_y \times \overline{P}/L T_z)^{1/3}$$

A szemcseméret mérésének modern módszerei, mint például az automatikus képelemzés, felhasználhatók az alkalmazható anyagok szemcseméretének mérésére, feltéve, hogy a módszerek pontosságát korábban széles körű keresztkorrelációval bizonyították.



2.3.12. ábra - ajánlott mérési rács az átvágási szegmens eljáráshoz. Forrás: [Acélok - A látszólagos szemcseméret mikrográfiai meghatározása.



Additional Results		
Grain Size No.	Number of Intersections	Pattern Length [μm]
5,0	94	5770,000

2.3.13. ábra - példák szénacélon végzett metszéspontmérésre. Forrás: IIS laboratórium.

2.2.9.3. *Planimetriai módszerek*

A planimetrikus módszer a legkevésbé használt, történelmileg egy 79,8 mm átmérőjű kört fedtek le egy élő képen, és a berendezés képernyőjén a valós nagyítás látható. A nagyítást úgy kell beállítani, hogy a kör alakú terület legalább 50 szemet tartalmazzon.

Két vádpontot állapítottak meg:

- n_1 a teljes vizsgálati körön belül lévő szemcsék száma.
- n_2 a vizsgálati kör által metszett szemcsék száma.

A teljes szám megegyezett a következőkkel:

$$N_{100} = n_1 + 0,5n_2$$



A szemcsék számát, m , a mintadarab felületén a^2 mm-re vonatkozóan a következőkből számoljuk ki:

$$m=2n_{100}$$

vagy bármilyen nagyítás esetén g :

$$m=(g^2 /5000)n_g$$

ahol 5000 a vizsgálati kör területe mm-ben .²

Ez a megközelítés azt feltételezi, hogy a vizsgálati kör által metszett szemcsék fele átlagosan a körön belül van, míg a másik fele a körön kívül. Ez a feltételezés érvényes a szemcseszerkezeten átmenő egyenes vonalra, de nem érvényes a görbe vonalra. Az e feltételezés által okozott eltérés növekszik, ahogy a vizsgálati körön belüli szemcsék száma csökken. Ha a vizsgálati körön belüli szemcsék száma legalább 50, az eltérés 2% körüli.

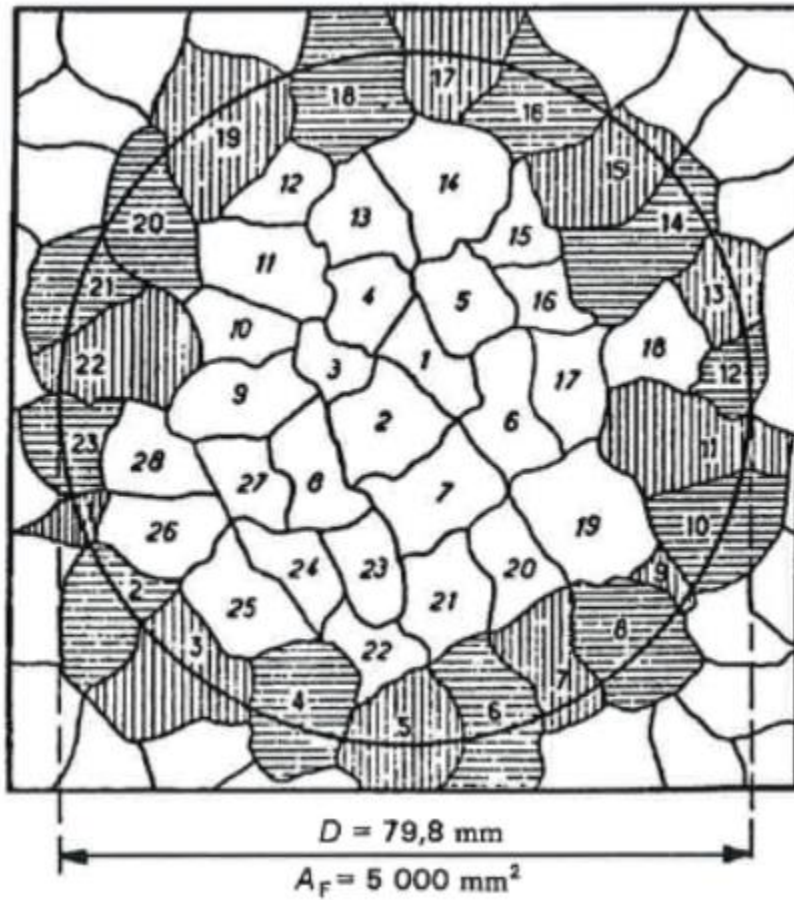
Ezt a problémát egyszerűen úgy kerülhetjük el, ha elképzeljük a négyzetet vagy téglalapot, és közben figyelembe vesszük, hogy a négy sarkát metsző szemek egynegyede az ábrán belül, háromnegyede pedig azon kívül van. Ez a négy sarokszemcse együttesen egy szemcse a teszt-dobozon belül. A négy sarokszemcsét figyelmen kívül hagyva számoljuk meg az n_1 - a teljesen a dobozon belüli szemcséket; és az n_2 - a doboz négy oldala által metszett szemcséket. Az egyenlet a következő lesz:

$$N_{100} = n_1 + 0,5n_2 + 1$$

A szemcsék számát, m , a mintadarab felületén a^2 mm-re vonatkozóan a következőkből számoljuk ki:

$$m=(g /A_f^2)n_g$$

ahol A_f a szemszámláláshoz használt vizsgálati alakzat látszólagos területe mm-ben .²



2.3.14. ábra - a szemek számának értékelése egy kör által körülzárt területen. Forrás: Forrás:
[A látszólagos szemcseméret mikrográfiai meghatározása.



[2.3.6] ASTM E112 - Szabványos vizsgálati módszerek az átlagos szemcseméret meghatározására.

[2.3.7] UNI EN ISO 643 - Acélok - A látszólagos szemcseméret mikrográfiai meghatározása.



○ A program képelemzési képességeinek bemutatása

Ebben a fejezetben a metallográfiai képelemzéshez használt legfontosabb fogalmakat és eszközöket vizsgáljuk meg, felvázolva a képfelvételtől a feldolgozásig és a kapott eredmények értelmezéséig tartó folyamatot.

Bemutatjuk a metallográfiai minták előkészítésének különböző fázisait, amelyek elengedhetetlenek a tiszta és részletes képek készítéséhez. Ezt követően megvizsgáljuk a mikroszkópok jelentőségét a képek készítésében, és megvitatjuk a különböző megvilágítási technikákat, amelyek segítenek kiemelni a mikroszerkezeti sajátosságokat. Végül elmélyedünk a digitális környezetben, és megvizsgáljuk a speciális szoftvereket, amelyek lehetővé teszik a metallográfiai képek kvantitatív elemzését, így biztosítva a megfigyelt struktúrák pontos és mélyreható értelmezését.

• *A minták előkészítése*

Az elemzett felület jó minőségének elérése érdekében mechanikus polírozást kell végezni, mivel más polírozási eljárások (pl. elektrokémiai polírozás) lekerekített élekkel és műtárgyakkal járhatnak.

Az utolsó polírozási lépések 3 µm-es vagy annál kisebb gyémántsuszpenzióval végezhetők; az utolsó polírozási lépést célszerű kolloid szilícium-dioxid alapú szuszpenzióval befejezni (a csiszoló részecskék átmérője kisebb, mint 0,1 µm). A csiszolási és polírozási eljárást az elkészítendő ötvözet típusa alapján kell megválasztani.

A szénacélok vagy alacsonyán ötvözött acélok tipikus eljárását a következő pont mutatja be:

- Első lépés: SiC csiszolópapírral (szemcse 220) vagy ezzel egyenértékű csiszolókoronggal néhány percig tartó csiszolás vízzel, a minták megfelelő síkosságának elérése érdekében.
- Második lépés: csiszolás 9 µm szemcseátmérőjű gyémántsuszpenzióval ellátott csiszolókoronggal.
- Harmadik lépés: polírozás 3 µm átmérőjű gyémántsuszpenzióval ellátott polírozóruhával.
- Negyedik lépés: polírozás 0,1 µm-nél kisebb átmérőjű részecskéket tartalmazó kolloid szilícium-dioxid szuszpenzióval ellátott polírozóruhával.

Ha rendelkezésre állnak, az automatikus rendszerek előnyösek a fémminta megfelelő végső tükröfelületének elérése érdekében.



Egyes elemzéseknél, például a nagyfokú törekenységgel és romlással jellemezhető minták esetében más óvintézkedések is alkalmazhatók. Tipikus óvintézkedések közé tartozik az oxidrétegek vastagságának mérése (például magnetit a kazáncsőben) vagy a porozitás értékelése a termikus permetezéssel bevonat esetén, ahol a csiszolási és polírozási lépések megtörhetik a réteget, ami mérési hibákat okozhat. Ezekben az esetekben pontosabb vágási lépésre (pl. automata vágógép) és kettős rögzítésre (a vágás után és előtt) lehet szükség.

A mikrográfiai metszeten lévő karcolások a képelemző szoftverrel sötét területként észlelhetők, és a mért fázis túlbecslését okozzák. Az ilyen típusú hibák a képelemzési folyamat folyamatos felügyeletét igénylik a kezelő/technikus részéről.

- *A Delta Ferrit meghatározásának néhány gyakorlati esetének bemutatása*

Az alábbiakban a térfogattöredék meghatározására szolgáló módszer leggyakoribb alkalmazásai kerülnek felsorolásra:

- A delta ferrit százalékos arányának meghatározása a hegesztési fémekben ausztenites rozsdamentes acélokból.
- A delta ferrit százalékos arányának meghatározása egy duplex rozsdamentes acélban.
- A zárványtartalom értékelése acélban vagy más ötvözetekben.
- A porozitás százalékos arányának értékelése öntött, hegesztési, forrasztási és bevonási folyamatokban.

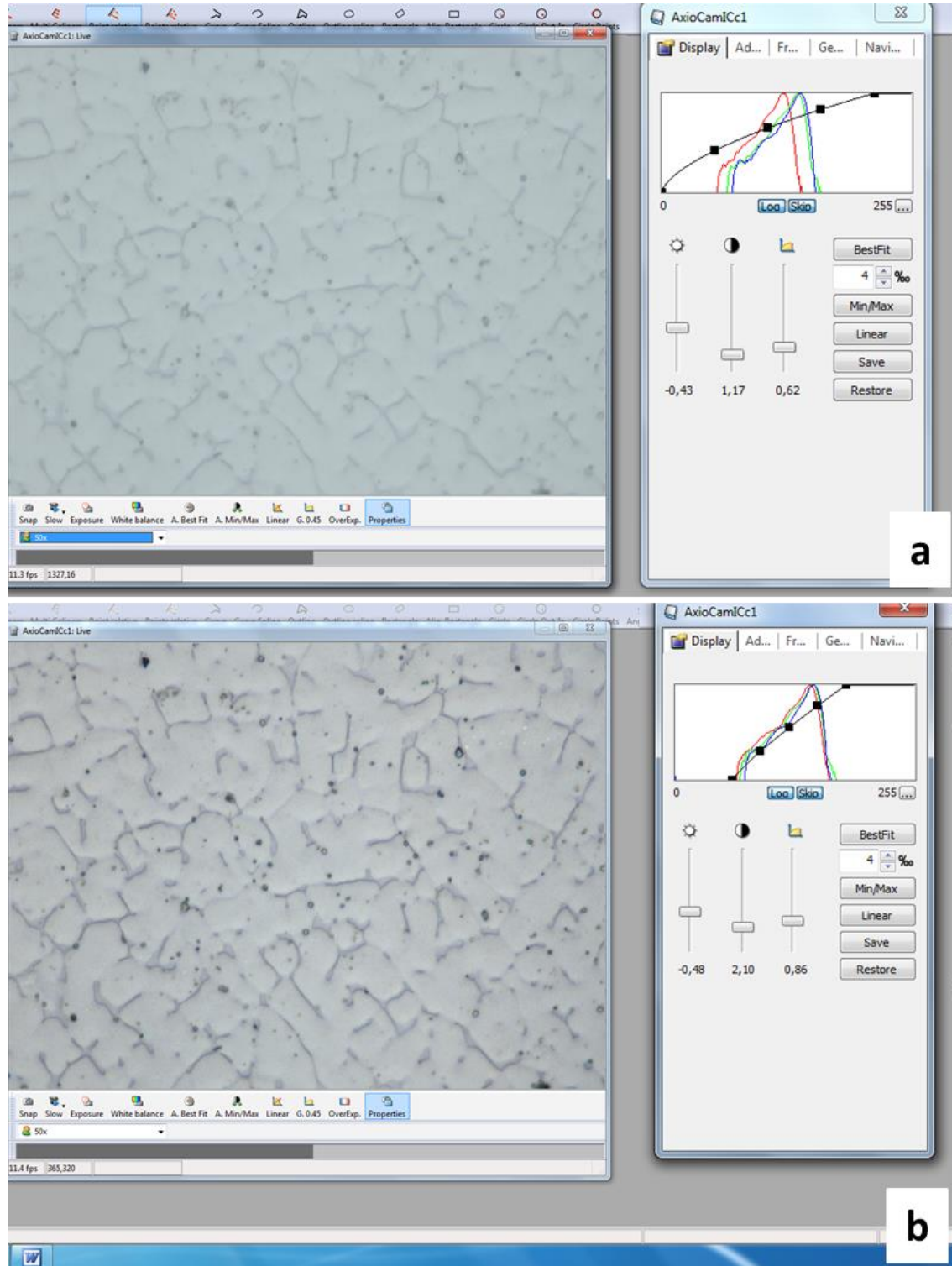
Az ausztenites rozsdamentes acélból készült hegesztett kötésekben várható delta-ferrit mennyisége 5-15 % között van. A deltaferrit kis mennyisége csökkenti a hegesztett kötés forró repedésérzékenységét; a nagyobb mennyiség azonban csökkenti az alacsony hőmérsékleten való szívósságot és a korrózióállóságot.

A mikrográfiai metszetek megfigyelése optikai mikroszkóppal történik, általában 100x, 200x vagy 500x objektíveket választanak.

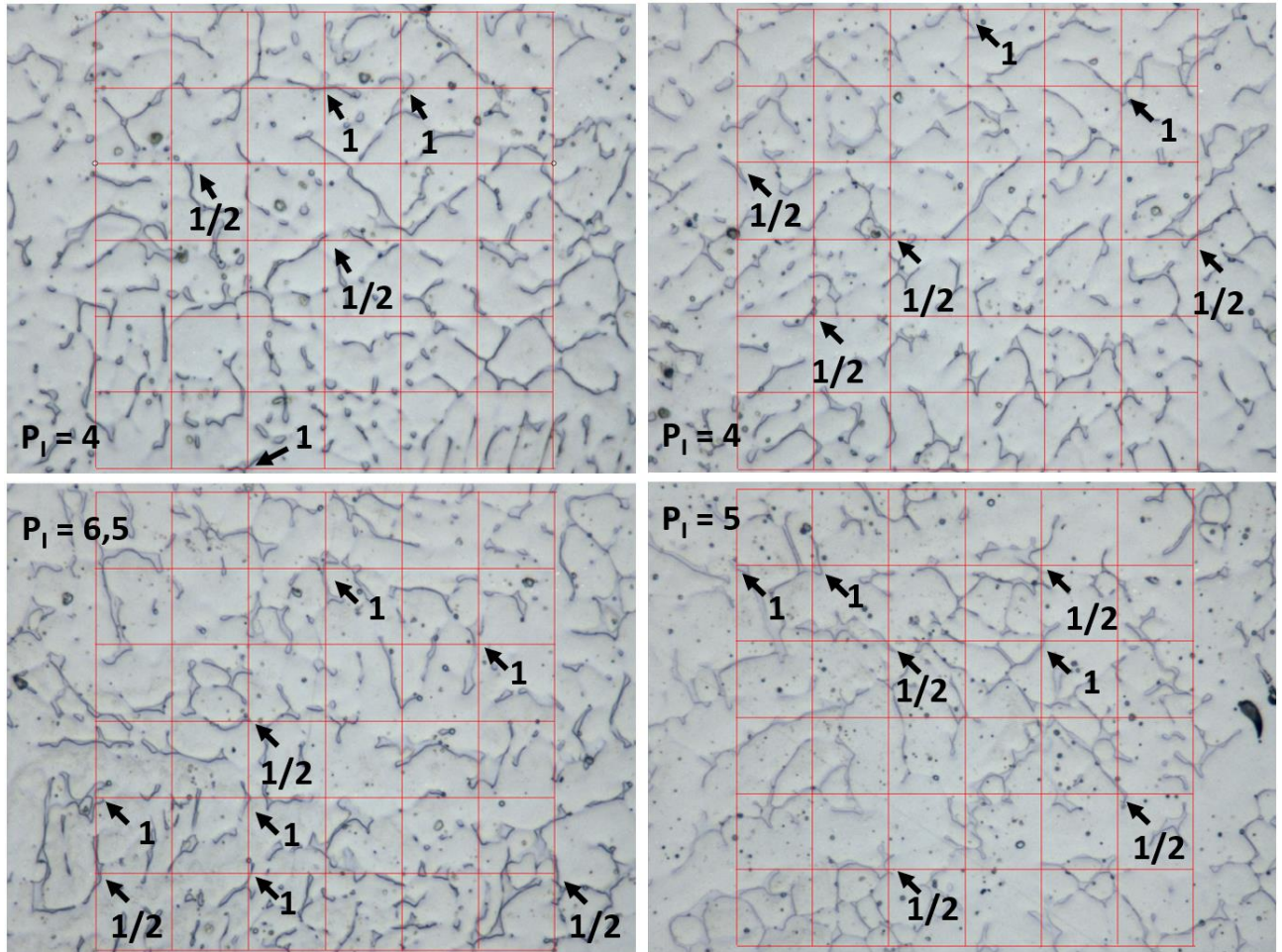
A delta-ferrit mennyiségének első minőségi értékelése után 25 vagy 49 pontos rácst lehet használni, az ASTM E562 szabványban megadottak szerint. Néha előzetes mérést lehet végezni ferrit távcsővel a megfelelő rács kiválasztása érdekében.



Az alábbiakban egy példa látható a Delta Ferrit szoftveres pontszámlálási módszerrel történő mérésére.



2.4.1. ábra - 316L típusú ausztenites rozsdamentes acél hegesztési zónájának részletei. Az ábrák a Lookup table (LUT) optimalizálás előtt (a) és után (b) mutatják. Forrás: V.1.2.1: IIS laboratórium.



2.4.2. ábra - Példák néhány mezőre, amelyeket 49 pontos rácshálóval, pontszámítási módszerrel elemeztek. Forrás: IIS Laboratórium.



P_T = 49			
A megszámlált mezők száma n	10	20	85
A rácspontok százalékos aránya P_p	10,41	10,31	10,17
95%-os konfidenciainterval- lum	1,52	1,02	0,57
Relatív pontosság % Ra	14,56	9,94	5,65
Standard eltérés	2,40	2,29	2,59

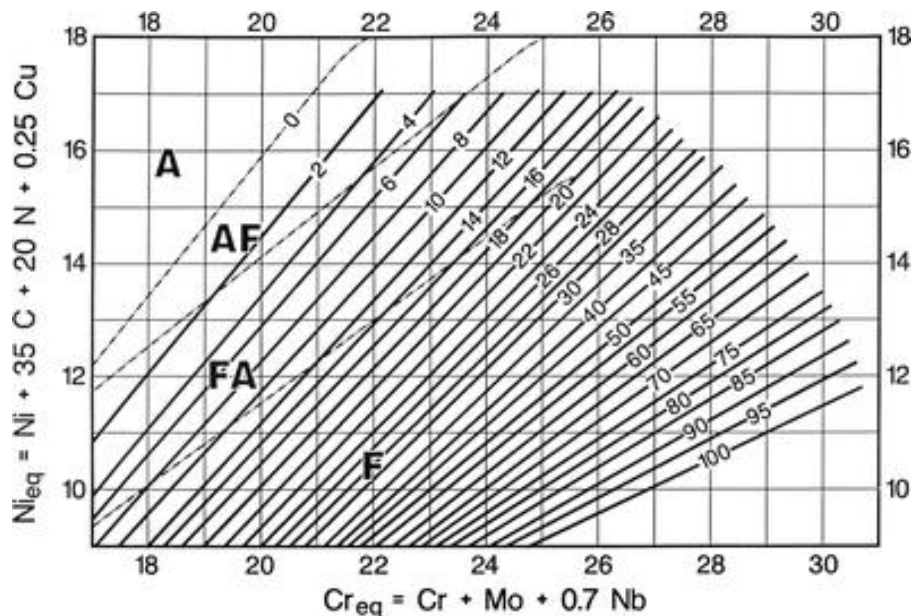
2.4.1- táblázat A pontszámmal mért ferrit százalékos aránya megfelel a P_p. A táblázat azt mutatja, hogy a mérési pontosság a mért mezők számának növekedésével növekszik. Forrás: IIS Laboratórium.

A pontszámítási módszer másik alkalmazása a Delta ferrit százalékos arányának meghatározása a duplex rozsdamentes acélban.

A duplex rozsdamentes acélok ötvözik a ferrites és az ausztenites rozsdamentes acélok előnyeit. A tulajdonságokat a kémiai összetétel és a fázisegyensúly határozza meg. A magas króm-tartalom és a nitrogénnel való ötvözés hozzájárul a nagy szilárdsághoz és a szemcseközi korrózióval szembeni ellenálláshoz. A feszültségkorróziós repedezettség más ausztenites fajtákhoz képest kiváló.

A duplex rozsdamentes acélok a Fe-Cr-Ni-N ötvözetrendszeren alapulnak. Ezen acélok kémiai összetételét úgy állították be, hogy az alapfém mikroszerkezete körülbelül 50%-ban ferritből és 50%-ban ausztenitből álljon. Azonban minden duplex rozsdamentes acél gyakorlatilag 100%-ban ferritként szilárdul meg, és a kiegyensúlyozott mikroszerkezethez az ausztenitté történő részleges szilárdtest átalakulástól függ. A nitrogént ötvözőelemként adják hozzá, hogy felgyorsítsák az ausztenit fázis kialakulását és stabilizálják azt.

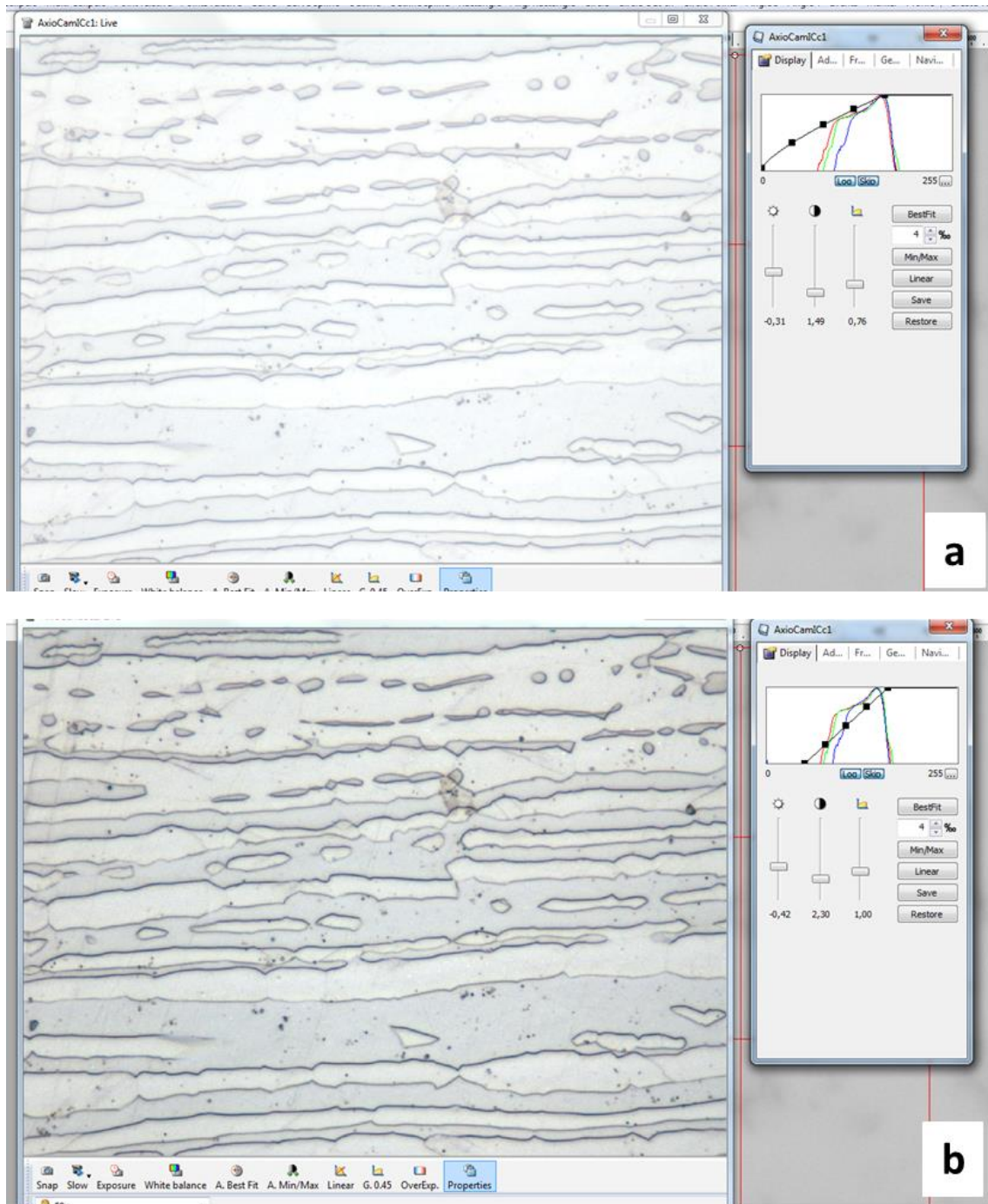
Általában a duplex rozsdamentes acélokban a ferritet elősegítő elemek aránya nagyobb az ausztenitet elősegítő elemekhez képest, mint az ausztenites rozsdamentes acélokban. Az alábbi ábra azt mutatja, hogy azok az ötvözetek, amelyek WRC-1992 krómegyenértéke körülbelül 1,85-szöröse vagy több, mint a nikkelegyenértékük, 100%-ban ferritként szilárdulnak meg; a duplex rozsdamentes acélok általában 2,25 és 3,5 közötti arányt mutatnak.



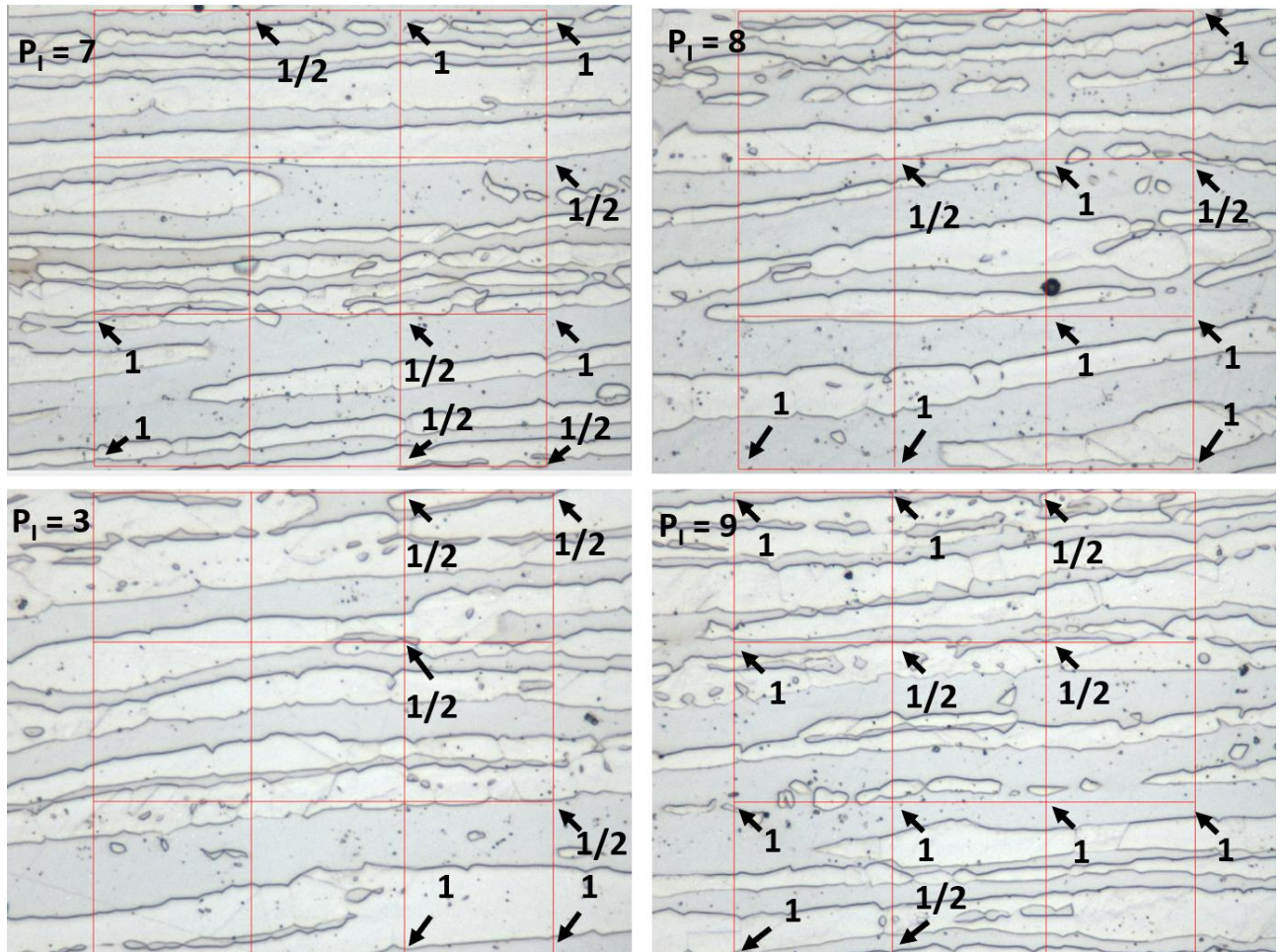
2.4.3- ábra - WRC 1992 diagram, amelyet a ferritszám becsléséhez használtak $C_{req} = Cr + Mo + 0,7Nb$ és $Ni_{eq} = Ni + 35C + 20N + 0,25Cu$ alapján. Forrás: [2.4.2] WRC-1992 alkotási diagram rozsdamentes acél hegesztett fémekhez

Magas hőmérsékleten (a ferrites szolvusz felett) az ötvözetek 100%-ban ferritesek maradnak. Az ausztenit csak a ferrit szolvusz alatt tud magot képezni és növekedni. Ezeknek az acéloknak az izzítása és melegedése ferrit szolvusz alatti hőmérsékleten történik, ahol a ferrit és az ausztenit együtt létezhet. A feldolgozási hőmérséklet és a hőmérsékletről való lehűlés sebességének szabályozásával a ferrit és az ausztenit aránya és eloszlása szabályozható a megmunkált termékben.

Ezen okok miatt a kémiai elemzés mellett a ferrit és az ausztenit eloszlásának ellenőrzésére is gyakran szükség van a minőség és a teljesítmény értékeléséhez. Általában 16 pontos rácst használnak, amint azt az ASTM E562 szabvány is jelzi. Az alábbiakban egy példa látható a ferrit/ausztenit mérésére a pontszámítási módszerrel, szoftveren keresztül.



2.4.4.4. ábra - A 2205 típusú rozsdamentes Duplex acél részletei. (a) A felvétel szerint. (b) A keresőtábla (LUT) optimalizálása után. Forrás: B: IIS Laboratórium.



2.4.5. ábra - Példák néhány, 16 pontos rácshálóval, pontszámítási módszerrel elemzett mezőre. Forrás: IIS Laboratórium



P_T = 49			
A megszámlált mezők száma <i>n</i>	10	20	85
A rácspontok százalékos aránya P_p	42,19	44,53	44,53
95%-os konfidenciaintervallum	7,17	4,77	2,16
Relatív pontosság % Ra	17,00	10,72	4,84
Standard eltérés	11,34	10,68	9,65

2.4.2- A 2.4.2-es táblázat A pontszámmal mért ferrit százalékos aránya megfelel a P_p. A táblázat azt mutatja, hogy a mérési pontosság a mért mezők számának növekedésével növekszik. Forrás: IIS Laboratórium

2.2.9.1. *A porozitás százalékos értékelésének néhány gyakorlati esetének bemutatása*

Az elemzési kép egy másik fontos alkalmazást is talál, nemcsak a fázisok meghatározásában, hanem a porozitás és/vagy a mátrixon belüli diszkontinuitás értékelésében is. A porozitás jelen lehet a hegesztésben, forrasztásban vagy valamilyen bevonatban (pl. termikus szórásos bevonat).

A hegesztési vagy forrasztási kötésekben a porozitás hibának minősül (az UNI EN ISO 6520-1 szabványban 200. szám), ezért az alkatrész alapján kiválasztott elfogadhatósági kritériumok alapján kell értékelni.

A porozitás százalékos arányának értékelését a röntgenvizsgálattal is értékelt vetített területen kell elvégezni (lásd ISO 5817); azonban a mikrográfiai vizsgálattal történő értékelés is elvégezhető, és kiegészítő jellegű.

A képelemző programok lehetővé teszik a pórusok és üregek maximális átmérőjének és területének lineáris mérését.

A porozitás mérésének eljárása a következő lépésekben foglalható össze:

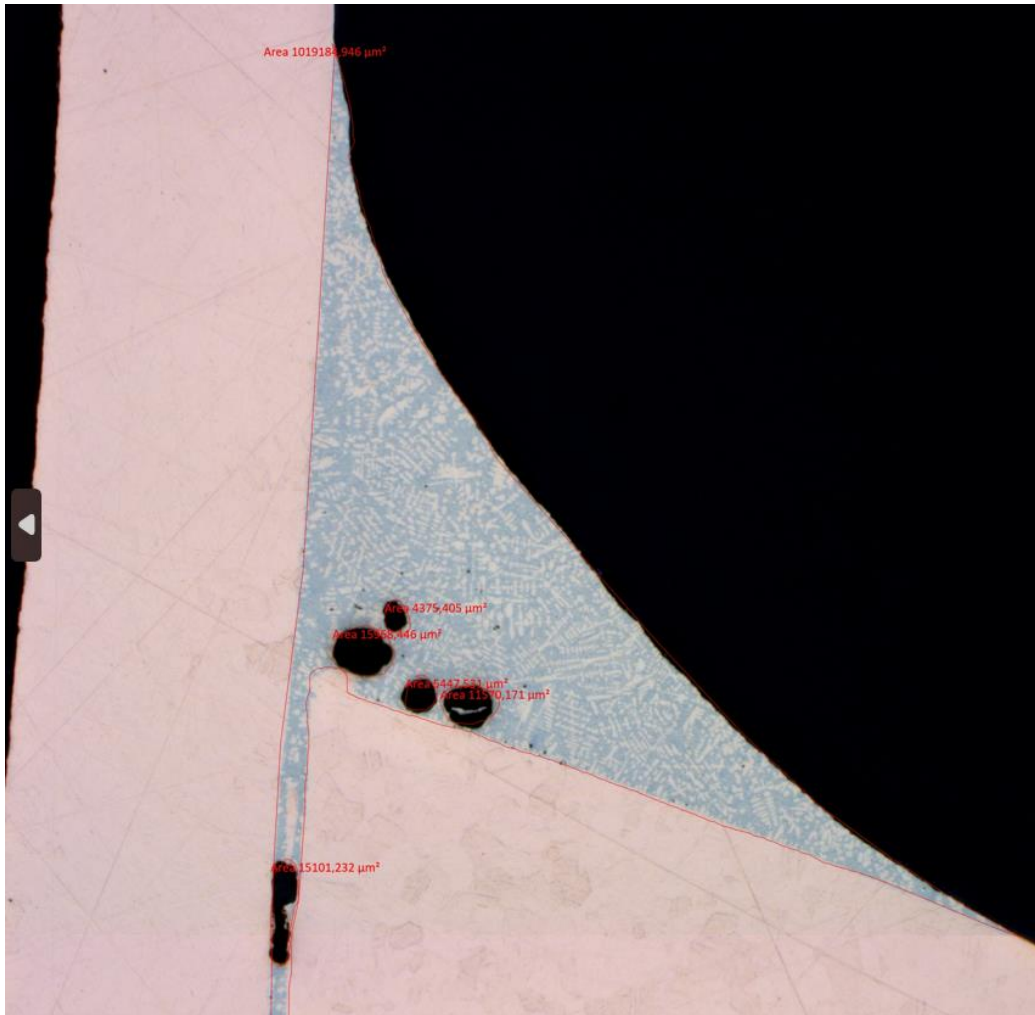
- Képfelvétel: Készítsen nagy felbontású képeket az érdekes területről optikai vagy elektronmikroszkóp segítségével. Győződjön meg arról, hogy a képek tiszták és jól fókuszáltak.



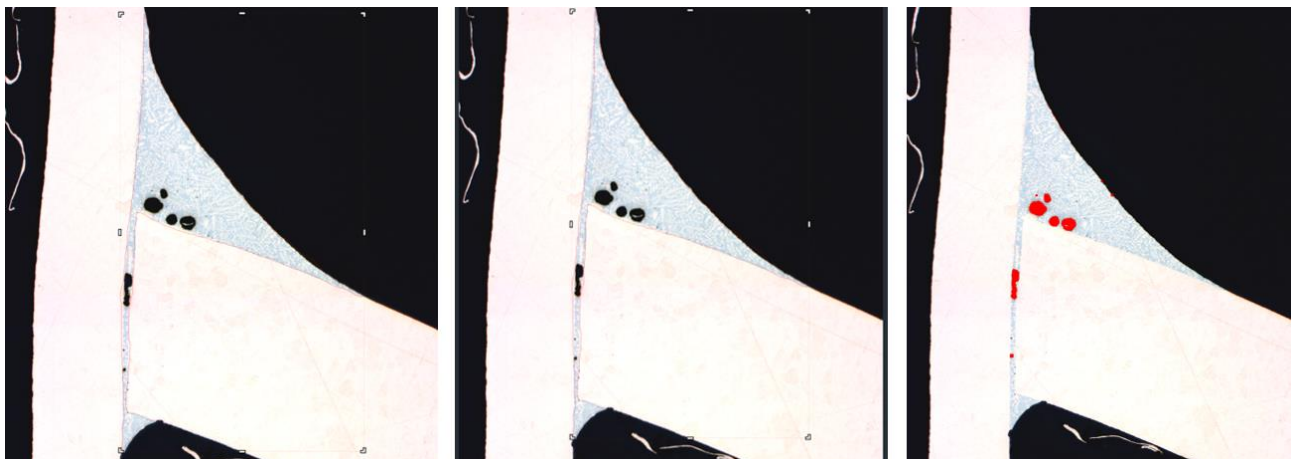
- Képelőkészítés: a felvett kép betöltése egy képfeldolgozó szoftverbe (pl. ImageJ vagy más speciális szoftver), és szűrő alkalmazása a kép zajának csökkentésére, például Gauss-szűrő vagy mediánszűrő.
- Binarizálás: Alkalmazzon binarizációs algoritmust a pórusos területek elkülönítésére a kép egyéb részeitől, és válasszon megfelelő küszöbértéket a pórusok és a mátrix megkülönböztetéséhez.
- Porozitásmérés: a teljes pórusfelület és a forrasztási zóna teljes felületének arányának kiszámítása, a porozitás százalékban kifejezve.
- Validálás és korrekció: a kapott eredmények manuális felülvizsgálata a szegmentálási vagy mérési hibák kijavítása érdekében.
- Jelentés és értelmezés: készítsen jelentést, amely tartalmazza a feldolgozott képeket, a kiszámított porozitást és minden egyéb releváns információt.

Ez az eljárás általános keretet biztosít a hegesztési vagy forrasztási kötések porozitásának vagy más részletek képfeldolgozással történő elemzéséhez. Fontos azonban, hogy ezt az eljárást az adott eset sajátos követelményeihez és a rendelkezésre álló berendezésekhez igazítsuk.

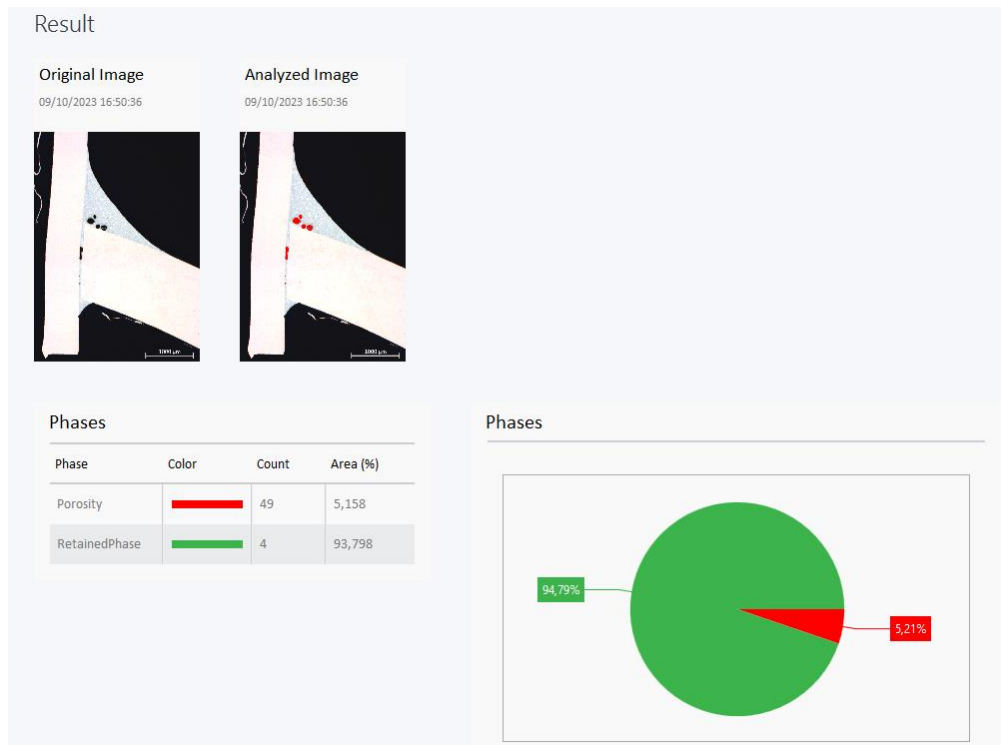
A következő képeken egy példa látható a rézötvözet forrasztott kötésében lévő porozításra alkalmazott elemzésre.



2.4.6. ábra - Rézötvözetből készült alkatrész forrasztási kötésének részlete. Képelemző programmal mért porozitási területek. Forrás: IIS Laboratórium



2.4.7. ábra - Rézötvözetből készült alkatrész forrasztási kötésének részlete. A porozitás százalékos aránya képelemző programmal mérve. Forrás: IIS Laboratórium



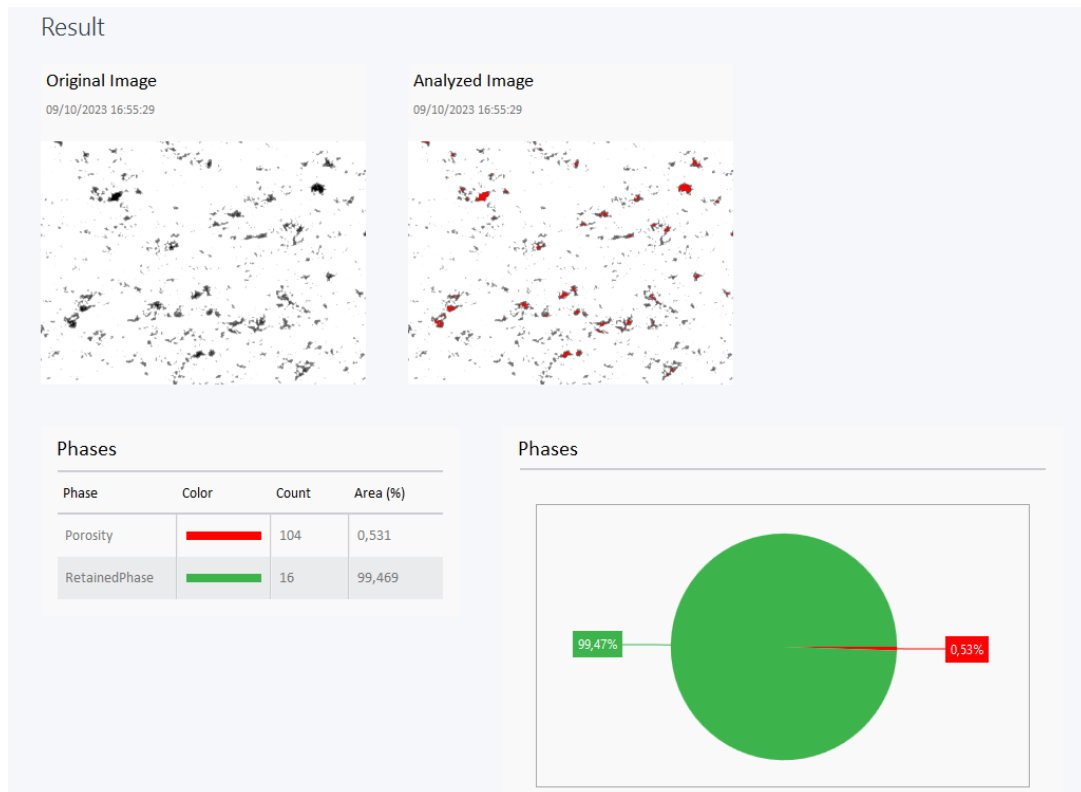
2.4.8. ábra - Részlet a képelemző programmal kapott jelentésből. A keményforrasztási kötés porozitásának százalékos aránya körülbelül 5,2 %. Forrás: IIS Laboratórium

Az alábbiakban a termikus permetezési módszerrel előállított bevonatban megjelenő porozitás szelvényben megfigyelt elemzése látható.

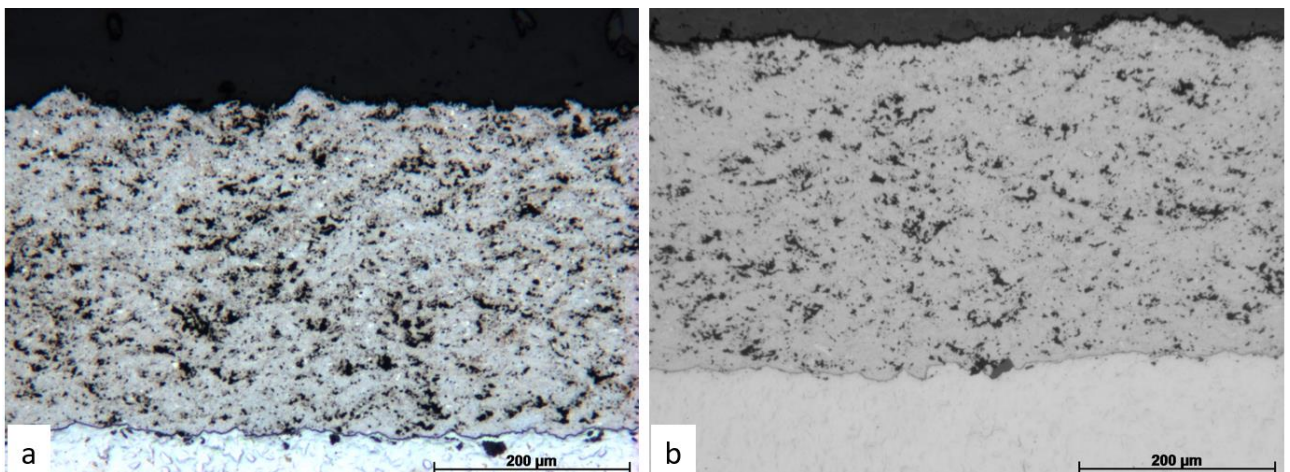
A termikus permetezési eljárással előállított bevonat porozitásának értékelése kritikus fontosságú a bevonat optimális minőségének, tartóságának és teljesítményének biztosítása érdekében. Ez hozzájárul a bevont tárgy épségének és hatékonyságának megőrzéséhez a működési környezetben.

A porozitás és a diszkontinuitás a következő jellemzőket befolyásolja:

- Keménység és szilárdság;
- Adhézió és kohézió;
- Korrózióállóság.



2.4.10- A képelemző program által készített jelentés részlete. A porozitás százalékos aránya a hőporlasztott bevonaton körülbelül 0,53%. Forrás: IIS laboratórium.



2.4.11. ábra - Összehasonlítás két mikrógráfiai metszet között, amelyek ugyanarról a hőporlasztott bevonatról készültek hagyományos metallográfiai előkészítéssel (a) és pontosabb metallográfiai előkészítéssel (b), mint például automatikus vágórendszerek használata, csökkentett szerelési és csiszolási, polírozási nyomás stb. esetén. Forrás: B: IIS laboratórium.



2.2.9.2. A szemcseátmérő mérés néhány gyakorlati esetének bemutatása

A szemcseátmérő mérés az iparban több okból is alapvető folyamat:

- Lehetővé teszi a gyártás során a minőségellenőrzést, hogy az anyag megfeleljen az előírt szabványoknak és előírásoknak.
- Az anyagok mechanikai és fizikai tulajdonságainak optimalizálása, mivel a szemcseátmérő és -eloszlás befolyásolhatja az olyan kulcsfontosságú tényezőket, mint a keménység, szilárdság, alakíthatóság és fáradásállóság.
- Megfelelő feldolgozási és hőkezelési módszerek kidolgozása a kívánt mikroszerkezet eléréséhez és az anyag teljesítményének javításához szükséges optimális paraméterek meghatározásával.
- Az anyag hosszú távú viselkedésének előrejelzése különböző üzemi körülmények és környezetek között.
- Új anyagok kutatása és fejlesztése, valamint a meglévők optimalizálása, ami lehetővé teszi a különleges alkalmazásokhoz kiváló teljesítményű anyagok tervezését.

Összefoglalva, a metallográfiai szemcsék mérés kulcsfontosságú a fémes anyagok mikroszkopikus szerkezetének megértéséhez és az anyagtulajdonságok optimalizálásához, ezáltal a minőség, a gyártási folyamatok hatékonyságának javításához, valamint a kohászat és az ipari alkalmazások fejlődéséhez.

A szemcseátmérő egyes európai vagy amerikai szabványok esetében különleges követelmény lehet, mint például az alábbi példák:

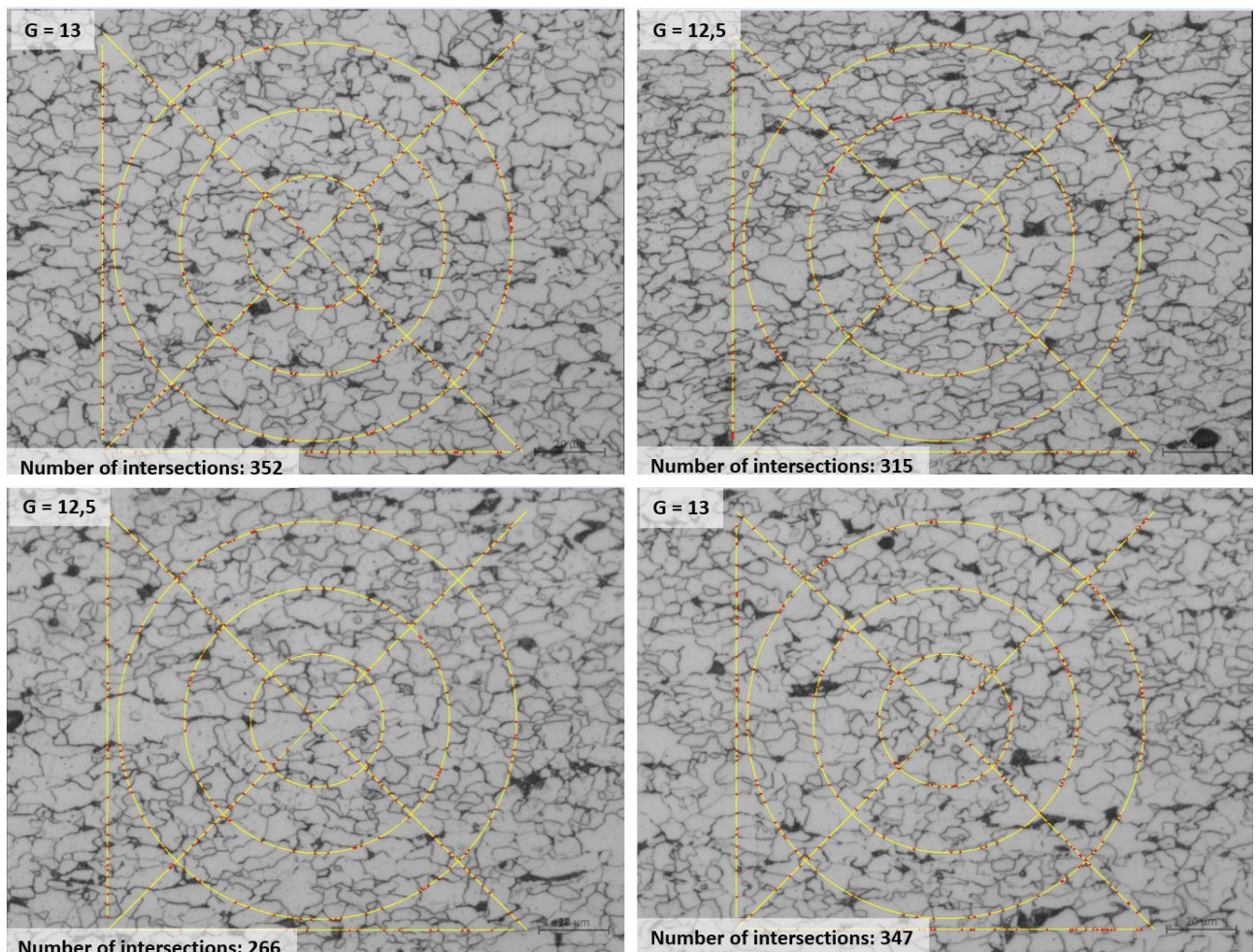
- A tokkeményített acélok gyakran rendelkeznek a szemcseátmérőre vonatkozó előírásokkal, hogy a tokkeményítési hőkezelés után ellenőrzött és egyenletes szerkezetet biztosítsanak (EN 10084).
- A króm-molibdén ötvözött acélok gyakran igénylik a szemcseátmérő ellenőrzését a jobb megmunkálhatóság és mechanikai teljesítmény biztosítása érdekében (ASTM A519).
- A hőkezelésre szánt acélokra vonatkozó előírások tartalmazhatnak szemcseátmérőre vonatkozó követelményeket, hogy a kezelés után a megfelelő mikroszerkezetet biztosítsák (ASTM A304).



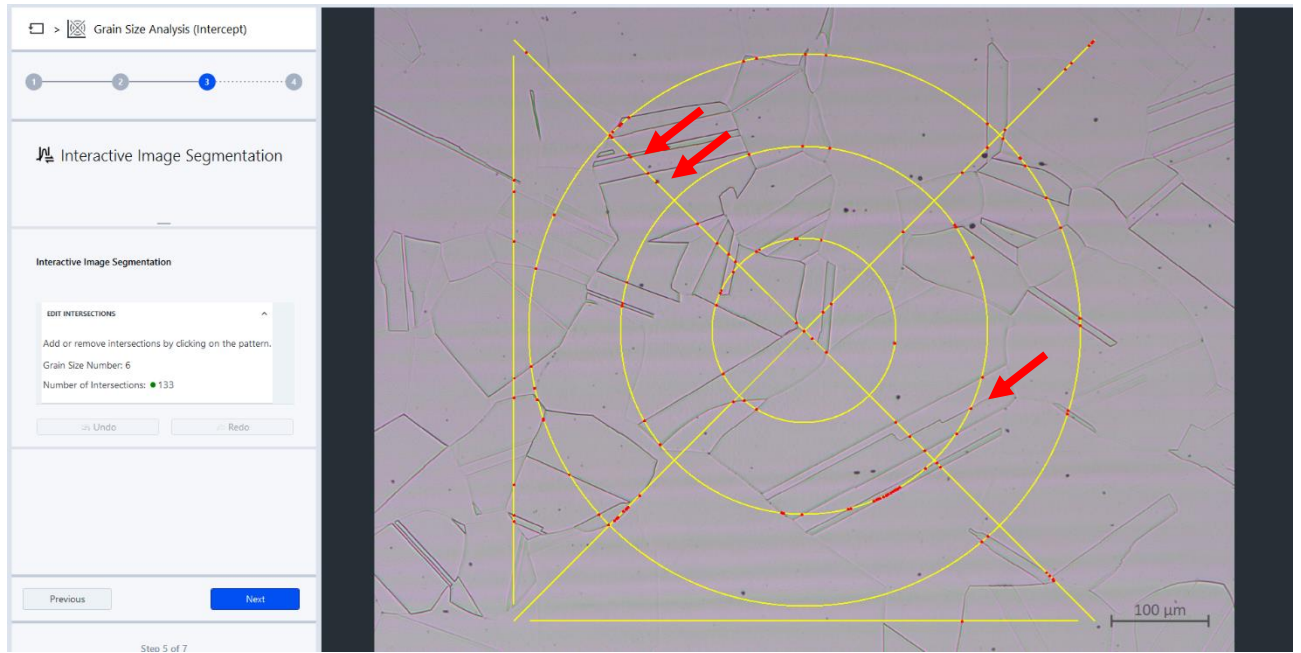
- A nagyszilárdságú rugók gyártásához használt acélok gyakran megkövetelik a szemcseméret szigorú ellenőrzését az egyenletes és megbízható teljesítmény biztosítása érdekében (EN 10270).

Gyakran a szemcseméretet a vállalati know-how alapján a termékleírásokban követelményként lehet meghatározni.

A következő képek néhány példát mutatnak a szemcsemérésre az előző bekezdésben leírt különböző módszerekkel.



2.4.12. ábra - Az *UNI EN ISO 643* szabvány szerint finom szemcsésű szénacélon az intercepciós módszerrel elemzett egyes mezők részletei. Forrás: IIS laboratórium.



2.4.12. ábra - A szuper ausztenites rozsdamentes acél (AISI 310LMO típus) szemcseméretének mérésének részletei az *UNI EN ISO 643* szabvány szerint. Az ábra a képelemzés mérési hibáját mutatja, amely abból adódik, hogy a szemcsehatárokat nem lehet megkülönböztetni a szemcseikerektől. Forrás: IIS laboratórium.

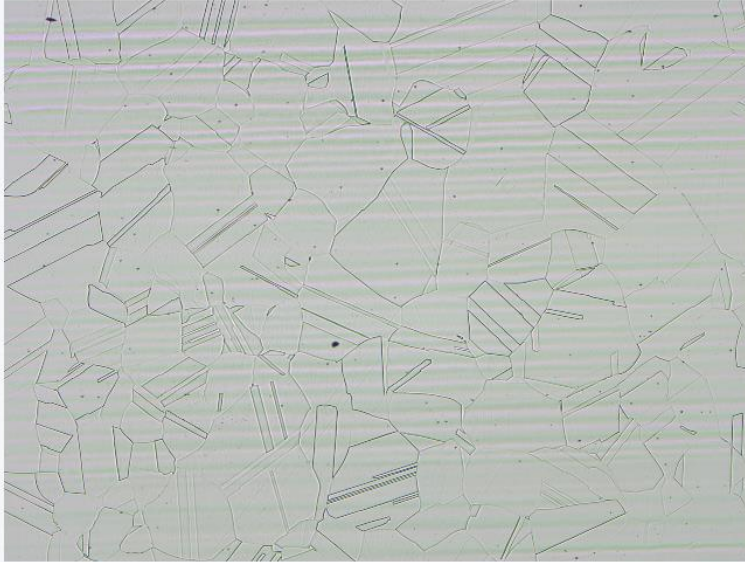
+



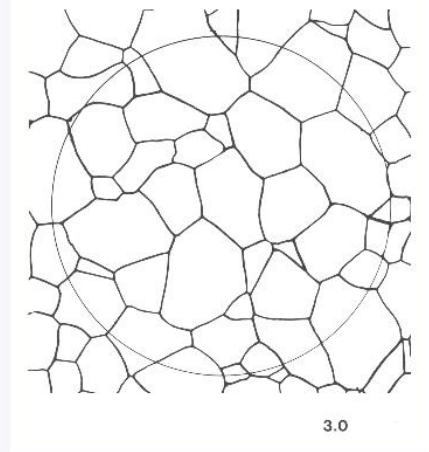
Result View

Image

12/10/2023 | 14:12:45



Selected Chart



Additional Results

Size
3.0

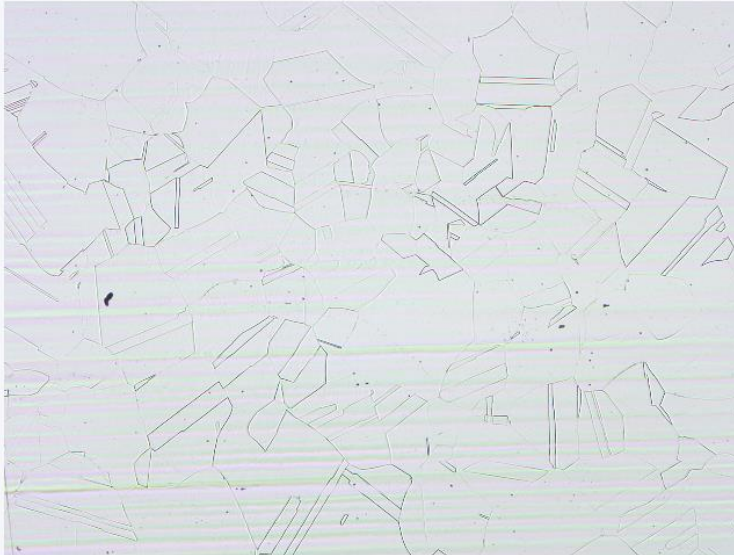
2.4.13. ábra - A szuper ausztenites rozsdamentes acél (AISI 316LMO típus) szemcseméretének összehasonlító módszerrel történő mérésének részletei az UNI EN ISO 643 szabvány szerint. Szálkátlan szemcsék (lapos marások). Forrás: IIS laboratórium.



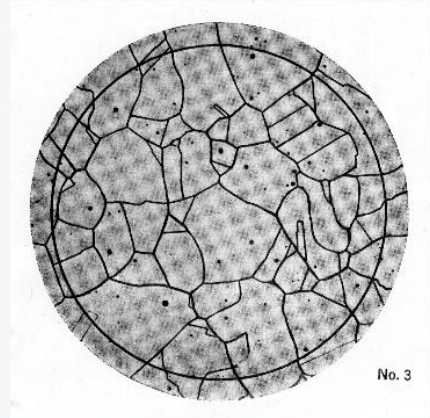
Result View

Image

12/10/2023 | 14:17:02



Selected Chart



Additional Results

Size
3

2.4.14. ábra - A szemcseméret mérésének részletei összehasonlító módszerrel egy super ausztenites rozsdamentes acélon (AISI 310LMO típus), az ASTM E112 szabvány szerint. Twin használt szemcseméretű lemez . Forrás: IIS laboratórium.

Hivatkozások:

[2.4.1] *Hegesztési kohászat és a rozsdamentes acélok hegeszthetősége - John C. Lippold és Damian J. Kotecki.*

[2.4.2] *WRC-1992 rozsdamentes acél hegesztett fémek alkotmánydiagramja*

[2.4.3] *ASTM E562:2011 - Szabványos vizsgálati módszerek a térfogatfrakció meghatározására szisztematikus kézi pontszámítással.*

[2.4.4] *ASTM E1245:2003 - Szabványos gyakorlat a fémek zárvány- vagy másodfázisú összetevő-tartalmának automatikus képelemzéssel történő meghatározására.*



[2.4.5] ASTM E112 - Szabványos vizsgálati módszerek az átlagos szemcseméret meghatározására.

[2.4.6] UNI EN ISO 643 - Acélok - A látszólagos szemcseméret mikrográfiai meghatározása.

[2.4.7] UNI EN 10084 - Töltött acélok - Műszaki szállítási feltétel.

[2.4.8] ASTM A519 - A varrat nélküli szén- és ötvözött acél mechanikai csövek szabványos előírása.

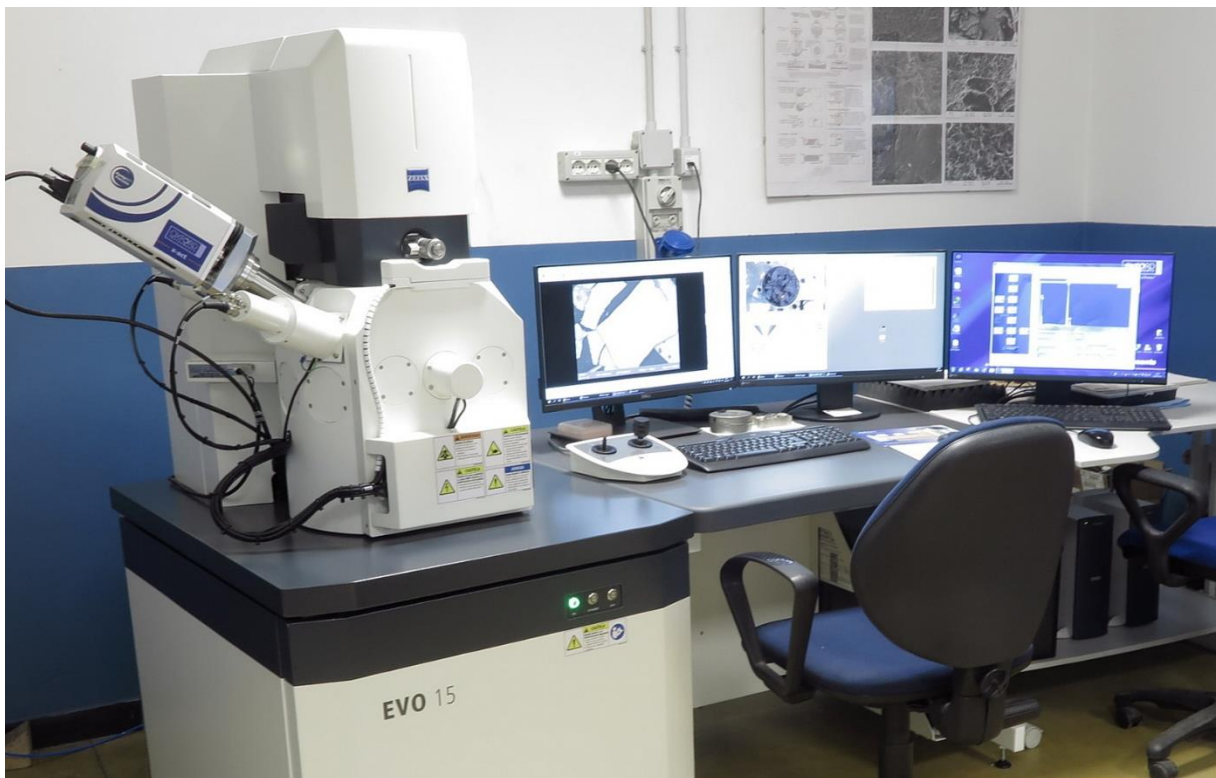
[2.4.9] ASTM A304 - Szabványos specifikáció a szén- és ötvözött acélrudakra, amelyek a végkikeményedési keményedési követelményeknek vannak kitéve.

[2.4.10] UNI EN 10270 - Acéldrót mechanikus rugókhöz - Szabadalmaztatott hidegen húzott ötvözetlen rugóacélhuzal.



- Bevezetés a pásztázó mikroszkópiába

A pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) lehetővé teszi heterogén szerves és szervetlen anyagok megfigyelését és jellemzését nanométeres és mikrométeres skálán. A SEM a minta nagy (vagy kis) felületi jellemzőinek megfigyelésére és jellemzésére szolgál. A metallográfiában a SEM információt szolgáltat a mikroszerkezetekről, a másodlagos/intermetallikus fázisok jellemzéséről, a tönkremeneteli mechanizmusokról stb.



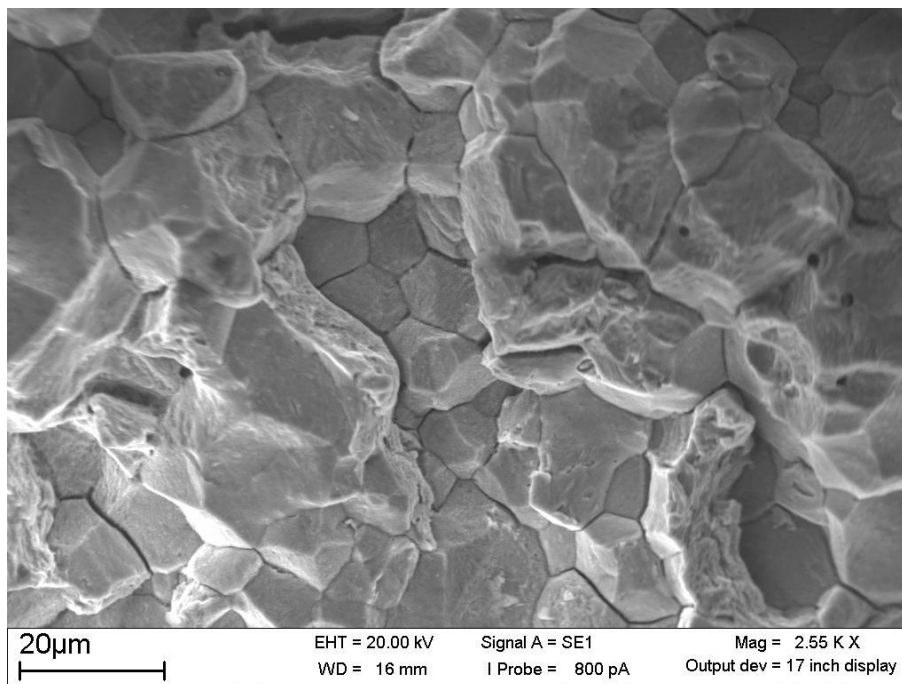
2.5.1. ábra - egy pásztázó elektronmikroszkóp általános nézete. Forrás: Forrás: IIS Laboratórium

A SEM úgy készít képeket a mintáról, hogy a felületet fókuszált elektronsugárral pásztázza. Az elektronsugarat egy katódról generálják, és nagy feszültség (1000 és 30000 V között) gyorsítja a mintára; a katód lehet forró katód, amely termionikus hatásra bocsátja ki az elektronokat (volfrámszál, lantán-hexaborid LaB₆), vagy hideg katód, amely elektrosztatikus térben bocsátja ki az elektronokat (téremissziós pisztoly FEG).

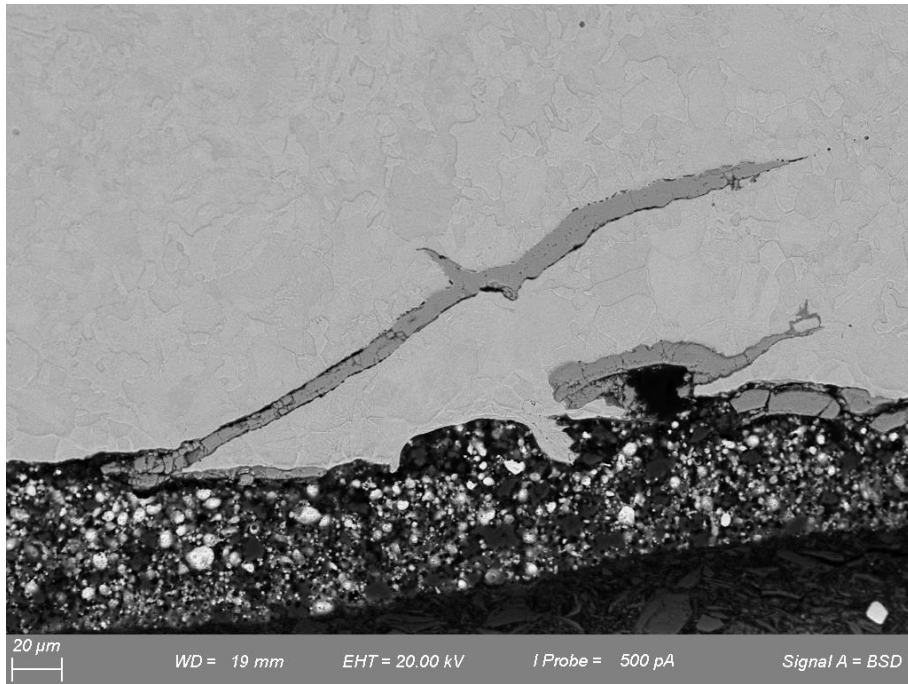
Amikor az elektronok (primer elektronok) a minta fémfelületére csapódnak, a következő jelek keletkeznek:



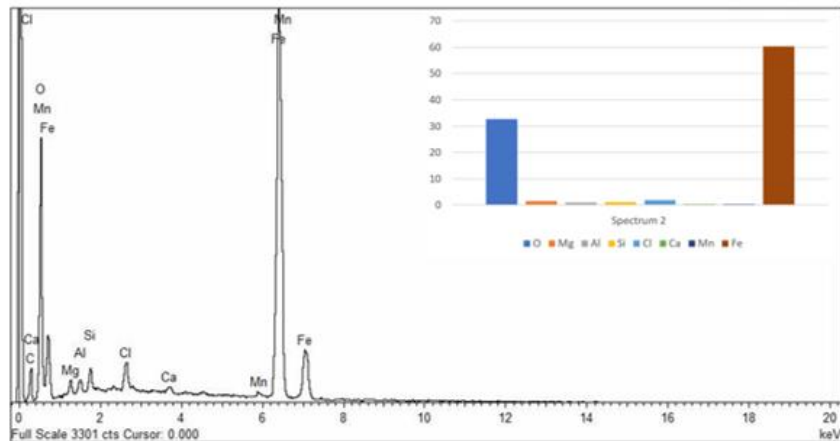
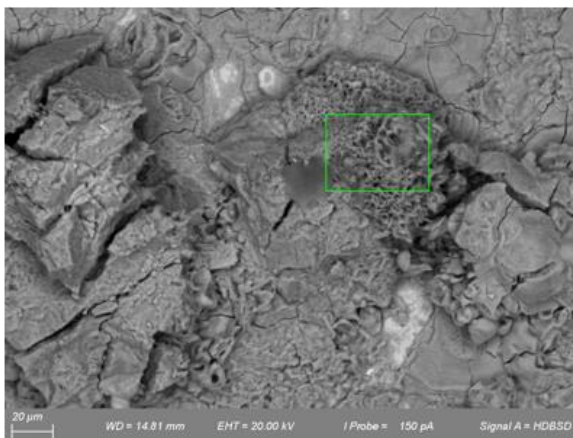
- Az elektronsugár és a minta közötti rugalmatlan kölcsönhatások által létrehozott másodlagos elektronok (SE) csak a felszíni vagy felszín alatti rétegeket érintik. Ezek lehetővé teszik a minta felületének morfológiai és topográfiai képének kialakítását.
- Az elektronok és az atomok közötti rugalmas ütközések által létrehozott visszaszórt elektronok (BSD) változásokat idéznek elő az elektronok pályáján, a nagy atomok több elektront szórnak, mint a kis atomok, így az atomszám (Z) növekedésével nagyobb jelet adnak. Ez az elv lehetővé teszi, hogy a kémiai összetételről minőségi információt tartalmazó képeket kapjunk.
- Az elektronok és az atomok kölcsönhatásából keletkező röntgenfotonok. Minden egyes röntgenfotonra jellemző egy frekvencia (ν) és egy hullámhossz (λ), amely jellemző arra az elem atomjára, amelyből keletkezett.



2.5.2. ábra - egy szemcsék közötti törés részlete, amelyet szekunder elektronokkal (SE) készült SEM-mel nyertünk. Forrás: IIS laboratórium.



2.5.3- ábra: egy mikrográfiai metszet, amelyet SEM-mel, visszaszórt elektronokkal (BSD) nyertek. Forrás: IIS laboratórium.



2.5.4. ábra - példa a lerakódások EDS-elemzésére. Forrás: IIS Laboratórium.



A SEM szondái rögzítik a jelet, és az adatokat az adatgyűjtő rendszerbe (vezérlőpult) küldik, ahol azokat feldolgozzák, hogy háromdimenziós képeket és az összetételre vonatkozó információkat kapjanak.

A SEM előnyeit az optikai mikroszkópiával (OM) szemben a következő pontokban ismertetjük:

- Nagy mélységélesség (DOF) - 3D képek topográfiai információkkal.
- Nagyon nagy nagyítások (> 150000x).
- Nagy felbontású képek (3-10 nm).

A SEM-műszereket gyakran EDS (energiadiszperzív röntgenspektroszkópia) rendszerrel is felszerelik, amely lehetővé teszi a monitoron megfigyelt jellemzők kémiai összetételének elemzését.

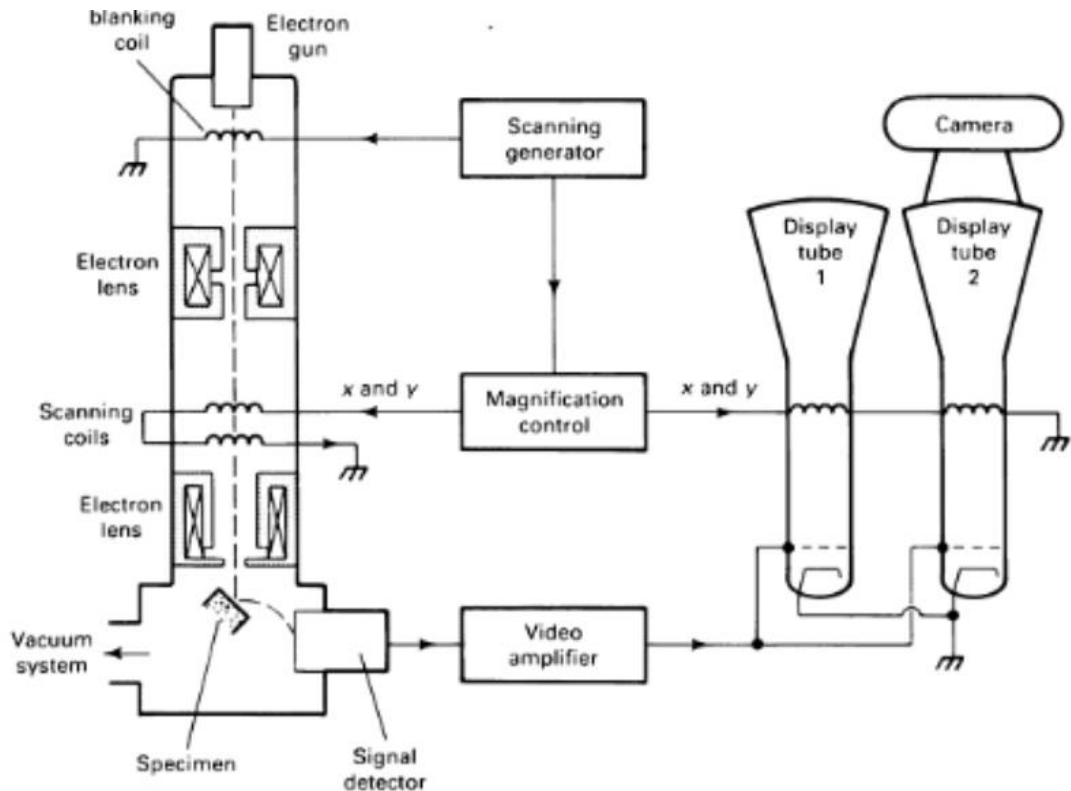
A SEM más típusú szondákkal is felszerelhető, mint például:

- EBSD (elektron visszaszórt diffrakció)
- SAN (pásztázó auger nanoszondák)
- WDS (hullámhossz-diszperzív röntgenspektroszkópia).

▪ **Működési módok**

A SEM két fő alkotóeleme az elektronoszlop és a vezérlőpult. Az elektronoszlop egy elektronágyúból és elektronlencséből áll, amelyek befolyásolják a vákuumoszlopon lefelé haladó elektronok útját. Az oszlop alját általában vákuumszivattyúkkal veszik fel, amelyek körülbelül 10^{-4} Pa vákuumot állítanak elő. A vezérlőkonzol egy katódsugárcsőből (CRT), képernyőből, gombokból és számítógépes billentyűzetből áll, amely az elektronsugarat vezérli.

Az elektronágyú elektronokat generál, és 1000-30000 V közötti gyorsítófeszültségre gyorsítja őket. A volfrámszálas ágyúból származó folt mérete túl nagy ahhoz, hogy éles képet lehessen készíteni, hacsak nem használnak elektronlencsét a nagyítás csökkentésére, akkor sokkal kisebb fókuszált elektronfoltot hoz létre a mintán.



2.5.5. ábra - A pásztázó elektronmikroszkóp tipikus felépítése. Forrás: A mikroszkópos mikroszkópiás mikroszkópiás mikroszkóp: [ASM HANBOOK - 9. kötet - Metallográfia és mikroszerkezetek

A beolvasott képet pontról pontra alakítják ki. Az eltérítő rendszer hatására a sugár egy sor diszkrét pontra mozog egy vonal mentén, majd egy másik vonal mentén, amely az első alatt van, és így tovább, amíg egy téglalap alakú "raszter" nem keletkezik a mintadarabon.

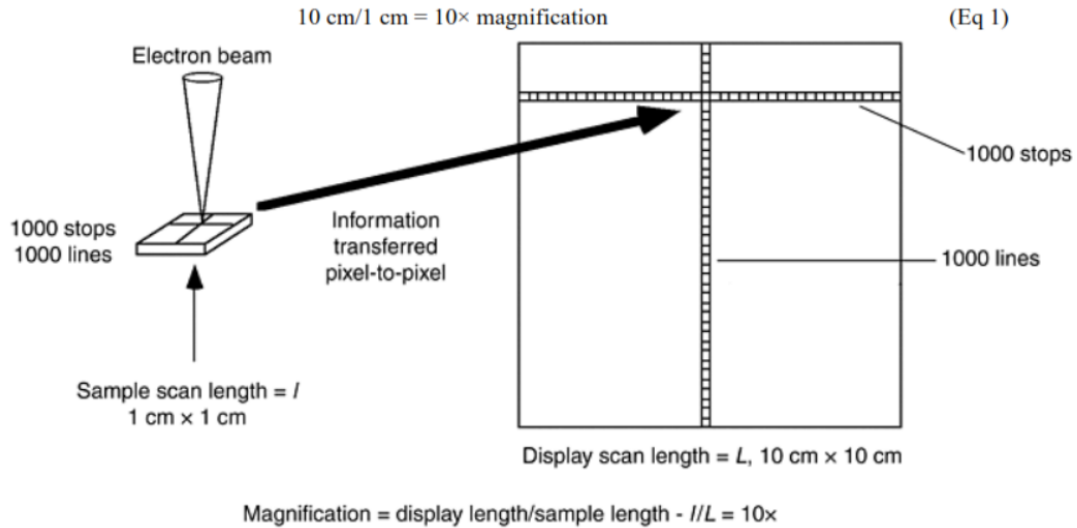
Ezzel egyidejűleg ugyanaz a szkennelési generátor hasonló raszteres képet hoz létre a képernyőn.

Két pár elektromágneses eltérítő tekercset használnak a sugárnak a mintadarabon való áthaladásához.

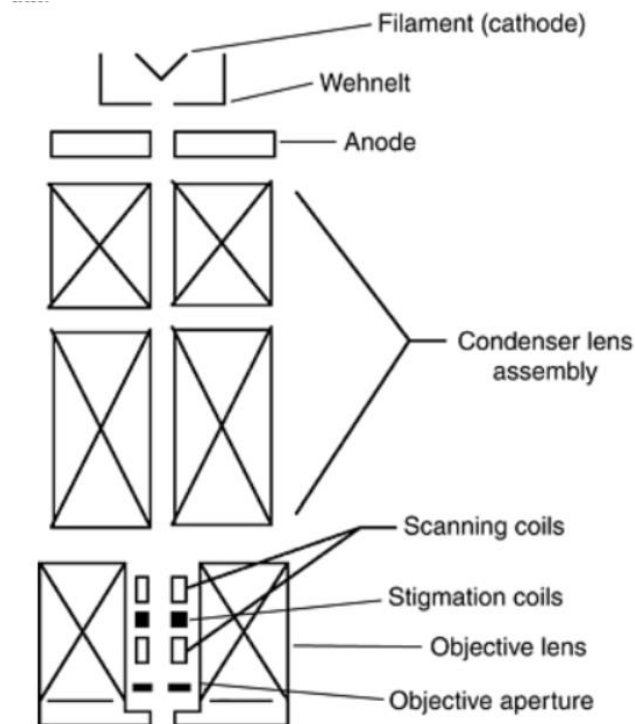
Az első tekercspár eltéríti a sugarat a mikroszkóp optikai tengelyétől, a második tekercspár pedig a letapogatás forgáspontjánál visszahajlítja a sugarat a tengelyre. A kép M nagyítása a képernyőn megjelenő raszter hosszának és a mintadarabon lévő raszter megfelelő hosszának hányadosa. Például a mintán lévő $100\ \mu\text{m}$ széles raszter egy $10\ \text{cm}$ széles képernyőn megjelenítve 10000 -szeres nagyítást eredményez.



Ha a kezelőnek nagyobb képnagyításra van szüksége, a pásztázó tekercsek kevésbé gerjesztettek, és a sugár kisebb távolságra térül el a mintán.



2.5.5. ábra - annak szemléltetése, hogy a mintán lévő négyzetrácsról nyert információ hogyan kerül át a képernyőre a nagyítás előállításához. [2.5.2] Pásztázó elektronmikroszkópia és röntgenmikroanalízis - Harmadik kiadás - Joseph Goldstein. Dale Newbury, David Joy, Charles Lyman, Patrick Echlin, Eric Lifshin, Linda Sawyer és Joseph Michael.



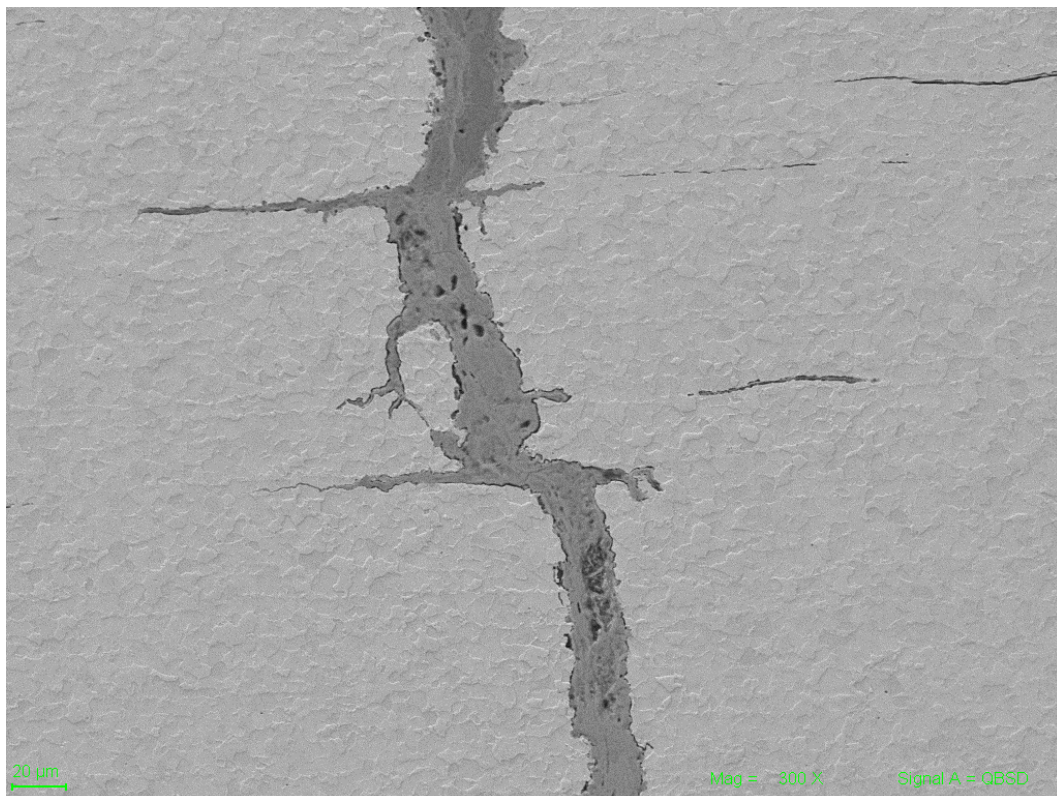
2.5.6. ábra - egy tipikus pásztázó elektronmikroszkóp vázlata. Forrás: Vö: [ASM HANDBOOK - 11. kötet - Hibaelemzés és -megelőzés

A SEM-képek készítéséhez leggyakrabban használt két jel a szekunder elektronok (SE) és a visszaszórt elektronok (BSE); mindkét jelet akkor gyűjtik be, amikor a detektor előtt lévő kollektor képernyőjére pozitív feszültséget kapcsolnak. A szcintillátor/fotomultiplikátor által befogott elektronokat ezután a megjelenítéshez felerősítik.

Ahogy a sugárnyaláb elektronjai a mintadarabba csapódnak, negatív töltésű részecskéként kölcsönhatásba lépnek a minta atomjainak elektromos mezejével. A protonok pozitív töltése az atommagban koncentrálódik, míg az atomelektronok negatív töltése sokkal jobban eloszlik a héjszerkezetű sugárelektronban. Az elektronsugár és az atomok közötti kölcsönhatás a sugárelatronokat új pálya mentén eltérítheti ("rugalmas szórás", kinetikus energiavesztés nélkül), a rugalmas szórás elhagyhatja a mintát (visszaszórás); a rugalmas szórás valószínűsége az atomszámmal (Z) korrelálva nő. A nehezebb atomok sokkal erősebb pozitív töltéssel rendelkeznek, az elektron energiája az atomszám (Z) csökkenésével nő, megközelítőleg $1/E^2$.



A rugalmas szórással egyidejűleg a sugárnyaláb elektronjai energiát veszítenek, és azt különböző módokon átadják a minta atomjainak (rugalmatlan szórás), hasznos képalkotó jeleket, például másodlagos elektronokat és analitikai jeleket, például röntgensugarakat generálva. A visszaszórt elektronok azok az elektronok, amelyek a mintákról szóródnak és összegyűjthetők, amikor az elsődleges sugár a minta felületét pásztázza. A minta felületéről összegyűjtött visszaszórt elektronok képe katódsugárcsővön (CRT) jelenik meg és rögzíthető. A visszaszórás során némi elektronenergia-veszteség keletkezik. Minél magasabb a mintában lévő elemek atomszáma, annál nagyobb a visszaszórás mértéke (kisebb az energiaveszteség). Ez azt jelenti, hogy a magasabb atomszámú elemek, mint például a vas ($Z = 26$), fényesebbnek tűnnek a CRT visszaszórt elektronképén, mint az alacsonyabb atomszámú elemek, például az oxigén ($Z = 8$). A 2.5.5. ábrán egy példa látható az oxidskála behatolásának visszaszórt elektronképére. Az acél egy világosszürke alkotóelemként, az oxid pedig két sötétebb szürke alkotóelemként jelenik meg.



2.5.7. ábra - egy repedés részlete a pásztázó elektronmikroszkóppal és BSE-jelekkel. Forrás: IIS laboratórium.

A másodlagos elektronok viszont az elsődleges (sugárnyaláb) elektronok és a minta atomjaiban található elektronok kölcsönhatásának eredményei. A primer elektronok képesek kiszorítani az

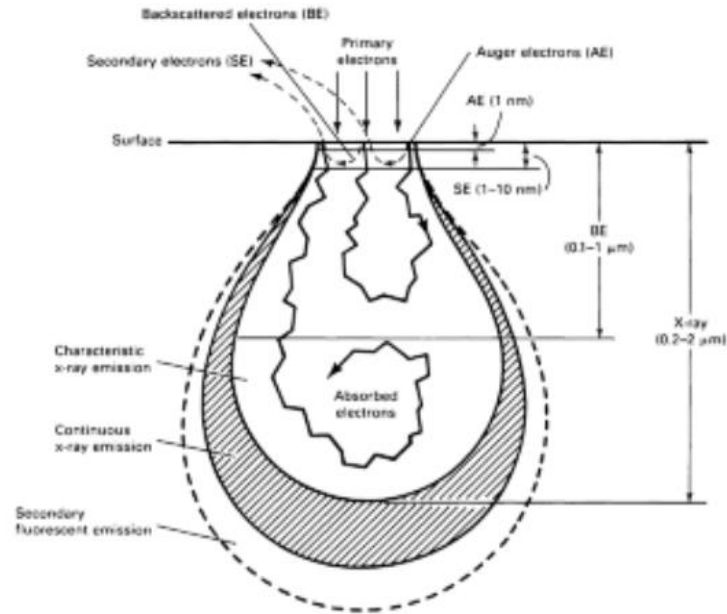


atomokból a lazán tartott orbitális elektronokat. Ezeket az elmozdult elektronokat másodlagos elektronoknak nevezzük. Az SE-nek sokkal kisebb az energiája, mint a korábban ismertetett visszaszórt elektronoknak. Ez azt jelenti, hogy a másodlagos elektronok csak a minta felszíni és felszínközeli régióiból detektálhatók, mivel a mélyebb régiókból származó elektronokat a minta könnyen elnyeli. Így a szekunder elektronok a katódsugárcsőben olyan szekunder elektronképet eredményeznek, amely feltárja a felületi topográfiát, és fokozott mélységélességű képet eredményez.

Ezen a mikrofelvételen a repedezett felületen lévő számos üregben zárványok láthatók.

A mintából röntgensugárzás is kibocsátásra kerül, mivel az elsődleges és a visszaszórt elektronok kölcsönhatásba lépnek a mintában lévő atomok belső héjelektronjaival. A primer/visszaszórt elektronoknak elegendő mozgási energiájuk van ahhoz, hogy a belső héjelektronokat elmozdítsák pályájukról. Ahol egy elektron kiszorul egy adott belső elektronhéjból, ott röntgenfoton bocsátódik ki, amikor egy elektron a helyére lép. Ezeknek a röntgensugaraknak az egyes atomokra jellemző energiájuk (és hullámhosszuk) van. Emiatt nevezzük őket karakterisztikus röntgensugárzásnak. Ez azt jelenti, hogy minden egyes begyűjtött röntgensugárzásnak olyan energiája és hullámhossza van, amely a mintában jelen lévő adott elemre jellemző. Az ilyen röntgensugarak gyűjtésének fontossága abban áll, hogy így összetételre vonatkozó információk nyerhetők.

Általában a SEM-ben csak a röntgensugárzás energiáját elemzik. Ezt a technikát energiadiszperzív spektroszkópiának vagy EDS-nek nevezik. Az intenzitást a függőleges tengelyen, a röntgenenergiát pedig a vízszintes tengelyen ábrázolják. Ez az elemzés jelzi a jelen lévő elemeket, de nem mutatja meg az elemek eloszlását. Egyes SEM-ek képesek EDS röntgentérképet készíteni a minta felületén található elemekről.



2.5.8. ábra - a SEM-ben használt elektronsugárral gerjesztett elektronok és sugárzások típusai.
Forrás: [2.5.1] ASM HANBOOK - 9. kötet - Metallográfia és mikroszerkezetek

- **A kontraszt formái**

- *Topográfiai kontraszt*

A legkifejezettebb topográfiai kontraszthatás a másodlagos elektronhozam és a visszaszórás együttható függvénye a felületi elem és az elsődleges elektronsugár közötti szögtől. A keletkező kontraszt analóg egy optikai képpel, amelyben a fény a detektorból származik, és a megfigyelési irány a beeső elektronsugár iránya. A sztereoszkópikus benyomást a detektortól elrejtett régiókban lévő árnyékok fokozzák.

- *Anyagi kontraszt*

Az anyagkontraszt vagy atomszám-kontraszt a visszaszórt elektron és a mintában lévő atomok közötti anelasztikus kölcsönhatás eredménye.



Az anyagkontraszt hasznos a fázisok minőségi azonosítására, és különösen alkalmas a mikroszerkezeti geometria képelemzéssel történő mennyiségi értékelésére. Az atomszám-kontrasztot általában elhomályosítja a topológiai kontraszt, és a szekunder elektronok esetében csak kedvező esetekben, például ideálisan sík felületek esetén elég erős.

A visszaszórt elektronok topográfiai kontrasztja sokkal kevésbé kifejezett, mint a szekunder elektronoké, és gyűrű alakú detektorok használatával jelentősen csökkenthető, még akkor is, ha a felület érdes. A peremhatások továbbra is problémát jelenthetnek, és ideális esetben síkpolírozásra van szükség olyan metallográfiai minták esetében, ahol a fázisok hasonló kémiai összetételűek.

Az átlagos atomszámban 1-nél kisebb különbség is elegendő az enyhe anyagkontraszthoz, legalábbis az atomszámok alsó tartományában, ahol a kontraszt kifejezettebb.

- *Elektroncsatornázási minták*

Az elsődleges elektronok a kristályrácsba olyan mélységig hatolnak be, amely a különböző kristályrajzi irányok mentén az atomsűrűségtől függ. Ha az elektronok az atomsorok közötti csatornákat követik, akkor csökken a kilépésük valószínűsége. Sok Bragg-feltétel kis szögváltozásokkal teljesül. Az elsődleges elektronsugárnak a minta egy pontja körüli ringatása kis területről ($< 10 \mu\text{m}$) diffrakciós vonalakat hoz létre. Ezek a kiválasztott területű elektroncsatornás mintázatok olyanok, mint a TEM segítségével kapott Kikuchi-mintázatok.

A kristályorientációra, a szemcsehatárokra, az ikerkre és más kristályjellemzőkre vonatkozó információk egy 50 nm-nél kisebb vastagságú felületi rétegből nyerhetők.

- *Élkontraszt*

A peremeknél az elektronok menekülésének területe deformálódik, és a pozitív peremeknél több másodlagos elektron és visszaszórt elektron tud kilépni a mintából a csonka felület nagyobb felületén keresztül; a negatív peremeknél az elektronhozam további abszorpció miatt csökken. Ez a hatás elmosja az élek pontos alakját, és a primer elektronok energiájának csökkentésével csökkenthető. Az élkontraszt azonban néha előnyös. A peremek azonos fényességű és kis részecskékkel rendelkező fazetták és fázisok között detektálhatók. A szemcsehatárok a maratás után sötét vonalként jelennek meg. A különböző keménységű fázisok közötti kontrasztot úgy lehet elérni, hogy polírozással különböző mértékű mikrorezgáltságot állítunk elő.



▪ **Felbontás és kontrasztnövelés**

A SEM minden egyes elemének megvannak a maga felbontási és zajjellemzői, amelyek meghatározzák a képminőséget. A SEM kezelőjének ismernie kell a részleteket, hogy optimalizálni tudja a képminőséget egy adott minta és vizsgálati cél szempontjából.

Például a szekunder elektronok jel-zaj viszonya az elsődleges elektronsugár intenzitásával párhuzamosan nő, ami az elektronhozam és a pásztázási idő növekedéséhez vezet.

A foltméretet, a gyorsítófeszültséget, a munkatávolságot és a pásztázási időt szabályozó kondenzátorlencsék áramát a kezelő állíthatja be.

• **Szekunder elektron képalkotás**

Az SE üzemmódban készített képek mélységfelbontása annak köszönhető, hogy a szekunder elektronok kis térfogatból gerjesztődnek. A pásztázó mikroszkóppal nyert SE-kép felbontása a primer elektronok energiaeloszlásának szélességétől függ, amely a kromatikus aberrációt, a lencse aberrációját, a pásztázó rendszer pontosságát, a detektorok hatékonyságát és az erősítők minőségét szabályozza. Egyéb tényezők, mint a padló vagy a szivattyúrendszer rezgése ronthatják a képminőséget.

A kezelő által optimalizálandó tényezők közé tartozik a primer sugár intenzitása (I) és gyorsítófeszültsége (EHT), a végső apertúra mérete és annak távolsága a minta felületétől (WD), a pásztázási sebesség és a minta felületének dőlése. A nagy fókuszmélységhez, amelyre általában a törött felületeknél kis nagyítás mellett van szükség, kis apertúrát és nagy munkatávolságot kell választani. Nagyobb nagyítás esetén rövid munkatávolságot és nagy objektíváramot kell alkalmazni a foltméret minimalizálása érdekében.

A kis foltméret kis elektronáram kibocsátását eredményezi a minta felületéről, ami csökkenti a jel-zaj arányt.

A primer sugár gyorsítófeszültségének optimális megválasztása a minta típusától függ. Alacsony gyorsítófeszültségeknél a sugár érzékenyebbé válik a szennyeződésekre és a tálcsa mező aberrációra. A nagy sugárenergia azonban kevésbé alkalmas a topográfiai kontraszt nagy felbontású előállítására.

Általában a gyorsítófeszültséget csökkenteni kell a nem vezető minták megfigyeléséhez vagy a topográfiai felbontás javításához.

- **Visszaszórt elektronok képalkotása**

A visszaszórt módus felbontása sokkal kisebb, mint a másodlagos módusé, mivel az elektronok nagyobb szélességű és mélységű menekülése miatt. Az információs mélység erősen függ a gyorsítófeszültségtől, és az atomszámmal vagy sűrűséggel csökken.

A gyorsítófeszültség csökkentésével nagy felbontású BE-képek készíthetők; azonban a BE használatával a fémfelületekről származó információ mélysége legalább egy nagyságrenddel nagyobb, mint az 5 KeV-os szekunder elektroné, és a gyorsítási energiát tovább kell csökkenteni. Ehhez nagy hatásfokú detektorokra van szükség.

- **A mintákra vonatkozó követelmények**

A minták SEM-hez való előkészítéséhez általában nincs szükség különleges technikákra. A törésmintákat a felület szennyeződése nélkül olyan méretűre kell vágni, hogy beférjenek a mikroszkóp mintakamrájába.

A mintadarabot egy fémcsonkhoz lehet ragasztani, amely a mintakamrába illeszkedik. Általában egynél több próbadarab helyezhető a kamrában.

A SEM-ben rögzített metallográfiai próbatesteket is használnak, a fémpéldányt a fémből készült mintatartóhoz "áthidaló", speciálisan elkészített vezető festékeket használnak, hogy elektromosan földeljék a mintát. Ha nincs elektromos földelés, az elektromos töltések felhalmozódnak a minta felületén, és képalkotási problémákat okoznak. Valójában bizonyos mintákon, például az aranyon, mivel az kiváló elektromos vezetőképességű, porlasztással lerakódik a felületre, hogy elvezesse a felesleges elektronokat és javítsa a másodlagos képet. A vezetőképes porlasztás a nem vezető felület esetében elengedhetetlen.

Ha a nem fémes zárványok összetételének kvalitatív elemzéséhez EDS-elemzésre van szükség, fontos, hogy a mintát ne polírozzuk alumínium- vagy szilícium-dioxid-polírozó vegyületekkel, mert ezek szennyezhetik a mintát. A gyémántcsiszoló vegyületek általában megfelelőbbek, kivéve, ha karbidokat vizsgálunk.

- **EDS-elemzés**

Az EDS (energiadiszperzív röntgenspektroszkópia), más néven energiadiszperzív röntgenanalízis, a pásztázó elektronmikroszkópokban (SEM) alkalmazott analitikai technika a minták kémiai összetételének meghatározására. Ez a technika különösen alkalmas arra, hogy információt nyerjünk az elemek mintán belüli eloszlásáról és a jelen lévő elemek azonosítására.

Amikor a nagy energiájú elektronsugár elektronjai a mintára csapódnak, elektronokat távolíthatnak el a minta atomjainak pályáiról. Ez a kölcsönhatás üres helyeket hoz létre az atomi héjakban.

Az atomhéjakból hiányzó elektronokat magasabb héjakból származó elektronokkal pótolják. Ilyenkor energia szabadul fel az érintett elemekre jellemző röntgensugárzás formájában. A belső üres pályák betöltésére eső elektronok az egyes elemekre jellemző energiájú röntgensugarakat bocsátanak ki.

A meghatározott energiájú csúcsokból álló röntgensugár-spektrumokat energiadisziperzív detektorral detektálják. Ez a detektor a mintából az elektronsugárral való kölcsönhatás után kibocsátott röntgensugarak energiáját méri.

Minden elemnek egyedi röntgensugárspektruma van, külön energiacsúcsokkal (saját azonosító csúcs). A detektorban mért energiacsúcsok lehetővé teszik a mintában lévő elemek azonosítását.

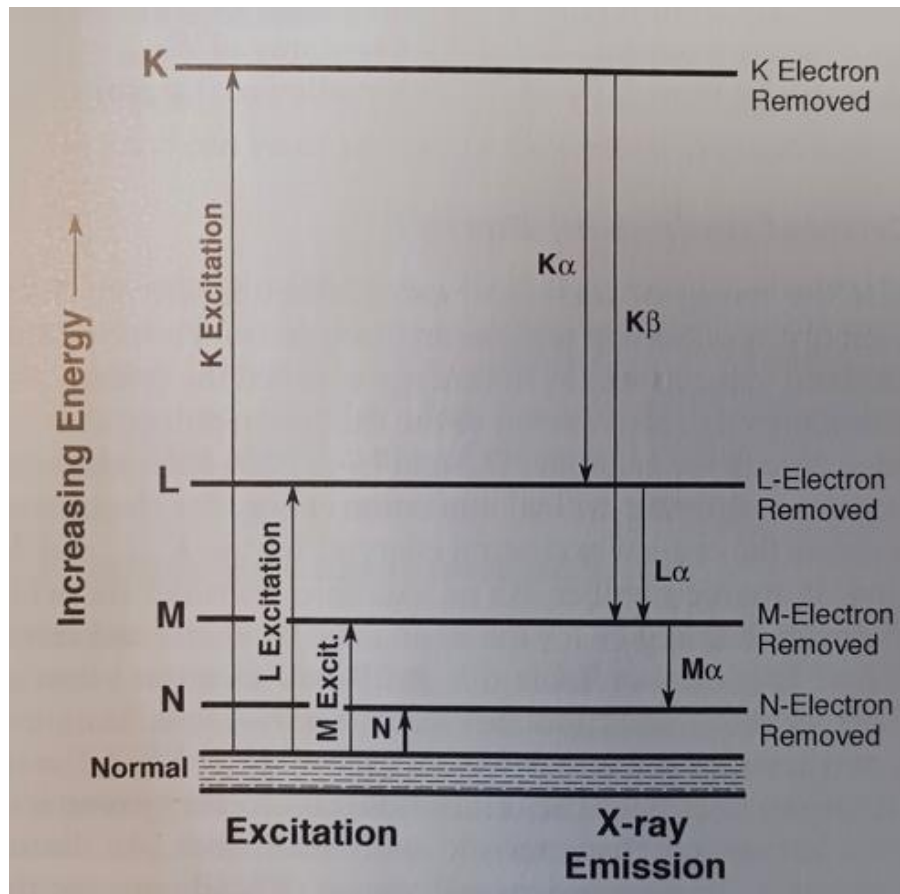
A SEM-ben elemzett röntgensugarak energiája általában 0,1 és 20 KeV között van.

A beeső sugárnyaláb elektronja legalább E_K -ot veszítve hagyja el az atomot, ahol E_K az elektron kötési energiája a K héjhoz. A kilökött pályájú elektronok a kölcsönhatástól függően néhány eV-től néhány KeV-ig terjedő mozgási energiával hagyják el az atomot. Maga az atom gerjesztett állapotban marad, a belső héjból hiányzó elektronnal. Az atom kb. 1 ps alatt visszatér alapállapotába (legalacsonyabb energia) a belső héj üres helyét kitöltő külső héjelektron korlátozott számú megengedett átmenete révén. A héjelektronok energiái (atomi energiaszintek) élesen meghatározott értékekkel rendelkeznek, amelyek egy adott elemre jellemzőek. Az elektrónhéjak közötti energiakülönbség az egyes elemekre specifikus vagy jellemző érték.

A felesleges energia a relaxáció során kétféleképpen szabadulhat fel az atomból. Az Auger-folyamatban a héle energiák különbsége átadható egy másik külső héjelektronra, amely meghatározott mozgási energiájú elektrónként kilökődik az atomból. A jellegzetes röntgenfolyamatban az energiakülönbség egy élesen meghatározott energiájú elektromágneses sugárzás fotonjaként fejeződik ki.

Az atom elektronjai egy adott energiájú elektrónhéjat foglalnak el az atom körül. Az atommagtól való növekvő távolság sorrendjében ezeket a héjakat K, L, M stb. jelölik.

A jellegzetes röntgen vonalak az alhéjak közötti átmenetekből származnak.



2.5.9. ábra - egy atom energiaszint diagramja. Az atom energiája a K,L,M vagy N héj ionizációjakor (gerjesztés) megnő. Forrás: [2.5.2] Pásztázó elektronmikroszkópia és röntgenmikroanalízis - Harmadik kiadás - Joseph Goldstein. Dale Newbury, David Joy, Charles Lyman, Patrick Echlin, Eric Lifshin, Linda Sawyer és Joseph Michael.

Az EDS az elemek azonosítása mellett az elemek mintán belüli térbeli eloszlásának feltérképezésére is használható. Ez információt nyújt a minta különböző részeinek kémiai összetételéről. Az EDS továbbá mennyiségi információkat is szolgáltat a mintában jelen lévő egyes elemek százalékos arányáról.

Összefoglalva, az EDS a pásztázó elektronmikroszkópban lehetővé teszi a mintában jelen lévő kémiai elemek azonosítását az elektronsugár és a minta kölcsönhatása során kibocsátott röntgensugár-spektrumok elemzésével. Ez a technika értékes a metallográfiában, a fraktográfiában



és más olyan elemzésekben, ahol a minták kémiai összetételének mikroszkopikus szintű megértése fontos.

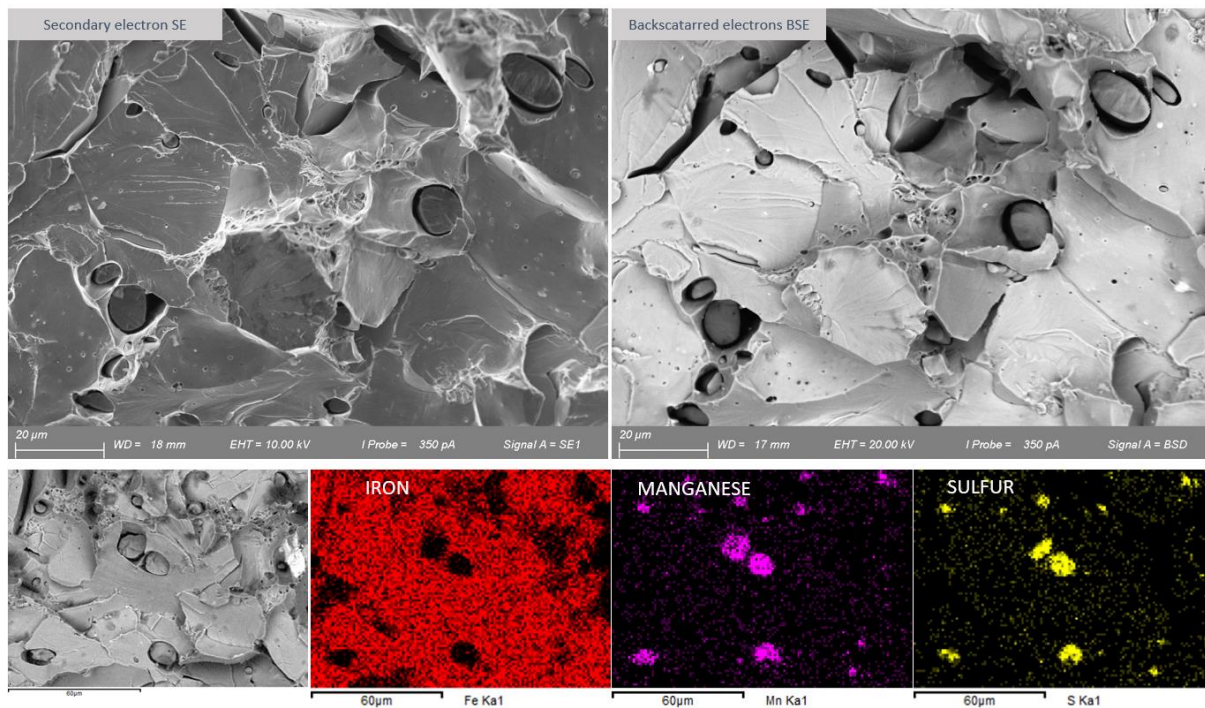


Fig. 2.5.9 – example of a mapping of elements obtained by EDS. Source: IIS Laboratory

2.5.9. ábra - példa az EDS-sel kapott elemek leképezésére. Forrás: EDS: IIS Laboratórium

Hivatkozások:

[2.5.1] ASM HANBOOK - 9. kötet - Metallográfia és mikroszerkezetek

[2.5.2] Pásztázó elektronmikroszkópia és röntgenmikroanalízis - Harmadik kiadás - Joseph Goldstein. Dale Newbury, David Joy, Charles Lyman, Patrick Echlin, Eric Lifshin, Linda Sawyer és Joseph Michael.

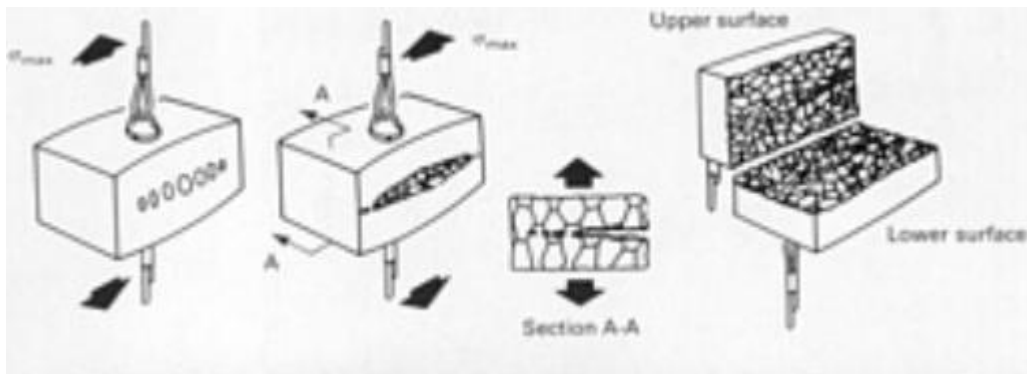
[2.5.3] ASM HANBOOK - 11. kötet - Hibaelemzés és megelőzés

- A pásztázó mikroszkóp képességeinek bemutatása
 - Törési felületek vizsgálata

A pásztázó elektronmikroszkópia egyik fő felhasználási területe a fraktográfia. A törésfelületekre jellemző a cakkos morfológia, és jellemzően szekunder elektronokkal (SE) kell megfigyelni őket, hogy morfológiai és topográfiai információkat nyerjünk.

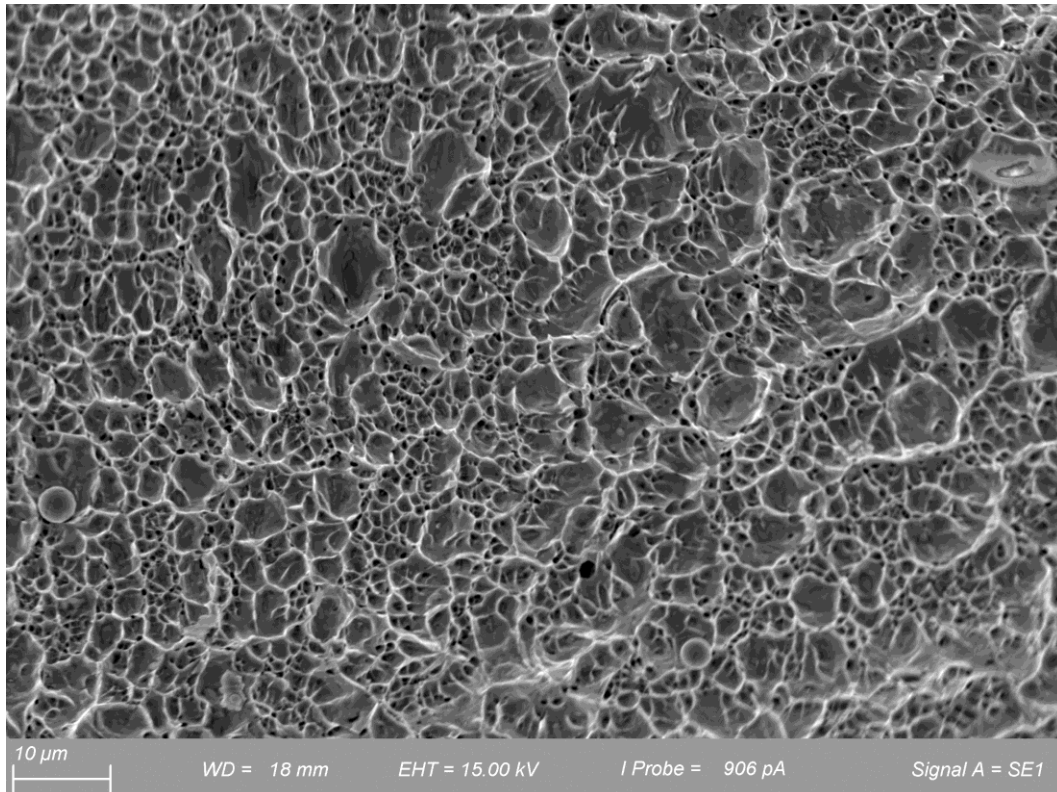
A törés lehet képlékeny, rideg, intergranuláris vagy a mechanikai fáradási jelenségek miatt terjedő törés. A képlékeny töréseket a fém szakadása jellemzi a képlékeny alakváltozást és a belső energia felhalmozódását követően. A duktilis szakítótörések a legtöbb anyagban szálás megjelenésűek, és makroszkopikus szinten a lapos (a maximális szakítófeszültségre merőleges) vagy a nyíró (a maximális szakítófeszültséghez képest körülbelül 45°-ban) törések közé sorolhatók. A képlékeny törések mikroüregek kialakulásával és összeolvadásával jönnek létre, a szakirodalomban ezeket a mikroüregeket "gödröcskéknek" nevezik.

A képlékeny törési felületek SEM-vizsgálata információkat tár fel a feszültség típusáról, a repedés terjedési irányáról és az anyag relatív képlékenységéről. A gödröcskék alakját az határozza meg, hogy az alkatrész milyen típusú terhelésnek volt kitéve a törés során. A gödröcskék iránya a repedés terjedési irányát mutatja. Az egyenlő tengelyű gödröcskék csésze alakúak, és egytengelyű feszültségben egyenletes képlékeny alakváltozás mellett alakulnak ki (pl. szakítóvizsgálat). Ezzel szemben a hosszúkás, parabola alakú gödröcskék nem egyenletes képlékeny alakváltozással járó körülmények (pl. hajlító vagy nyíró túlterhelés) esetén keletkeznek.



2.6.1. ábra - Duktilis törési mechanizmus. Gödröcskék képződése.

Forrás: [2.6.2] ASM KÉZIKÖNYV - 12. kötet - Fraktográfia



2.6.2. ábra - példa egy képlékeny töréssel, amelyet SEM-mel (másodlagos elektronok) figyelhetünk meg.

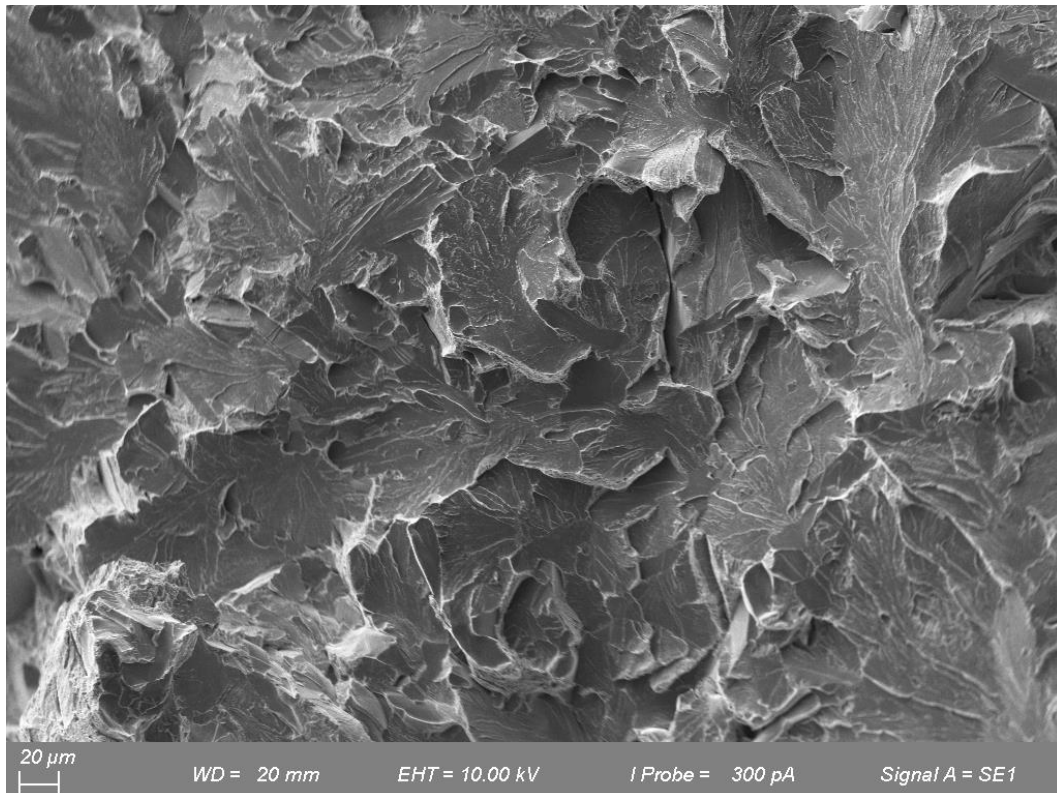
Forrás: IIS Laboratórium.

A rideg töréseket gyors repedésterjedés jellemzi, kevesebb energia felhasználásával, mint a képlékeny törésnél, és képlékeny alakváltozás nélkül. A rideg törések fényes, szemcsés megjelenésűek, és nem mutathatnak nyákosodást; jellemzően lapos útjuk van, és merőlegesek a maximális húzófeszültség irányára. A törés felületén a repedés eredete felé mutató ék alakú mintázat lehet jelen, különösen a lapos, lemezszerű alkatrészek rideg töréseinél. Nagy nagyításon a ridegtörés SEM-mel történő megfigyelése nagyon sík felületeket, úgynevezett hasadási síkokat mutat.

A hasadás olyan alacsony energiájú törés, amely jól meghatározott, alacsony indexű kristályrajzi síkok, úgynevezett hasadási síkok mentén terjed. A hasadási törésnek tökéletesen megmunkált felületekkel kell rendelkeznie, és teljesen laposnak és jellegtelennek kell lennie. A fémötvözetek azonban polikristályosak, és tartalmaznak szemcsehatárokat, valamint egyéb olyan tökéletlenségeket, amelyek megváltoztatják a kristályrács orientációját, mint például az alacsony indexű síkok esetleges eltérése a szemcsék között. Ezek az ötvözetek határozott hasadási síkokat hoznak létre.



A folyami minták különböző helyi hasadási fazetták közötti lépcsőfokokat jelentenek, amelyek kissé eltérő magasságban, de ugyanazon általános hasadási sík mentén helyezkednek el. Mivel a helyi kristályszerkezet módosíthatja a repedés terjedésének helyi irányát, az általános irányt csak azután lehet kijelölni, hogy a törésfelület több területén megerősítették a folyami minták irányultságát.

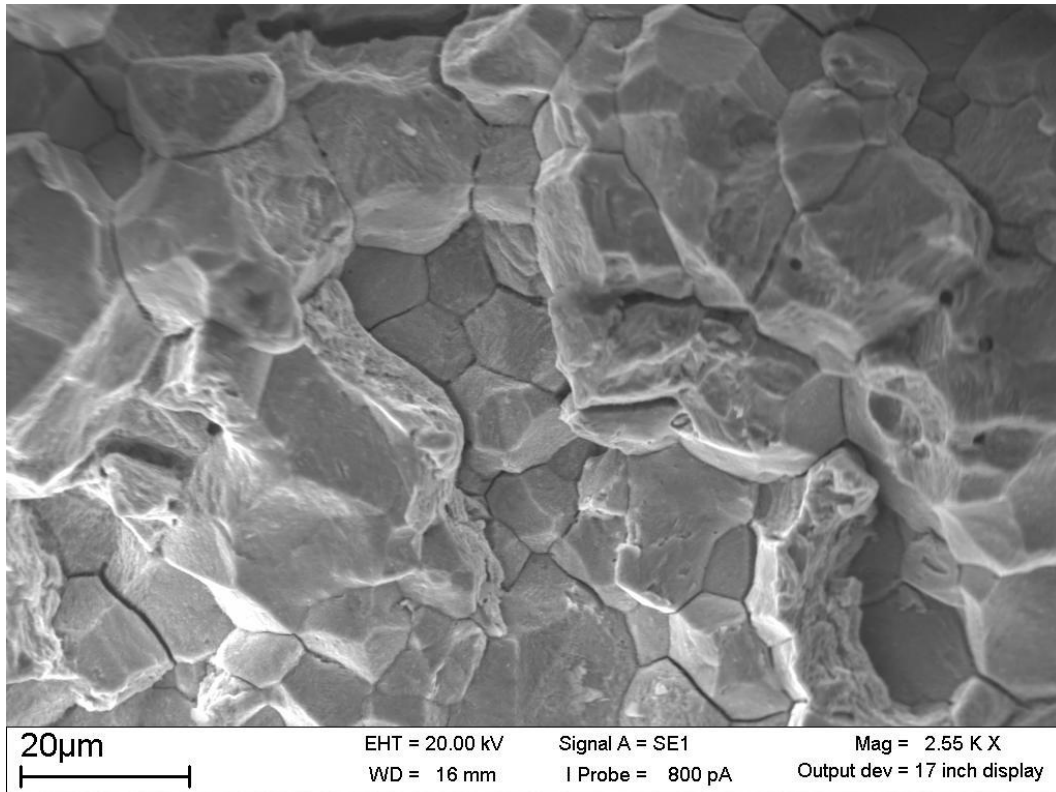


2.6.3. ábra - Példa egy törékeny törésfelületre, amelyet SEM-mel (másodlagos elektronok) figyelhetünk meg.

Forrás: IIS Laboratórium.

A szemcsék közötti törékeny törést, amelyet szemcsehatár-dekohézióknak neveznek, a környezeti feltételek és a húzófeszültség szinergikus hatása segíti elő, vagy a legalacsonyabb olvadáspontú alkotórészek jelenléte a szemcsehatárokon. A szemcséközi törés könnyen felismerhető, de a törés okainak azonosítása bonyolultabb.

Az atomkötések gyengülésével, a helyi deformációhoz szükséges felületi energia csökkenésével, a molekuláris gáznnyomással, a védőfilmek kimerülésével és az aktív helyeken történő anódos oldódással járó dekohéziós folyamat a hidrogén ridegséggel és a feszültségkorróziós repedéssel (SCC) jár.



2.6.4. ábra - Példa a szemcseközi törésfelületre SEM-mel megfigyelve (másodlagos elektronok). Forrás: IIS Laboratórium.

A fáradás egy időfüggő mechanizmus, amely három szakaszra osztható, amelyek különböző jellemzőkkel bírnak:

- I. szakasz: repedéskezdeményezés vagy repedésmagképződés.
- II. szakasz: repedés terjedése.
- III. stádium: végleges törés túlterhelés következtében.

Az I. szakasz egy olyan pont (vagy pontok), amely(ek) általában a felületen található(ak), ahol a ciklikus igénybevétel a legnagyobb, vagy ahol az anyaghibák vagy a maradó feszültségek csökkentik az alkatrész fáradási ellenállását. A repedés jellemzően egy kis zónában kezdődik, és csúszásvonalas töréssel terjed, a felülettől a feszültségtengelyhez képest 45° -kal befelé haladva.

Az eredet helyét a II. fázisú repedés terjedési zónájának jellemzőinek értelmezésével határozzuk meg. A makroszkópos strandjelek koncentrikus félkörökben sugárirányban távolodnak az origótól. Ezek a fáradással általában összefüggésbe hozott progressziós jelek. Ha a terjedési zónát SEM-mel nagyobb nagyítással ($> 5000x$) vizsgáljuk, a tengerparti jelek több száz vagy ezer fáradási csíkozásra bonthatók.



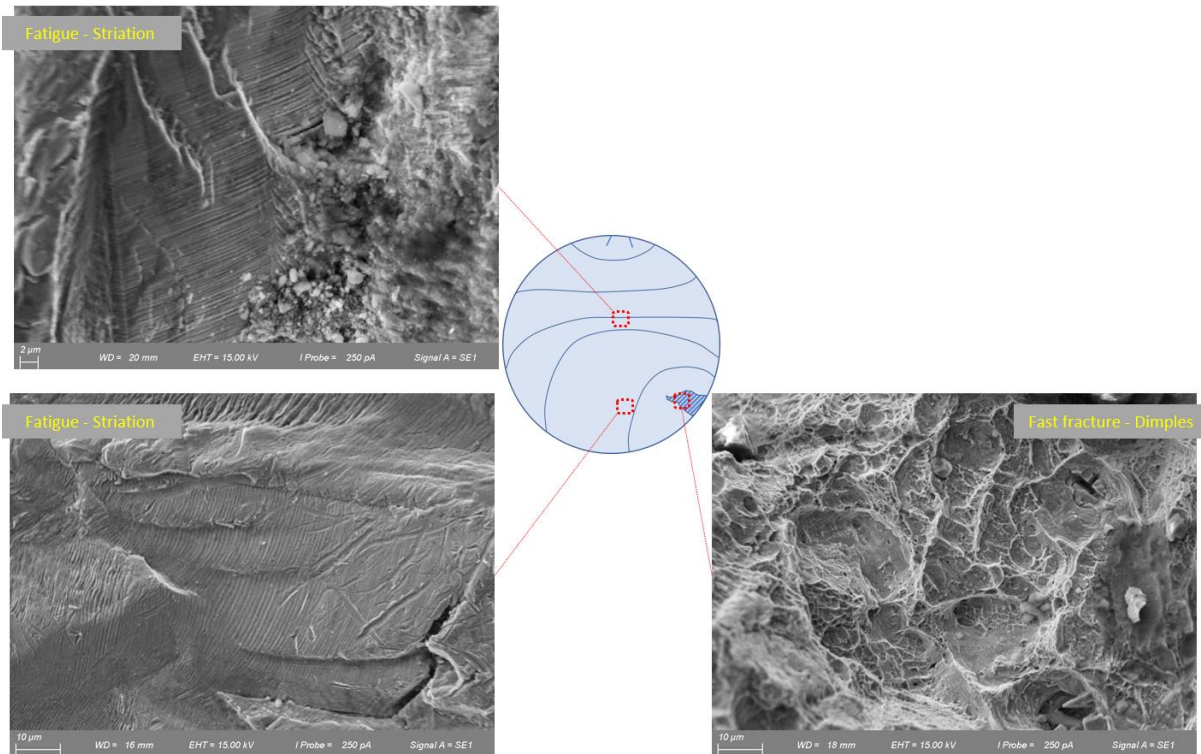
A csíkok jellemzően egymással párhuzamosak és derékszögben állnak a repedés terjedési irányával. A csíkok közötti távolságuk a ciklikus feszültségintenzitással változik, számuk megegyezik a terhelési ciklusok számával. A fáradási csíkok továbbá nem keresztezik egymást, hanem egyesülhetnek, és a helyi repedésterjedés új zónáját alkotják.

Ha az alkatrészt megfelelő nagyságú, egyenletesen alkalmazott terhelésnek tették ki, a repedésfront egyszerű előrehaladása (a két szomszédos csík közötti távolság, a terjedési sebesség egy feszültségciklusra vetített mértékegysége). Ha azonban a terhelés nem egyenletes, akkor egy adott feszültségciklus-sorozat és a csíkozódás távolsága között nagy eltérések vannak, bár egy feszültségciklus nem mutat csíkozódást.

Annak ellenére, hogy a csíkok jelenléte a fáradásra, mint a meghibásodás módjára utal, a csíkok hiánya nem zárja ki a fáradás lehetőségét. Például a fáradási barázdák jól meghatározhatók az alumíniumötvözetekben, de a vasötvözetekben gyakran rosszul meghatározhatók; továbbá az oxidáció, a korrózió vagy a mechanikai sérülés megszüntetheti a barázdákat.



2.6.5. ábra - Példa a fáradási jelenségek miatt törött nikkelötvözet tengelyre. Forrás: IIS Laboratórium.



2.6.6. ábra - A törési felület részletei a terjedési területen csíkozással és a végső gyors törés képlékeny mechanizmussal (gödröcskék). Forrás: IIS Laboratórium.

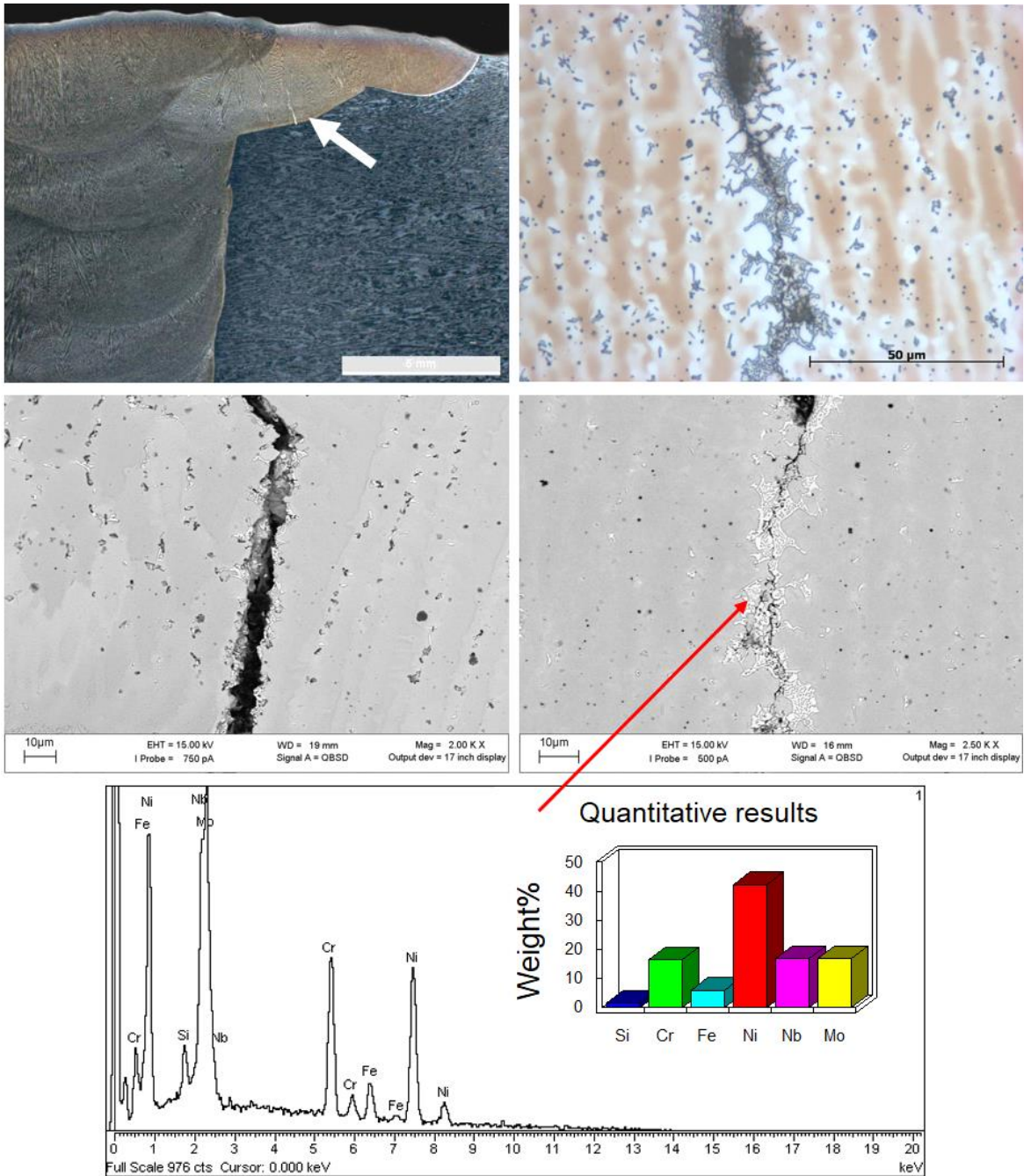
▪ A SEM alkalmazása fémötvözetek és hegesztési kötéseik tönkremenetelének vizsgálatára. Az előző bekezdés alapján könnyen megérthetjük, hogy a SEM miért olyan fontos a károsodási mechanizmusok tanulmányozásában. A törésmorfológia elemzésén kívül lehetővé teszi a fázisok, az intermetallikus vegyületek, a korróziós lerakódások/termékek elemzését, valamint az EDS-szondával végzett pontszerű kémiai elemzések elvégzését. Az alábbiakban néhány gyakorlati esetet mutatunk be.

Példa 1:

Szénacél és szuperduplex rozsdamentes acél közötti, eltérő tulajdonságú hegesztett kötés hegesztőanyagában megfigyelt repedés vizsgálata Ni-bázisú ötvözetű töltőanyag (Inconel 625) és SAW hegesztési eljárás alkalmazásával.

A BSE (Back Scattered Electron) felvételek egy lamellás (eutektikus) fehér fázis jelenlétét mutatták ki, amely a repedé felületek és repedés csúcsok közelében helyezkedik el (lásd a 2.6.7. képeket).

Az EDS kvalitatív mikroelemzés kimutatta, hogy ezek a vegyületek Nb/Mo-ban gazdag intermetallikus fázisokból állnak. Ezeket a vegyületeket alacsony olvadáspont jellemzi.

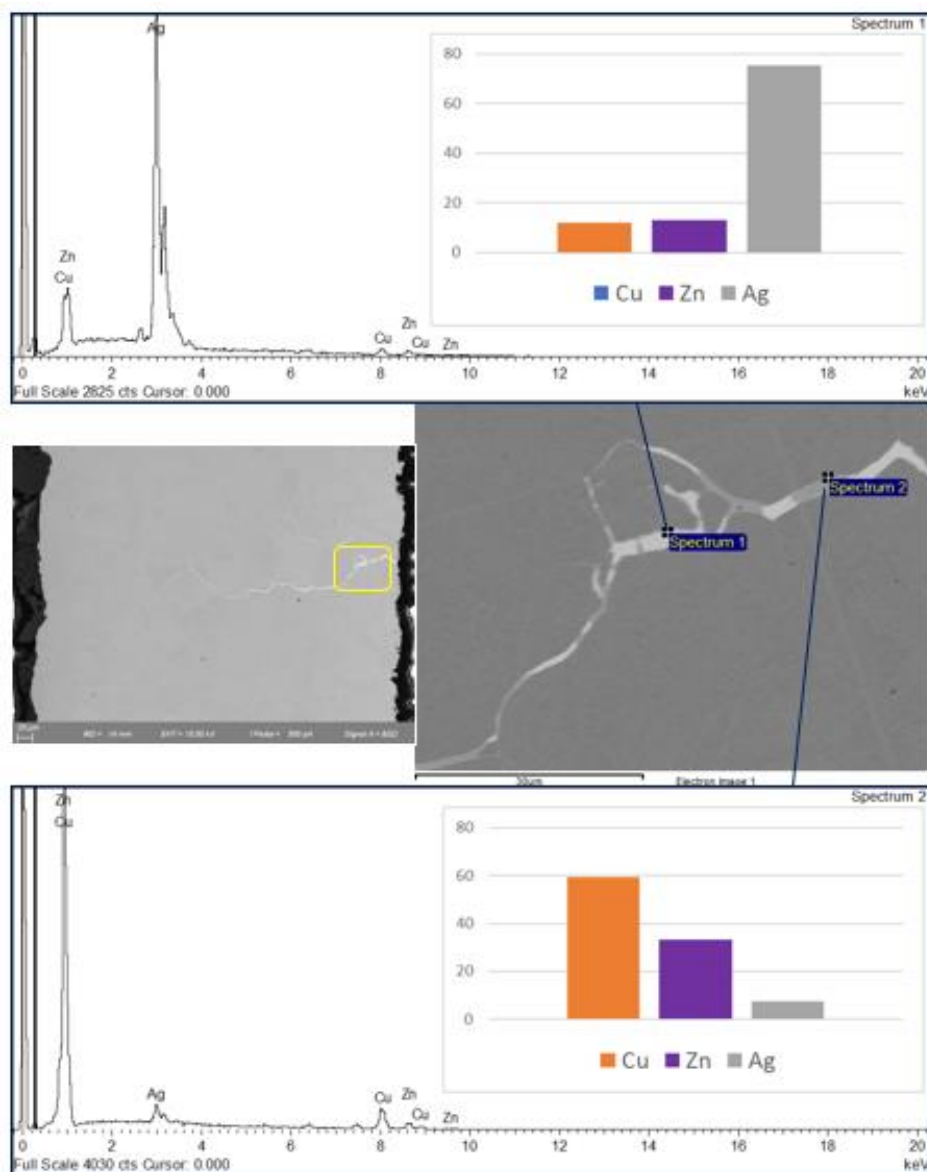


2.6.7. ábra - Szénacél és szuperduplex rozsdamentes acél közötti, Ni-bázisú ötvözetű töltőanyaggal végzett, eltérő tulajdonságú hegesztési kötés hegesztőanyagában megfigyelt forró repedés. Forrás: IIS Laboratórium.

2. példa:

Egy Incoloy 800 típusú nikkelőtvözetből készült alkatrész forrasztási kötés közelében megfigyelt repedés vizsgálata. A forrasztóötözet CuAgZn ötvözet volt.

A mikrogranuláris metszeten végzett SEM-vizsgálat kimutatta a szemcsék közötti repedéseket. A repedések belsejében végzett EDS-vizsgálatok elsősorban a forrasztóötözetnek tulajdonítható koffert, ezüstöt és cinket mutattak ki. A tönkremeneteli mechanizmus a folyékony fémek ridegségének (LME) volt köszönhető.

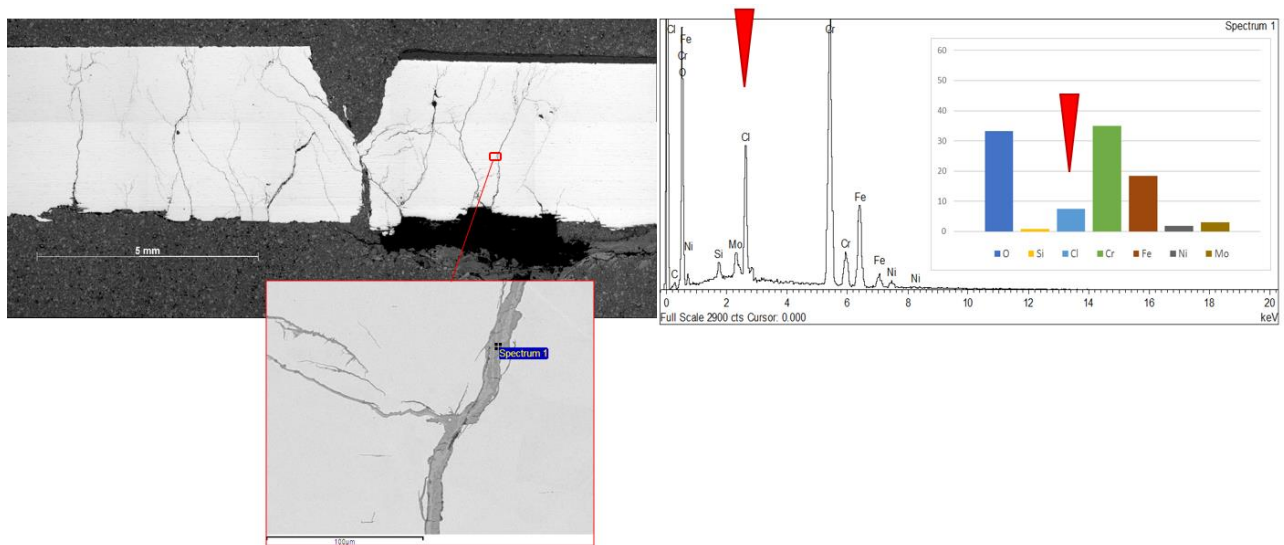


2.6.8. ábra - Egy forrasztott alkatrészben megfigyelt LME - Forrás: Forrás: IIS Laboratórium.

3. példa:

Egy AISI 316L típusú ausztenites rozsdamentes acélötvezetből készült hőcserélő csövön bekövetkezett törés vizsgálata.

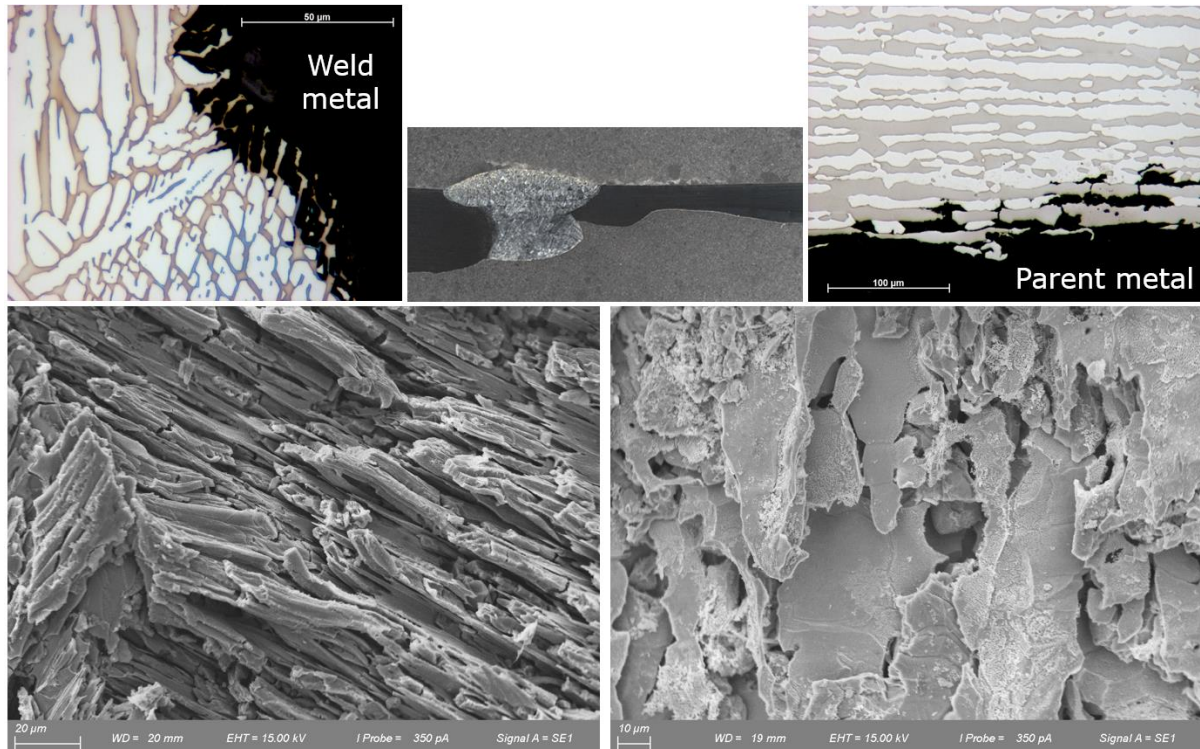
A mikrográfiai vizsgálat transzgranuláris és elágazó repedések hálózatát mutatta ki a teljes vizsgált szakaszon. A SEM- és EDS-vizsgálatok klórt és más, az alapanyagnak tulajdonítható elemeket mutattak ki. A tönkremeneteli mechanizmust klóros feszültségkorróziós repedés (Cl-SCC) okozta.



2.6.9. ábra - Duplex rozsdamentes acél szelektív korróziója lúgos környezetben. Forrás: IIS Laboratórium.

Example 4:

Investigation of corrosion phenomena observed on a Duplex Stainless Steel welding joint. Both micrographic and fractographic examination, performed by SEM, showed a selective corrosion of an austenite phases in duplex heat affected zone. This phenomenon is typical of an alkaline environment.



2.6.10. ábra - Duplex rozsdamentes acél szelektív korróziója lúgos környezetben. Forrás: IIS Laboratórium

5. példa:

Egy turbina "bemeneti burkolatából" vett minta vizsgálata, amelyet számos repedés érintett.

A burkolatot AISI 304 H típusú ausztenites rozsdamentes acélból gyártották.

A turbina súlyos hőciklusoknak volt kitéve, számos be- és kikapcsolással.

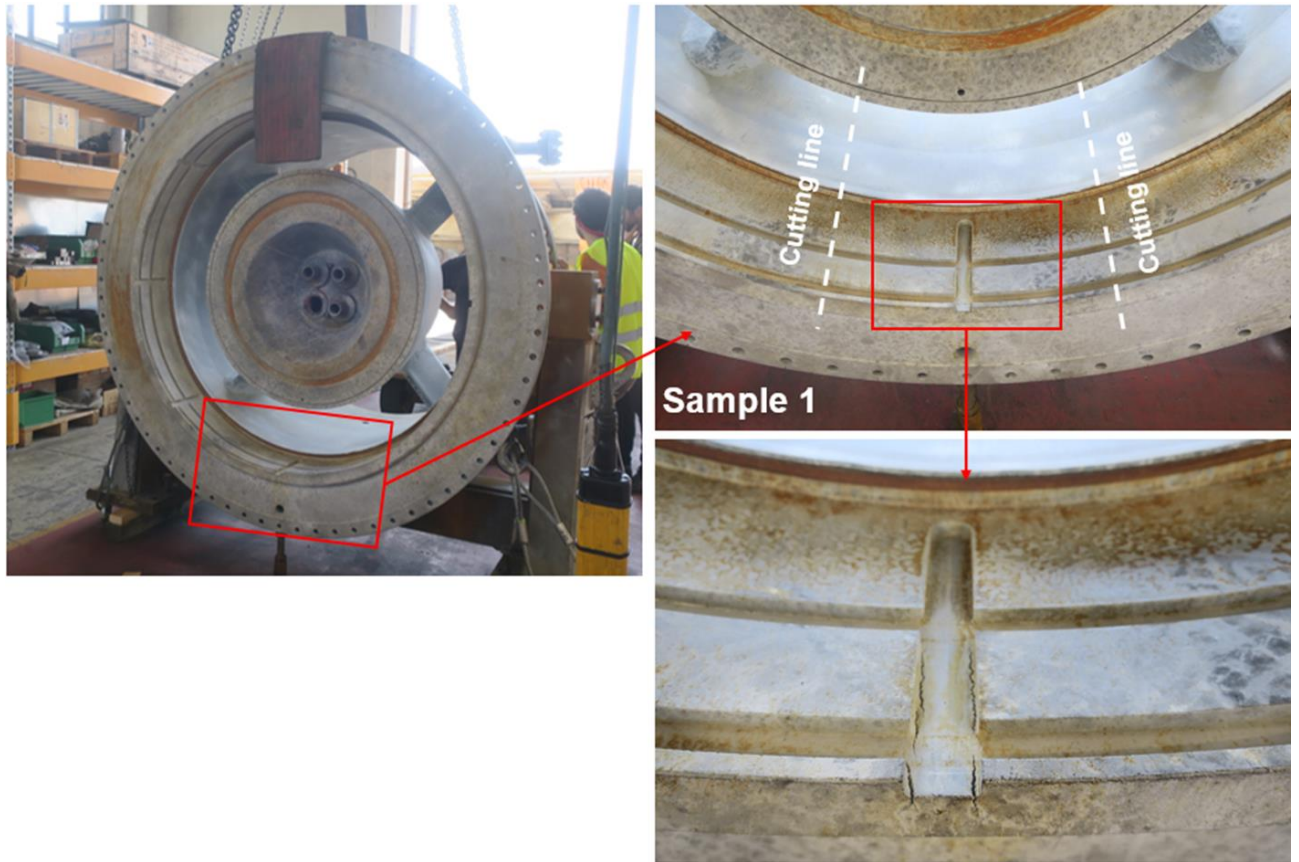
A belépő áramlás hőmérséklete körülbelül 800 °C volt; a központi kúpban található csövekből gőzt fecskendeztek be, amelynek kettős célja volt: a burkolat előmelegítése az indítás előtt és hűtése a működés során. Az üzemi hőmérsékletnek 732 °C alatt kellett lennie.

a gőz befecskendezése körülbelül 45 kg/óra áramlási sebességgel történik, de bizonyos időszakokban elérte a 800 kg/órát.

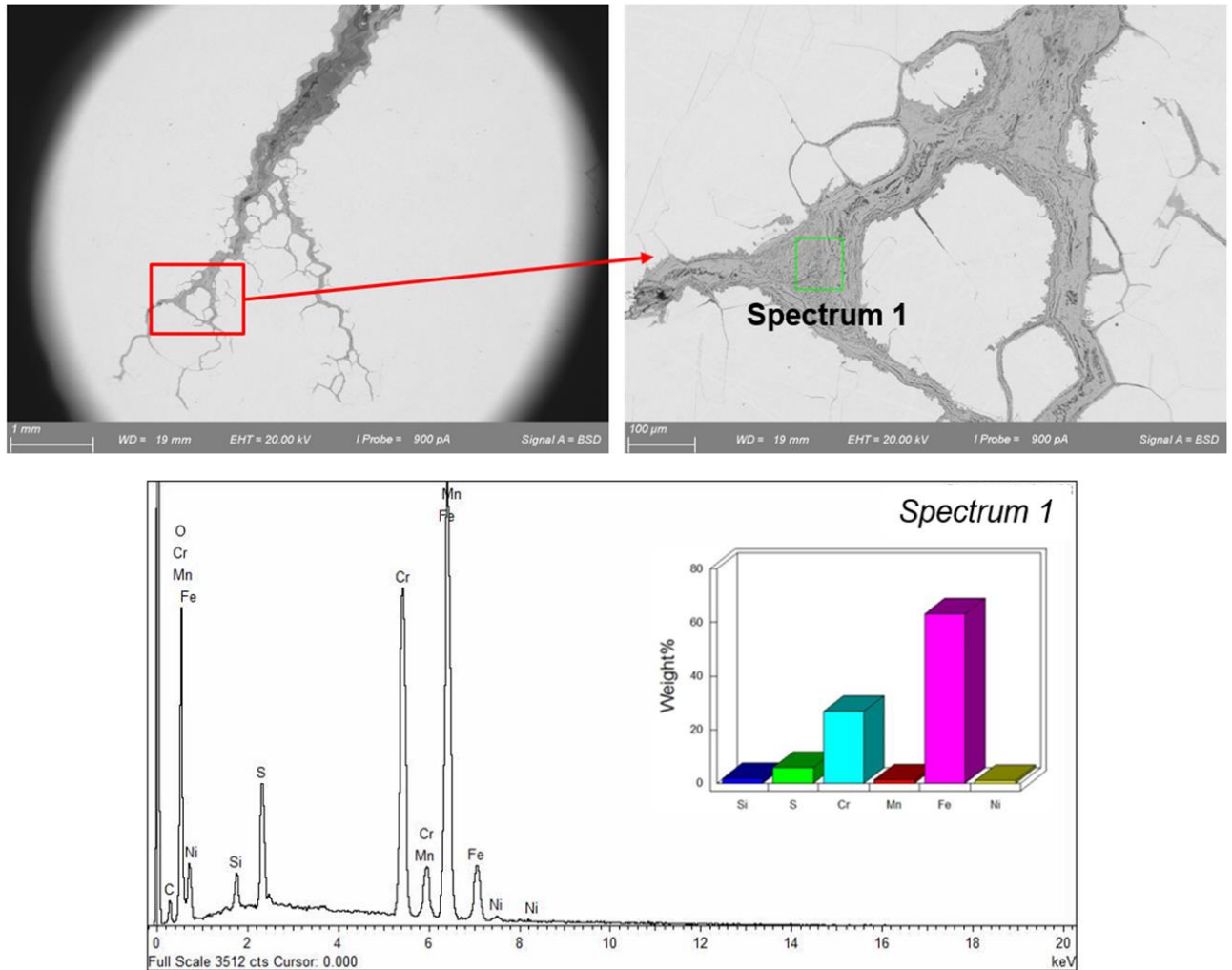
A mikrográfiai vizsgálatok elágazó és intergranuláris mintázatú repedéseket mutattak, amelyeket a bennük lévő lerakódások jellemeztek. A lerakódások EDS-elemzése az alapanyag tulajdonítható elemeket és változó mennyiségű ként mutattak ki.

A korróziós jelenségek a polihionosavak által okozott feszültségkorróziós repedéseknek (Polythionic Acid Stress Corrosion Cracking - PASCC) voltak tulajdoníthatók. A szulfidok a gőzben lévő nedvességgel reakcióba léphetnek, és polihionos savakat képeznek (H_2SnO_6). A PASCC jellemzően a leállítási időszakokban, vagy működés közben lép fel, ha a gőzben kondenzáció van jelen. Az ausztenites rozsdamentes

acél érzékenyített szemcséi is olyan preferenciális gyenge pontot biztosítanak, amely kedvez a jelenség kialakulásának.



2.6.11. ábra - egy AISI 304H típusú ausztenites rozsdamentes acélból készült turbina szívócsőházának részletei. Forrás: Forrás: IIS laboratórium.



2.6.12. ábra - a beömlő burkolatból a pásztázó elektronmikroszkóppal megfigyelt néhány repedésnél vett mikroszkópos metszet részletei. Az EDS-elemzés nem nemesfémnek és kénnek tulajdonítható elemek jelenlétét mutatja. Forrás: IIS laboratórium.

Hivatkozások:

[2.6.1] ASM HANDBOOK - 9. kötet - Metallográfia és mikroszerkezetek

[2.6.2] ASM Kézikönyv - 12. kötet - Fraktográfia

[2.6.3] ADM KÉZIKÖNYV - 11. kötet - Hibaelemzés és -megelőzés

[2.6.4] Pásztázó elektronmikroszkópia és röntgenmikroanalízis - Harmadik kiadás - Joseph Goldstein. Dale Newbury, David Joy, Charles Lyman, Patrick Echlin, Eric Lifshin, Linda Sawyer és Joseph Michael.



3. CU3: Demonstrációk makro- és mikroszkópos vizsgálatból

3.1. Az ízületek makroszkópos mintáinak értékelésének bemutatása 1

3.1.1. Általános megfontolások

Metallográfiai minták előkészítése

3.1.2. Makroszkópos elemzés előkészítetlen felületeken

3.1.3. A fémes anyagok makroszkópos vizsgálata előkészítetlen felületeken lehetővé teszi a szerkezeti jellemzők vizsgálatát és értékelését.

3.1.4. Makroszkópos elemzés az előkészített felületeken

Metallográfiai minták előkészítése

A minták előkészítése - műveletek

Makroszkopikus elemzés

A hegesztett kötések szempontjai

Berendezések, anyagok és munkafolyamatok

3.1.5. Fémes anyagok makroszkópos vizsgálata előkészített felületeken

3.1.6. Kérdések

3.1. Az ízületek makroszkópos mintáinak értékelésének bemutatása

3.1.1. Általános megfontolások

A metallográfia a fizikai kohászat egy része, amely a fémes anyagok makro- és mikroszerkezetének tanulmányozásával foglalkozik.

A makroszkópos elemzés gyors és egyszerű módszer az anyagok kutatására. Nagy felületek vizsgálatát foglalja magában, kiemelve a helyi vagy általános hibákat, a részletek figyelmen kívül hagyásával. Ez a legegyszerűbb és leggyorsabb módszer a fémek és fémötvözetek kutatására. Jellemzően megelőzi a szerkezeti elemzést, és a vizsgált minták szabad szemmel vagy legfeljebb 50:1 nagyítással történő vizuális megfigyeléséből áll.

Makroszkópos elemzéssel feltárhatók a fémes anyagok megszilárdulásával kapcsolatos szempontok (dendritok, zsugorodási üregek, repedések stb.), törésük, mechanikai és szerkezeti inhomogenitásai, valamint a hegesztett kötések szerkezete. A vizsgálatot közvetlenül a minta (anyag) külső megjelenésén, minden előzetes előkészítés nélkül, vagy a törésekből (burkolatokból) származó, akár előkészítetlen, akár csiszolással és kémiai maratással előkészített felületeken végzik. A makroszkópos vizsgálat típusától függetlenül a kivitelezés egy sor műveletből áll: a

mintavétel helyének kiválasztása és a minta megszerzése, a szelvényezés, a csiszolás és szükség esetén a kémiai maratás.

Metallográfiai minták előkészítése

A metallográfiai minták előkészítése három szakaszból áll:

1. **Mintavétel** (*mintavétel*) - A mintavétel helyét úgy kell kiválasztani, hogy a minta reprezentatív legyen a vizsgált anyagra nézve. Mivel nincs általános szabály a hely kiválasztására, a hely kiválasztása a minta jellegétől, alakjától és méretétől, valamint az anyagot ért mechanikai vagy hőkezeléstől függ. A metallográfiai minták felvételére és előkészítésére vonatkozó utasításokat az ISO/TR 20580:2022 "Metallográfiai minták előkészítése" című szabvány tartalmazza.
2. **A vizsgálati felület előkészítése** - A minták előkészített felületének síknak és ütésnyomoktól, karcolásoktól vagy az előkészítés során behurcolt idegen testektől mentesnek kell lennie. A felület előkészítésének három szakasza a következő:
 - kiegyenlítés - csiszolással vagy polírozással érhető el. Ha a mintát szerszámgépekkel vagy kézfűrésszel vágják, erre a lépésre nem feltétlenül van szükség. Ügyelni kell a túlmelegedés és a felület deformálódásának elkerülésére.
 - csiszolás - egyre finomabb csiszolószemcsékkel rendelkező csiszolóanyagok (csiszolópapírok) használatával történik. A minták csiszolása történhet kézzel vagy automatikusan.
 - polírozás - célja az utolsó nagyon finom karcolások eltávolítása és az előkészített felület tökéletes fényének megteremtése. Ez a művelet elvégezhető mechanikus csiszológépekkel vagy elektrolitikus eljárással.
3. **Metallográfiai maratás** - A minta anyagától függően sokféle metallográfiai maróanyagot használnak. Amikor ezek találkoznak a minta csiszolt felületével, feloldják vagy másképp színezik a szerkezeti összetevőket, és így feltárlják a szerkezetet. A maratás történhet a darabnak a marószerbe való merítésével vagy a marószerbe áztatott vattával történő átkenéssel. Általában a minta akkor tekinthető maratottnak, ha elveszítette fémes csillogását. Miután a maratással feltártuk a szerkezetet, a mintákat vízzel, majd alkohollal mossuk, és szűrőpapíron vagy meleg levegőn történő óvatos törléssel szárítjuk.

3.1.2. Makroszkópos elemzés előkészítetlen felületeken

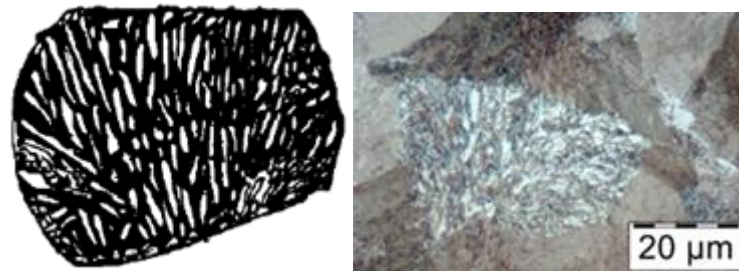
Ez az anyagok makroszkopikus szintű vizsgálatára és elemzésére utal, előzetes felület-előkészítés nélkül. Ebben a megközelítésben az anyag felületét természetes vagy fellelt állapotában, csiszolás, csiszolás vagy kémiai maratás nélkül figyelik meg és értékelik.

Az előkészítetlen felületeken végzett makroszkópos elemzés értékes betekintést nyújthat az anyag általános állapotába, hibáiba és jellemzőibe. Lehetővé teszi az anyagtulajdonságok és jellemzők gyors értékelését anélkül, hogy a mintát alaposan elő kellene készíteni.



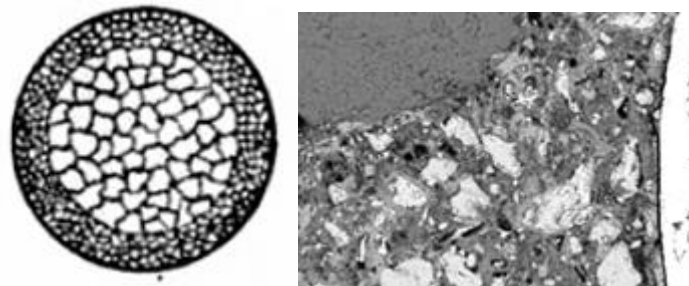
Ez a módszer különösen akkor hasznos, ha gyors értékelésre van szükség, vagy ha az anyag külső jellemzőit és hibáit a természetes állapot megváltoztatása nélkül kell tanulmányozni. Ugyanakkor korlátokba ütközhet a finom szerkezeti részletek feltárása terén, szemben a fejlettebb, mintaelőkészítést igénylő mikroszkópiás technikákkal.

Összefoglalva, az előkészítetlen felületeken végzett makroszkópos elemzés értékes eszköz az anyagelemzésben, mivel egyszerű módot kínál az anyagok állapotának és jellemzőinek értékelésére anélkül, hogy kiterjedt mintaelőkészítésre lenne szükség.



3.1.1. ábra. Lágýtott acélminta. Forrás: <https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2015/03/MF1-Laboratoare.pdf>

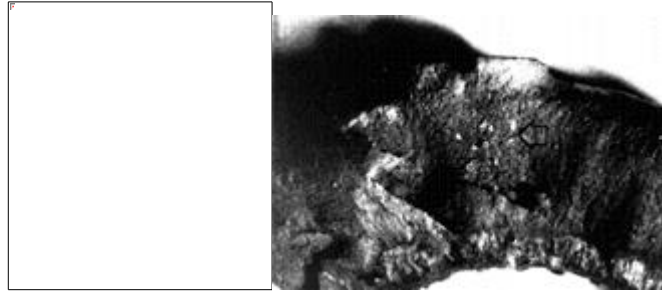
A karburált és az olvasztott acélok külső oldalán finomabb szemcseszerkezetűek, mint a szelvény középső részén, és a szürke árnyalata a külső és a belső rész között változik (2. ábra).



3.1.2. ábra. Karburált acélminta. Forrás: <https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2015/03/MF1-Laboratoare.pdf>

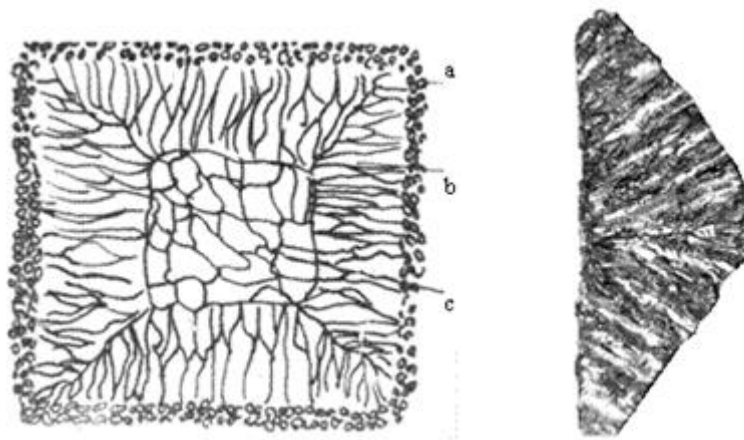
A használat során eltört alkatrészek színe potenciálisan jelezheti a törés okát. Ha egy területen a szín sötétebb, mint a felület többi részén, az arra utal, hogy a végleges törés előtt már létezett egy repedés.

A repedezett felület kialakulása és megjelenése információt nyújt a törés okairól és a töréshez vezető igénybevétel típusáról. A nyákosodás közelében kúp és csésze alakú törési felület képlékeny repedésekre utal, míg a nyákosodási deformációk nélküli törési felület rideg repedésekre utal. A fáradásos terjedést a törési felületen való sajátos megjelenésük alapján ismerhetjük fel (3. ábra). Változó dinamikus feszültségek hatására kis repedések alakulnak ki és terjednek a külső oldalról a belső felé, ritkán az ellenkező irányba, csökkentve a teherbíró keresztmetszetet, ami végül hirtelen anyagátöréshez vezet. Az a terület, ahol a repedés fokozatosan terjed, sima és fényes megjelenésű (az érintkező felületek súrlódása miatt), a végső törési zóna pedig szemcsésnek tűnik. A korai repedések eredhetnek a felületi tökéletlenségekből (karcolások, hornyok, hirtelen szelvényátmenetek stb.), amelyek feszültségkoncentrátorként működnek.



3.1.3. ábra. Fáradásos törési felület. Forrás: <https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2015/03/MF1-Laboratoare.pdf>

Egy fémtömb intergranuláris törésével a keletkező felület feltárhatja az elsődleges kristályosodás során kialakult három zónát.



3.1.4. ábra. Az elsődleges kristályosodás során kialakult zónák:

- a) Finom, egyenlő tengelyű szemcsék zónája; b) Oszlopos szemcsék zónája;
- c) A durva, egyenlő tengelyű szemcsék zónája. Forrás: <https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2015/03/MF1-Laboratoare.pdf>

Az 1. zóna apró, gömbölyded és egytengelyű szemcsékből áll. Ebben a zónában a folyadék (olvadék) és az öntőforma hideg fala közötti érintkezés miatt a hűtési sebesség nagyon magas, ami gyors kristályosodási sebességet és nagy kristályosodási kapacitást eredményez. Ezenkívül a szerszám falán lévő érdesség és szennyeződéscsészék idegen kristályosodási magokként viselkednek, ami finom szemcseszerkezetet eredményez.

A 2. zóna az oszlopos szemcsék területe (a transzkristályosodás zónája). A hosszúkás szemcsék kialakulását a hőmérsékleti gradiens mentén a nagy hűtési sebesség okozza, ami nagy lineáris kristályosodási sebességet eredményez. A kristályosodási kapacitás azonban alacsonyabb ebben a zónában az idegen kristályosodási magok hiánya miatt.

A 3. zóna durva, gömbölyű és egyenlő tengelyű szemcsékből áll, amelyek nem orientáltak. Ez a zóna az ingot közepén található, ahol a megszilárdult külső réteg miatt a hűtési sebesség nagyon


alacsony, ami alacsony mértékű szuprahűtést, következésképpen alacsony és egyenletes kristályosodási kapacitást és sebességet eredményez.

Az ilyen inhomogén szerkezetű fémes anyagok csak hőkezelési folyamat után használhatók fel, amely során a szerkezetet lágyítják és homogenizálják.

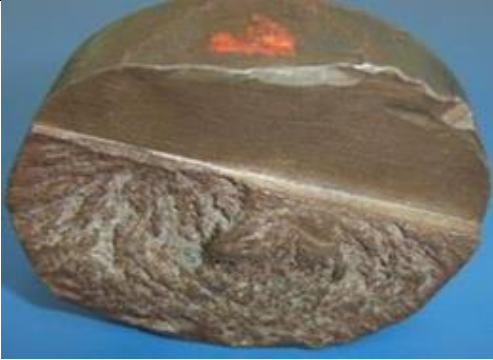



3.1.3. Az előkészítetlen felületeken lévő fémes anyagok makroszkópos elemzése lehetővé teszi az alábbi szerkezeti jellemzők vizsgálatát és értékelését

Nem	Vizsgált minta	Megfigyelések
1		<p>Fehér öntöttvas nyers állapotban</p> <p>A minta egy újraolvasztó blokkból származik; törékeny fémes anyag.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ezüstfehér törés durva oszlopos szemcsékkel (skisztózus megjelenés). - A külső felületen pórusok (külső fúvólukak), a törésen belül pedig belső fúvólukak láthatók.
2		<p>Nyers szürke öntöttvas</p> <p>A minta egy újraolvasztó blokkból származik.</p> <p>A törés szürke színű, és benne a következők figyelhetők meg:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Finom, egyenletes (gömbölyded) szemcsék, amelyek mérete nem egyenletes. - Ellipszis alakú üregek, amelyeket az olvadt fémbe a megszilárdulás során csapdába esett gázok okoznak (belső lyukak). - A fekete szín kémiai inhomogenitása, amely a grafit-szén szegregációjából (zonális szegregáció) ered. - A külső felületen pórusok láthatók.



3		<p>Foltos öntöttvas</p> <p>A minta egy újraolvasztó blokkból származik.</p> <p>Ez egy olyan öntöttvas típus, amely a fehér öntöttvasból szürke öntöttvasba megy át, amit a törése igazol:</p> <ul style="list-style-type: none">- Kívülről a fehér öntöttvasra jellemző színt és makroszkopikus szerkezetet mutatja, míg az alap felé haladva a szürke öntöttvasnak felel meg (e két jellegzetes zóna között oszlopos fehér öntöttvaszemcsék és egyenlő szélességű szürke öntöttvaszemcsék keverednek).- Láthatóak a belső és külső fúvólyukak (pórusok), valamint egy gömb alakú hidegzáródás.
4		<p>Mechanikus szürke öntöttvas</p> <p>A minta egy olyan alkatrészből származik, amelyet másodlagos olvadékú szürke öntöttvasból öntéssel állítottak elő.</p> <ul style="list-style-type: none">- A törés színe szürke, a szemcsék egyenes záródásúak, nagyon finomak és egyenletesek.- Nincsenek belső vagy külső fúvólyukak (pórusok).
5		<p>Öntött acél</p> <ul style="list-style-type: none">- A minta egy öntött rúdból származik.- A külső felület szabálytalan.- A törés ezüstfehér színű.- A szemek nagyok és gömb alakúak.



6		<p>Melegen hengerelt acél</p> <p>A minta egy kerek profilból származik, amelyet melegen hengereltek és a könnyebb törés érdekében bevágtak.</p> <ul style="list-style-type: none">- A külső felület sima.- A törés ezüstfehér színű, és finom, fényes, gömbölyded szemcséket mutat.- A repedésen belül megfigyelhetők a hajlítással törött anyag plasztikus deformációjának irányai is, amelyek sugárirányban, fémes anyagcsomók formájában helyezkednek el.
7		<p>Hibás acél</p> <ul style="list-style-type: none">- A mintán repedések (törési felületek) láthatók.- A repedések keletkezhetnek erőteljes oltásból (szürke törés nagyon finom, szabad szemmel nem érzékelhető, bársonyos szemcsékkel) vagy hosszan tartó túlmelégedésből (égés - szemcsék közötti oxidáció), amelyet képlékeny alakváltozás követ.
8		<p>Minta egy cinkblokkból</p> <p>Ezüstfehér, fényes törés, durva szemcsékkel.</p>
9		<p>Minta mechanikai kopással</p> <p>A minta egy homokfúvóka fúvókából származik, amelyet öntött alkatrészek tisztítására használtak.</p> <ul style="list-style-type: none">- A darab belsejében a kör alakja a kopás miatt szabálytalan.

10		Minta mechanikai kopással A minta egy csúszócsapágyból, pontosabban egy félcsapágyból származik. - A súrlódásgátló ötvözet hámlása figyelhető meg.
----	---	---

3.1.4. Makroszkópai elemzés az előkészített felületeken

Az elemzés célja a fémes anyagok kémiai és szerkezeti inhomogenitásainak meghatározása.

Metallográfiai minták előkészítése

A mintát az anyag olyan területéről kell venni, amely lehetővé teszi az anyagra, a gyártási folyamatokra és az esetlegesen elvégzett kezelésekre vonatkozó információk maximális megszerzését. Ez a művelet töréssel, vágással (kézi vagy mechanikus fűrészelés stb.) vagy töréssel (ha az anyag rideg) történik.

A fémes anyagok mikroszkópos elemzését kis mintákon végzik, amelyeket előzetesen előkészítenek a metallográfiai összetevők megkülönböztetése érdekében.

A fémes anyagok szilárd, kristályos testek, amelyek átlátszatlanok, ezért optikai mikroszkópos vizsgálatot tesznek szükségessé a fényvisszaverődés elve alapján. Ahhoz, hogy a fénysugarakat a különböző metallográfiai alkotóelemek differenciáltan visszaverjék, a minta vizsgált felületét elő kell készíteni. A minták előkészítése az optikai metallográfiai mikroszkóppal történő vizsgálathoz a következő műveleteket foglalja magában: a minta kivonása, a munkafelület előkészítése és a kémiai maratás.

A metallográfiai minták viszonylag kis méretű, (0,5...30) x (30...0,5) mm-es felületű darabok², amelyeket kifejezetten az optikai mikroszkóp alatt vizsgálandó fémes anyagokból készítenek.

A minták előkészítése - műveletek

A laboratóriumban különböző anyagokból vesznek mintát egy nagyon vékony csiszolókorong segítségével. A minta felületét szintezéssel, csiszolással, polírozással, kémiai maratással készítik elő, végül szabad szemmel vagy metallográfiai mikroszkóppal vizsgálják meg a szerkezet rajzolásával.

A makroszkópos elemzéshez egy sor műveletet kell elvégezni: a mintavétel helyének kiválasztása és a minta vétele, szintezés, csiszolás, polírozás és szükség esetén kémiai maratás.

1. *Mintavétel:* A vizsgált anyagról a lehető legpontosabb információk megszerzése érdekében a begyűjtött mintának reprezentatívnak és a tervezett célra alkalmasnak kell lennie. A mintavétel helyét úgy kell megválasztani, hogy a minta tartalmazza a fémes anyag



jellegzetes szerkezetét, valamint a korábbi mechanikai, termikus, termokémiai feldolgozás hatásait, a meglévő hibákat stb. A metallográfiai minták nem lehetnek túl nagyok, a vizsgált félkész terméktől vagy alkatrésztől függően a minták különböző méretűek lehetnek. A vékony lemezekből, huzalokból, kis méretű alkatrészekből, például orvosi ötvözetekből vett mintákat, vagy olyan mintákat, amelyeket a szélükön kell vizsgálni, tartóba kell rögzíteni, vagy műgyantába vagy könnyen olvadó anyagba kell ágyazni. A fémes anyagokból történő mintavétel történhet kézi vagy mechanikus vágással, fűrész vagy csiszolókorong segítségével. Gépek, például marógépek, esztergagépek vagy más berendezések is használhatók, biztosítva, hogy a minta eredeti szerkezete ne változzon meg a melegítés vagy deformáció miatt. Ezért kerülni kell a lánggal történő oxigén-acetilén vágást, a túlzott felmelegedést okozó elektromos vágást, illetve a deformációt okozó nyírást és vésést. Ha nincs más megoldás, az anyagnak a kivonási folyamat következtében megváltozott részét marással, esztergálással, köszörüléssel stb. kell eltávolítani. A kemény anyagokat vékony csiszolókorongokkal, bőséges hűtéssel kell vágni, míg a rideg anyagok esetében a mintákat törni kell.

2. *Csúsztatás:* a megmunkált metallográfiai mintákat a vizsgált felület kiegyenlítésének vetik alá, amelyet csiszológép, eszterga vagy marógép segítségével végeznek el, biztosítva, hogy a minták ne melegedjenek túl, különösen azok, amelyeket árasztottak vagy hőkezelték.
3. A *csiszolás* metallográfiai papíron történik, amelynek egyik oldalára különböző méretű csiszolószemcsék vannak rögzítve csökkenő sorrendben. Ez történhet kézzel, előre-hátra lineáris mozgással (a papír üveglapra rögzítve) vagy automatikusan, egy vagy két, 10-15 m/s sebességgel forgó tárcsával felszerelt csiszológépeken, amelyekhez a metallográfiai papírt rögzítik. Ha a minta felülete megmunkálással készült, a csiszolást közepes szemcseméretű csiszolóanyaggal kell kezdeni (25 milliméter századrész) vagy 60-as számú csiszolóanyaggal (a csiszolóanyagot szitán átszitált szita lineáris szembőségével), amelyet finom szemcsék (16, 12, 10), nagyon finom szemcsék (8, 6, 4) és végül extra finom mikroporokat tartalmazó papírok (M40, M28...M7) követnek. Az egyik szemcsés papírról egy másik, finomabb szemcsés papírra való áttérésnek akkor kell megtörténnie, amikor az előző csiszolásból származó karcok eltűntek, biztosítva, hogy a minta 90 fokban elforduljon az előző helyzetéhez képest. A normál méretű mintákat közvetlenül kézzel lehet megfogni, míg a kisebbeket be lehet szerelni vagy műgyantába vagy puhább anyagokba ágyazni. A csiszolás során enyhe nyomást kell gyakorolni a csiszolópapírra, hogy elkerüljük az 50-60 °C feletti túlmelegedést és a felület oxidálódását.

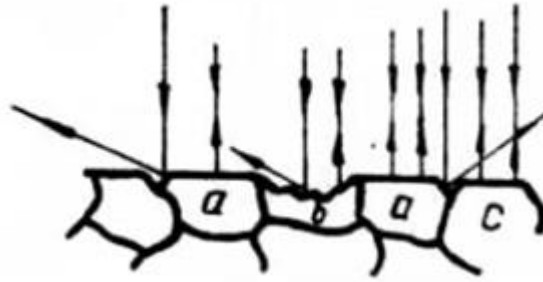


4. A minta tanulmányfelületének *polírozása* a csiszolásból származó utolsó karcolások eltávolítása és a tökéletes fényű, sima felület elérése érdekében történik. Ezt egy polírozógépen végzik, ahol a csiszolásnál nagyobb sebességű (15-20 m/s) forgó tárcsát használnak, és egy 1:20 arányú csiszolószuszpenziós oldattal (alumínium-oxid, magnézium-oxid stb.) folyamatosan nedvesített gyapjú (nemez) ruhát rögzítenek. A polírozáshoz a mintát kézzel tartjuk, és óvatosan a kendőre nyomjuk, amíg az összes karcolás el nem tűnik (max. 5 perc). A polírozás során a mintát lassan forgatjuk, hogy elkerüljük a zárványok kiszakadását és az új karcolások kialakulását. A polírozási idő meghosszabbítása a puha szerkezeti összetevők kopása miatt a szerkezet felemelkedését okozza. A polírozás után a mintát vízszugárral öblítik le a csiszolóanyag nyomainak eltávolítása érdekében, majd alkohollal, és néha a savnyomok semlegesítését is elvégzik bázikus oldattal (nátrium-karbonát). A mintát meleg levegővel vagy szűrőpapírral történő kíméletes letörléssel szárítjuk. Az így előkészített mintát mikroszkópos vizsgálatnak lehet alávetni a nem fémes zárványok (salak, oxidok, szulfidok, grafit stb.), esetleges hibák (mikrorepedések, mikrohálósodások stb.) megállapítására, vagy kémiai maratással lehet a szerkezeti alkotórészek megkülönböztetésére.

5. *Kémiai maratás*: A kémiai reagensek nem reagálnak egységesen a maratásnak alávetett fémes anyag minden szerkezeti összetevőjével. Egyes alkotórészek (különösen a heterogének) korrodálódnak (feloldódnak) vagy elszíneződnek, míg mások fényesek maradnak. Ha a csiszolt felület azonos típusú metallográfiai alkotóelemeket tartalmaz, a kémiai reagens csak az azonos típusú szemcsék közötti határokat marja meg, mert a szemcsehatároknál heterogén zónák vannak (szennyeződésekkel, zárványokkal, amorf rétegekkel stb.), amelyek nem ellenállnak a reagensek kémiai hatásának. Az általánosan használt vegyszerek savak vagy savak vízben vagy alkoholban oldott oldatai (lásd a táblázatot), és a maratás szobahőmérsékleten vagy melegítéssel végezhető. A kémiai maratás után a metallográfiai mintákat vízszugárral, majd alkohollal öblítik (a sav- és zsírmaradványok eltávolítása érdekében a vizsgált felületről). Néha a savnyomok bázikus oldattal (nátrium-karbonát) történő semlegesítését alkalmazzák. A mintát meleg levegővel vagy szűrőpapírral történő kíméletes letörléssel szárítjuk. Mikroszkóp alatt a korrodált szemcsék és a sötétebb árnyalatok felé színezett szemcsék közötti határvonalak sötétek, mert a küszöbsugarakat a fekete felületek elnyelik. A fénysugarak máshol is eltérhetnek (a reflexiós törvények szerint), ha a mikroszkóp optikai rendszeréhez viszonyítjuk, amint az az 5. ábrán látható (függőleges megvilágítással - fényes mező). A nem maratott (fényes) alkotórészek (a) visszaverik a fénysugarakat a mikroszkóp okulárjába, és fehér színűnek tűnnek. A korrodált alkotórészek (b) vagy a szemcsék közötti határok lehetnek fényes felületűek, ebben az esetben a sugarak oldalirányban verődnek vissza (a beesési szög megegyezik a visszaverődési szöggel), vagy matt felületűek, amikor a sugarak teljesen vagy részben elnyelődnek. Mindkét esetben az alkotórészek a mikroszkóp



alatt sötétnek tűnnek. A fénysugarakat elnyelő színes alkotórészek (c) mikroszkóp alatt különböző mértékben sötétnek látszanak.



3.1.5. ábra. Az összetevők kiemelése az optikai mikroszkóp alatt. Forrás:
<https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2015/03/MF1-Laboratoare.pdf>

A maratás úgy történik, hogy a mintát a reagensbe merítik, vagy a felületet a kémiai reagensbe mártott vattapamaccsal nedvesítik, amíg a minta fényes felülete enyhén mattá nem válik. A reagens hatását a minta vízszugárral, majd alkohollal történő öblítésével megszakítjuk. A mintákat forró levegővel vagy egy szűrőpapír óvatos nyomásával szárítjuk meg a mosott felületen. A maratás szobahőmérsékleten vagy magas hőmérsékleten (400 °C-ig) végezhető.

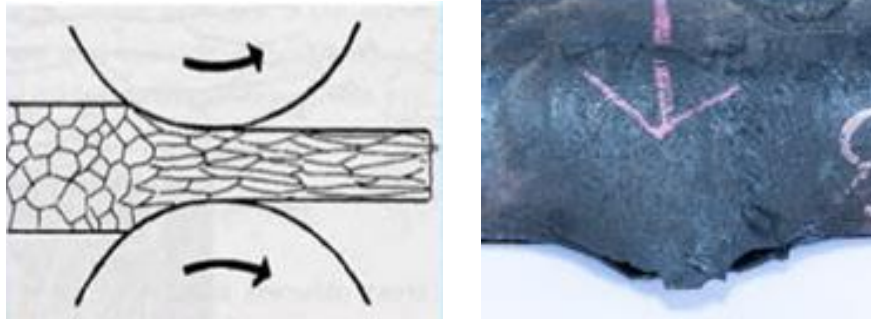
A metallográfiai reagenseket a vizsgált fémes anyag jellege és a vizsgált konkrét szempontok alapján választják ki:

- A közönséges acélok és öntöttvasak esetében Nital-t használnak (2-5% HNO_3 etil-alkoholban). Rozsdamentes ötvözt acélokhöz királyi vizet használnak (20-30 ml HCl , 10 ml HNO_3 , 30-70 ml glicerin).
- A Cr-Ni vagy Cr-Mo alapú nemes, félig nemes és nem nemes orvosi ötvözetekhez Aqua Regia reagens (20-30 ml HCl + 10 ml HNO_3 + 30-70 ml glicerin). Egy másik reagens az ilyen típusú anyagokhoz 3 rész HCl és 1 rész HNO_3 , vagy használhatjuk a Groesbeck-reagens (4 g kálium-permanganát + 4 g NaOH + 100 ml víz). Ezek a reagensek rozsdamentes és tűzálló acélok esetében is használhatók.
- A rézalapú orvosi ötvözetekhez olyan reagenseket használnak, mint 50 ml ammónium-biooxid ($\text{NH}_4 \text{BiO}_3$) + 20-50 ml (H_2O_2) + 50 ml víz (H_2O), vagy 30-50 ml (HNO_3) + 70-50 ml víz (H_2O), vagy 5 g ammónium-perszulfát ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) + 90 ml víz (H_2O).
- A platinaszerkezet kiemeléséhez 100 ml HCl + 10 ml HNO_3 + 50 ml vizet (H_2O) használunk. Az ezüstszerkezetek kiemeléséhez 50 ml kálium-cianid (KCN) 5%-os koncentrációjú oldatát + 50 ml ammónium-perszulfát ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) 5%-os koncentrációjú oldatot használunk. A titánszerkezetekhez 25 ml HNO_3 + 25 ml HF + 50 ml glicerin ($\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$) oldatot használunk.

Makroszkopikus elemzés

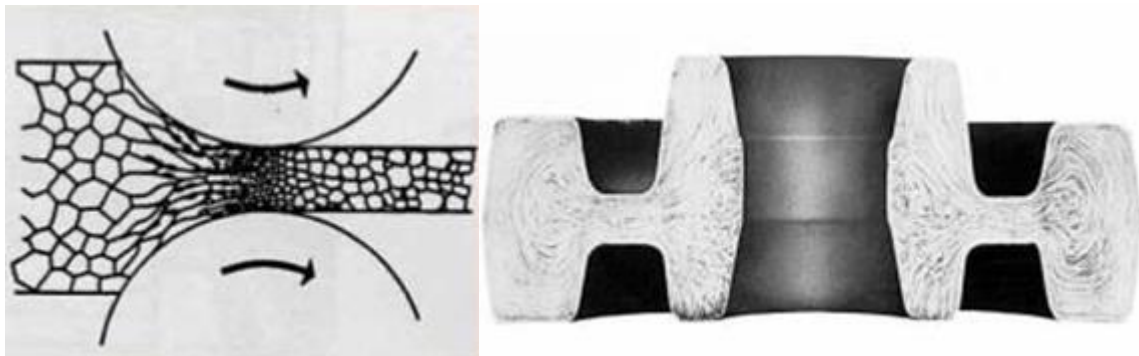
A fémes anyag képlékeny deformációjának eredményeként a szemcseszerkezet a deformáció irányának megfelelően átrendeződik (szemcseáramlás). A hideg képlékeny alakváltozás ($T_{\text{deformáció}}$)

< Trekristályosodás) nagy alakváltozási fokú folyamatában (húzás, hengerlés stb.) a fémes anyag szemcséi a maximális alakváltozás irányában megnyúlnak. A kapott (kémiai reagenssel kezelt) hosszmetsetet a hideg plasztikus deformációval kapott hosszúkás szemcsék jellemzik (6. ábra).



3.1.6. ábra. A hideg képlékeny alakváltozás eredményeként kapott szemcseszerkezet. Forrás: <https://learnmech.com/hot-rolling-vs-cold-rolling-difference-between-hot-rolling-and-cold-rolling/>

A forró plasztikus deformációt ($T_{\text{deformáció}} > T_{\text{trekristályosodás}}$) követően a hosszmetsetekben megjelenő szemcseáramlást már nem jellemzi a szemcsék hosszúkás alakja. Ennek oka, hogy a képlékeny alakváltozásnak az átkristályosodási hőmérsékletet meghaladó hőmérséklete miatt átkristályosodás következik be, ami miatt a szemcsék egyenlő tengelyűvé válnak. Ebben az esetben a szemcseáramlást a zárványok rétegenkénti eloszlása emeli ki. A 7. ábrán megfigyelhető, hogy a szemcseáramlás követi a darab kontúrját. Nemfémes zárványok hiányában a forró deformált fémes anyagok nem mutatnak szálás megjelenést.



3.1.7. ábra. A forró képlékeny alakváltozás eredményeként kapott szemcseszerkezet. Forrás: <https://learnmech.com/hot-rolling-vs-cold-rolling-difference-between-hot-rolling-and-cold-rolling/>

A hegesztett kötések szempontjai

A hegesztett kötések különböző aspektusai is kiemelhetők, mint például a hegesztési gyöngy alakja (X, V, U stb. alakban), a különböző hegesztési rétegek, a hőhatás által érintett zóna (HAZ) - amely sötétebb színűnek tűnik - és a hegesztési fémzóna (WMZ). Ezenkívül a hegesztett kötések



keresztmetszeti vizsgálata a csiszolás és a kémiai maratás után jellegzetes zónákat mutathat (8. ábra): az alapfém zóna (BMZ), a hőhatás által érintett zóna (HAZ) - amely sötétebb színű - és a hegesztett fém zóna (WMZ). További megfigyelhető jellemzők a hegesztési keresztmetszet alakja (V-alakú, X-alakú, U-alakú stb.), a hegesztési rétegek elkülönülése, az átkristályosodás zónája (oszlopos kristályok) és a hibák (pórusok, szegregációk, olvadáshiány, repedések stb.).

Az alapfém zóna elég messze van a hegesztési művelettől ahhoz, hogy megakadályozza a jelentős fizikai-kémiai változásokat.

A hőhatás által érintett zóna olyan területet jelent, ahol a hegesztési folyamat során a hőhatás szerkezeti és tulajdonságbeli változásokat idézett elő az alapfémen.

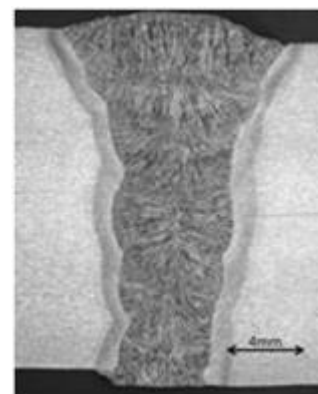
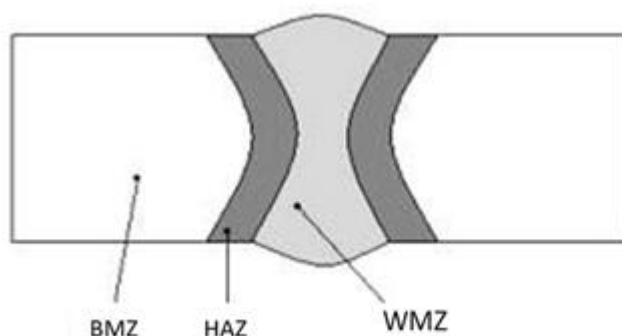
A hegesztési gyöngy az az olvadt és megszilárdult terület, ahol a maximális hőhatás ideiglenesen lehetővé tette az alapanyag széleinek megolvadását, esetleg a töltőanyag vagy csak maga a töltőanyag részvételével.

A hegesztési gyöngy keresztmetszetének különböző zónáit megfelelő előkészítéssel és kémiai maratással (például acélok esetében Adler reagenssel) lehet kiemelni.

Ezért a hegesztett kötések keresztmetszetének makroszkópos vizsgálata a következő zónákat mutatja:

- nemesfém zóna (BMZ)
- hőhatás által érintett zóna (HAZ)
- hegesztési fémzóna (WMZ)

Mivel az alapfém zóna kellően távol van, a hegesztési művelet következtében nem megy át jelentős fizikai-kémiai változásokon. A hőhatású zóna azonban olyan területet képvisel, ahol a hegesztési folyamat során megemelkedett hőmérséklet miatt szerkezeti és tulajdonságbeli változások következtek be az alapfémen. A hegesztési gyöngy (hegesztési varrat) az az olvadt és megszilárdult terület, ahol a maximális hőhatás a hegesztendő darabok éleinek átmeneti megolvadásához vezetett, akár töltőanyag részvételével, akár anélkül. Ezeknek a zónáknak a profilja és méretei ugyanazon fémes anyag esetében változhatnak a hegesztés típusától és a hegesztés előtt, után vagy közben alkalmazott hőkezeléstől függően.

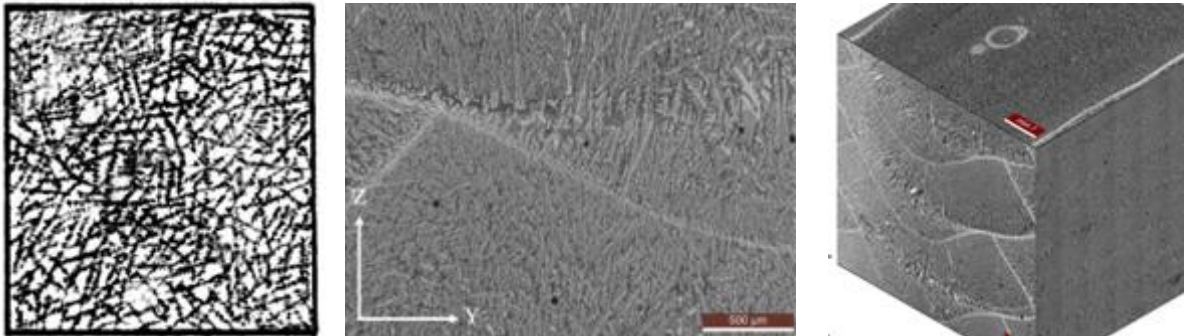




3.1.8. ábra. A hegesztési varrat zónái klasszikus elektromos ívhegesztésnél töltőanyaggal.

Forrás: https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2021/05/Laborator_SM_2020.pdf

Az öntésből, képlékeny deformációból vagy termokémiai kezelésekből eredő kémiai inhomogenitás makroszkopikus vizsgálattal is kiemelhető. A dendritikus szerkezet például megfelelő kémiai maratással (acélok esetében Oberhoffer-reagens, alumíniumötvözetek esetében Keller-reagens) kiemelhető. A 9. ábra egy Al-Si ötvözet (AlSi12) elsődleges dendritikus szerkezetét mutatja, ahol az öntésből eredő kémiai inhomogenitás nyilvánvaló.



3.1.9. ábra. Egy Al-Si ötvözet elsődleges dendritikus szerkezete. Forrás:

<https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2015/03/MF1-Laboratoare.pdf>

Ezenkívül a hőkezelt darab keresztmetszeti felületének kémiai maratásával (karburálással) megfigyelhető a szénben dúsított (sötétebb színű) külső réteg, ami lehetővé teszi a darab felületi rétegébe történő széndiffúzió mélységének makroszkópos értékelését.

A fémes anyagok előkészített és kémiaileg maratott felületeinek makroszkópos vizsgálata során bizonyos hibákat lehet kimutatni, mint például salakzárványok, anyagfelületek, pórusok, lyukak, repedések stb.

Berendezések, anyagok és munkafolyamatok


A makroszkópos elemzés különböző fémes anyagokból (öntöttvasak, acélok, színesfém ötvözetek) készült minták törött vagy preparált felületeinek, illetve kémiaileg maratott felületeinek vizuális vizsgálatát foglalja magában. Ajánlatos nagyítót használni (10. ábra), hogy bizonyos makroszerkezeti szempontokat, amelyeket szabad szemmel nehéz megfigyelni, kiemelhessünk. A metallográfiai minták elemzése során a hangsúlyt az alakjukra, a törés színére és típusára, a szerkezeti inhomogenitásokra, a feldolgozásból vagy az anyagfeszültségekből eredő hibákra stb. vagy a hegesztett szakaszra helyezzük.



3.1.10. ábra. Nagyítóüvegek makroszkópos vizsgálathoz. Forrás: [https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2021/05/Laborator SM 2020.pdf](https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2021/05/Laborator_SM_2020.pdf)

Ezenkívül különböző fémes anyagokból készült minták törési felületeit is elemezni fogják, hogy meghatározzák a törés típusát és az anyag viselkedését a képlékeny alakváltozás során. Az elvégzett elemzés alapján következtetéseket vonunk le arra vonatkozóan, hogy a vizsgált anyag képlékeny vagy rideg viselkedést mutat-e, és milyen körülmények között használható a gyakorlatban.

3.1.5 A fémanyagok makroszkópos vizsgálata az előkészített felületeken

Nem.	Vizsgált minta	Megfigyelések
1		<p>Öntött alumíniumötvözetek</p> <p>A minta egy kis ötvözetből készült ingotból származik:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Az előkészített és kémiailag maratott felületen dendritok figyelhetők meg. - A minta tetején egy zsugorodási üreg és egy repedés található, amelyet az anyag megszilárdulás közbeni összehúzódása okoz. - A minta közepén egy belső üreg (fúvóluk) látható.



2		<p>Repedt acélminta</p> <p>Az oltás hőkezelését követően a minta megrepedt a mechanikai feszültségkoncentrátorok (pl. egy nem összefüggő kulcsos horony) vagy a sorokban elhelyezett szennyeződések által kiváltott nagy belső feszültségek miatt.</p>
3		<p>Minta egy hegesztett alkatrészből terhelés alatt</p> <p>A vegyileg maratott keresztmetszeti képen a hegesztés három jellegzetes zónája figyelhető meg:</p> <ul style="list-style-type: none">- Alapanyag-övezet (BMZ).- Hőhatás által érintett zóna (sötétebb színű - HAZ).- Hegesztési fémzóna (WMZ).
4		<p>V-hegesztett acélból vett minta</p> <p>A kémiai maratott keresztmetszeti nézetben megfigyelhető a megszilárdult anyagzóna és az alapanyag.</p> <ul style="list-style-type: none">- A hegesztés gyökérmenettel készült.
5		<p>A minta hideg deformációja</p> <p>Megfigyelhető a darab kontúrját követő szemcseszerkezet.</p>

3.1.6. Kérdések

1. Mi a célja az ízületek makroszkópos mintáinak értékelésének bemutatásának ebben az összefüggésben?
2. Melyek a metallográfiai minták előkészítésének lépései?



3. Melyek a felület vizsgálatra való előkészítésének szakaszai?
4. Miben különbözik az előkészítetlen felületeken végzett makroszkópos elemzés az előkészített felületeken végzett makroszkópos elemzéstől?
5. Miért fontos a fémes anyagok makroszkópos vizsgálata előkészítetlen felületeken, és milyen szerkezeti jellemzőket lehet vizsgálni ezzel a módszerrel?
6. Melyek azok a területek a hegesztett kötések keresztmetszetében, amelyek kiemelhetők?
7. Vannak-e a makroszkópos elemzéshez tárgyalt konkrét technikák vagy eszközök?
8. Melyek azok a potenciális alkalmazások vagy iparágak, ahol a fémes anyagok makroszkopikus elemzése releváns?

3.2. Gyakorlati képzés a hegesztési hibák makroszkópos mintákon történő, segítség nélküli azonosításáról

3.2.1. Bevezetés a hegesztési hibákba

A gyakori hegesztési hibák áttekintése

A hegesztési hibák azonosításának fontossága

3.2.2. Vizuális vizsgálati technikák a hegesztési hibák azonosítására

Vizuális vizsgálati berendezések és eszközök

Ellenőrzési eljárások és legjobb gyakorlatok

3.2.3. Hegesztett kötések makroszkópos vizsgálata

A makroszkópos minták előkészítése és értékelése

3.2.4. Gyakorlati képzés a hegesztési hibák segédeszköz nélküli azonosításáról

Gyakorlati gyakorlat a vizuális ellenőrzési technikákkal

Makroszkópos minták vizsgálata és elemzése

3.2.5. Hegesztési hibák dokumentálása és jelentése

A pontos dokumentáció fontossága

Jelentési formátumok és követelmények

3.2.6. Biztonsági óvintézkedések a hegesztési ellenőrzés során

Személyi védőeszközökre (PPE) vonatkozó követelmények

Veszélyek és biztonsági intézkedések

3.2.1 A hegesztési hibák bevezetése

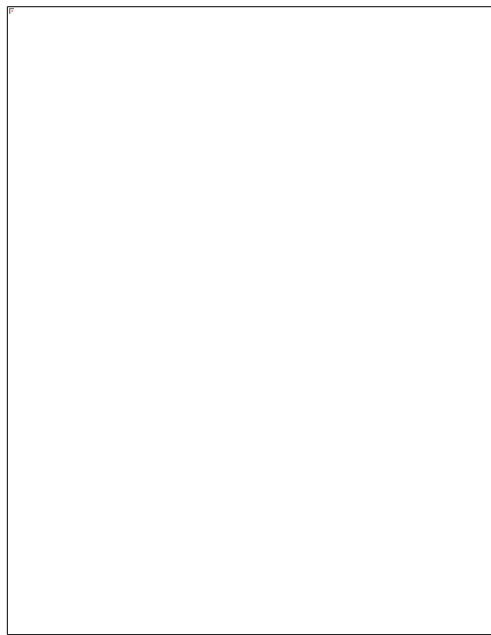
A hegesztési hibák olyan eltérések vagy szabálytalanságok a hegesztési varratban, amelyek befolyásolhatják annak integritását, szilárdságát és általános minőségét. Ezek a hibák különböző



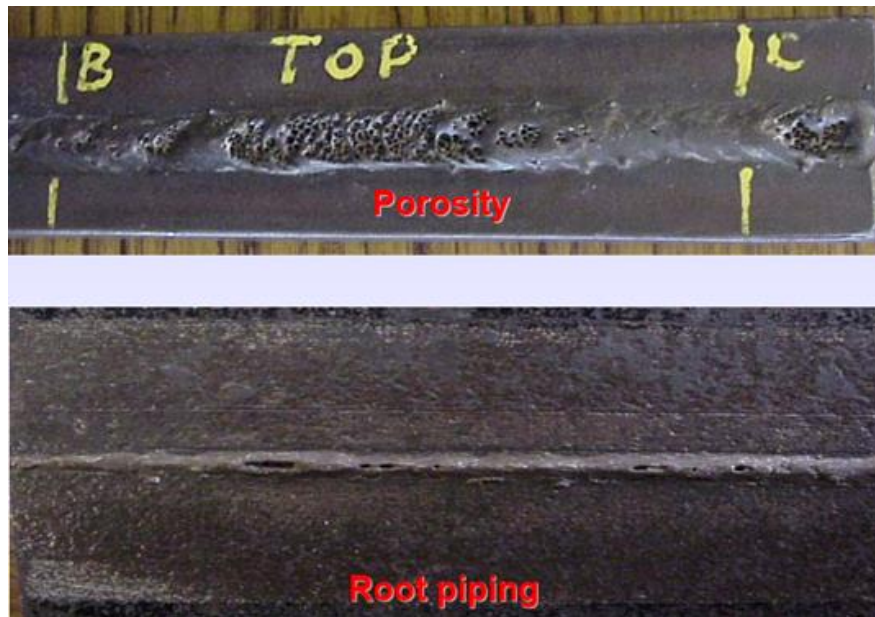
tényezőkből adódhatnak, beleértve a hegesztési folyamat paramétereit, az anyag tulajdonságait, a kezelői készségeket és a környezeti feltételeket. E hibák azonosítása és kezelése kulcsfontosságú a hegesztett szerkezetek megbízhatóságának és biztonságának biztosítása érdekében.

A gyakori hegesztési hibák áttekintése

- **A porozitás** a hegesztett fémen belüli kis üregek vagy hézagok jelenlétére utal, amelyeket a csapdába esett gázok, például hidrogén vagy nitrogén okoznak. Ezek az üregek gyengíthetik a hegesztést, és hajlamosabbá tehetik a repedésre.

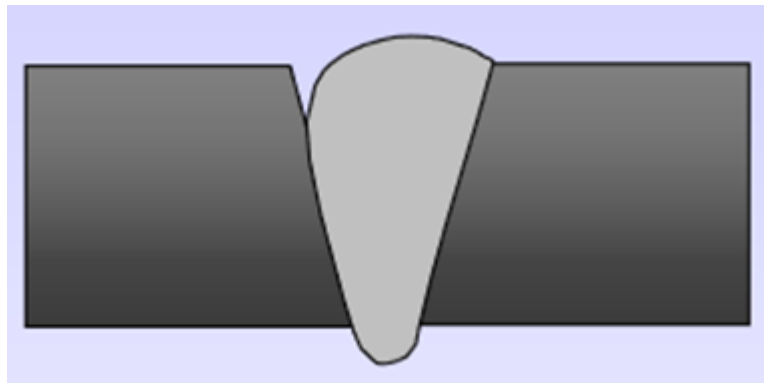


3.2.1. ábra. Gázüregek. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztésvizsgálat hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.



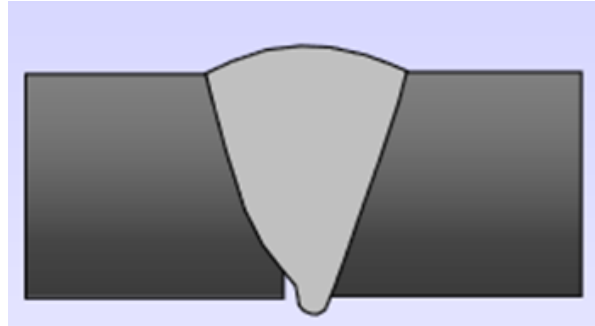
3.2.2. ábra. A gázüregek vizuális jellemzői. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztésvizsgálat hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

- **Az olvadás hiánya** akkor fordul elő, ha a hegesztett fém és az alapfém között vagy a különböző hegesztési menetek között nem megfelelő a kötés. Ez gyenge kötést eredményezhet, amely esetleg nem képes ellenállni az alkalmazott erőknek.

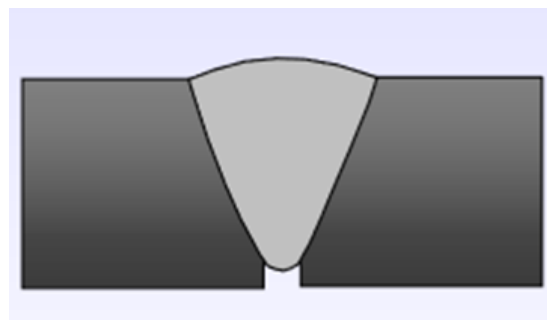


3.2.3. ábra. Nem teljesen kitöltött horony. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztési ellenőrzési hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

- **A hiányos behatolás** akkor következik be, amikor a hegesztett fém nem hatol be teljesen a kötésbe, vagy nem terjed át az alapfém teljes vastagságán. Ez csökkent szilárdsághoz és integritáshoz vezethet.

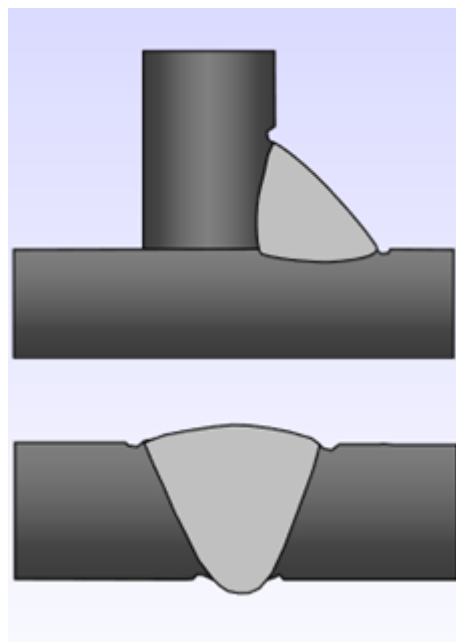


3.2.4. ábra. Nem teljes gyökérfúzió. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztési ellenőrzési hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.



3.2.5. ábra. Nem teljes gyökérbehatolás. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztési ellenőrzési hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

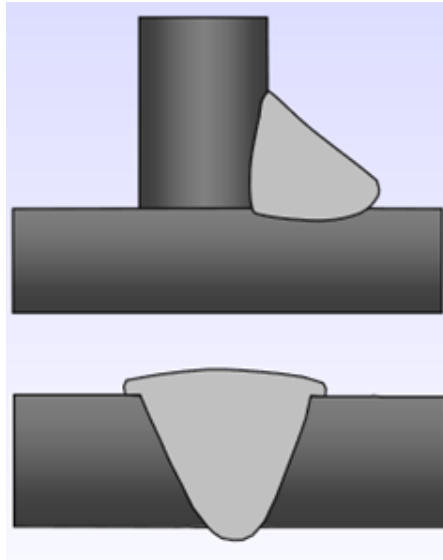
- **Az alulvágás az** alapfém mentén a hegesztési varrat közelében a túlzott hő vagy a nem megfelelő hegesztési technika miatt kialakuló barázda. Ez feszültségkoncentrációkat hozhat létre és gyengítheti a kötést.





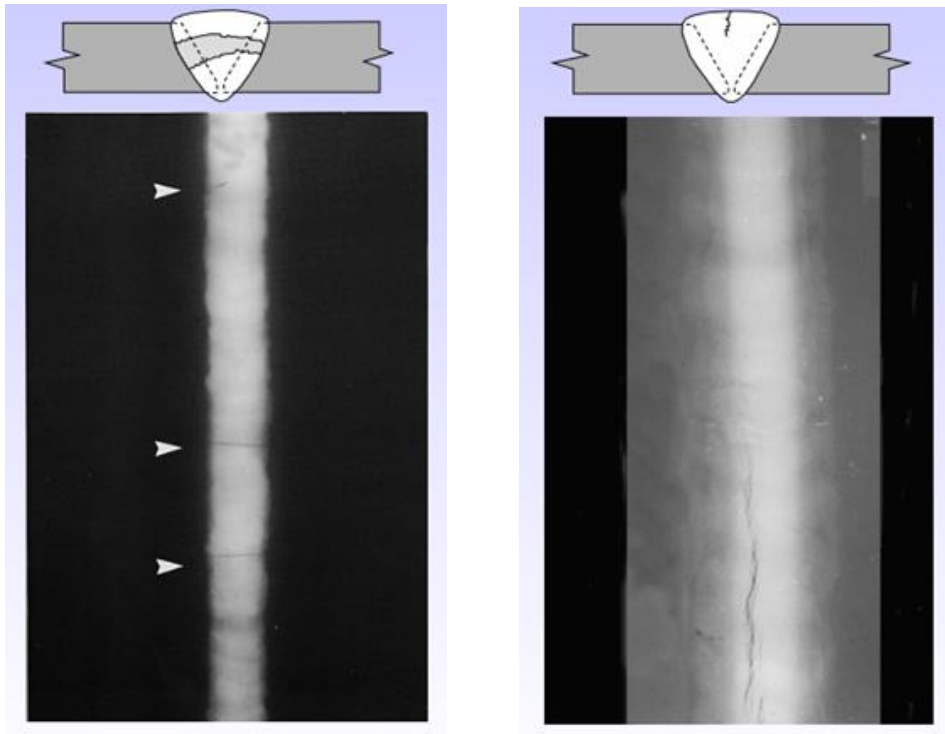
3.2.6. ábra. Gyökér és sapka vágás alatt. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztési ellenőrzési hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

- **Az átfedés** akkor fordul elő, amikor a hegesztett fém megfelelő olvadás nélkül ráterjed az alapfém felületére. Ez szilárdsághiányt és fokozott repedésérzékenységet eredményezhet.



3.2.7. ábra. Lábujj átfedés a Butt/Fillet hegesztésnél. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztési ellenőrzési hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

- **A repedések** a hegesztésen belül különböző irányokban és helyeken keletkezhetnek. A leggyakoribb típusok közé tartoznak a hosszanti repedések a hegesztési tengely mentén, a keresztirányú repedések a hegesztésen keresztül és a repedések a hőérzékeny zónában. A repedések veszélyeztethetik a hegesztés szerkezeti integritását.

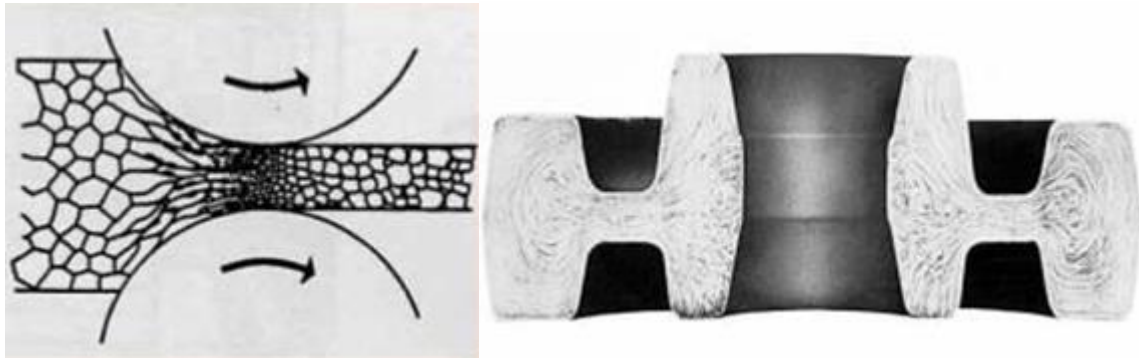


3.2.8. ábra. Keresztirányú repedés 3.2.9. ábra. Hosszanti repedés

Forrás: M.S. Rogers, Hegesztésvizsgálat hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

- **A hegesztési fröccsenés** a hegesztési ívből kilökött olvadt fém apró cseppjei, amelyek megtapadhatnak a hegesztés felületén. Bár szerkezetileg nem mindig károsak, a túlzott mennyiségű fröccsenés befolyásolhatja a megjelenést, és potenciálisan gyenge pontokat okozhat.

A forró plasztikus deformációt ($T_{\text{deformáció}} > T_{\text{rekristályosodás}}$) követően a hosszmetsetekben megjelenő szemcseáramlást már nem jellemzi a szemcsék hosszúkás alakja. Ennek oka, hogy a képlékeny alakváltozásnak az átkristályosodási hőmérsékletet meghaladó hőmérséklete miatt átkristályosodás következik be, ami miatt a szemcsék egyenlő tengelyűvé válnak. Ebben az esetben a szemcseáramlást a zárványok rétegenkénti eloszlása emeli ki. A 7. ábrán megfigyelhető, hogy a szemcseáramlás követi a darab kontúrját. Nemfémes zárványok hiányában a forrón deformált fémes anyagok nem mutatnak szálás megjelenést.



3.1.7. ábra. A forró képlékeny alakváltozás eredményeként kapott szemcseszerkezet. Forrás: <https://learnmech.com/hot-rolling-vs-cold-rolling-difference-between-hot-rolling-and-cold-rolling/>

A hegesztett kötések szempontjai

A hegesztett kötések különböző aspektusai is kiemelhetők, mint például a hegesztési gyöngy alakja (X, V, U stb. alakban), a különböző hegesztési rétegek, a hőhatás által érintett zóna (HAZ) - amely sötétebb színűnek tűnik - és a hegesztési fémzóna (WMZ). Ezenkívül a hegesztett kötések keresztmetszeti vizsgálata a csiszolás és a kémiai maratás után jellegzetes zónákat mutathat (8. ábra): az alapfém zóna (BMZ), a hőhatás által érintett zóna (HAZ) - amely sötétebb színű - és a hegesztett fém zóna (WMZ). További megfigyelhető jellemzők a hegesztési keresztmetszet alakja (V-alakú, X-alakú, U-alakú stb.), a hegesztési rétegek elkülönülése, az átkristályosodás zónája (oszlopos kristályok) és a hibák (pórusok, szegregációk, olvadáshiány, repedések stb.).

Az alapfém zóna elég messze van a hegesztési művelettől ahhoz, hogy megakadályozza a jelentős fizikai-kémiai változásokat.

A hőhatás által érintett zóna olyan területet jelent, ahol a hegesztési folyamat során a hőhatás szerkezeti és tulajdonságbeli változásokat idézett elő az alapfémen.

A hegesztési gyöngy az az olvadt és megszilárdult terület, ahol a maximális hőhatás ideiglenesen lehetővé tette az alapanyag széleinek megolvadását, esetleg a töltőanyag vagy csak maga a töltőanyag részvételével.

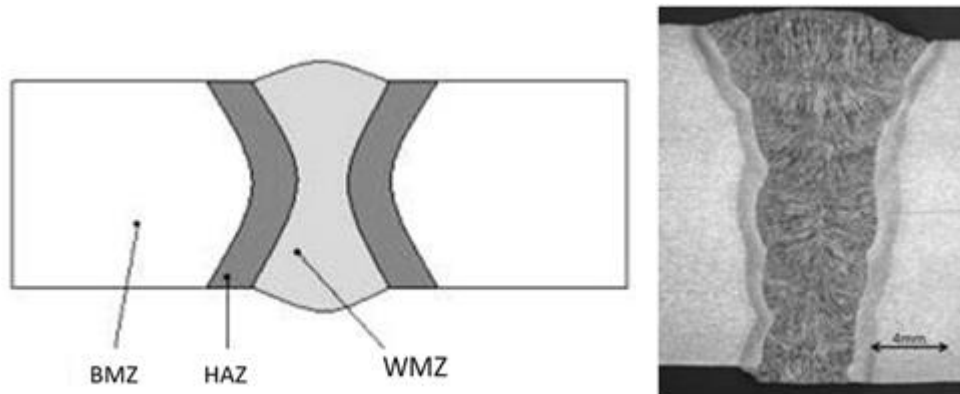
A hegesztési gyöngy keresztmetszetének különböző zónáit megfelelő előkészítéssel és kémiai maratással (például acélok esetében Adler reagenssel) lehet kiemelni.

Ezért a hegesztett kötések keresztmetszetének makroszkópos vizsgálata a következő zónákat mutatja:

- nemesfém zóna (BMZ)
- hőhatás által érintett zóna (HAZ)
- hegesztési fémzóna (WMZ)



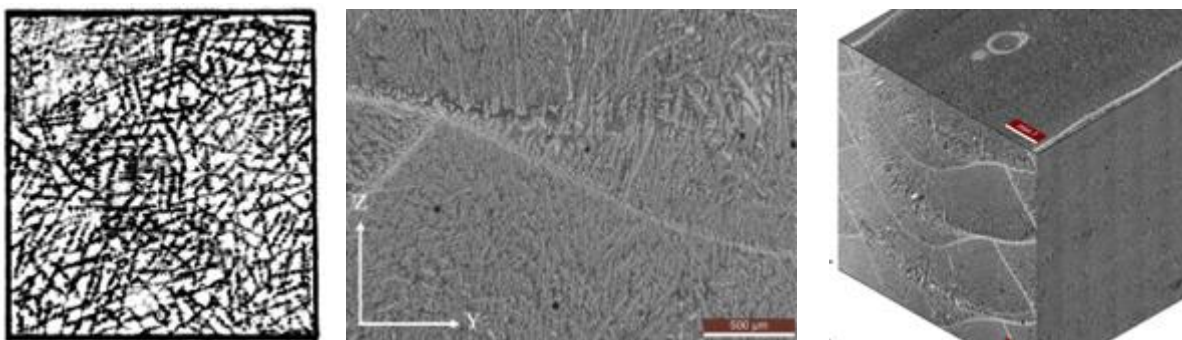
Mivel az alapfém zóna kellően távol van, a hegesztési művelet következtében nem megy át jelentős fizikai-kémiai változásokon. A hőhatású zóna azonban olyan területet képvisel, ahol a hegesztési folyamat során megemelkedett hőmérséklet miatt szerkezeti és tulajdonságbeli változások következtek be az alapfémen. A hegesztési gyöngy (hegesztési varrat) az az olvadt és megszilárdult terület, ahol a maximális hőhatás a hegesztendő darabok éleinek átmeneti megolvadásához vezetett, akár töltőanyag részvételével, akár anélkül. Ezeknek a zónáknak a profilja és méretei ugyanazon fémes anyag esetében változhatnak a hegesztés típusától és a hegesztés előtt, után vagy közben alkalmazott hőkezeléstől függően.



3.1.8. ábra. A hegesztési varrat zónái klasszikus elektromos ívhegesztésnél töltőanyaggal.

Forrás: https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2021/05/Laborator_SM_2020.pdf

Az öntésből, képlékeny deformációból vagy termokémiai kezelésekből eredő kémiai inhomogenitás makroszkopikus vizsgálattal is kiemelhető. A dendritikus szerkezet például megfelelő kémiai maratással (acélok esetében Oberhoffer-reagens, alumíniumötvözetek esetében Keller-reagens) kiemelhető. A 9. ábra egy Al-Si ötvözet (AlSi12) elsődleges dendritikus szerkezetét mutatja, ahol az öntésből eredő kémiai inhomogenitás nyilvánvaló.



3.1.9. ábra. Egy Al-Si ötvözet elsődleges dendritikus szerkezete. Forrás:

<https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2015/03/MF1-Laboratoare.pdf>

Ezenkívül a hőkezelt darab keresztmetszeti felületének kémiai maratásával (karburálással) megfigyelhető a szénben dúsított (sötétebb színű) külső réteg, ami lehetővé teszi a darab felületi rétegébe történő széndiffúzió mélységének makroszkopos értékelését.

A fémes anyagok előkészített és kémiailag maratott felületeinek makroszkópos vizsgálata során bizonyos hibákat lehet kimutatni, mint például salakzárványok, anyagfelületek, pórusok, lyukak, repedések stb.

Berendezések, anyagok és munkafolyamatok

A makroszkópos elemzés különböző fémes anyagokból (öntöttvasak, acélok, színesfém ötvözetek) készült minták törött vagy preparált felületeinek, illetve kémiailag maratott felületeinek vizuális vizsgálatát foglalja magában. Ajánlatos nagyítót használni (10. ábra), hogy bizonyos makroszerkezeti szempontokat, amelyeket szabad szemmel nehéz megfigyelni, kiemelhessünk. A metallográfiai minták elemzése során a hangsúlyt az alakjukra, a törés színére és típusára, a szerkezeti inhomogenitásokra, a feldolgozásból vagy az anyagfeszültségekből eredő hibákra stb. vagy a hegesztett szakaszra helyezzük.



3.1.10. ábra. Nagyítóüvegek makroszkópos vizsgálathoz. Forrás: [https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2021/05/Laborator SM 2020.pdf](https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2021/05/Laborator_SM_2020.pdf)

Ezenkívül különböző fémes anyagokból készült minták törési felületeit is elemezni fogják, hogy meghatározzák a törés típusát és az anyag viselkedését a képlékeny alakváltozás során. Az elvégzett elemzés alapján következtetéseket vonunk le arra vonatkozóan, hogy a vizsgált anyag képlékeny vagy rideg viselkedést mutat-e, és milyen körülmények között használható a gyakorlatban.

3.1.5 A fémanyagok makroszkópos vizsgálata az előkészített felületeken



<i>Nem.</i>	<i>Vizsgált minta</i>	<i>Megfigyelések</i>
1		Öntött alumíniumötvözetek A minta egy kis ötvözetből készült ingotból származik: <ul style="list-style-type: none">- Az előkészített és kémiaileg maratott felületen dendritek figyelhetők meg.- A minta tetején egy zsugorodási üreg és egy repedés található, amelyet az anyag megszilárdulás közbeni összehúzódása okoz.- A minta közepén egy belső üreg (fúvólyuk) látható.
2		Repedt acélminta Az oltás hőkezelését követően a minta megrepedt a mechanikai feszültségkoncentrátorok (pl. egy nem összefüggő kulcsos horony) vagy a sorokban elhelyezett szennyeződések által kiváltott nagy belső feszültségek miatt.
3		Minta egy hegesztett alkatrészről terhelés alatt A vegyileg maratott keresztmetszeti képen a hegesztés három jellegzetes zónája figyelhető meg: <ul style="list-style-type: none">- Alapanyag-övezet (BMZ).- Hőhatás által érintett zóna (sötétebb színű - HAZ).- Hegesztési fémzóna (WMZ).
4		V-hegesztett acélból vett minta A kémiaileg maratott keresztmetszeti nézetben megfigyelhető a megszilárdult anyagzóna és az alapanyag. <ul style="list-style-type: none">- A hegesztés gyökérmennel készült.



5		A minta hideg deformációja Megfigyelhető a darab kontúráját követő szemcseszerkezet.
---	---	--

3.1.6. Kérdések

9. Mi a célja az ízületek makroszkópos mintáinak értékelésének bemutatásának ebben az összefüggésben?
10. Melyek a metallográfiai minták előkészítésének lépései?
11. Melyek a felület vizsgálatra való előkészítésének szakaszai?
12. Miben különbözik az előkészítetlen felületeken végzett makroszkópos elemzés az előkészített felületeken végzett makroszkópos elemzéstől?
13. Miért fontos a fémes anyagok makroszkópos vizsgálata előkészítetlen felületeken, és milyen szerkezeti jellemzőket lehet vizsgálni ezzel a módszerrel?
14. Melyek azok a területek a hegesztett kötések keresztmetszetében, amelyek kiemelhetők?
15. Vannak-e a makroszkópos elemzéshez tárgyalt konkrét technikák vagy eszközök?
16. Melyek azok a potenciális alkalmazások vagy iparágak, ahol a fémes anyagok makroszkopikus elemzése releváns?

3.3. Gyakorlati képzés a hegesztési hibák makroszkópos mintákon történő, segítség nélküli azonosításáról

3.3.1. Bevezetés a hegesztési hibákba

A gyakori hegesztési hibák áttekintése

A hegesztési hibák azonosításának fontossága

3.3.2. Vizuális vizsgálati technikák a hegesztési hibák azonosítására

Vizuális vizsgálati berendezések és eszközök

Ellenőrzési eljárások és legjobb gyakorlatok

3.3.3. Hegesztett kötések makroszkópos vizsgálata

A makroszkópos minták előkészítése és értékelése



3.3.4. Gyakorlati képzés a hegesztési hibák segédeszköz nélküli azonosításáról

Gyakorlati gyakorlat a vizuális ellenőrzési technikákkal

Makroszkópos minták vizsgálata és elemzése

3.3.5. Hegesztési hibák dokumentálása és jelentése

A pontos dokumentáció fontossága

Jelentési formátumok és követelmények

3.3.6. Biztonsági óvintézkedések a hegesztési ellenőrzés során

Személyi védőeszközökre (PPE) vonatkozó követelmények

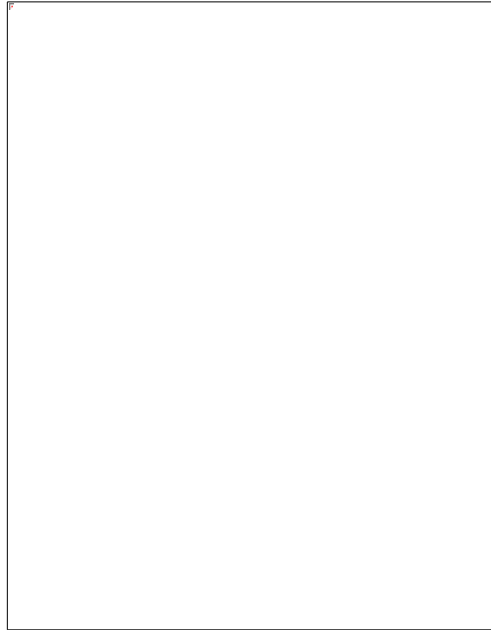
Veszélyek és biztonsági intézkedések

3.2.1 A hegesztési hibák bevezetése

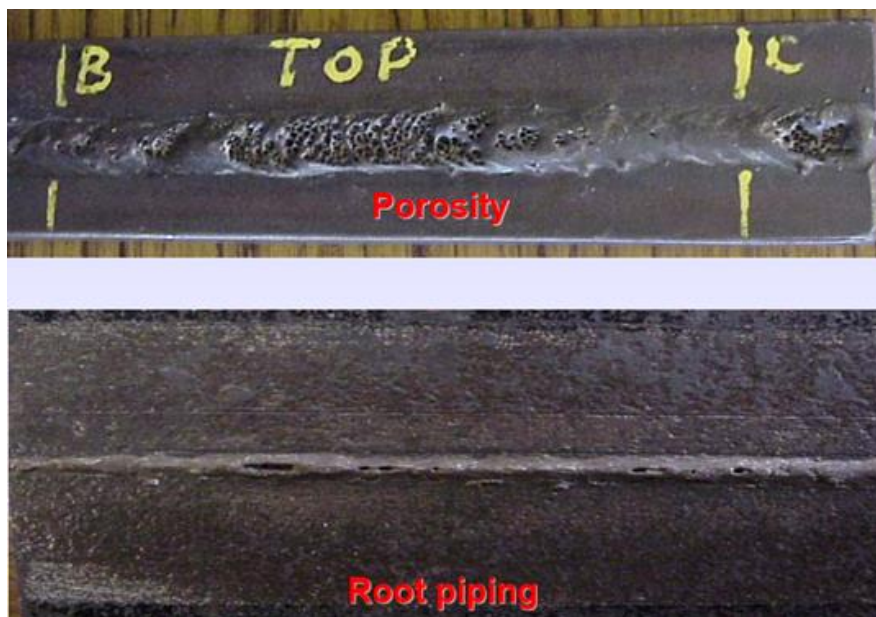
A hegesztési hibák olyan eltérések vagy szabálytalanságok a hegesztési varratban, amelyek befolyásolhatják annak integritását, szilárdságát és általános minőségét. Ezek a hibák különböző tényezőkből adódhatnak, beleértve a hegesztési folyamat paramétereit, az anyag tulajdonságait, a kezelői készségeket és a környezeti feltételeket. E hibák azonosítása és kezelése kulcsfontosságú a hegesztett szerkezetek megbízhatóságának és biztonságának biztosítása érdekében.

A gyakori hegesztési hibák áttekintése

- **A porozitás** a hegesztett fémen belüli kis üregek vagy hézagok jelenlétére utal, amelyeket a csapdába esett gázok, például hidrogén vagy nitrogén okoznak. Ezek az üregek gyengíthetik a hegesztést, és hajlamosabbá tehetik a repedésre.

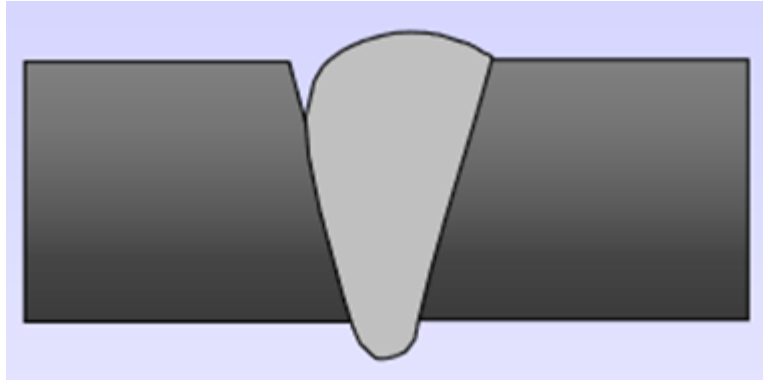


3.2.1. ábra. Gázüregek. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztésvizsgálat hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.



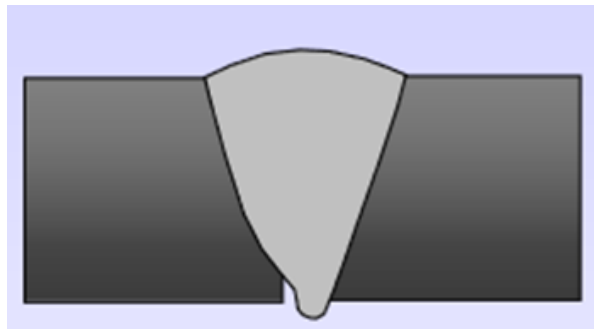
3.2.2. ábra. A gázüregek vizuális jellemzői. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztésvizsgálat hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

- **Az olvadás hiánya** akkor fordul elő, ha a hegesztett fém és az alapfém között vagy a különböző hegesztési menetek között nem megfelelő a kötés. Ez gyenge kötést eredményezhet, amely esetleg nem képes ellenállni az alkalmazott erőknek.

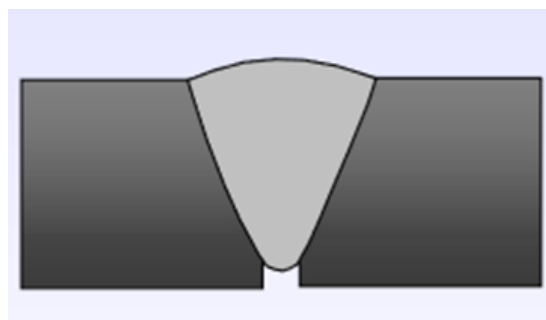


3.2.3. ábra. Nem teljesen kitöltött horony. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztési ellenőrzési hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

- **A hiányos behatolás** akkor következik be, amikor a hegesztett fém nem hatol be teljesen a kötésbe, vagy nem terjed át az alapfém teljes vastagságán. Ez csökkent szilárdsághoz és integritáshoz vezethet.

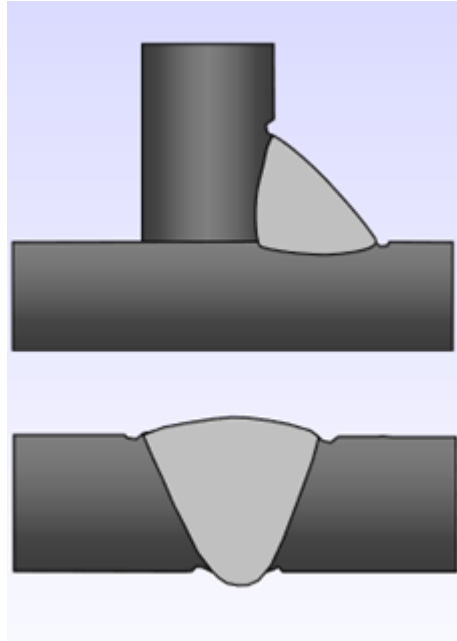


3.2.4. ábra. Nem teljes gyökérfúzió. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztési ellenőrzési hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.



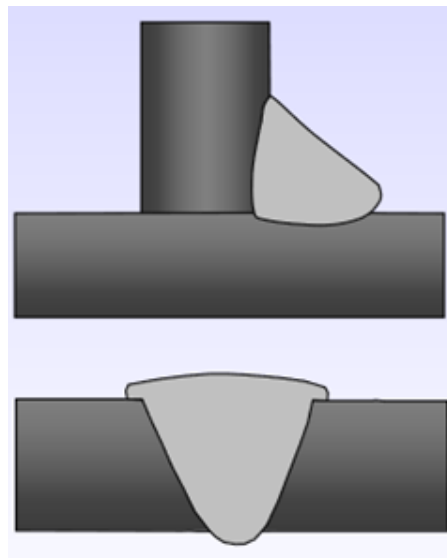
3.2.5. ábra. Nem teljes gyökérbehatolás. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztési ellenőrzési hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

- **Az alulvágás** az alapfém mentén a hegesztési varrat közelében a túlzott hő vagy a nem megfelelő hegesztési technika miatt kialakuló barázda. Ez feszültségkoncentrációkat hozhat létre és gyengítheti a kötést.



3.2.6. ábra. Gyökér és sapka vágás alatt. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztési ellenőrzési hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

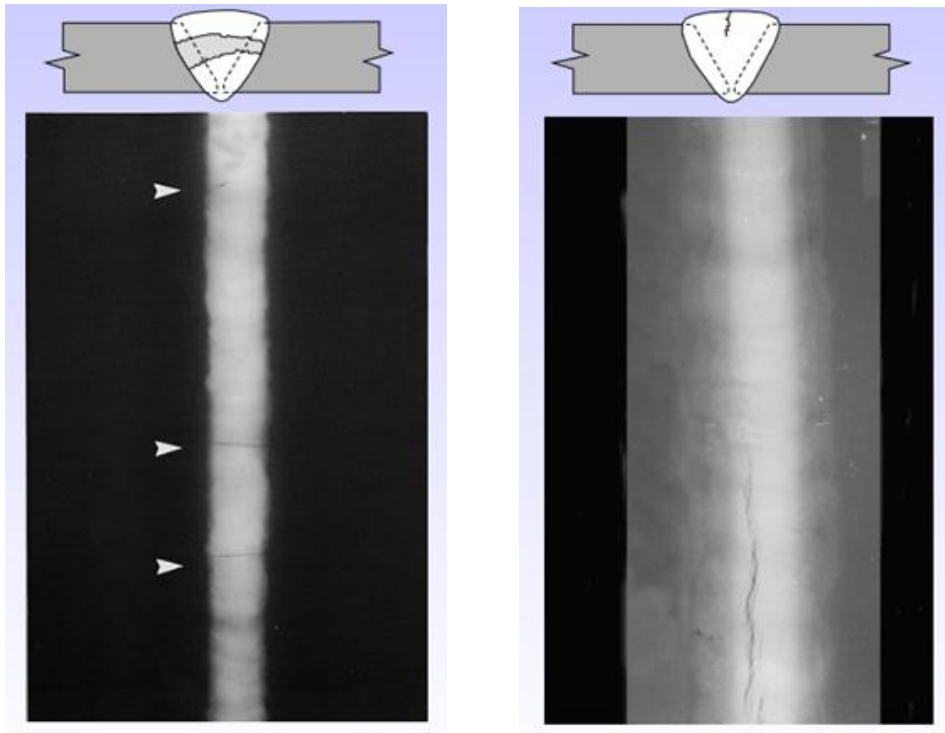
- **Az átfedés** akkor fordul elő, amikor a hegesztett fém megfelelő olvadás nélkül ráterjed az alapfém felületére. Ez szilárdsághiányt és fokozott repedésérzékenységet eredményezhet.



3.2.7. ábra. Lábujj átfedés a Butt/Fillet hegesztésnél. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztési ellenőrzési hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

- **A repedések** a hegesztésen belül különböző irányokban és helyeken keletkezhetnek. A leggyakoribb típusok közé tartoznak a hosszanti repedések a hegesztési tengely mentén,

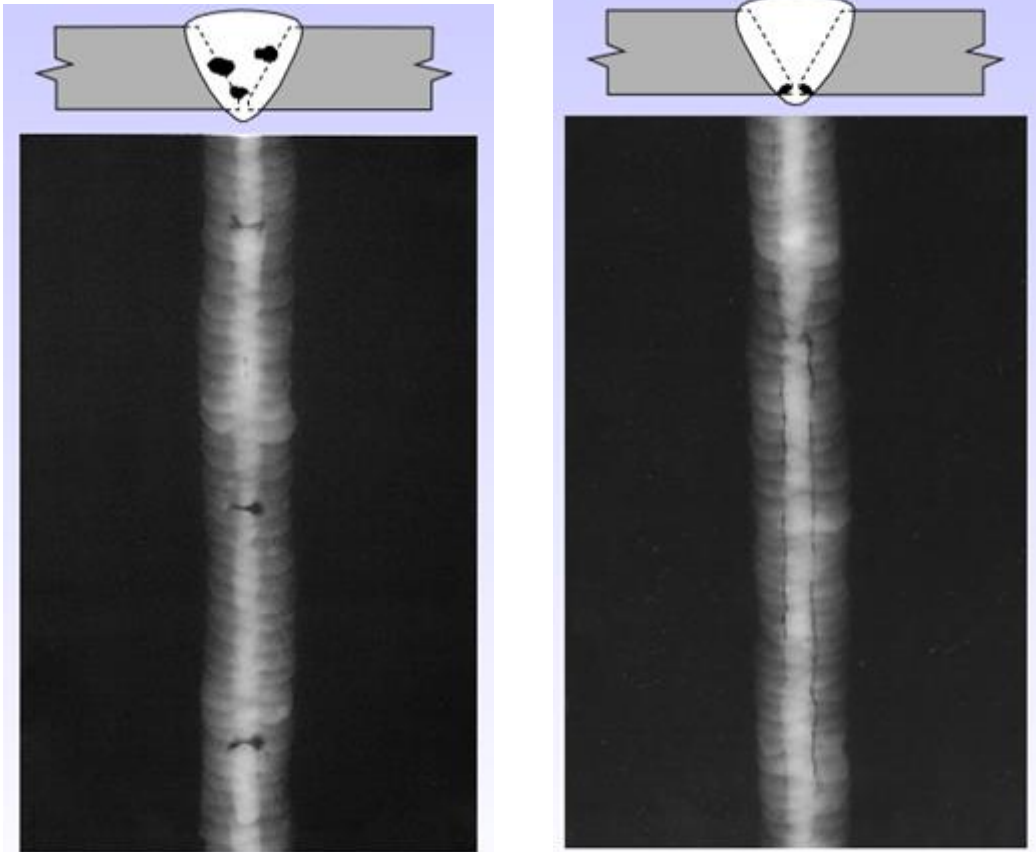
a keresztirányú repedések a hegesztésen keresztül és a repedések a hőérzékeny zónában. A repedések veszélyeztethetik a hegesztés szerkezeti integritását.



3.2.8. ábra. Keresztirányú repedés 3.2.9. ábra. Hosszanti repedés

Forrás: M.S. Rogers, Hegesztésvizsgálat hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

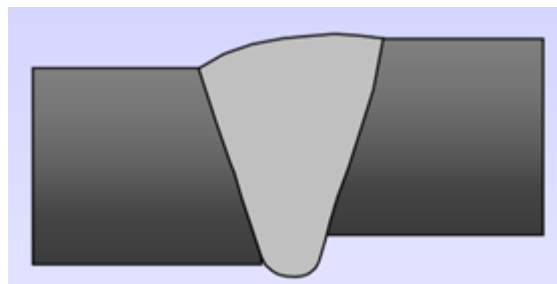
- **A hegesztési fröccsenés** a hegesztési ívből kilökött olvadt fém apró cseppjei, amelyek megtapadhatnak a hegesztés felületén. Bár szerkezetileg nem mindig károsak, a túlzott mennyiségű fröccsenés befolyásolhatja a megjelenést, és potenciálisan gyenge pontokat okozhat.
- **A zárványok olyan** idegen anyagok, mint például salak, oxid, volfrám vagy folyasztóanyag, amelyek a hegesztési varratban rekednek. Ezek gyenge pontokat és csökkent korrózióállóságot okozhatnak.



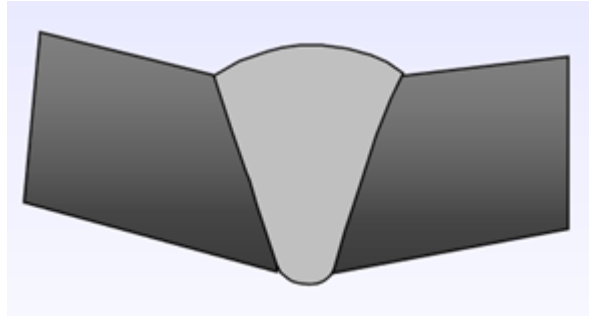
3.2.11. ábra. Menetközi salakzárványok 3.2.12. ábra - salakvonalak

Forrás: M.S. Rogers, Hegesztésvizsgálat hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

- **A helytelen igazítás** akkor fordul elő, ha a hegesztési varratot hegesztés előtt nem igazítják ki megfelelően, ami egyenetlen és gyenge hegesztési varratokhoz vezet.

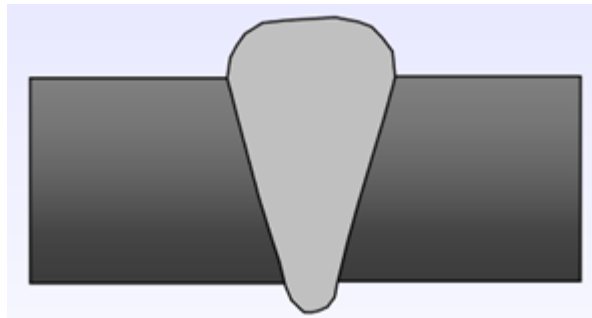


3.2.13. ábra. Lineáris eltolódás. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztési ellenőrzési hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.



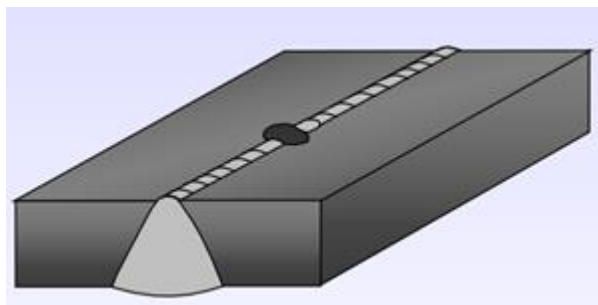
3.2.14. ábra. Szögeltérés. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztésvizsgálat hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

- **Túlzott megerősítésről** akkor beszélünk, amikor a hegesztési gyöngy a szükséges méreteken túlnyúlik. Ez feszültségkoncentrációkhoz vezethet, és nem felel meg a tervezési előírásoknak.



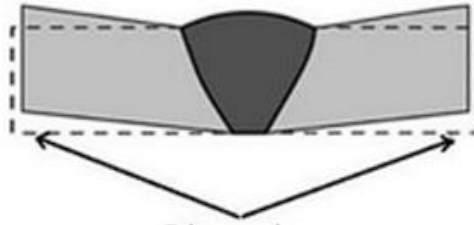
3.2.15. ábra. Túl magas sapka. Forrás: M.S. Rogers, Hegesztési ellenőrzési hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

- **Az átégés** akkor következik be, amikor a hegesztési hő túl nagy, ami az alapfémén keresztül történő megolvadást és esetlegesen lyukak kialakulását okozza.



3.2.16. ábra. Átégés. Forrás: Rogers, Hegesztésvizsgálat hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

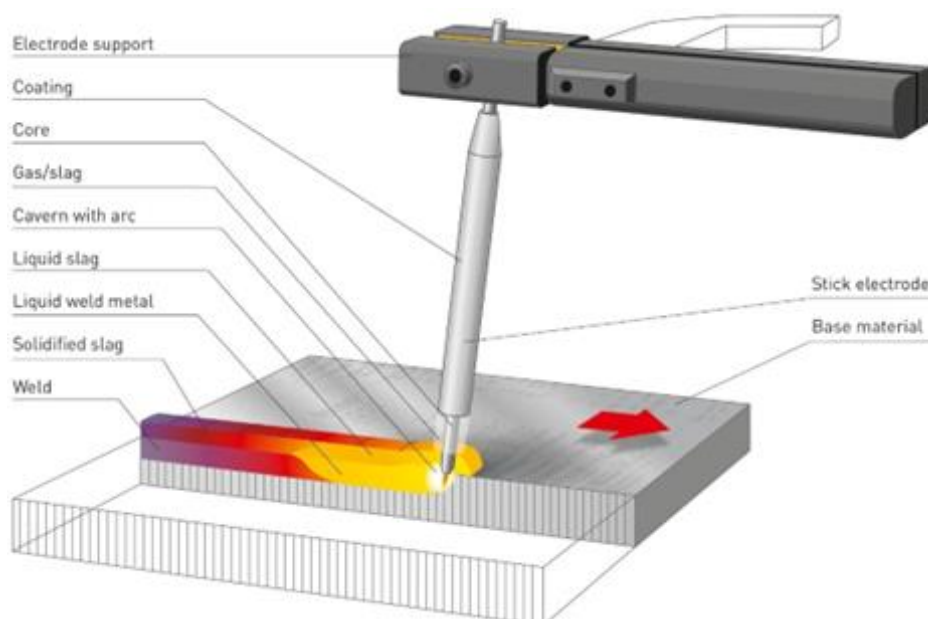
- **A torzulás** a hegesztett szerkezetnek a hegesztés során bevitt hő hatására bekövetkező torzulására vagy deformációjára utal. Bár nem feltétlenül hiba, a túlzott torzulás befolyásolhatja az illeszkedést és a működést.



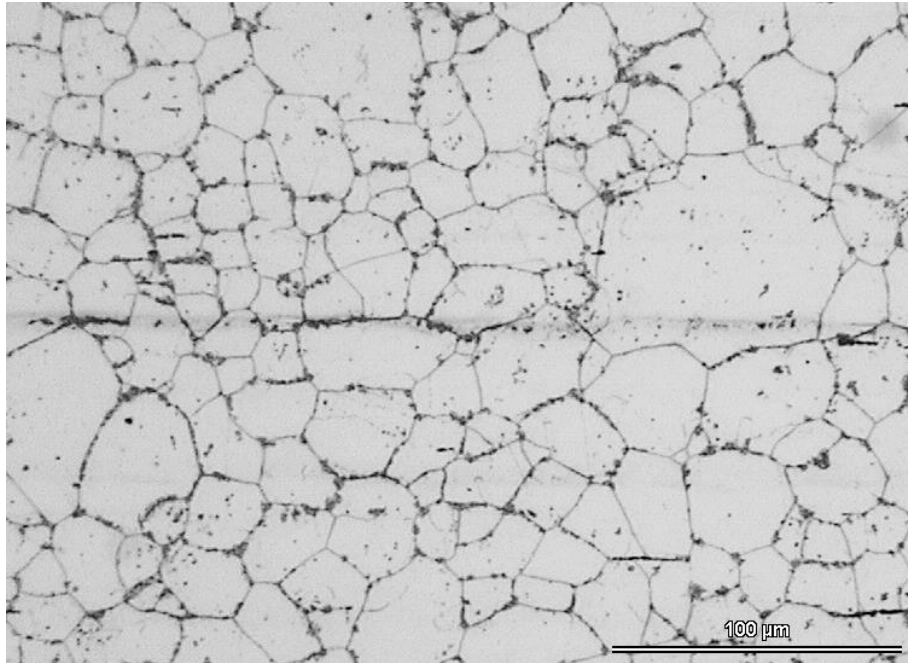
3.2.17. ábra. Torzítás. Forrás: Rogers, Hegesztésvizsgálat hibák/javítások tanfolyami hivatkozás WIS 5, 2003.

A hegesztési hibák az egyes hegesztési módszerekhez kapcsolódó sajátos jellemzők és paraméterek miatt összefüggésbe hozhatók az alkalmazott hegesztési eljárás típusával. A különböző hegesztési eljárások különböző hőforrásokkal, lerakódási sebességekkel és technikákkal rendelkeznek, amelyek befolyásolhatják a nagyobb valószínűséggel előforduló tökéletlenségek típusait.

A védett fém ívhegesztés hajlamosabb lehet a salakzárványok kialakulására, különösen akkor, ha a hegesztési menetek között nem történik megfelelő tisztítás és salakeltávolítás. A folyamat kézi jellege miatt porozitás és az olvadás hiánya is előfordulhat, ami következetlen lefedettséghez és nem megfelelő hőszabályozáshoz vezethet.



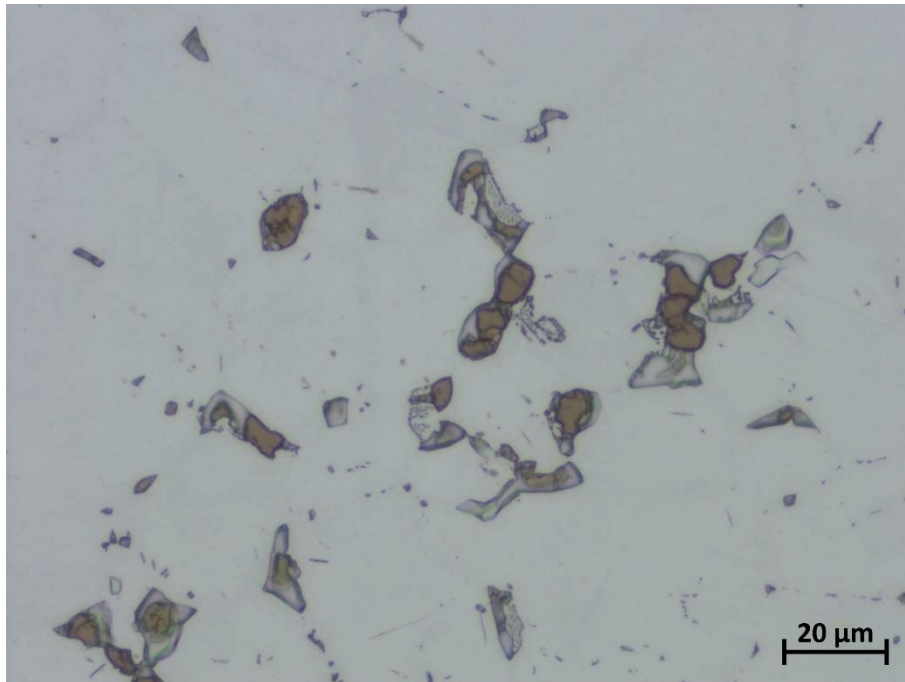
3.2.18. ábra. Árnyékolt fém ívhegesztés. Forrás: <https://www.kjellberg.de/gas-shielded-metal-arc-welding.html>



3.5.12. ábra - Teljesen ausztenites szerkezet részlete (200x) krómkarbidokkal a szemcsehatároknál (szenzibilizáció). Etchant: Elektrolitikus oxálsav oldat - Forrás: IIS laboratórium.

A szigmafázis egy nem mágneses intermetallikus fázis, amely főleg vasból és krómból áll, és ferrites és ausztenites rozsdamentes acéloknál képződik hosszú expozíció során 550–950 ° C-on; Ez egy olyan probléma, amely működés vagy hőkezelés közben jelentkezik, nem pedig hegesztés közben.

A szigma fázis kemény és törékeny. És ha rozsdamentes acélban van jelen, általában nem kívánatos. Elektrolitikus maratással (pl. NaOH vagy KOH oldat) detektálhatjuk a szigma fázist, így diszpergált gömbmorfológiákat mutathatunk.



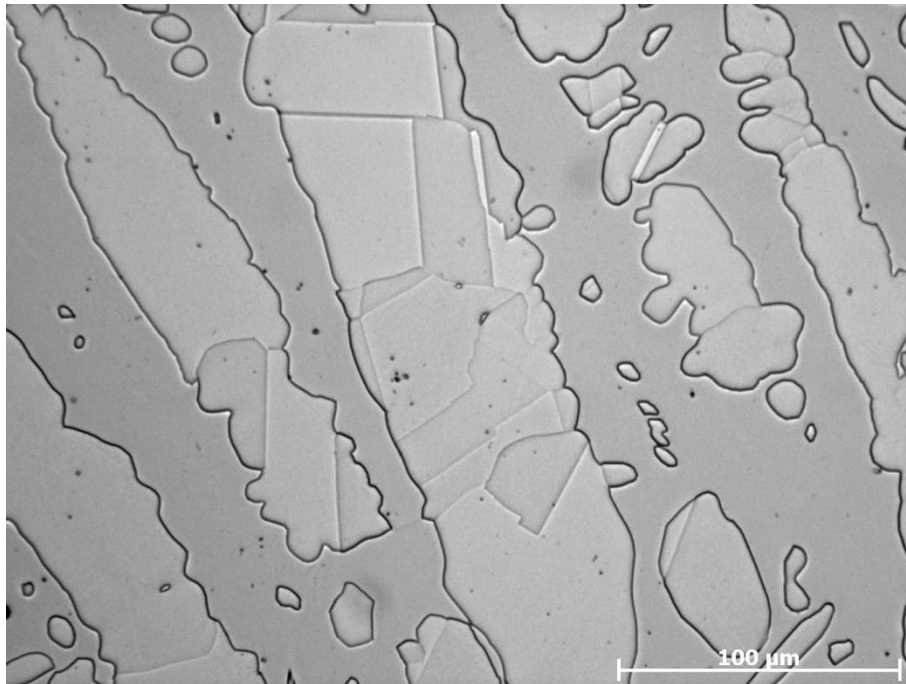
3.5.13. ábra - Szigma fázis ausztenites rozsdamentes acél 304H típuson. Etchant: Elektrolitikus NaOH oldat.

Forrás: IIS-laboratórium.

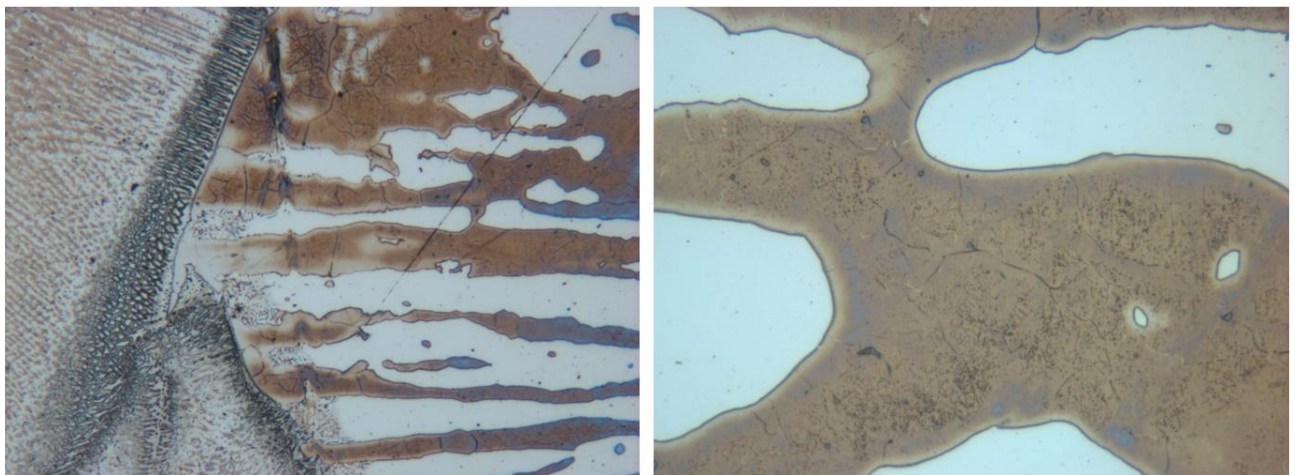
3.3.7. Duplex rozsdamentes acél

A duplex rozsdamentes acélok Fe-Cr-Ni-N ötvözetrendszeren alapulnak. Ezeknek az ötvözeteknek a kémiai összetételét úgy állították be, hogy az ipari fém mikroszerkezete általában körülbelül 50% ferritből és 50% ausztenitből áll.

A duplex minőségek összetett ötvözése miatt számos csapadékreakció mehet végbe körülbelül 1000 °C alatti hőmérséklet-tartományban. Ezek közül a csapadékok közül sok ridegíti a duplex ötvözeteket, ezért kerülendő. Ezek közé tartozik a szigma (σ), a chi és az alfa (α) prím, valamint a króm-nitridek.



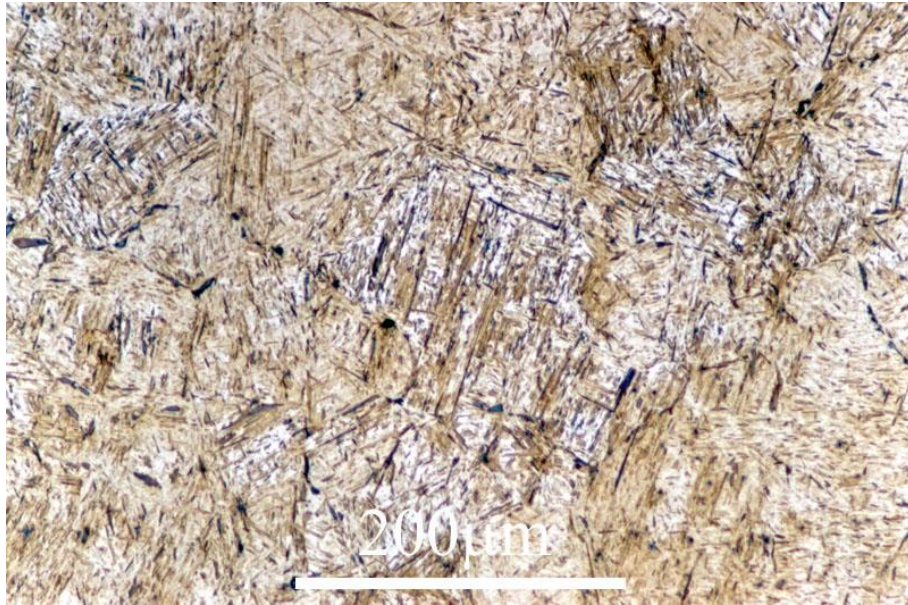
3.5.14. ábra - Duplex rozsdamentes acél – ferrit és ausztenit kétfázisú szerkezete. Etchant: Elektrolitikus oxálsav.
Forrás: IIS-laboratórium.



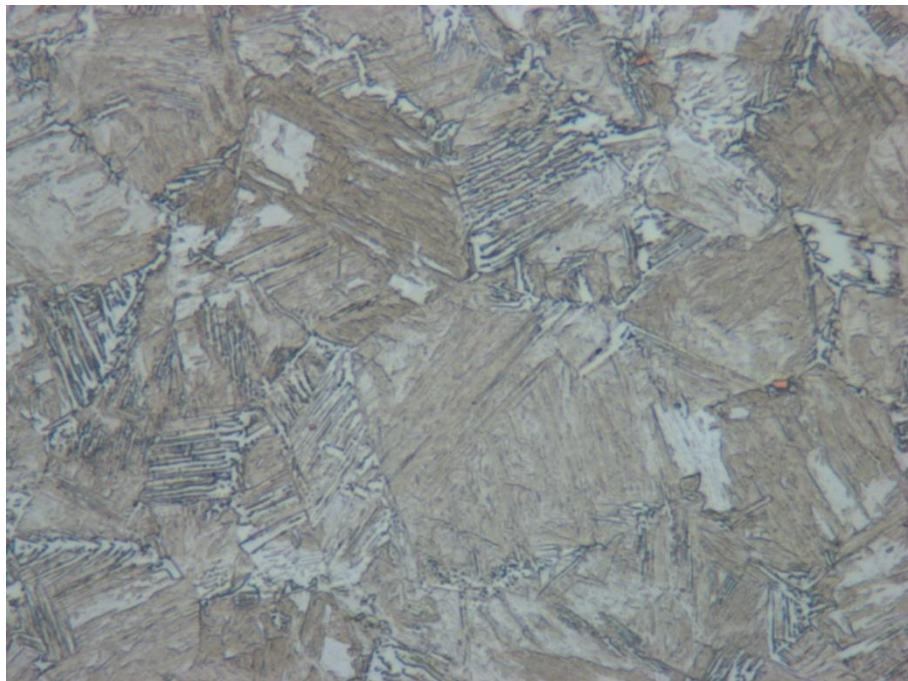
3.5.15. ábra - A duplex rozsdamentes (2205) hő által érintett zónájának részletei. Intragranuláris króm-nitridek jelenléte ferrites fázisban. Etchant: Elektrolitikus NaOH oldat. Forrás: IIS Laboratory).

3.3.8. Martenzit szerkezet

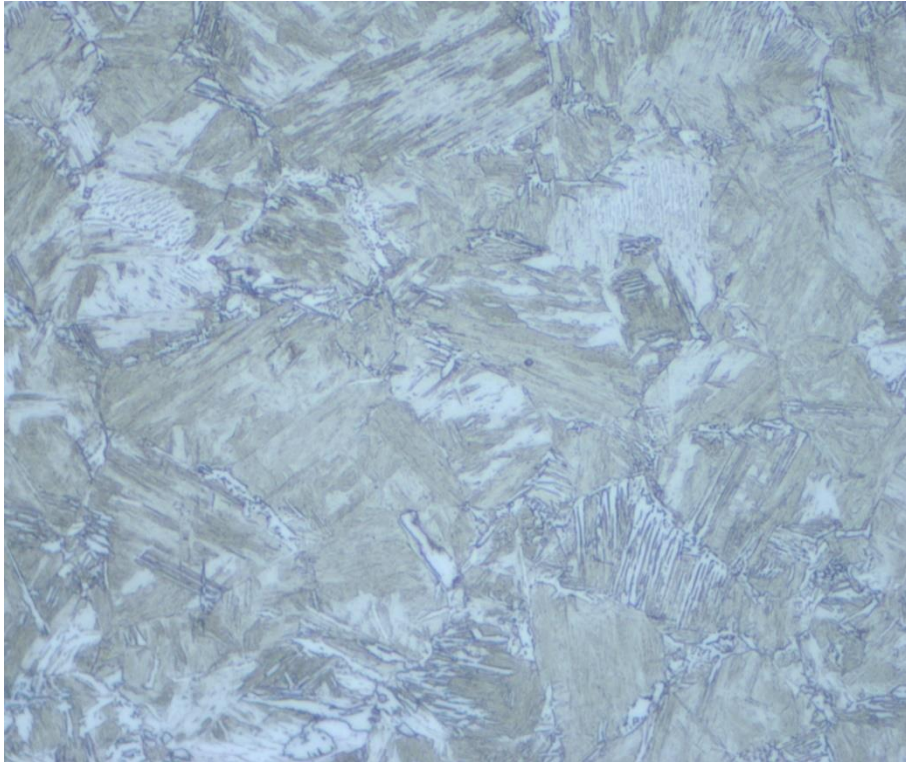
A martenzit a diffúzió nélküli fázisátalakulással létrejövő mikrostruktúrák általános kifejezése. A martenzit átalakulások acél- és vas-alapötvözetekben, valamint számos színesfém rendszerben fordulnak elő. A marszentit általában acél- vagy vas-alapú ötvözetekben állítják elő az ausztenit gyors leállítással és nyírómechanizmussal. A végső szerkezet finom és acikuláris; bizonyos esetekben megfigyelhető az elsődleges ausztenites szemcsehatár.



3.5.16. ábra - Edzett közepes szénacél részletei. Etchant: Nital 2%. Forrás: IIS-laboratórium.



3.5.17. ábra – Króm-molibdén acél részletei (P91). Rézmetszet: Vilella. Forrás: IIS-laboratórium.



3.5.18. ábra – Egy ballisztikus acél részletei (Secure 500). Etchant: Nital 2%. Forrás: IIS-laboratórium.

Hivatkozások:

[3.5.1] *ASM HANDBOOK – Volume 9 – Metallography And Microstructures*

[3.5.2] *Welding Metallurgy and Weldability Stainless Steels – John C. Lippold and Damian J. Kotecki.*

3.4. Különböző mikroszkópos szerkezetek (Mhte) bemutatása

3.4.1. Hegesztési elemzés

A makrovizsgálatot általában hegesztett kötésekben keresztül szereletlen keresztmetszeteken végzik, és vágási és durva/finom csiszolási technikákat foglal magában. Az így kapott felület maratóshoz megfelelő, majd a hegesztési kötés makrojellemzőinek vizsgálata.

Néhányat az alábbiakban sorolunk fel:

- Hegesztési geometria
- Az igazolványok száma és mérete
- A behatolás mélysége
- A HAZ (hő által érintett zóna) kiterjedése
- Felületi tökéletlenségek, például repedések, alávágás, túlzott torok, domborúság és hegesztési lábujjszög.



- Belső tökéletlenségek, például repedések, porozitás, fémes zárványok, fúzió hiánya, behatolás hiánya és salak
- Illesztési geometriai tökéletlenségek, például gyökérrés, gyökérfelület, élettörési szög és helytelen igazítás

A mikrovizsgálati technikákhoz polírozott, optikailag sík felület biztosítása szükséges. A mikroszkópos vizsgálatot hegesztési tökéletlenségek és mikroszerkezeti jellemzők tanulmányozására végzik, például:

- Hézagok (porozítások, zsugorodási üregek, mikrorepedések)
- Speciális fázisok (szigmafázis rozsdamentes acélban)
- Szemcseméreték/-szerkezet
- Hegesztési szerkezet
- Szegregáció
- HAZ és alapszerkezet

3.4.2. Fáziselemzés

A fázis meghatározása a fémes anyag esetében a következő: a rendszer homogén, kémiai és fizikailag azonos tulajdonságokkal rendelkező, független határfelülettel elválasztható részét fázisnak nevezzük. Fémfázis-analízisre van szükség a fémes anyagok különböző fázisainak jellemzéséhez. A fáziselemzés egy speciális technika, amelyet a hegesztéstechnikában és az anyagtudományban használnak a minta fázisainak meghatározására különböző módszerekkel. Számos módszerrel elvégezhető, beleértve a színes maratást, röntgendiffrakciót (XRD), pásztázó elektronmikroszkópiát (SEM) és transzmissziós elektronmikroszkópiát (TEM), a kívánt eredményektől függően. A fémfázis-elemzés létfontosságú az egyes hegesztett és alapanyagokra vonatkozó információk megszerzéséhez.

Az alapfém, a HAZ és a kötés fáziselemzési eredménye információt ad a várt mechanikai tulajdonságokról és a hegesztett szerkezet megfelelőségéről. Példa: egy hegesztett, alacsony szén-dioxid-tartalmú acél HAZ-jában a martenzit fázis nem kívánatos. Egy másik példa az ausztenites rozsdamentes acél HAZ kicsapódása. A fázisanalízis a szénacélok esetében az ausztenites módszerről is tájékoztathat minket (ausztenites szemcseméreték), mivel a hűtés után még ha fázisátalakulás is történik (ferrit, perlit), a szemcsék megtartják az előző ausztenit szemcseméretét.

3.4.3. Porozitási elemzés

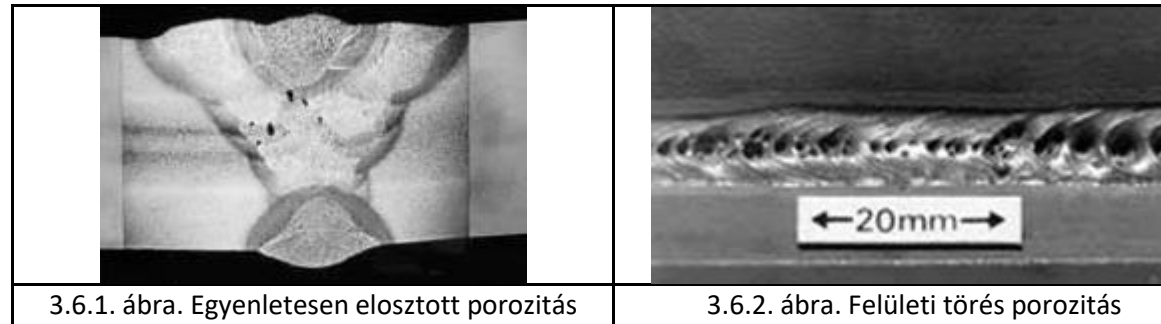
A hegesztett kötésben többször porozitás lehet. A nitrogén, az oxigén és a hidrogén abszorpciójának porozitásának oka az olvadt hegesztési medencében, amely ezután megszilárdulásakor felszabadul, hogy csapdába essen a hegesztési fémbe. A porozitás elkerülésének legjobb módja a munkadarab tisztítása a hegesztés előtt. A táblázat összefoglalja a fémek és a porozitást okozó gázok egyes fajtáit.

3.6.1. táblázat A porozitást okozó gázok Fém	Gáz
C-Mn acél	H, N, O
Rozsdamentes acél	H
Alumínium és ötvözetek	H
Réz és ötvözetek	H, N



Nikkel és ötvözetei	N
Titán és ötvözetei	H, N, O

A porozitás megtalálható a hegesztett kötés kötésében (3.6.1. ábra) vagy a felület közelében (3.6.2. ábra).



Számos roncsolásmentes vizsgálat alkalmas penetráns vagy mágneses részecskevizsgálatra, ultrahangos vizsgálatra, röntgenvizsgálatra stb. A roncsolásos vizsgálat mikroszkópos vizsgálatként alkalmas (3.6.1. ábra).

3.4.4. dekarburálás

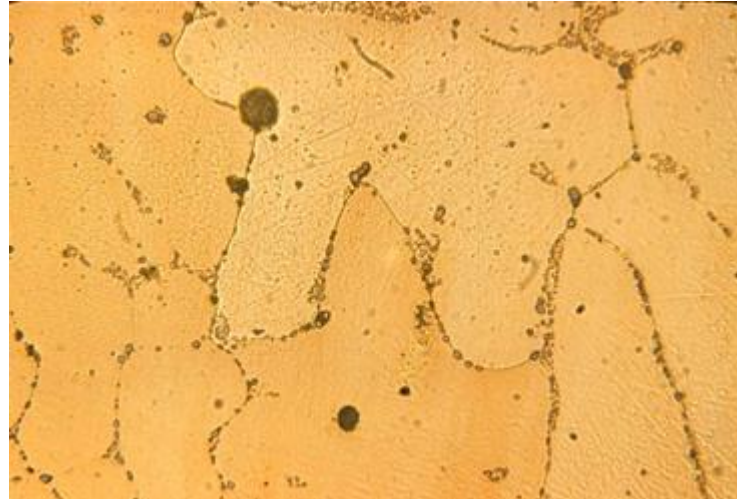
A dekarburálás kémiai folyamat, amikor az acél széntartalma oxigénnel egyesül. Ezt az eljárást magas hőmérsékleten (700 °C felett) kell elvégezni (3.6.3. ábra). Ennek a folyamatnak a problémája az acélszéntartalom csökkenése. A folyamat diffúzióval történik, és a diffúzió is ennek a folyamatnak a határa. A dekarburálás általában az acél felületén és a felszín alatti vékony rétegben történhet. A dekarburált réteg negatív hatással van a hegesztett kötés mikroszerkezetére és mechanikai tulajdonságaira, és repedést okozhat a kötés és az alapfém határán.



3.6.3. ábra. C-Mn acél dekarbonizált felülete

3.4.5. Réz szerkezetek

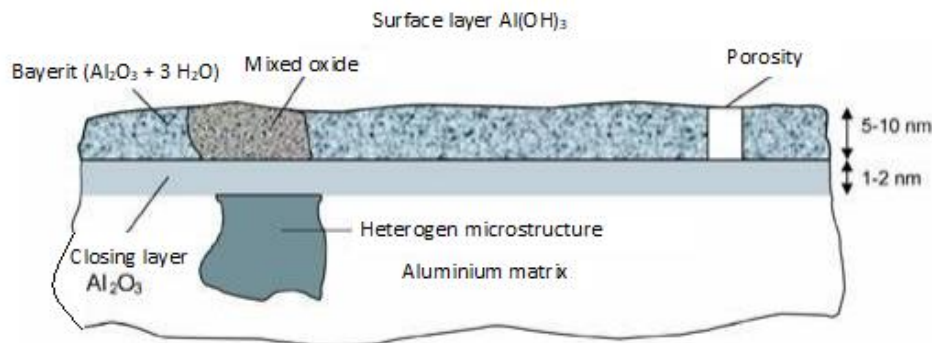
A réz és ötvözet szerkezete a gyártási folyamattól függ (öntés, hengerlés stb.). Az öntött rézszerkezet dendritikus szerkezetet, a hengerelt és lágyított szerkezet pedig kis szemcsés szerkezetet mutat. A réz oxidokat képezhet a szerkezetben, ami mikroszkópos vizsgálattal kimutatható.



3.6.4. ábra. Réz mikroszerkezet oxidokkal

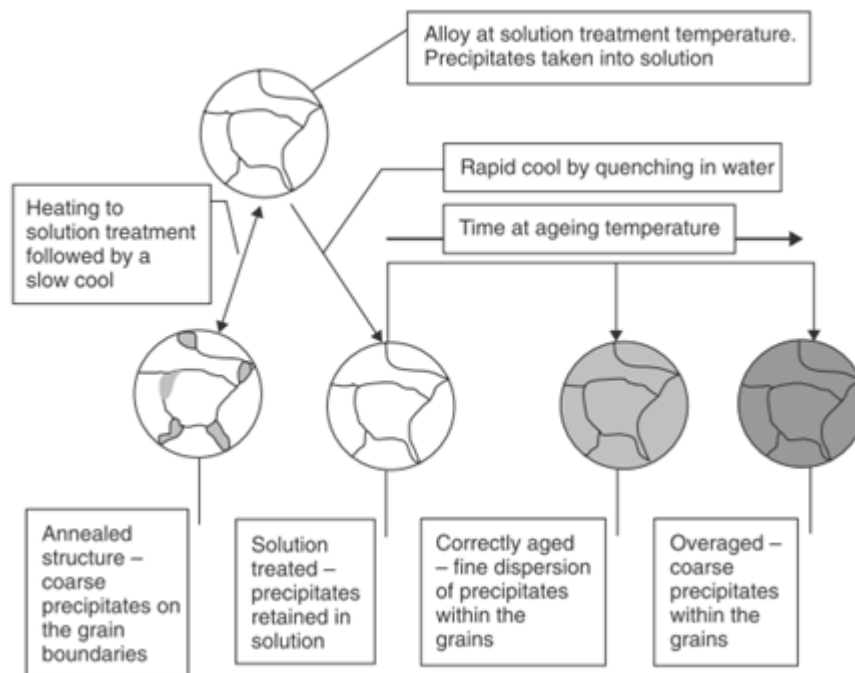
3.4.6. Alumínium szerkezetek

Az alumínium és ötvözött szerkezetek a gyártási folyamatától függenek (öntés, hengerlés stb.). Az öntött rézszerkezet dendritikus szerkezetet, a hengerelt és lágyított szerkezet pedig kis szemcsés szerkezetet mutat. Az alumínium oxidréteget képez a munkadarab felületén. Az öntött alumínium esetében a porózus vékony oxidréteg felületén porozitást talál. A hegesztés során az olvasztott alumínium reakcióba lép az oxigénnel, és oxidokat vagy porozitást hoz létre. Az oxidréteg vastagsága az idővel, a hőmérséklettel és a rendelkezésre álló oxigénnel a mennyiséggel nő. Az alumínium munkadarab keresztmetszetét a 3.6.5. ábra mutatja.



3.6.5. ábra. Alumínium munkadarab keresztmetszete

A hőkezelés a speciális alumíniumötvözet esetében módosíthatja a felületi szerkezetet. Az oldatkezelést és az életkori kicsapatásos keményedési hőkezelést a 3.6.6. ábra szemlélteti.



3.6.6. ábra. A hőkezelés által érintett szerkezetek

3.4.7. Öntöttvas szerkezetek

Az öntöttvas kohászata sokkal összetettebb, mint a közgazdaságtan. Öntöttvas az egyik összetettebb kohászati rendszer. Érdekes megjegyezni, hogy a vas-szén ötvözetek (kevesebb, mint 2% szénnel) metastabilak. Az igazi stabil rendszer a vas-grafit fázistranszformációs rendszer (Fe-C). Az öntöttvas hőkezelés alapjául szolgáló szilárdtest-transzformációk hasonlóak az acélokhoz alkalmazottakhoz, és a következőképpen jellemezhetők:

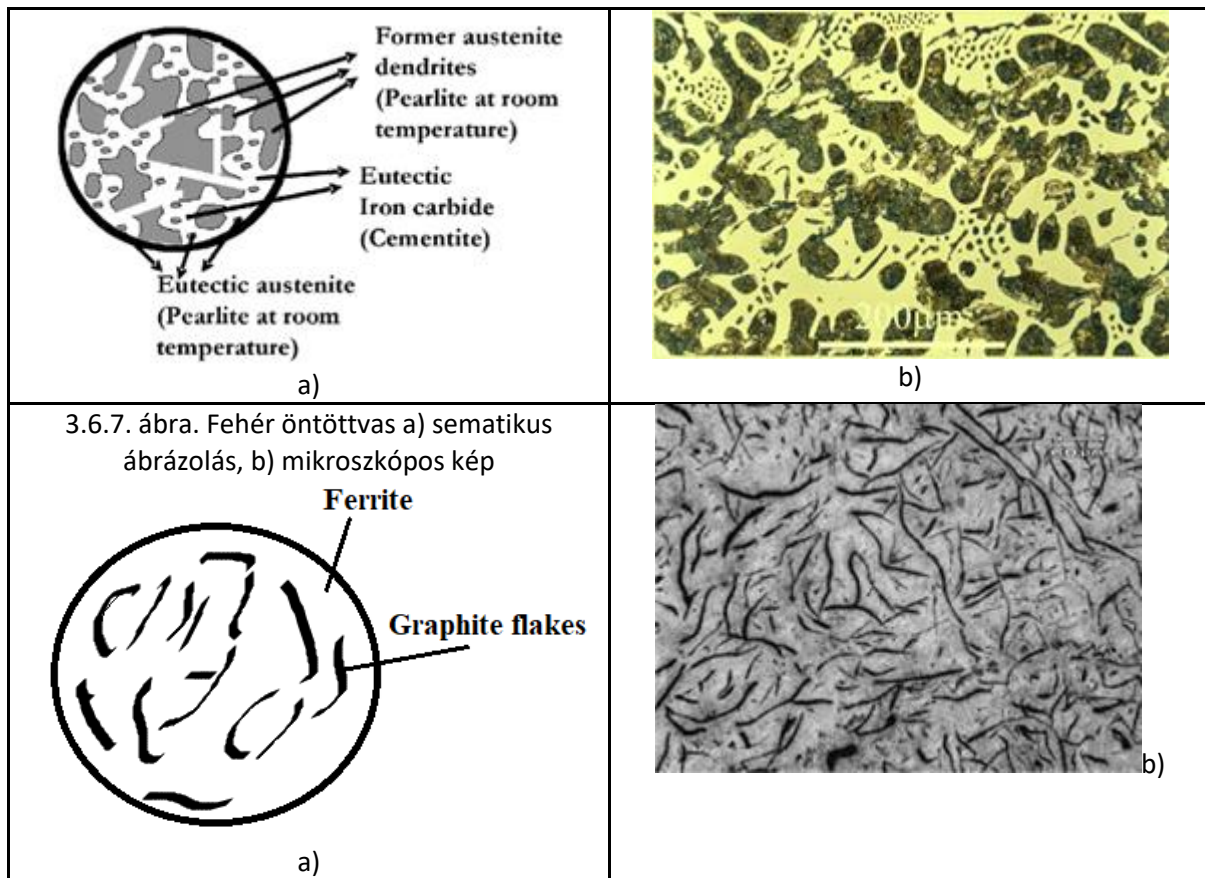
A hipoeutektikus vasak hűtésénél 1147 °C alatti hőmérsékleten a mikroszerkezet proeutektikus ausztenitből és ledeburitból áll. További hűtéskor a felesleges szén cementitként jön ki a proeutektikus és eutektikus ausztenitből. Végül 727 °C-on mind az eutektikus, mind a proeutektikus ausztenit körülbelül 0,77% széntartalmú gyöngyházra bomlik.

Az eutektikus öntöttvasak hűtésénél ledeburit képződik. További hűtéskor a felesleges szén az eutektikus ausztenitből cementit formájában jön ki az oldatból. Végül 727 °C-on az eutektikus ausztenit gyöngyházra bomlik.

A hipereutektikus vasak hűtésénél, valamivel 1147 °C alatti hőmérsékleten, a mikroszerkezet proeutektikus ausztenitből és ledeburitból áll. További hűtéskor a felesleges szén cementit formájában jön ki proeutektoid cementit és eutektikus ausztenit formájában. Végül 727 °C-on az eutektikus ausztenit gyöngyházra bomlik.

Ha egy vasötvözet meghaladja a 2, 11% -ot, a szénnek nem kell az ausztenit bomlásából nukleálódnia, hanem közvetlenül az olvadékból képződhet eutektikus reakcióval. Megjegyezzük, hogy a cementit (Fe₃C) még mindig könnyebben nukleálódik az eutektikában, mint a grafit, de kellően lassú hűtés esetén maga a grafit is kialakulhat és növekedhet.

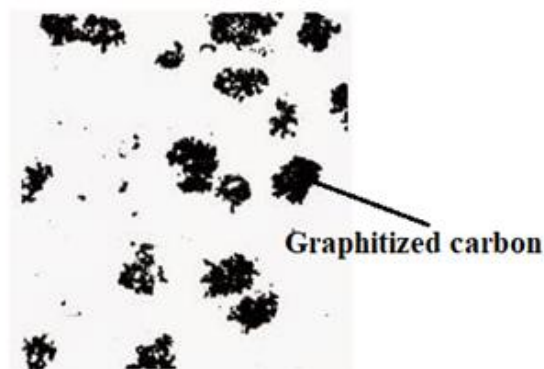
A megszilárdulási folyamat alapján két csoportra osztottuk. A fehér öntöttvasok (3.6.7. ábra) a metastabil Fe-C rendszer szerint, a szürke öntöttvasok (3.6.8. ábra) pedig a stabil Fe-C rendszer szerint kristályosodnak.



3.6.7. ábra. Fehér öntöttvas a) sematikus ábrázolás, b) mikroszkópos kép

3.6.8. ábra. Szürke öntöttvas a) sematikus ábrázolás, b) mikroszkópos kép

A fehér öntöttvas szerkezet hőkezeléssel módosítható. A temperöntvény hőkezeléssel készül. Ez az átalakítás a szokásos gyakorlatban egy kétlépcsős folyamat, amelyet általában a grafitizáció első és második szakaszának neveznek. A tipikus hőkezelési ciklus első szakasza az öntvények 900 és 950 °C közötti hőmérsékleten történő melegítéséből áll. A gyöngyház ausztenit alakul át a szén gyors diffúziójával a cementitből a vasba, hogy szilárd szénoldatot képezzen gamma-vasban. A masszív keményfémeket gyakorlatilag nem befolyásolja a hevítés. Ezért az eutektoid tartomány felett (de az eutektika alatt) a vas masszív karbidokból áll az ausztenitben. A grafitizálás első szakasza után a temperöntvény szerkezete ausztenitből és grafitból áll (3.6.9. ábra).



3.6.9. ábra. Ferrites temperöntvény

Hivatkozások



3.6.1. Gene Mathers: The welding of aluminium and its alloys, Woodhead Publishing Ltd. USA 2002.

3.6.2. Welding for design engineers, CWB Group, Canadian Welding Bureau 2006. ISBN 0-9739175-0-4

3.6.3. John C. Lippold; Welding Metallurgy and Weldability, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 2015.

3.5. A mintakészítési modor bemutatása metallográfiai vizsgálathoz

3.5.1. Metallográfiai mintapreparátum makroszkópos vizsgálata utaslépcső:

1. Mintavétel: Egy megfelelő méretű próbadarabot (lásd az 1.2.1. fejezetet) lassan, vízhűtés alatt kell vágni (3.7.1. ábra). Vízugaras vágás használható, ha rendelkezésre áll.



3.7.1. ábra. Mechanikus vágás vízhűtés alatt

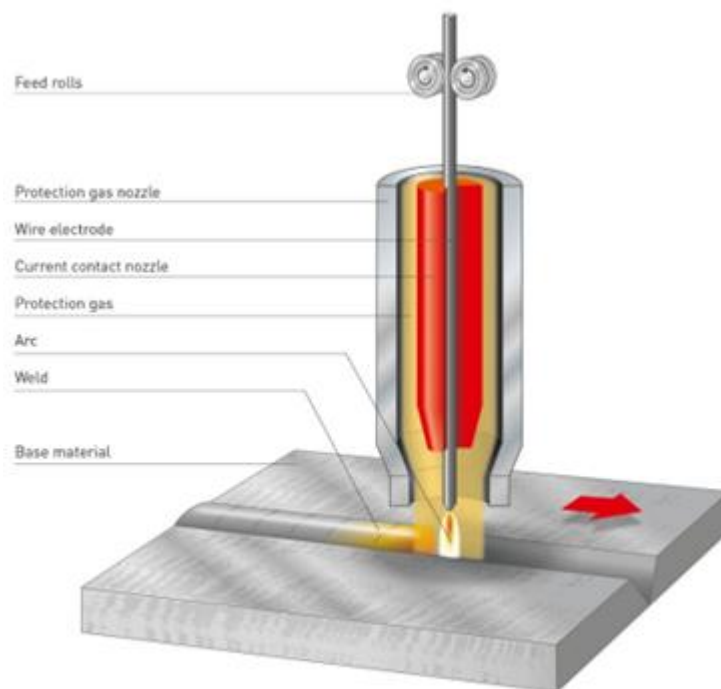
2. Szerelés: Ez a minta méretétől és geometriájától függ. Makroszkópos vizsgálat esetén a kézben tartható minta felszerelés nélkül is előkészíthető (a felszerelés az 1.2.2. fejezetben látható).

3. Jelölés: A próbadarabot meg kell jelölni, hogy az előkészítési folyamat során azonosítani lehessen (lásd az 1.2.3. fejezetet).

4. Őrlés: SiC-papírral történő őrlés lépésről lépésre finomabb szemcsés papíron az 1.2.5. fejezetben leírtak szerint.

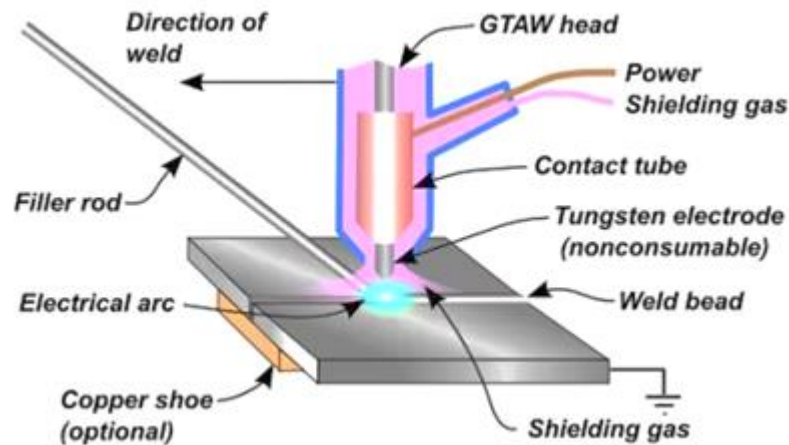


A védőgázos ívhegesztés általában kevésbé hajlamos a salakkal kapcsolatos hibákra, de előfordulhat porozitás és hiányos olvadás, ha a védőgáz nem megfelelően szabályozott. A hegesztési fröccsenések is előfordulhatnak a fogyóelektródhuzal használata miatt.



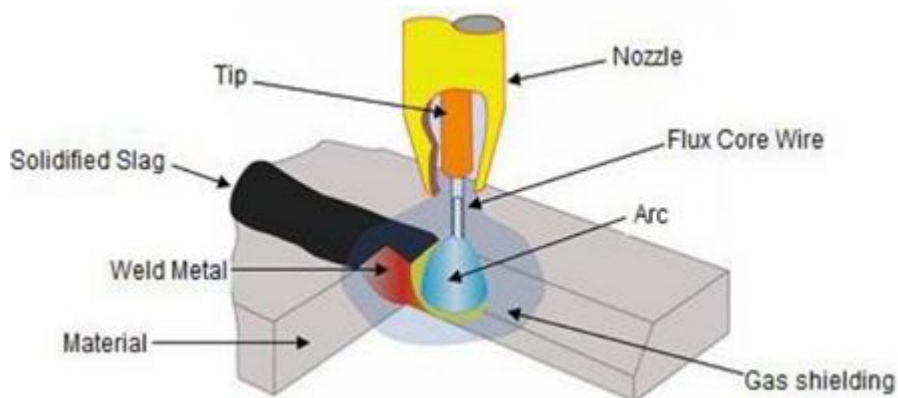
3.2.19. ábra. Gázzal védett fém ívhegesztés. Forrás: <https://www.kjellberg.de/manual-metal-arc-welding.html>

A gázzal működő volfrámelektrodás hegesztés kiváló minőségű hegesztési varratok előállításáról ismert, de az olvadás hiánya és a hiányos behatolás előfordulhat, ha a hőbevitel nem megfelelően szabályozott. A volfrámzárványok szintén aggodalomra adhatnak okot, ha a volfrámelektroda érintkezik a hegesztőmedencével.



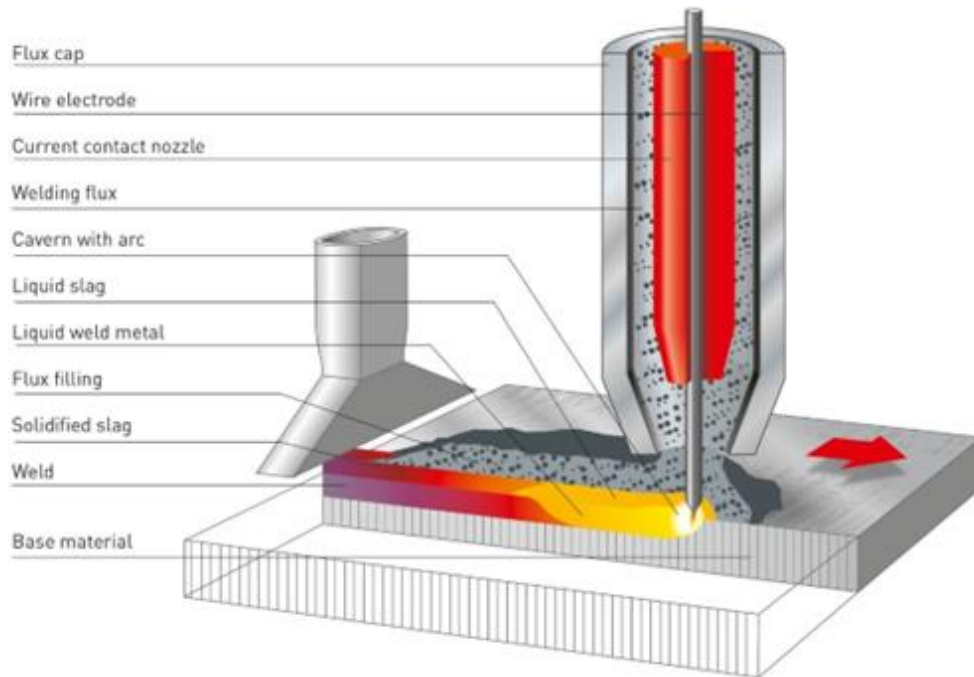
3.2.20. ábra. Gázzal működő volfrámelektrodás hegesztés. Forrás: <https://www.weldingis.com/gtaw-welding/>

A **folyótégelyes ívhegesztés** során salakzárványok és porozitás alakulhat ki, ha a folyómag nem megfelelően kompatibilis az alapfémrel, vagy ha nincs elegendő védőgáz. A GMAW-hoz hasonlóan a fröccsenés is problémát jelenthet a fogyó töltőhuzal használata miatt.



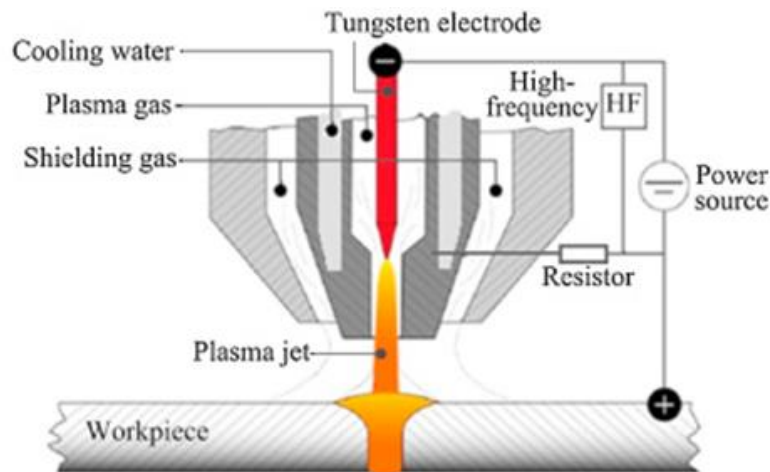
3.2.21. ábra. Folyótöltésű ívhegesztés. Forrás: Celso, Alves Correa; Niederauer, Mastelari (2014). A hegesztési paraméterek hatása hagyományos és impulzusárammal végzett folyómagos ívhegesztés (FCAW) során a bevonat oladásának hatékonyságára és oladási sebességére. Tudományos kutatások és esszék.

A **merülőíves hegesztés** általában mély, jó minőségű hegesztési varratokat eredményez, de előfordulhat hiányos oladás és az oldalfal-oladás hiánya, ha a kötés előkészítése és igazítása nem jól ellenőrzött.



3.2.22. ábra. Merülőívű hegesztés. Forrás: <https://www.kjellberg.de/submerged-arc-welding-2.html>

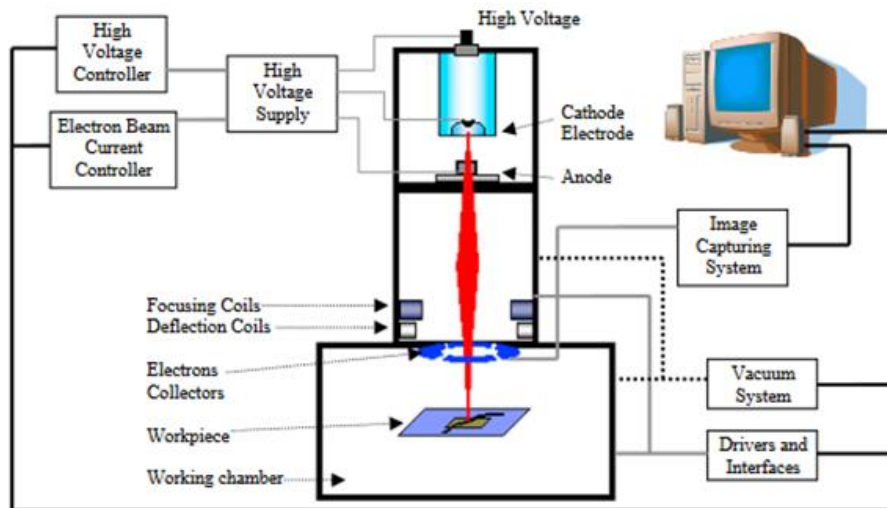
A plazmaívű hegesztés csökkenti a precíz és ellenőrzött hegesztések számát, de a nem megfelelő behatolás és az olvadás hiánya előfordulhat, ha a paraméterek nincsenek megfelelően beállítva. A volfrámzárványok és a nem megfelelő kulcslyuk-ellenőrzés szintén hibákhoz vezethet.



3.2.23. ábra. Plazmaívű hegesztés. Forrás: Liu, Zu Ming; Cui, Shuang Lin; Luo, Zhen; Zhang, Chang Zhen; Wang, Zheng Ming; Zhang, Yu Chen (2016). Plazmaívű hegesztés: Folyamatváltozatok és az érzékelés, vezérlés és modellezés legújabb fejlesztései. Journal of Manufacturing Processes.



Az **elektronsugaras hegesztés** a nagy energiasűrűségű eljárásról ismert, általában minimális tökéletlenséget eredményez. A nem megfelelő illesztés, a kulcslyuk instabilitása és a sugár fókuszálásával kapcsolatos problémák azonban olyan hegesztési hibákhoz vezethetnek, mint az olvadás hiánya és a porozitás.



3.2.24. ábra. Elektronnyalábos hegesztés. Forrás: Oltean, Stelian-Emilian (2018). A varratkövetéssel történő felügyelet és ellenőrzés stratégiái elektronsugaras hegesztésnél. *Procedia Manufacturing*, 22(), 605-612.

3.2.2 Vizuális vizsgálati technikák a hegesztési hibák azonosításához

A vizuális ellenőrzés a hegesztési hibák azonosításának egyik legfontosabb módszere. Ez magában foglalja a hegesztési varrat és a környező terület részletes vizuális vizsgálatát a szabálytalanságok, hibák és tökéletlenségek felderítése érdekében.

Előkészítés és tisztítás: A szemrevételezés megkezdése előtt győződjön meg arról, hogy a hegesztési terület tiszta és mentes minden olyan törmeléktől, festéktől vagy szennyeződéstől, amely eltakarhatja a hibákat. Szükség lehet a felület drótkefével vagy megfelelő oldószerrel történő tisztítására.

Megfelelő megvilágítás: a megfelelő megvilágítás elengedhetetlen a pontos vizuális ellenőrzéshez. Használjon világos, szórt megvilágítást, hogy minimalizálja az árnyékokat és a visszaverődéseket, amelyek elrejthetik a hibákat.



Megfigyelési szög: vizsgálja meg a hegesztési varratot több szögből, beleértve a merőleges és ferde nézeteket is. A megfigyelési szög megváltoztatásával olyan hibákat is felfedhet, amelyek egyetlen nézőpontból nem láthatók.

Referenciaszabványok: az összehasonlításhoz álljanak rendelkezésre referenciaszabványok vagy elfogadható és elfogadhatatlan hegesztési minták. Ezek a szabványok segíthetnek annak meghatározásában, hogy a megfigyelt hibák meghaladják-e az elfogadható határértékeket.

Vizuális segédeszközök: a hegesztés méretétől és részletességétől függően használjon vizuális segédeszközöket, például nagyítót, távcsövet, mérőórát vagy fúrótávcsövet, hogy jobban észrevegye a finom hibákat.

Szisztematikus ellenőrzés: szisztematikus ellenőrzési eljárást követve, a hegesztési varratot strukturált sorrendben vizsgálja meg. Kezdje az egyik végétől, és haladjon a másik felé, biztosítva, hogy egyetlen területet sem hagyjon figyelmen kívül.

Elfogadható és elfogadhatatlan hibák megkülönböztetése: fejlessze ki azt a képességet, hogy különbséget tudjon tenni az elfogadható hibák, mint például a felületi szabálytalanságok, kisebb hullámok vagy fröccsenések, és a tényleges hibák, mint például repedések, alulvágás vagy az olvadás hiánya között, a megfelelő szabványban megadott információk alapján.

A hegesztési eljárások ismerete: ismerje meg az alkalmazott konkrét hegesztési eljárást, mivel mindegyiknek egyedi jellemzői és lehetséges hibái vagy hiányosságai vannak. Az eljárás megértése segíthet a hibák azonosításában.

Szabályzatok és szabványok betartása: ismerje a vonatkozó ipari szabályzatok és szabványok előírásait, amelyek a hegesztési hibák elfogadható tűréshatárait határozzák meg. Ezeknek a szabványoknak való megfelelés kötelező.

Képzés és tapasztalat: a tapasztalat jelentős szerepet játszik a vizuális ellenőrzésben való jártasság megszerzésében. A folyamatos képzés, a gyakorlat és a különböző típusú hegesztési varratoknak és hibáknak való kitettség javítja a készségeket.



Rombolásmentes vizsgálat (NDT): megérteni, hogy mikor kell a vizuális ellenőrzést fejlettebb NDT-technikákkal, például radiográfiai vizsgálattal, ultrahangos vizsgálattal, mágneses részecskék vizsgálatával vagy festék behatolásos vizsgálattal kiegészíteni az átfogó értékelés érdekében, különösen a kritikus alkalmazásokban.

Ellenőrzési eljárások és legjobb gyakorlatok

A hegesztési varratok és egyéb anyagok pontos és alapos értékelésének biztosításához elengedhetetlenek a hatékony ellenőrzési eljárások és a legjobb gyakorlatok. A megfelelő ellenőrzési eljárások segítenek fenntartani a minőséget, a biztonságot és az ipari szabványoknak való megfelelést.

Biztonság:

- Helyezze előtérbe a biztonságot a megfelelő egyéni védőeszközök (PPE), például védőszemüveg, kesztyű, sisak és ruházat viselésével.
- Legyen tisztában az ellenőrzési környezetben lévő potenciális veszéllyel, különösen ipari környezetben végzett ellenőrzések esetén.

Tervezzen és készüljön fel:

- Készítsen egyértelmű ellenőrzési tervet, amely felvázolja az ellenőrzés hatókörét, céljait és elfogadási kritériumait.
- A vizsgálat megkezdése előtt gyűjtse össze az összes szükséges vizsgálati eszközt, szármot, referenciamutatót és dokumentációt.

Szemrevételezéses ellenőrzés sorrendje:

- Kövesse a szisztematikus sorrendet, biztosítva, hogy a hegesztés minden területét alaposan megvizsgálja.
- Kezdje az egyik végétől, és haladjon a másik felé, hogy ne hagyjon ki szakaszokat.

Tisztítás és előkészítés: Biztosítsa, hogy a vizsgálandó felületek tiszták, szennyeződésektől mentesek és megfelelően előkészítettek legyenek. Távolítsa el a szennyeződéseket, rozsdát, festéket vagy más törmeléket, amelyek eltakarhatják a hibákat.

Megfelelő világítás:



- Használjon megfelelő megvilágítási körülményeket, amelyek megfelelő megvilágítást biztosítanak a vizsgálati terület számára.
- Állítsa a fényt úgy, hogy az árnyékokat és a tükröződések minimalizálja.

Ellenőrzési segédeszközök: Használjon megfelelő vizsgálati segédeszközöket, például nagyítót, fúrószkopot és tükröt a láthatóság és a nehezen hozzáférhető területekhez való hozzáférés javítása érdekében.

Jelentés és nyilvántartás:

- Részletes vizsgálati jelentések készítése, amelyek tartalmazzák a vizsgálati eredményeket, fényképeket, rajzokat és a javítási vagy korrekciós intézkedésekre vonatkozó javaslatokat.
- Minden ellenőrzésről átfogó nyilvántartást vezet a későbbi referenciákhoz.

3.2.3 A hegesztett kötések makroszkópos vizsgálata

A hegesztési kötések makroszkópos vizsgálata olyan roncsolásos vizsgálati technika, amelyet a hegesztett kötés általános minőségének, integritásának és jellemzőinek vizuális értékelésére használnak. Ez a vizsgálati módszer a hegesztési varrat és közvetlen környezetének részletes vizuális vizsgálatát jelenti szabad szemmel vagy kis nagyítású segédeszközökkel. A makroszkopikus vizsgálat elsődleges célja a hegesztési varrat makroszkopikus hibáinak, szabálytalanságainak vagy megszakításainak azonosítása és értékelése, biztosítva, hogy az megfeleljen a meghatározott szabványoknak és követelményeknek.

A makroszkópos minták előkészítése és értékelése

A makroszkópos vizsgálatához szükséges próbatestek előkészítése magában foglalja a vizsgálandó hegesztett kötések vagy alkatrészek reprezentatív mintáinak gondos előkészítését és szelektelését. A cél olyan keresztmetszetek készítése, amelyek lehetővé teszik a hegesztés és az esetleges hibák egyértelmű és részletes vizuális értékelését. A makroszkopikus vizsgálatához szükséges próbatestek előkészítésének lépései a következők:



Reprezentatív minták kiválasztása: Válasszon olyan mintadarabokat, amelyek pontosan reprezentálják a vizsgálni kívánt hegesztett kötések vagy alkatrészek típusát. A mintáknak tartalmazniuk kell az érdeklődésre számot tartó hegesztési varratokat vagy területeket.

Vágás:

- Használjon megfelelő vágóberendezést, például szalagfűrész, fémfűrész vagy csiszológó kereket, hogy tiszta és pontos vágásokat végezzen a próbadarabokon. A cél a hegesztési varratok vagy alkatrészek keresztmetszeteinek elkészítése.
- Győződjön meg arról, hogy a vágási folyamat nem okoz további sérüléseket vagy hibákat a mintákon.

Orientáció:

- Jelölje meg a mintadarabokat, hogy jelezze a hegesztési varrat vagy az érdeklődésre számot tartó terület tájolását. Ez segít fenntartani az egységességet a vizsgálat és az elemzés során.
- Ha lehetséges, vágja le a próbatesteket úgy, hogy a hegesztési gyöngy és a szomszédos alapanyag, valamint a hőhatás által érintett zóna (HAZ) is láthatóvá váljon.

Szerelés: A próbadarabok méretétől és alakjától függően szükség lehet arra, hogy megfelelő anyagba szerelje őket, hogy megkönnyítse a kezelést, csiszolást és polírozást. A szokásos rögzítőanyagok közé tartozik az epoxigyanta vagy az akril.

Csiszolás: A felesleges anyag eltávolításához és a próbadarabok sík, sima felületének kialakításához fokozatosan finomabb szemcsékkel ellátott csiszolópapírok vagy csiszolókorongok sorozatát kell használni. Ez a lépés kritikus fontosságú a tiszta vizsgálatot lehetővé tevő polírozott felület eléréséhez.

Polírozás: A felület minőségének további javításához használjon finom szemcsés polírozó vegyületeket vagy gyémántpasztákat. Folytassa a polírozást, amíg a felület el nem éri a tükörszerű felületet.

Radírozás (opcionális): Bizonyos esetekben a minta felületén megfelelő marószerszám alkalmazása feltárhatja a mikroszerkezeti részleteket, és kiemelheti az olyan jellemzőket, mint a hegesztési határvonalak, a szemcseszerkezet és a hibák jelenléte. A marószerszám kiválasztása a vizsgált anyagtól függ.



A makroszkópos vizsgálatok során a marószerek olyan vegyi anyagok, amelyeket a fémes anyagok mikroszerkezeti részleteinek feltárására és kiemelésére használnak. Ezeket a marószereket az előkészített próbatestek felületén alkalmazzák a különböző szerkezeti összetevők, szemcsehatárok, fázisok és potenciális hibák megkülönböztetésére. A marószer kiválasztása a vizsgálandó anyagtól és az adott mikroszerkezeti jellemzőktől függ.



3.2.1. videó: Makroszkopikus technikák 1. rész. Forrás: B: Prof. Dr. Ing. Rainer Schwab, Hochschule Karlsruhe, University of Applied Sciences, Karlsruhe, Németország
[<https://www.youtube.com/watch?v=fc8zrgYJCJw>].



3.2.2. videó: Makroszkopikus technikák 2. rész. Forrás: B: Prof. Dr. Ing. Rainer Schwab, Hochschule Karlsruhe, University of Applied Sciences, Karlsruhe, Németország
[<https://www.youtube.com/watch?v=UuHofNW40Yw&t=14s>].

Etchant osztályozás:

1. Nital (salétromsavoldat): A Nital egy általánosan használt marószert a szemcsehatárok és a vasanyagok, például az acél általános mikroszerkezetének feltárására. Általában etanollal vagy metanollal kevert salétromsavból (HNO_3) áll.
2. Az etanolban vagy metanolban oldott pikrinsavból álló pikrál marószert gyakran használják az alumínium és alumíniumötvözetek szemcsehatárainak feltárására.
3. A Keller-reagens salétromsav és alkohol keveréke, és általában az alumínium- és magnéziumötvözetek szemcseszerkezetének és dendritikus szerkezetének feltárására használják.
4. A Vilella-reagens víz, sósav és salétromsav keveréke. A réz és a rézötvözetek makroszerkezetének feltárására szolgál.
5. A Marble's Reagent sárgaréz és rézötvözetek maratására szolgál. Sósavban oldott réz-kloridból áll.



6. Az Aqua Regia tömény salétromsav és tömény sósav keveréke. Arany és egyes platínacsoportba tartozó fémek maratására használják, hogy a makroszkopikus vonásokat feltárják.
7. A nátrium-hidroxid marószereket alumínium és ötvözetei esetében használják a makroszkopikus jellemzők feltárására. Általában nátrium-hidroxid (NaOH) vagy marónátron oldatából állnak.
8. A Fry-reagens ecetsav és hidrogén-peroxid keveréke, amelyet a rozsdamentes acél és egyes nikkalapú ötvözetek makroszerkezetének feltárására használnak.
9. A nital-etanol nital és etanol keverékét gyakran használják a hegesztési varratok vizsgálatára, mivel segít kiemelni a hegesztés szerkezetét és a hegesztési területen lévő esetleges hibákat.
10. A Kalling's No. 2 Etchant az öntöttvasak makroszerkezetének feltárására szolgál.

Lényeges, hogy a megfelelő marószert a vizsgálandó anyag és az adott makroszerkezeti jellemzők alapján válasszuk ki. A maratási folyamatot gondosan ellenőrizni kell, hogy a kívánt eredményt a minta túlmarása vagy károsítása nélkül érje el. A megfelelő biztonsági óvintézkedéseket be kell tartani a marószerek kezelésénél, mivel sok közülük maró hatású vagy potenciálisan veszélyes.

Tisztítás: Alaposan tisztítsa meg az előkészített mintadarabokat, hogy eltávolítsa a vágási, csiszolási és polírozási folyamatok maradványait. Győződjön meg arról, hogy a felület mentes a szennyeződésektől.

Tárolás és címkézés:

- Minden egyes mintát megfelelően címkézzon fel a lényeges információkkal, beleértve a készítés dátumát, a minta típusát, tájolását és a hegesztési varrat vagy alkatrész minden lényeges adatát.
- Tárolja a mintadarabokat ellenőrzött környezetben a korrózió vagy a romlás megelőzése érdekében, amíg készen nem állnak a vizsgálatra.

Dokumentáció: Részletes nyilvántartást kell vezetni a minta előkészítési folyamatáról, beleértve fényképeket és feljegyzéseket is, hogy minden egyes vizsgálati minta teljes története megismerhető legyen.

Miután a próbatestek elkészültek, készen állnak a makroszkópos vizsgálatra. A vizsgálat során megfelelő megvilágítással, nagyító eszközökkel és vizsgálati eljárásokkal alaposan vizsgálja meg

a keresztmetszeteket, és értékelje a hegesztési minőséget és az esetleges hibák jelenlétét. A megfelelően előkészített minták elengedhetetlenek a pontos és megbízható vizsgálati eredmények eléréséhez.



3.2.3. videó: Metallográfiai minta előkészítés. Forrás:
<https://www.youtube.com/watch?v=ok42dVq2CU0>

3.2.4 Gyakorlati képzés a hegesztési hibák azonosításáról

A hegesztési hibák azonosítása a hegesztett szerkezetek és alkatrészek minőségének, biztonságának és megbízhatóságának biztosításának alapvető eleme. Ez a gyakorlati képzési program a résztvevők számára biztosítja a hegesztési hibák azonosításához szükséges alapvető készségeket és ismereteket, fejlett eszközök vagy technológia segítségével nélkül. A program úgy épül fel, hogy átfogó ismereteket nyújtson a hegesztési hibákról, az ellenőrzési technikákról, a biztonsági intézkedésekről és a dokumentációs gyakorlatról.

A gyakorlati képzési program több kulcsfontosságú összetevőből áll. Először is, a résztvevők megismerkednek a hegesztési hibák azonosításának kritikus feladatával, és megértik azok lehetséges szerkezeti hatását, áttekintve az olyan gyakori hibákat, mint a porozitás és a repedések. Ezután elmélyednek a vizuális vizsgálati eszközök és berendezések világában, megtanulják, hogyan kell hatékonyan használni az olyan eszközöket, mint a világítás, a nagyítók és a vizsgálófülkék

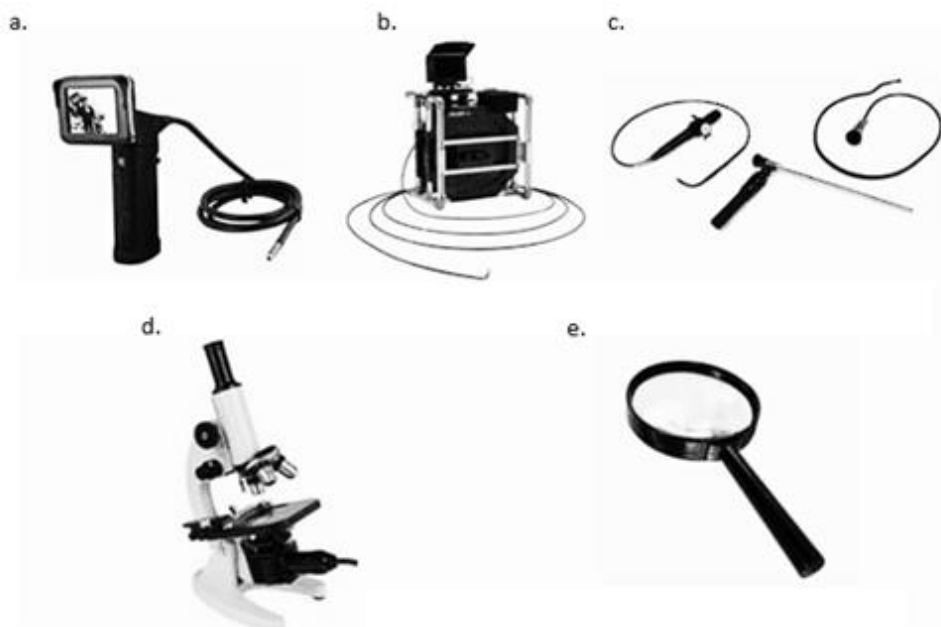


az alapos értékeléshez. A következetes és megbízható ellenőrzések legjobb gyakorlatai kerülnek tárgyalásra, majd a makroszkópos vizsgálat mélyreható feltárása következik a hegesztési hibák kiszűrése érdekében. A gyakorlati gyakorlatok valós tapasztalatokat nyújtanak a tökéletlenségek azonosításában és jellemzésében. A program a résztvevőket a makroszkópos minták vizsgálatában és a megállapítások értelmezésében is eligazítja, hogy megalapozottan értékelhessék a hegesztés minőségét. Hangsúlyt fektetnek a pontos dokumentáció és az átlátható jelentés fontosságára, valamint a biztonsági óvintézkedések betartására, beleértve az egyéni védőeszközök (PPE) követelményeit és a veszélycsökkentő intézkedéseket a hegesztési vizsgálatok során.

Gyakorlati gyakorlat a vizuális ellenőrzési technikákkal

1. Vizuális vizsgálati berendezések megismertetése:

A résztvevők először is megismerkednek a vizuális ellenőrzési berendezésekkel és eszközökkel, amelyeket a gyakorlatok során használni fognak. Ide tartoznak a világítás, a nagyítók, a tükrök és a vizsgálófülkék.

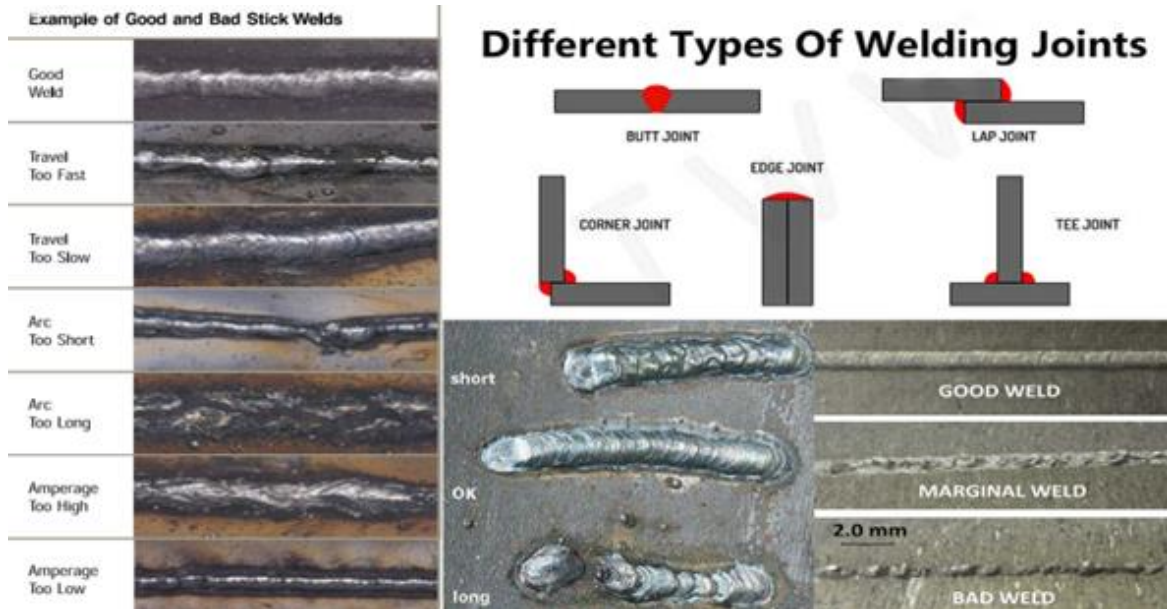


3.2.25. ábra: Videoszkóp (a); továbbfejlesztett videoszkóp (b); fúrószkópok (c); nagyító (d); mikroszkóp (e). Tanfolyam: <https://worldofndt.com/introduction-to-visual-testing/>

2. Példák hegesztett kötésekre:



Az ellenőrzéshez fizikai példákat szolgáltatnak hegesztési kötésekről vagy szándékosan bevezetett hegesztési hibákkal rendelkező mintákról. Ezek a minták valós forgatókönyveket mutatnak be, és a gyakorlati gyakorlás alapjául szolgálnak.



3.2.26. ábra: Különböző típusú hegesztési kötések. Forrás: <https://engineeringdiscoveries.com/different-types-of-welding-joints/>

3. Gyakorlati gyakorlatok:

A résztvevőket egy sor gyakorlati gyakorlaton vezetik végig, amelyek mindegyike a vizuális ellenőrzés konkrét szempontjaira összpontosít. Ezek a gyakorlatok a következők lehetnek:

- **Porozitás azonosítása:** A résztvevők megtanulják felismerni és megkülönböztetni a különböző típusú porozításokat, mint például a túlyukak, a felszíni porozitás és a felszín alatti porozitás. Gyakorolják a hegesztési varratok porozitásának mértékét és súlyosságát.



3.2.27. ábra: Porozitás. Forrás: <https://www.mechanicwiz.com/porosity-in-welding/>

- **Repedésérzékelés:** A résztvevők gyakorolják a repedések felszíni és felszín alatti felismerését. Megtanulják megkülönböztetni a repedéstípusokat, például a hosszanti, keresztirányú és kráteres repedéseket.



3.2.28. ábra: Repedés. Forrás: <https://www.rapiddirect.com/blog/types-of-welding-defects/>

- **A fúzió hiánya és a hiányos behatolás:** A gyakorlatok során meg kell találni azokat a területeket, ahol az összeolvadás hiánya vagy hiányos behatolás történt. A résztvevők felméri, hogy ezek a hiányosságok milyen hatással vannak a hegesztés minőségére.



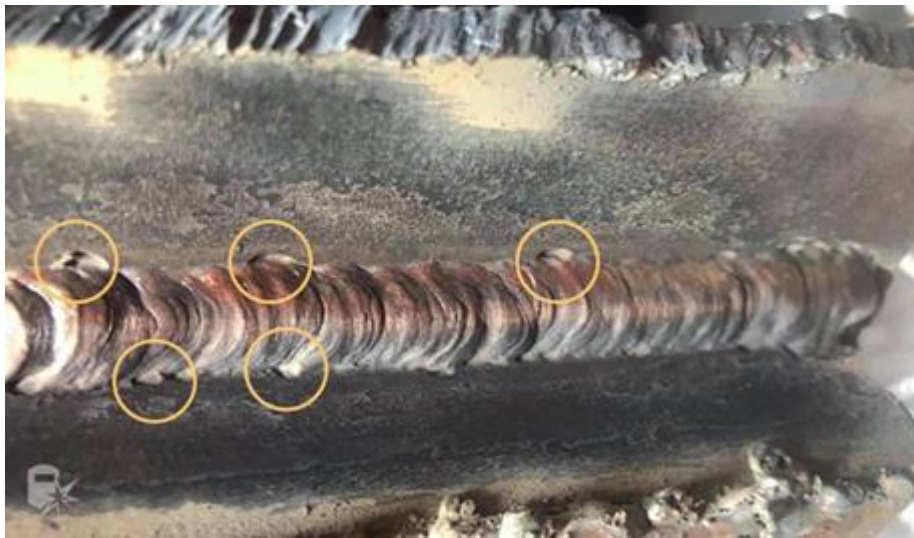


3.2.29. ábra: A fúzió hiánya. Forrás: <https://www.onestopndt.com/ndt-articles/what-is-lack-of-fusion-in-welds>



3.2.30. ábra: Nem teljes behatolás. Forrás: <https://allgas.us/b/what-are-welding-defects--types-causes-and-remedies>

- **Alulvágott értékelés:** A résztvevők megtanulják azonosítani az alulvágást, annak helyét a hegesztési varratokon, és a szerkezeti integritásra gyakorolt lehetséges hatását.



3.2.31. ábra: Alulvágások. Forrás: <https://weldguru.com/undercut-in-welding/>

- **Hegesztési profil vizsgálata:** A résztvevők elemzik a hegesztési profilokat, hogy megbizonyosodjanak arról, hogy megfelelnek-e a megadott szabványoknak és méreteknek.



3.2.4. videó: Hegesztési ellenőrzés. Forrás: <https://www.youtube.com/watch?v=nKHI7JI9p7E>

4. Súlyossági értékelés:

A résztvevők nemcsak a hibák azonosítását, hanem azok súlyosságának felmérését is gyakorolják. Ez döntő fontosságú annak meghatározásához, hogy egy hegesztés elfogadható-e vagy korrekciós intézkedést igényel.



3.2.32. ábra: A jó és a rossz hegesztés közötti különbség, 1. példa. Forrás: <https://waterwelders.com/good-weld-vs-bad-weld/>



3.2.33. ábra: A jó és a rossz hegesztés közötti különbség, 2. példa. Forrás: <https://blog.daihen-usa.com/why-welding-parameters-are-so-important-to-finished-quality>

5. Dokumentációs gyakorlat:

A résztvevők dokumentálják az ellenőrzési gyakorlatok során tett megállapításukat. Ez magában foglalja a hiányosságok típusának és helyének, méreteinek, valamint minden lényeges megfigyelésnek a rögzítését.

YOUR LOGO GOES HERE Organisation: Template Library
Project: Example Project
Team: Example Team Template ID: DP-QUAL-0017
Template Version: 4 Form Version: 2
Form created: Tuesday, 23 October 2018, 4:38:46 pm


Visual Weld Inspection

Automated Form Number: Template Library-Example Project-Example Team-DP-QUAL-0017 -3
Date: Tuesday, 03 April 2018, 12:00:00 am

Inspection Overview

Traveler No.	Item Description Part #	Acceptance Criteria	L/I	Inspector	Type of Report	Welder ID
N-1000-8575	HA-700	W + 5/16 in. (3mm)	120-758	Jenny Summers	Fit-up	N13090

Inspection Details

Defect No.	Defect Description	Sheet/Zone	Photo
T2	Slag	1 of 2	 See full page photos attached at end of PDF
T3	Hot tears	2 of 2	

Disposition Have all defects been reported? Yes **Comments:** Reported back to project manager because impacts timeframe

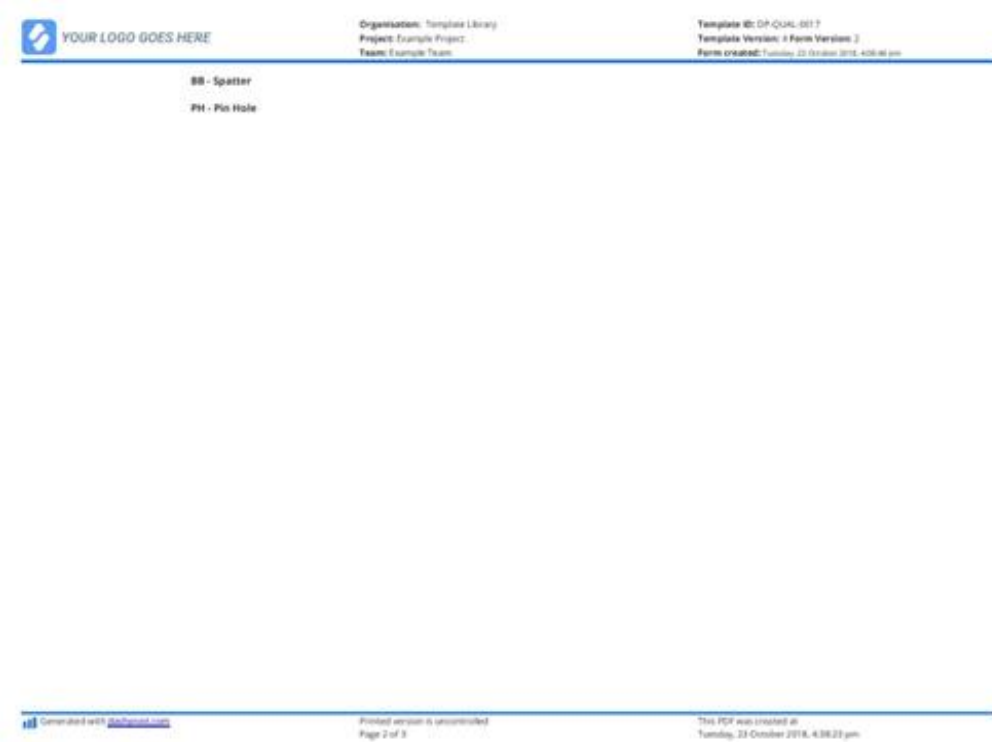
Inspector's Signature  Dave Hodgson, Tuesday, 23 October 2018, 4:28:50 pm

Key

- P - Porosity
- LF - Lack of Fusion
- C - Crack
- UF - Underfill
- US - Undersized
- UC - Undercut
- CS - Cold Shut
- AS - Arc Strike

Generated with dashform.com Printed version is uncontrolled
Page 1 of 8 This PDF was created at:
Tuesday, 23 October 2018, 4:38:23 pm

3.2.34. ábra: Dokumentációs gyakorlati példa 1/3. Forrás: <https://sitemate.com/templates/quality/forms/visual-weld-inspection-template/>



3.2.35. ábra: A dokumentációs gyakorlat 2/3. példája. Forrás: <https://sitemate.com/templates/quality/forms/visual-weld-inspection-template/>





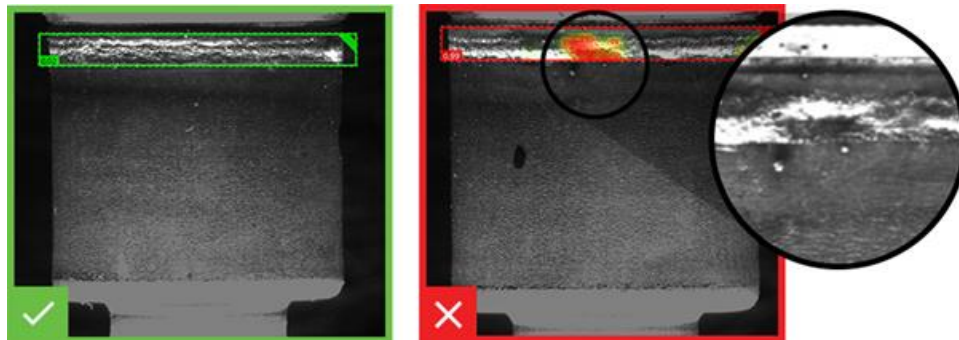
3.2.36. ábra: 3/3. dokumentációs gyakorlati példa. Forrás: <https://sitemate.com/templates/quality/forms/visual-weld-inspection-template/>

6. Oktatói útmutatás:

A gyakorlatok során a tapasztalt oktatók útmutatást adnak, válaszolnak a kérdésekre és visszajelzést adnak, hogy a résztvevők javíthassák ellenőrzési készségeiket.

7. Hibafelismerés és -javítás:

A résztvevőket arra ösztönzik, hogy ismerjék fel és javítsák ki az ellenőrzési folyamat során esetlegesen elkövetett hibákat. Ez elősegíti a folyamatos javulást és a pontosságot.



3.2.37. ábra: A hegesztési varrat ellenőrzése. Forrás: <https://www.cognex.com/industries/automotive/powertrain-systems/welding-seam-inspection>

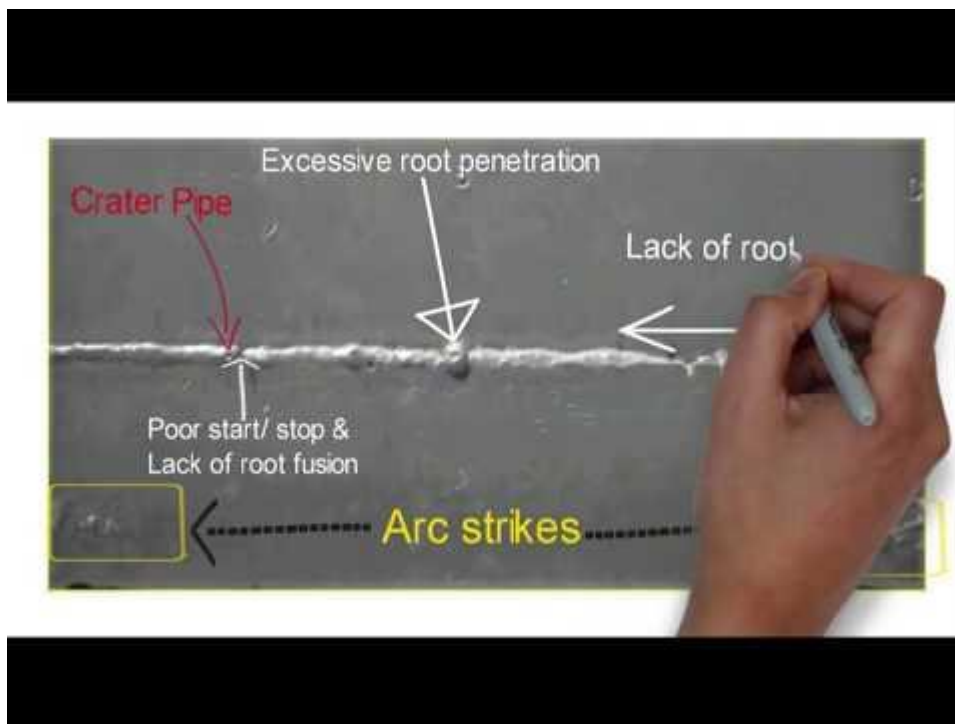
Makroszkópos minták vizsgálata és elemzése

A makroszkopikus minták vizsgálata és elemzése, különösen az anyagtudomány és a mérnöki tudományok területén, magában foglalja az előkészített minták vagy alkatrészek alapos vizuális vizsgálatát és értékelését, hogy információt gyűjtsön fizikai jellemzőikről, hibáikról és általános minőségükről.

Az anyagvizsgálat folyamata több kulcsfontosságú lépésből áll. A vizsgálat a minták előkészítésével kezdődik, amely magában foglalja a vágást, a rögzítést, a csiszolást és a polírozást, hogy az elemzéshez jól előkészített felületeket biztosítson. Ezt követően szemrevételezéses vizsgálatot végeznek a látható jellemzők és rendellenességek azonosítására. Ezt követheti a mikroszerkezeti vizsgálat, amely mikroszkópok segítségével vizsgálja a szemcseméreteket, a határfelületeket és



az anyagösszetételt. A dokumentáláshoz fényképeket készítenek, amelyek felbecsülhetetlen értékűek a későbbi elemzés és összehasonlítás szempontjából. A hibákat, szabálytalanságokat és méreteket aprólékosan feljegyzik, majd az általános szerkezet és a felület állapotának értékelése következik. A megállapításokat ezután összehasonlítják az ipari szabványokkal, szabályzatokkal és előírásokkal, meghatározva a minőségi és biztonsági követelményeknek való megfelelést. Ezen elemzés alapján értékeli a minták rendeltetészerű használatra való alkalmasságát. Átfogó vizsgálati jelentés készül, amely leírásokat, méréseket, fényképeket és ajánlásokat tartalmaz. Végezetül a mintadarabokat és a kapcsolódó dokumentációt archiválják és tárolják a későbbi referenciák számára, fenntartva egy megbízható minőségellenőrzési és iratkezelési rendszert.



3.2.5. videó: Hegesztési hibák, megjelenésük és azonosításuk. Forrás:

<https://www.youtube.com/watch?v=lgeUT5EIH5o>

3.2.5 A hegesztési hibák dokumentálása és jelentése

A hegesztési hibák dokumentálása és jelentése a hegesztési projektek minőségellenőrzésének és minőségbiztosításának alapvető szempontja. A hibák megfelelő dokumentálása és jelentése segít biztosítani az átláthatóságot, a nyomon követhetőséget, valamint az ipari szabványoknak és a projektspecifikációknak való megfelelést.

Dokumentációs útmutató:

Kezdje a hegesztési hibák/hibák dokumentálására létrehozott szabványos űrlapok vagy sablonok használatával. Ezek a nyomtatványok jellemzően tartalmaznak mezőket a fontos részletekre és ellenőrző listákat a leggyakoribb hibák azonosítására.

Az ellenőrzési vagy vizsgálati jelentést egyértelműen jelölje meg a kulcsfontosságú információkkal, amelyek tartalmazzák a projekt nevét, helyét, dátumát, az ellenőr személyazonosságát és a vizsgált elem egyedi azonosítóját.

Minden egyes azonosított hegesztési hibára vagy hiányosságra tegyen külön megjegyzést. Ennek a megjegyzésnek tartalmaznia kell a hiba típusára, a hegesztési varrat pontos helyére, a méretekre és minden vonatkozó, összefüggő megfigyelésre vonatkozó konkrét információt.

Kategorizáljon minden egyes hibát/hibát az iparágban elismert szabványok vagy kódok szerint. A különböző hibák különböző súlyossági szinteket hordozhatnak, és ez a kategorizálás segít a szerkezeti integritásra gyakorolt potenciális hatásuk értékelésében.

Minden hibáról készítsen fényképeket vagy vizuális dokumentációt. A vizuális bizonyíték gyakran hatékonyabbnak bizonyul az egyes hibák jellegének és mértékének tisztázásában.

Használjon vázlatokat vagy diagramokat a hegesztési hibák helyének és méreteinek vizuális ábrázolásához. Ezek a grafikus segédeszközök javítják a megértést.

Lásd a hiányosságok értékelésére alkalmazott elfogadási kritériumokat vagy szabványokat. Ez megkönnyíti annak egyértelmű meghatározását, hogy a hiba az elfogadható paraméterek közé esik-e.

Dokumentálja a hegesztési hibák észlelésére és mérésére használt vizsgálati módszereket és berendezéseket. Ez a kontextuális információ betekintést nyújt az ellenőrzési folyamatba.

Az azonosított hiányosságok alapján javaslatokat tesz a korrekciós intézkedésekre, javítási eljárásokra vagy további értékelésekre. Ezek a javaslatok iránymutatásul szolgálnak a döntéshozatalban.

Az ellenőr aláírására és az érintett felek kötelező jóváhagyásaira kijelölt helyeket kell feltüntetni. Ez a lépés a jelentés pontosságát érvényesíti, és felhatalmazza a javasolt intézkedéseket.

Az ellenőrzés befejezésekor haladéktalanul nyújtsa be az ellenőrzési jelentéseket. Az időben történő jelentéstétel biztosítja, hogy a szükséges intézkedéseket indokolatlan késedelem nélkül meg lehessen tenni.

A megállapítások és ajánlások eljuttatása az összes érintett félhez, beleértve a hegesztőket, a felügyelőket, a mérnököket és a projektvezetőket.

Hatékony rendszer létrehozása az ellenőrzési jelentések és a kapcsolódó dokumentáció rendezett tárolására és archiválására. A megfelelő megőrzés garantálja a történelmi feljegyzések hozzáférhetőségét.

Az összes vizsgálati jelentés átfogó nyilvántartása, mind a későbbi referenciaként, mind pedig a minőségellenőrzési és minőségbiztosítási kezdeményezés szerves részeként.

Rendszeresen felülvizsgálja az ellenőrzési jelentéseket a trendek, visszatérő problémák vagy olyan területek azonosítása érdekében, ahol folyamatfejlesztéseket lehet alkalmazni. Használja fel ezeket az információkat a hegesztési gyakorlatok finomítására.

Jelentési formátumok és követelmények

A jelentéstételi formátumok és követelmények az adott iparágtól, szervezettől és a jelentendő információk jellegétől függően nagymértékben eltérhetnek. Van azonban néhány közös elem és megfontolás, amely számos jelentéstípusra vonatkozik.

- **Cím és borítóoldal:** A jelentések általában egy címlappal kezdődnek, amely tartalmazza a jelentés címét, a benyújtás dátumát, a szerző vagy a szervezet nevét, valamint minden releváns logót vagy márkajelzést.
- **Vezetői összefoglaló:** Sok jelentés egy vezetői összefoglalóval kezdődik, amely tömör áttekintést nyújt a jelentés legfontosabb megállapításairól, ajánlásairól és következtetéseiről. Gyakran ez az első rész, amelyet a döntéshozók elolvasnak.
- **Tartalomjegyzék:** A tartalomjegyzék felsorolja a jelentés főbb szakaszait és alfejezeteit az oldalszámokkal együtt. Segít az olvasóknak a dokumentumban való könnyű eligazodásban.



- **Bevezetés:** A jelentés céljának, hatályának és célkitűzéseinek ismertetésével megteremti a jelentés alapját. Emellett háttérinformációkat és kontextust biztosít a jelentés tartalmához.
- **Módszertan:** A műszaki vagy kutatási jelentésekben a módszertani rész ismerteti az adatgyűjtés és -elemzés módját, valamint az alkalmazott releváns kutatási vagy vizsgálati módszereket.
- **Megállapítások vagy eredmények:** Ez a szakasz a jelentés főbb megállapításait, eredményeit vagy észrevételeit mutatja be. Gyakran tartalmaz adatokat, grafikonokat, ábrákat vagy más vizuális segédanyagokat a megállapítások alátámasztására.
- **Megbeszélés:** Ez a szakasz értelmezi a megállapításokat és elemzi azokat. Foglalkozhat az eredmények következményeivel, tendenciákkal, összehasonlításokkal, valamint a vonatkozó elméletekkel vagy keretrendszerekkel.
- **Ajánlások:** Ha alkalmazható, a megállapítások alapján egyértelmű és megvalósítható ajánlásokat kell megfogalmazni. Az ajánlásoknak konkrétan, gyakorlatiasnak és a jelentés célkitűzéseire igazodónak kell lenniük.
- **Következtetés:** Foglalja össze a jelentés legfontosabb pontjait, és fogalmazza meg a jelentés főbb következtetéseit. Megerősíti a jelentés fő megállapításait.
- **Formázási követelmények:** Kövesse a formázási irányelveket, például a betűméretet, a sortávolságot, a margókat és az oldalszámozást. A formázás következetessége biztosítja a professzionális és csiszolt megjelenést.
- **Grafika és látvány:** Használjon grafikákat, diagramokat, táblázatokat és egyéb vizuális elemeket, ha szükséges, az adatok és információk bemutatásának fokozására. Gondoskodjon a vizuális anyagok megfelelő címkézéséről és hivatkozásáról.
- **Nyelv és stílus:** Használjon világos, tömör nyelvezetet, és tartsa fenn a következetes írásmódot a jelentésben. Kerülje a szakzsargont és a közönség számára esetleg ismeretlen szakkifejezéseket.
- **A közönség figyelembevétele:** A jelentés tartalmát, hangvételét és technikai részletességét a célközönség igényeihez és elvárásaihoz kell igazítani.
- **Elterjedés:** Határozza meg, hogy a jelentést hogyan fogják eljuttatni a célközönséghez. Ez magában foglalhatja az elektronikus terjesztést, a fizikai példányokat vagy a prezentációkat.



3.2.39. ábra. Személyi védőfelszerelés. Forrás: <https://safetyculture.com/topics/ppe-safety/>

- **A légzésvédelmi és szellőztetési intézkedések** alapvető fontosságúak, ha hegesztési füstnek, gázoknak vagy részecskéknek való esetleges expozícióról van szó. Megfelelően kiválasztott légzőkészüléket kell viselni a jelenlévő szennyező anyagok konkrét típusának és szintjének megfelelően, miközben biztosítani kell, hogy az ellenőrzési terület jó szellőzést tartson fenn a hegesztési füst koncentrációjának csökkentése érdekében, ezáltal csökkentve a belélegzéses expozíció kockázatát.
- **Zajvédelem:** A hegesztési folyamatok nagy zajszintet generálhatnak. A halláskárosodás megelőzése érdekében kötelező a hallásvédelem, például fül dugó vagy fülvédő használata.
- **Szemvédelem:** A potenciális veszélyek, például a repülő törmelék, a szikrák és az ultraibolya (UV) vagy infravörös (IR) sugárzás elleni védelem érdekében elengedhetetlen a megfelelő lencsékkel ellátott hegesztőszemüveg vagy sisak.
- **Megfelelő megvilágítás:** Az ellenőrzési területnek jól megvilágítottnak kell lennie; szükség esetén ajánlott hordozható munkalámpát vagy ellenőrző lámpákat használni.
- **Elektromos biztonság:** A hegesztőberendezésekkel kapcsolatos elektromos veszélyeket figyelembe kell venni; a tápkábeleket, dugókat és elektromos csatlakozókat ellenőrizni kell a sérülések szempontjából. A hegesztőberendezések megfelelő földelése kötelező.
- **Leeső tárgyak megelőzése:** A balesetek megelőzése érdekében a magasban vagy magasban végzett munka során leesés elleni védőfelszereléseket, például hevedereket és biztonsági köteleket kell használni.



- **Szerszámok és berendezések kezelése:** A szerszámokat és felszereléseket óvatosan kell használni, hogy elkerüljük a vágásokat, horzsolásokat és sérüléseket; a szerszámokat jó munkakörülmények között kell tartani.
- **Tűzbiztonság:** Ezért a munkaterület közelében tűzoltó készülékeket kell elhelyezni, és a személyzetet ki kell oktatni a használatukra; minden gyúlékony anyagot el kell távolítani a munkaterületről.
- **Forró felületek:** Az égési sérülések elkerülése érdekében kerülni kell az érintkezést ezekkel a forró felületekkel; szükség esetén hőgátakat vagy szigetelőanyagokat kell használni.
- **Biztonságos hozzáférés:** Az ellenőrzési területekhez biztonságos hozzáférést kell biztosítani, szükség szerint stabil platformok, létrák vagy állványok használatával, hogy elérjék a magasabban fekvő munkaterületeket.
- **Kémiai expozíció:** Ezért javasoljuk, hogy kövesse a megfelelő kezelési és ártalmatlanítási eljárásokat, valamint szükség esetén viseljen megfelelő kesztyűt.
- **Kommunikáció:** A munkaterület közelében tartózkodó összes alkalmazottal való egyértelmű kommunikációt biztosítani kell, a jelzések, jelek vagy szóbeli kommunikáció használata javasolt annak biztosítása érdekében, hogy mindenki tisztában legyen a folyamatban lévő tevékenységekkel.
- **Vészhelyzeti eljárások:** A személyzetnek meg kell ismernie a vészhelyzeti intézkedési tervet (vészkijáratok helye, elsősegélycsomagok, szemmosó állomások és vészruhanyok).
- **Képzés:** Kötelező, hogy a munkaterületen dolgozó személyzet megfelelő képzésben részesüljön a hegesztés biztonságáról és az ellenőrzési protokollokról.
- **Kockázatértékelés:** Kockázatértékelésre van szükség minden tevékenység megkezdése előtt, nevezetesen a potenciális veszélyek azonosítására és a kockázatokat csökkentő ellenőrző intézkedések végrehajtására.

Személyi védőeszközökre (PPE) vonatkozó követelmények

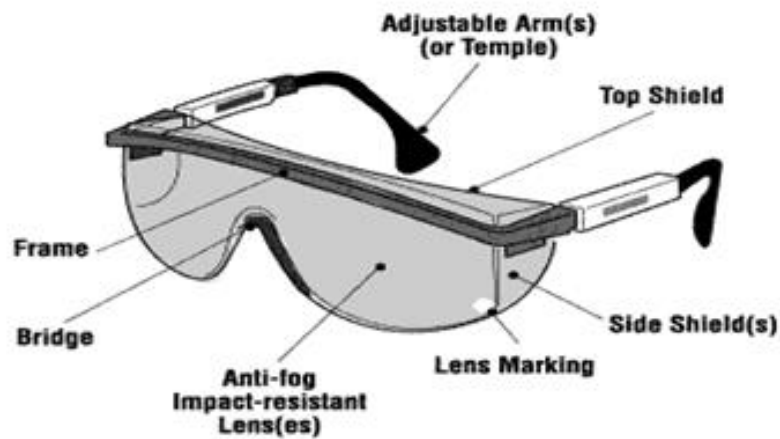
A hegesztés ellenőrzésére vonatkozó egyéni védőfelszerelésekre (PPE) vonatkozó követelmények, akárcsak a hegesztésre vonatkozó követelmények, alapvető fontosságúak az ellenőrzési folyamatban részt vevő személyek biztonságának és jólétének biztosítása érdekében. A konkrét



PPE-követelmények olyan tényezők alapján változhatnak, mint az ellenőrzött hegesztés típusa, az ellenőrzési környezet és a potenciális veszélyek.

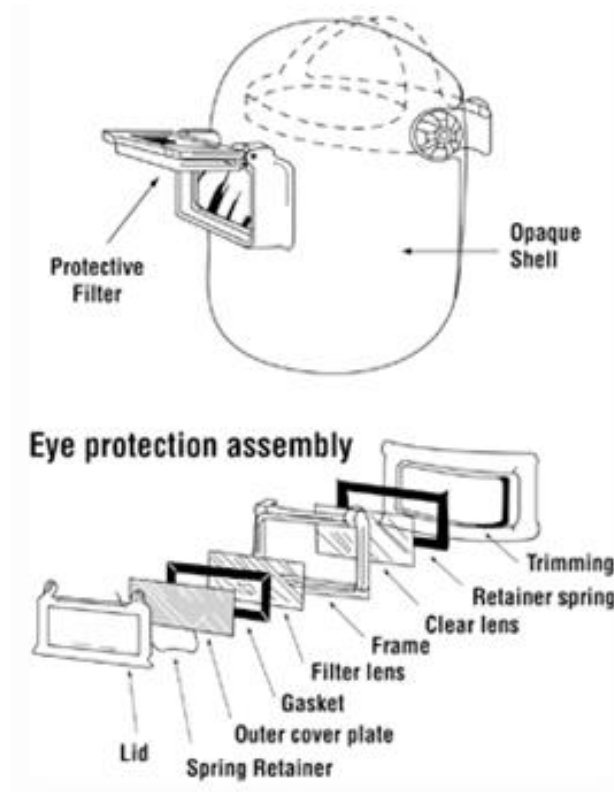
Szemvédelem:

- **Védőszemüveg vagy védőszemüveg:** Ezek védik a szemet a repülő törmeléktől, szikrától és más lehetséges szemveszélyektől.



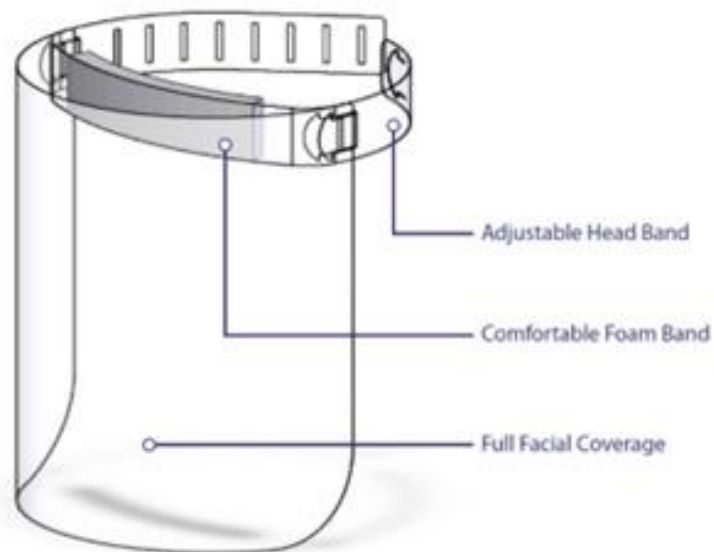
3.2.40. ábra. Hegesztőszemüveg. Forrás: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/prevention/ppe/glasses.html>

- **Hegesztősisak:** Megfelelő lencseárnyékolóval ellátott hegesztősisak véd a hegesztési vizsgálatok során keletkező intenzív fény, UV- és IR-sugárzás ellen.



3.2.41. ábra. Hegesztősisak. Forrás: https://www.ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/welding/ppe.html

- **Arcvédő:** Ha további arcvédelemre van szükség, a védőszemüveg vagy védőszemüveg fölött arcvédő viselhető.

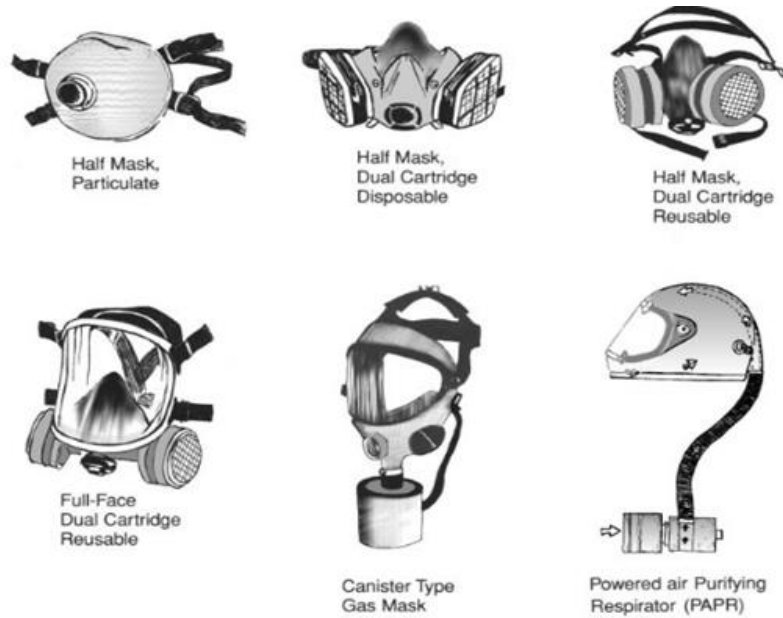


3.2.42. ábra. Arcvédő. Forrás: <https://www.ardentdisplays.com/protective-face-shields/>



Légzésvédelem:

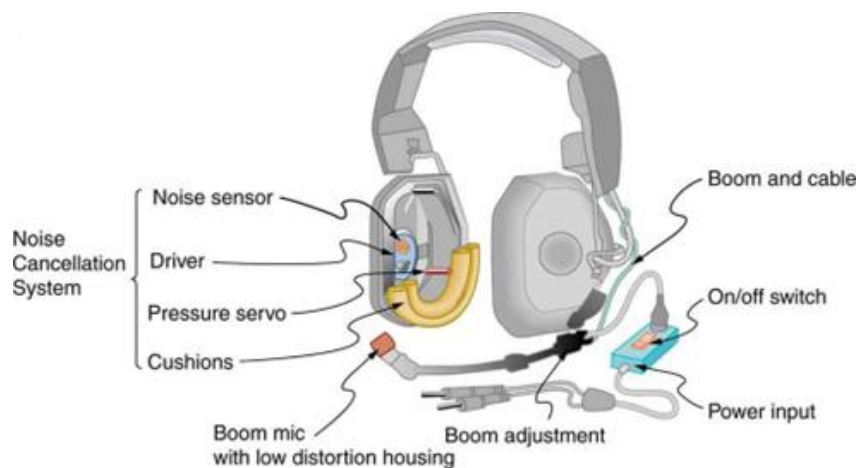
- **Légzőkészülékek:** A hegesztési ellenőröknek az ellenőrzési környezettől függően szükségük lehet légzőkészülékekre a hegesztési füst, gázok vagy részecskék elleni védelem érdekében. A szükséges légzőkészülék típusa a jelen lévő specifikus szennyeződésektől függ.



3.2.43. ábra. Légzésvédelem. Forrás: <https://pesticidestewardship.org/respirators/air-purifying-respirators/>

Hallásvédelem:

- **Füldugó vagy fülvédő:** A hegesztési ellenőrzések zajos környezetben történhetnek. A hallásvédelem segít megelőzni a magas zajszintnek való tartós kitettségéből eredő halláskárosodást.





3.2.44. ábra. Fülvédő a hallásvédelemhez. Forrás: <https://uk.rs-online.com/web/content/discovery/ideas-and-advice/ear-defenders-guide>

Kézvédelem

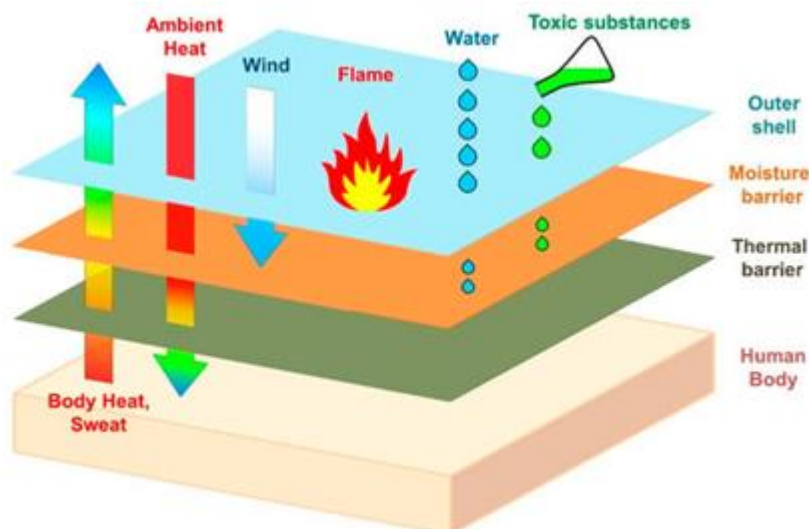
- **Hegesztőkesztyű:** Ezek elengedhetetlenek a kezek védelméhez az égési sérülések, szikrák és forró felületek ellen. A forró alkatrészek kezeléséhez szigetelt kesztyűre lehet szükség.



3.2.45. ábra. Hegesztőkesztyű. Forrás: <https://www.amazon.de/YEZIHJ-Schwei%C3%9Fhandschuhe-H%C3%A4ndeschutzschwei%C3%9Fhandschuhe-Lederarbeitsschwei%C3%9Fferhandschuhe-Hitzebest%C3%A4ndiger/dp/B0B7R39GGC>

Testvédelem:

- **Lángálló ruházat:** Az ellenőröknek lángálló ruházatot kell viselniük az égési sérülések és szikrák elleni védelem érdekében. Ez magában foglalja a lángálló ingeket, nadrágokat és overallokat.





3.2.46. ábra. A tűzoltók védőruházatában használt többrétegű szerelvény felépítésének sémája.

Forrás: Renard M, Puszkarz AK. A tűzoltók többrétegű védőruházatán keresztül történő hőátadás modellezése a röntgen-mikrotomográfiával és termográfiával segített számítógépes áramlástan segítségével. *Anyagok*. 2022

- **Hegesztő kabát:** A hegesztőkabát további védelmet nyújt a felsőtest számára.



3.2.47. ábra. Hegesztési köpeny. Forrás: <https://www.eskosafety.com/shop/esko-fusion-leather-welders-jacket/>

Lábvédelem:

- **Acélbetétes biztonsági csizma:** Az acélbetétes biztonsági csizma megvédi a lábat a leeső tárgyaktól és a forró fémtől.

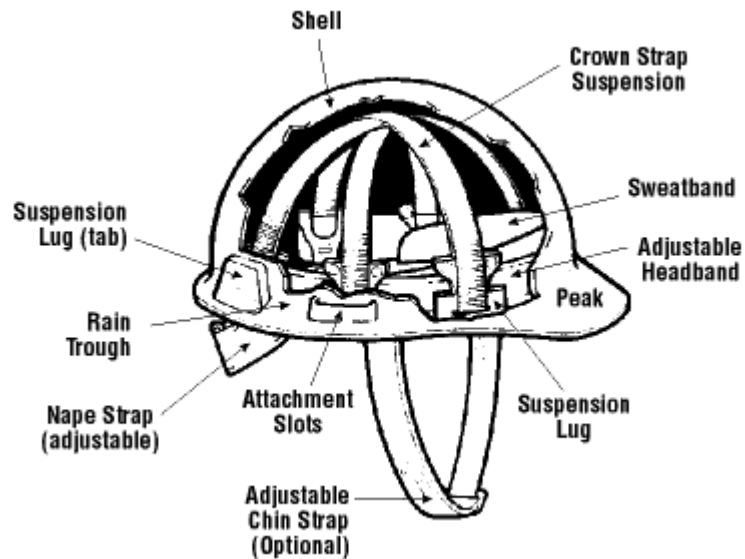




3.2.48. ábra. Biztonsági csizma. Forrás: <https://www.ctcgroupe.com/en/your-markets/personal-protective-equipment/ce-marking-current-footwear-ppe-and-standards-162-1.html>

Fejvédelem:

- **Keménykalap:** Olyan környezetben, ahol a fejünk fölött veszélyek vagy lezuhanó tárgyak veszélye áll fenn, szükséges a keménykalap viselése.



3.2.49. ábra. Hegesztési védősapka. Forrás: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/prevention/ppe/headwear.html>

Bukás elleni védelem:

- Ha az ellenőrzés magasban végzett munkával jár, szükség lehet zuhanás elleni védőfelszerelésre, például biztonsági hámra és kötélre.



3.2.50. ábra. A leeségátló rendszer összetevői. Forrás: <https://www.karam.in/blog/revisiting-concept-fall-protection>

Fontos megjegyezni, hogy a személyi védőeszközökre vonatkozó követelmények a helyi előírásoktól, az iparági szabványoktól és a vállalati irányelvektől függően változhatnak. Bármilyen hegesztési ellenőrzés megkezdése előtt az egyéneknek képzést kell kapniuk a PPE megfelelő használatáról és karbantartásáról, valamint az ellenőrzési feladattal kapcsolatos konkrét veszélyek megértéséről. Ezenkívül az egyéni védőeszközöknek mindig jó állapotban kell lenniük, rendszeresen ellenőrizni kell őket, és sérülés vagy kopás esetén ki kell cserélni.

3.3. Gyakorlati képzés a minták előkészítéséről (Mhte)

A közös anyagok előkészítésének gyakorlati oktatása az 1.2.2. ábrán bemutatott módszertan szerint történik.

3.3.1. Szénacélok

Szénacélok esetében az előkészítésnek az alapvető módszereket kell követnie (lásd az 1.2.1. fejezetet). Példa az alábbiakban egy szénacél előkészítésre az ISO 16060:2003 szabvány szerint.

Mintavételezés: Megfelelő méretű minta levágása (a rögzítés függvényében). Megfelelő vágási módszerek a vízugaras vágás, mechanikus vágás hűtés mellett stb. A 3.3.1. ábra egy mikroszkópos vizsgálatokhoz használt vágógépet mutat.



3.3.1.1.1. ábra. Metcon Servocut 302

Szerelés: A szerelőhenger átmérője általában 25-50 mm. Melegszerelésnél a melegszerelő gép kézikönyvét kell követni. A 3.3.1.2. ábra egy példát mutat egy forró szerelőgépre.



3.3.1.2. ábra. Forró szerelőgép

A hidegszerelési folyamat során a szerelőanyag (kétkomponensű gyanta) használati útmutatóját kell követni.



3.3.1.1.3. ábra. Példa a hidegszerelési folyamatra

Csiszolás: víz alatti csiszoláskor megfelelő csiszológépet használjon.

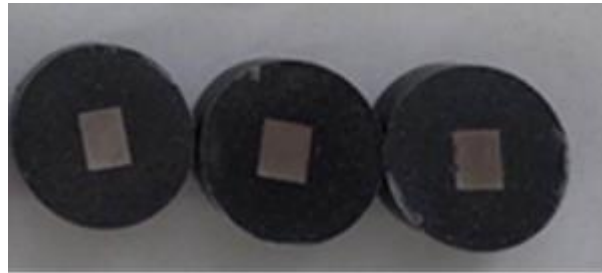
Finom őrlés: 200 -1000 szemcsés SiC csiszolópapírok vagy fóliák használata. Kézi csiszolás esetén kövesse az 1.2.5. fejezetet, míg a csiszológép használatához (3.3.1.4. ábra) olvassa el a használati útmutatót. A gépigénytől függően használjon a kézi csiszolással megegyező szemcseméretű csiszolópapírokat vagy fóliákat.



3.3.1.4. ábra. Példa egy köszörűgépre



Polírozás: a polírozás polírozógépen történik, ragasztószemcsékkel ellátott polírozóbetét használatával. A polírozó párnák többféle formájúak és minőségűek lehetnek (filc, bársony, vászon stb.). A csiszolóanyag lehet gyémánt vagy timföld (9-0,05 μ m) vizes szuszpenzióban.



3.3.1.5. ábra. Csiszolt vizsgálati minták

Tisztítás: a szénacél felületet metanollal kell tisztítani, hogy minden szennyeződést és vizet eltávolítsunk (lásd az 1.2.4. fejezetet).

Szárítás: a szárításnak enyhe légáramban kell történnie.

Maratás: javasolt Nital (lásd az 1.2.8.1. táblázatot).

3.5.2. Austenites rozsdamentes acél

A rozsdamentes acél vizsgálati mintáinak előkészítése ugyanaz, mint a szénacél esetében. Vágáskor vigyázni kell, mert az ausztenites rozsdamentes acélok alacsony keménységűek. Ha rendelkezésre áll, vízszaggal történő vágás ajánlott. A csiszolás és polírozás során az előkészítést gondosan kell végezni, hogy az ausztenites rozsdamentes acél mikroszerkezete megmaradjon. A rozsdamentes acél előkészítését az ISO 16060:2003 szabvány szerint kell elvégezni.

Maratás: javasolt oxálsavas oldat (lásd az 1.2.8.1. táblázatot).

3.5.3. Réz és ötvözetek

A réz és ötvözetek vizsgálati mintáinak előkészítése általában ugyanaz, mint az acéloké és más fémeké, de a polírozás során javasolt a gyémánt csiszolószemcsék (3-0,05 μ m) használata. A tisztítási és szárítási folyamat ugyanaz, mint a szénacélok esetében. A réz és ötvözetek előkészítése az ISO 16060:2003 szabvány szerint történik.

Maratás: javasolt Sósav-vas-klorid (lásd az 1.2.8.1. táblázatot).

3.5.4. Alumínium és ötvözetek

Az alumínium és ötvözetek vizsgálati mintáinak előkészítése megegyezik a szénacélokéval. Vágáskor óvatosan kell eljárni, mert az alumínium és ötvözetek alacsony keménységűek. Ha rendelkezésre áll, vízszaggal történő vágás ajánlott. Az alumínium előkészítését az ISO 16060:2003 szabvány alapján végezze el.

Maratás: javasolt Kroll marószert (lásd az 1.2.8.1. táblázatot).



3.5.5. Titán és ötvözetek

A titánból és ötvözeiből készült vizsgálati minták előkészítése általában ugyanaz, mint az acéloké és más fémeké, de a polírozás során javasolt a gyémánt csiszolószemcsék használata (3-0,05 μ m). A polírozás utolsó lépésében H₂O₂-val kombinált gyémánt szuszpenziót kell használni. A tisztítási és szárítási folyamat ugyanaz, mint a szénacélok esetében. A titán és ötvözetek előkészítését az ISO 16060:2003 szabvány alapján végezzük el.

Maratás: Keller-féle maratószer (lásd az 1.2.8.1. táblázatot).

3.3.6. Polimerek

A polimer minták előkészítése eltér a fémektől, ezért gondosabb előkészítést igényel.

Mintavételezés: a környezeti hőmérsékleten különböző keménységű polimerek széles skálája megtalálható. Ezért az ajánlás a polimerek üvegesedési átmeneti hőmérséklet alatti vágása, ami a hegeszthető polimerek esetében a szobahőmérséklet feletti. Használhatók mechanikus vágási módszerek vízhűtéssel vagy alacsony sebességű kézi vágás.

Szerelés: nagyon fontos ismerni a polimer olvadási vagy lágyulási hőmérsékletét a polimerizációs hőmérséklettel együtt. A forró szerelési hőmérsékletnek alacsonyabbnak kell lennie, mint a polimerizációs, lágyulási és olvadási hőmérséklet. A rögzítőanyagot a polimerrel összhangban kell megválasztani, hogy ne legyen kémiai reakció egymás között. A szerelési folyamat figyelembe veszi a szerelőanyag kémiai képességét és reakcióhőmérsékletét.

Csiszolás és finomcsiszolás: 200 -1000 szemcseméretű SiC csiszolópapírok vagy fóliák használata. Kézi csiszolás esetén kövesse az 1.2.5. fejezetet. Csiszológép esetén kövesse a gép kézikönyvét. A gép követelményeinek megfelelően használjon a kézi csiszolással megegyező szemcseméretű csiszolópapírokat vagy fóliákat. A 3.3.1.4. ábra egy csiszológépet mutat. A polimer előkészítése során alacsony fordulatszámot használjon.

Polírozás: a polírozás polírozó géppel történik, használjon polírozó párnát ragasztó részecskékkel. A polírozó párnák többféle formájúak és minőségűek lehetnek (filc, bársony, vászon stb.). A csiszolóanyag lehet gyémánt vagy timföld (9-0,05 μ m) vizes szuszpenzióban.

Tisztítás: csak vizes tisztítás.

Szárítás: a szárításnak környezeti levegőben kell történnie (ellenőrizze a szobahőmérsékletet).

Radírozás: nincs radírozás.

Hivatkozások:

[3.3.1] Bramfitt B. L., Bencotter A. O.: Metallographer's Guide, Practices and Procedures for Irons and Steels. 1st. Ed. ASM International, Materials Park, 2002. 169-244.

[3.3.2] McCall J. L., Mueller W. M.: Metallographic Specimen Preparation, Optical and Electron Microscopy 1st. ed. Plenum Press, New York, 1973. 1-348.

[3.3.3] Vander Voort G. F.: Metallográfiai alapelvek és gyakorlat. 4st. ed. ASM International, Materials Park, 2007. 1-258.



[3.3. 4] ISO/TR 16060:2003 Fémek anyagok hegesztési varratainak roncsolásos vizsgálata - Marószerek makroszkopikus és mikroszkopikus vizsgálathoz, 2003.

3.6. A hegesztéssel és kapcsolódó technikákkal készült kötések minőségének értékelésére vonatkozó szabványok

3.6.1. EN ISO 17639 Fémek anyagok hegesztési varratainak roncsolásos vizsgálata. A hegesztési varratok makroszkópos és mikroszkópos vizsgálata.

Ez a szabvány ajánlásokat ad a minták előkészítésére, a vizsgálati eljárásokra és azok fő célkitűzéseire a makroszkópos és mikroszkópos vizsgálathoz. Meghatározza a makroszkópos és mikroszkópos vizsgálatot, az alábbiakban leírtak szerint:

- makroszkópos vizsgálat: az előkészített vizsgálati minta vizsgálatát szemrevételezéssel, nagyítás nélkül vagy legfeljebb 50-szeres nagyítással kell elvégezni. A vizsgált minta felülete lehet maratott vagy maratás nélküli.
- mikroszkópos vizsgálat: az előkészített vizsgálati minta vizsgálatát mikroszkóppal kell elvégezni, 50x - 500x közötti nagyítással. A vizsgált minta felülete lehet maratott vagy maratás nélküli.

A szabvány határozza meg a személyes állapotot, a vizsgáztató pedig a tesztet végző személy.

A szabvány tartalmazza a vizsgálati minták előkészítésére vonatkozó összes utasítást, beleértve a felületkezelés és a maratási módszereket a hivatkozott marószerekkel. Felsorolja a vizsgálat során betartandó biztonsági szabályokat. Az előkészített felület vizsgálata elvégezhető a maratott vagy maratás nélküli próbatesteken a vonatkozó szabványoknak megfelelően. A szabvány javaslatot tesz a kísérleti jelentés formájára.

3.4.2. ISO/TR 15608 Hegesztés - Irányelvek a fémek anyagok csoportosítási rendszeréhez

Ez a szabvány egységes rendszert tartalmaz a hegesztéshez használt fémek anyagok osztályozására. A csoportosítási rendszer használható hőkezeléshez vagy anyagvizsgálathoz.

Az ebben a szabványban említett anyagok a következők: acélok, alumínium és ötvözetek, réz és ötvözetek, nikkel és ötvözetek, titán és ötvözetek, cirkónium és ötvözetek, valamint öntöttvasak.

Az acélokat a minimális folyáshatár függvényében, a gyártási vagy hőkezelési eljárások alapján, valamint króm- és nikkelötvözet-tartalmuk szerint vagy a mikroszerkezet (pl. ausztenit, ferrit, martenzit) alapján osztályozzák.



Az alumínium, a réz, a nikkell, a titán, a cirkónium és a hozzájuk tartozó ötvözetek az ötvözőelemek alapján kerülnek osztályozásra. Az öntöttvasakat a mikroszerkezet alapján osztályozzák. Ez a szabvány a következő szabványokra hivatkozik: ISO/TR 20172 Hegesztés - Anyagok csoportosítási rendszere - Európai anyagok, ISO/TR 20173 Hegesztés - Anyagok csoportosítási rendszere - Amerikai anyagok, ISO/TR 20174 Hegesztés - Anyagok csoportosítási rendszere - Japán anyagok.

3.4.3. ISO/TR 17671-2 Hegesztés. Ajánlások fémes anyagok hegesztésére. 2. rész: Ferrites acélok ívhegesztése.

Ez a szabvány a ferrites acélok kézi, félig mechanizált, gépesített és automatikus ívhegesztéséhez nyújt útmutatást, kivéve a ferrites rozsdamentes acélokat, minden termékformában. Részletesen ismerteti a lehetséges káros jelenségeket, és tanácsokat ad az ezek elkerülésére szolgáló módszerekre vonatkozóan.

Az ISO/TR 17671 ezen része általában minden ferrites acélra alkalmazható, és a gyártás típusától függetlenül megfelelő, bár az alkalmazási szabvány további követelményeket is tartalmazhat.

3.4.4. ISO/TR 16060 Fémek hegesztési varratainak roncsolásos vizsgálata. Marószerek makroszkópos és mikroszkópos vizsgálathoz.

Ez a szabvány áttekintést nyújt a legfontosabb maróanyagokról (kémiai összetétellel) a hegesztett anyagok vizsgálatának makroszkópos és mikroszkópos vizsgálatához az EN ISO 17639 szabvány szerint. A szabvány javaslatot tesz a maratás előtti felület-előkészítési módszerekre és további követelményeket ad meg.

3.4.5. EN ISO 17637 Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata. Fúziós hegesztett kötések szemrevételezéses vizsgálata

Ez a szabvány a fémek olvasztóhegesztéseinek vizuális vizsgálatát írja elő. Alkalmazható a kötés hegesztés előtti vizuális vizsgálatára is. A hegesztési varratok roncsolásmentes vizsgálata a következőkre alkalmazható:

- Fúziós hegesztett kötések gyártói
- Ellenőrző hatóságok különböző ágazatokban, például az építőiparban, az autóiparban, az általános gépészetben, a repülőgépiparban és a tengerészetben.
- Engedélyezett képzési és képesítési szervek



- Tanúsító testületek

A szabvány biztosítja, hogy a fémes anyagú hegesztési varratok vizuális vizsgálata egységes és megismételhető legyen, függetlenül az új eljárásoktól, a felülvizsgált szabványos eljárásoktól, az újonnan kifejlesztett berendezésektől vagy a felhasznált anyagok változásától. Így az olvasztóhegesztett kötések pontos és hatékony vizuális vizsgálatával segítheti a hegesztési minőség javítását.

3.4.6. ISO 15614-1 Fémes anyagok hegesztési eljárásainak előírása és minősítése: Acélok ív- és gázhegesztése, valamint nikkell és nikkellötvetek ívhegesztése.

Ez a szabvány meghatározza, hogy az előzetes hegesztési eljárás specifikációját hogyan kell hegesztési eljárásvizsgálatokkal minősíteni. Az ISO 15614-1 szabvány a gyártási hegesztésre, a javítási hegesztésre és a felhordó hegesztésre vonatkozik. Az ISO 15614-1 meghatározza a hegesztési eljárásvizsgálatok elvégzésének feltételeit és a hegesztési eljárások minősítési tartományát minden gyakorlati hegesztési műveletre vonatkozóan a jelen dokumentum minősítésén belül.

A hegesztési eljárás minősítésének elsődleges célja annak bizonyítása, hogy az építéshez javasolt kötési eljárás képes a tervezett alkalmazáshoz szükséges mechanikai tulajdonságokkal rendelkező kötések előállítására.

A hegesztési eljárások vizsgálatának két szintjét adják meg, hogy a hegesztett kötésekre is kiterjeszthessék az alkalmazási kört. A 2. szinten a vizsgálat terjedelme nagyobb, és a minősítési tartományok szűkebbek, mint az 1. szinten. A 2. szinten elvégzett eljárási vizsgálatok automatikusan megfelelnek az 1. szintű követelményeknek, de fordítva nem. Ha egy szerződésben vagy alkalmazási szabványban nincs szint meghatározva, akkor a 2. szint összes követelménye alkalmazandó.

Ez a szabvány az acélok ív- és gázhegesztésére minden termékformában, valamint a nikkell és nikkellötvetek ívhegesztésére minden termékformában vonatkozik.

Az ISO 4063 szabvány szerint az ív- és gázhegesztés a következő eljárásokkal foglalkozik.

111 - kézi fém ívhegesztés (fém ívhegesztés fedett elektródával);

114 - önárnyékoló csőszénnel töltött ívhegesztés;

12 - merülőíves hegesztés;

13 - védőgázos fém ívhegesztés;



14 - gázvédtett ívhegesztés nem fogyasztható elektródával;

15 - plazmaíves hegesztés;

311 - oxi-acetilén hegesztés.

A dokumentum alapelvei más fúziós hegesztési eljárásokra is alkalmazhatók.

Érdemes megemlíteni, hogy egy korábbi eljárás szám nem igényel új minősítési vizsgálatot e dokumentum szerint. Az e dokumentum korábbi kiadásai szerint készült hegesztési eljárások előírása és minősítése minden olyan alkalmazáshoz használható, amelyre a jelenlegi kiadás előírja. Ebben az esetben a korábbi kiadások minősítési tartományai továbbra is alkalmazandók. Lehetőség van egy új WPQR (hegesztési eljárás minősítési nyilvántartás) minősítési tartomány létrehozására is e kiadás szerint, a meglévő minősített WPQR alapján, feltéve, hogy az e dokumentumban foglalt vizsgálati követelmények műszaki céljai teljesülnek. Ha a minősítés műszaki egyenértékűvé tételéhez további vizsgálatokat kell elvégezni, akkor a kiegészítő vizsgálatot csak egy próbadarabon kell elvégezni.

3.4.7. ISO 15614-2 Fémek hegesztési eljárásainak előírása és minősítése. 2. rész: Alumínium és ötvözeteinek ívhegesztése.

Ez a szabvány meghatározza, hogy az előzetes hegesztési eljárás specifikációját hogyan kell hegesztési eljárásvizsgálatokkal minősíteni.

Ez a rendelet a kovácsolt és öntött alumínium és ötvözeteinek ívhegesztésére vonatkozik. Nem vonatkozik az alumíniumöntvények befejező hegesztésére, amelyet az ISO 15614-4 szabvány említ.

3.4.8. EN 10247 Az acélok nemfémes zárványtartalmának mikrográfiai vizsgálata szabványos képek segítségével.

Ez az európai szabványtervezet meghatározza a mikroszkópos nemfémes endogén zárványok mikroszkópos értékelésének módszerét a képtérképek segítségével. A módszer nem vonatkozik a 3,0 µm-nél kisebb hosszúságú vagy átmérőjű, illetve 2,0 µm-nél kisebb szélességű részecskékre. Ha a termékszabvány vagy az érintett felek közötti megállapodás egyes speciális termékek esetében meghatározza, a 2,0 µm alatti szélességű zárványok kizárólag a hossz alapján értékelhetők. A felső határértékeket meghaladó méretű zárványokat ez a szabvány foglalja össze. Ha a részecskék hosszúságok, vagy ha a részecskék sorakoznak, akkor feltételezzük, hogy párhuzamosak egymással. Egyéb elrendezésekre ez a szabványtervezet nem vonatkozik.



Ez az európai szabványtervezet a véletlenszerű eloszlást megközelítő mikroszkopikus csapadékeloszlású mintákra vonatkozik.

Az ezzel a módszerrel kapott mérési adatokból más szabványok szerinti értékelés készíthető. Ez az európai szabványtervezet nem vonatkozik a forgácsoló acélokra.

Érdemes megemlíteni, hogy ezen európai szabványtervezet alapelve lehetővé teszi a nemfémes zárványok tartalmának képelemzési technikákkal történő meghatározását.

3.4.9. ISO 6520-1, Hegesztési és kapcsolódó eljárások. Fémanyagok geometriai hibáinak osztályozása. 1. rész: Fúziós hegesztés

Ez a szabvány a hegesztési hibák pontos osztályozásának és leírásának alapjául szolgál.

A félreértések elkerülése érdekében a tökéletlenségek típusait szükség esetén magyarázatokkal és illusztrációkkal együtt határozzuk meg. A kohászati hibák nem tartoznak ide.

A tökéletlenségek megjelölésére az ISO/TS 17845 szabvány szerint egy másik rendszer is alkalmazható. Az ISO 6520-1 szabvány szerinti hibák meglévő osztályozása és az ISO/TS 17845 szabvány szerinti jelölési rendszer megfeleltethető egymásnak.

3.4.10. ISO/TS 17845 Hegesztés és kapcsolódó eljárások. A tökéletlenségek jelölési rendszere.

Ez a szabvány a hegesztés és a kapcsolódó eljárások hibáinak jelölési rendszerét tartalmazza. Fém és nem fém anyagokra (pl. hőre lágyuló műanyagok) vonatkozik. Más célokra is alkalmazható (pl. öntés).

3.4.11. ISO 6520-1 Hegesztési és kapcsolódó eljárások. A fém anyagok geometriai hibáinak osztályozása. 1. rész: Fúziós hegesztés

Ez a szabvány a hegesztési hibák pontos osztályozásának és leírásának alapjául szolgál. A félreértések elkerülése érdekében a hibatípusok meghatározása magyarázatokkal és szükség esetén illusztrációkkal van ellátva. A kohászati hibák nem tartoznak ide. A tökéletlenségek megnevezésének egy másik rendszere az ISO/TS 17845 szerint lehetséges. Az ISO 6520-1 szabvány szerinti tökéletlenségi osztályozás és az ISO/TS 17845 szabvány szerinti jelölési rendszer között megfeleltetés van.

Hivatkozások:



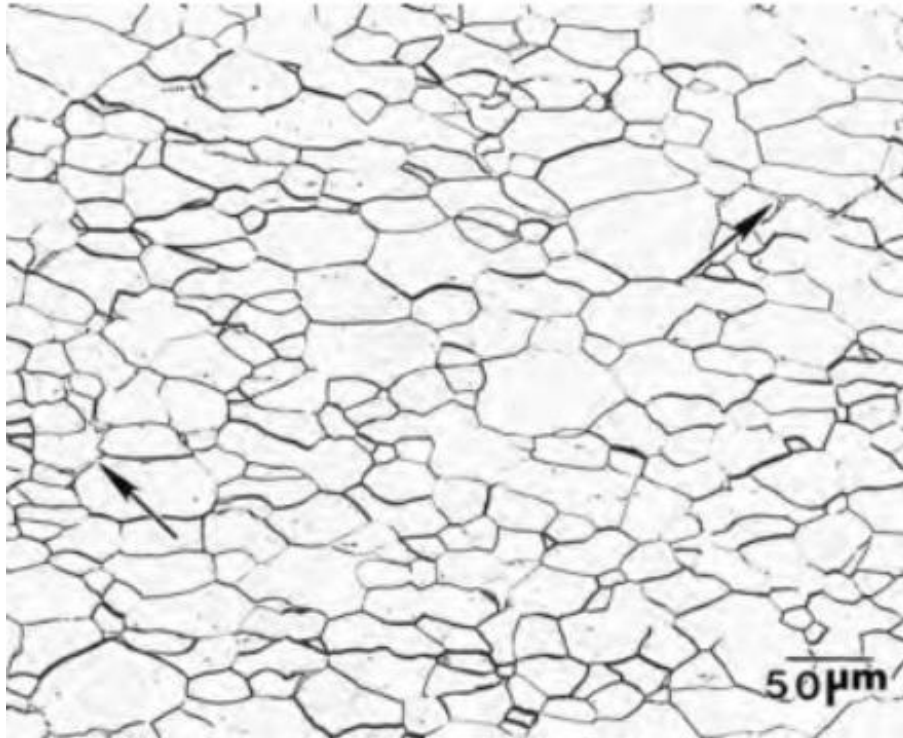
- [3.4.1] EN ISO 17637 Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata - Fúziós hegesztett kötések szemrevételezéses vizsgálata
- [3.4.2] EN ISO 17639:2022 Fémes anyagok hegesztési varratainak roncsolásos vizsgálata - A hegesztési varratok makroszkópos és mikroszkópos vizsgálata 2022.
- [3.4.3] ISO 15614-1:2017 Fémes anyagok hegesztési eljárásainak előírása és minősítése - Hegesztési eljárások vizsgálata - 1. rész: Acélok ív- és gázhegesztése, valamint nikkellötvetek ívhegesztése.
- [3.4.4] EN 10247 Az acélok nemfémes zárványtartalmának mikrográfiai vizsgálata szabványos képek segítségével
- [3.4.5] ISO 6520-1 Hegesztés és kapcsolódó eljárások. A fémes anyagok geometriai hibáinak osztályozása. 1. rész: Fúziós hegesztés

3.7. Gyakorlati képzés a **mikroszkópos minták** szerkezetének azonosítására.

3.5.1. Szén- és alacsonyán ötvözött acél

A szén- és ötvözött acélok a tulajdonságok széles skálájával gyárthatók. E mikroszerkezetek leírásához azonosítani kell a jelenlévő alkotóelemeket. Az egyfázisú alkotórészek közé tartozik az ausztenit, a ferrit, a δ -ferrit, a cementit, a különböző ötvözött karbidok és a martenzit, valamint a különböző intermetallikus fázisok, a nitridek és a fémezárványok nélküli fázisok.

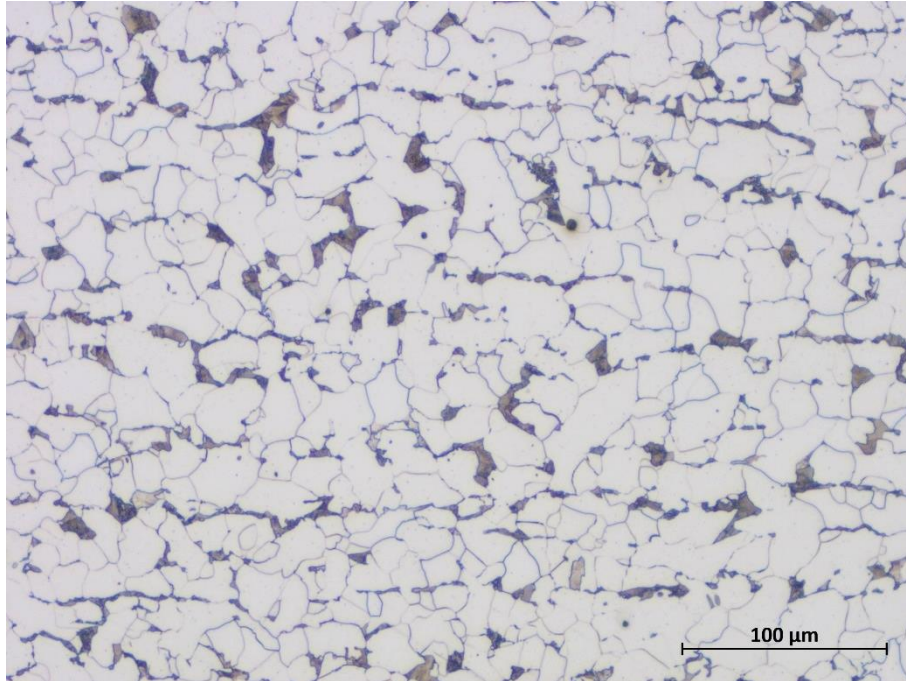
A ferrites szemcsék lehetnek egytengelyűek vagy hosszúkásak (rétegződési irányban). Szénacélban teljesen ferrites acélokat csak akkor kapunk, ha a széntartalom alacsony ($C < 0,08$ tömegszázalék). A ferrit egy lágy, kis szilárdságú fázis, és ha a szemcseméret finom, akkor jó alakíthatóságot és formálhatóságot kapunk.



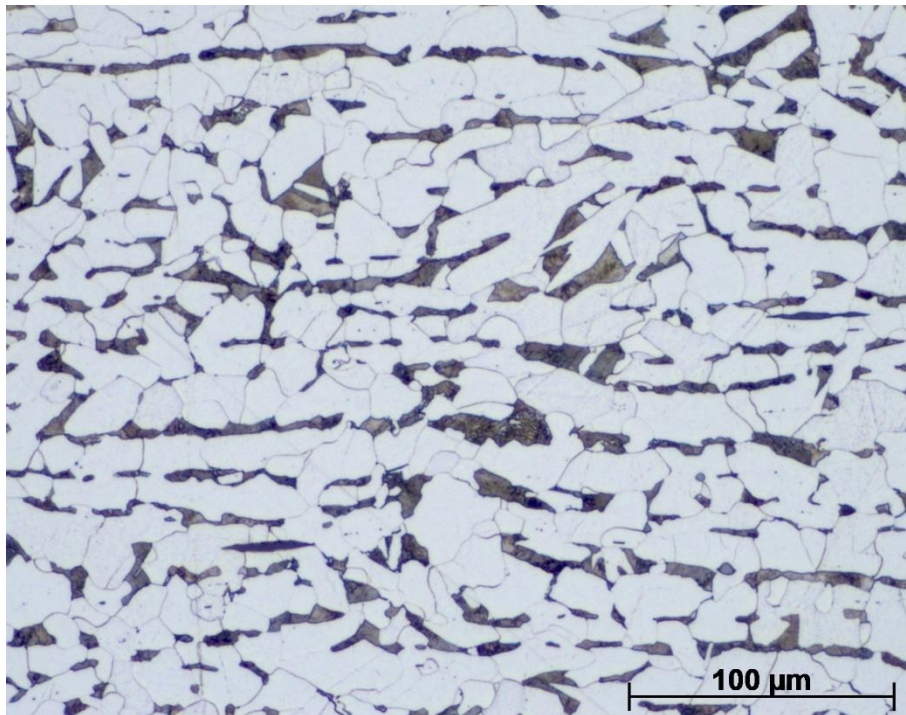
ábra 3.5.1 - Alacsonyan ötvözött acél ($C < 0,08$ tömegszázalék). Teljesen ferrites szerkezet. Maratószer: Nital 2%.

Forrás: IIS laboratórium

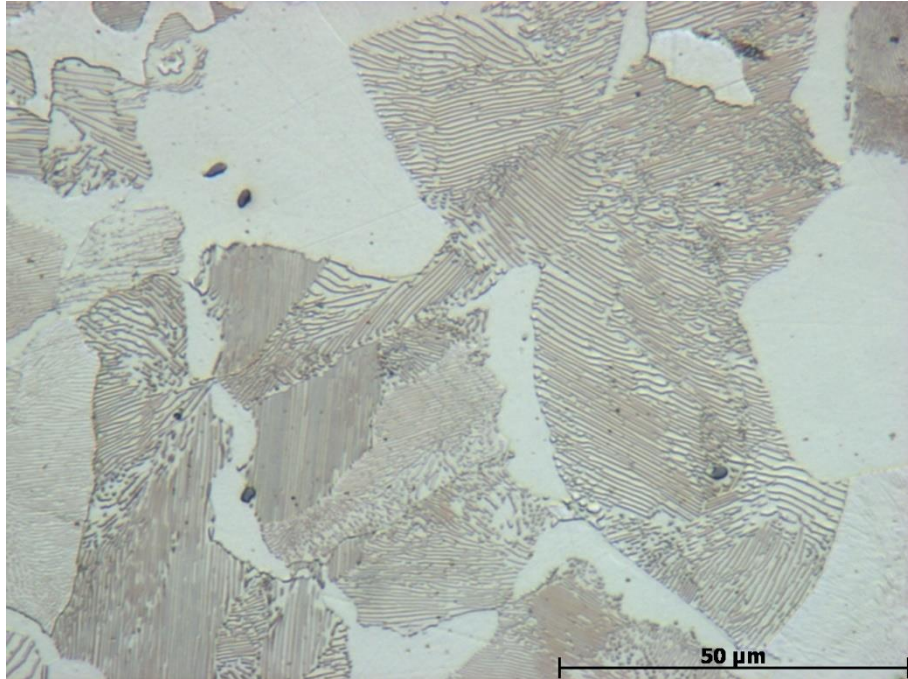
A legtöbb szerkezeti vagy nyomástartó alkalmazásokhoz használt ötvöztelen acél (C-tartalom 0,08 és 0,4 tömegszázalék között) ferritből és perlitből áll. A perlit mennyisége minőségileg jelzi az ötvözet széntartalmát. A Fe-oldhatósági határon (0,08 tömegszázalék) túli magasabb széntartalom a cementit (Fe_3C) nagyobb mértékű kicsapódását és következésképpen a perlit (cementit és ferrit lamellás szerkezete) nagyobb mértékű jelenlétét jelenti.



ábra 3.5.2 - Szénacél kazán- és túlhevítő csövekhez (C = 0,2 tömegszázalék). Ferrit és perlit. Marószers: Nital 2%,
Forrás: Nital: IIS laboratórium.



ábra 3.5.3 - Szénacél szerkezeti felhasználásra, S355J0 típus (C = 0,25 tömegszázalék). Ferrit és perlit. Marószers:
Nital 2%. Forrás: IIS laboratórium.

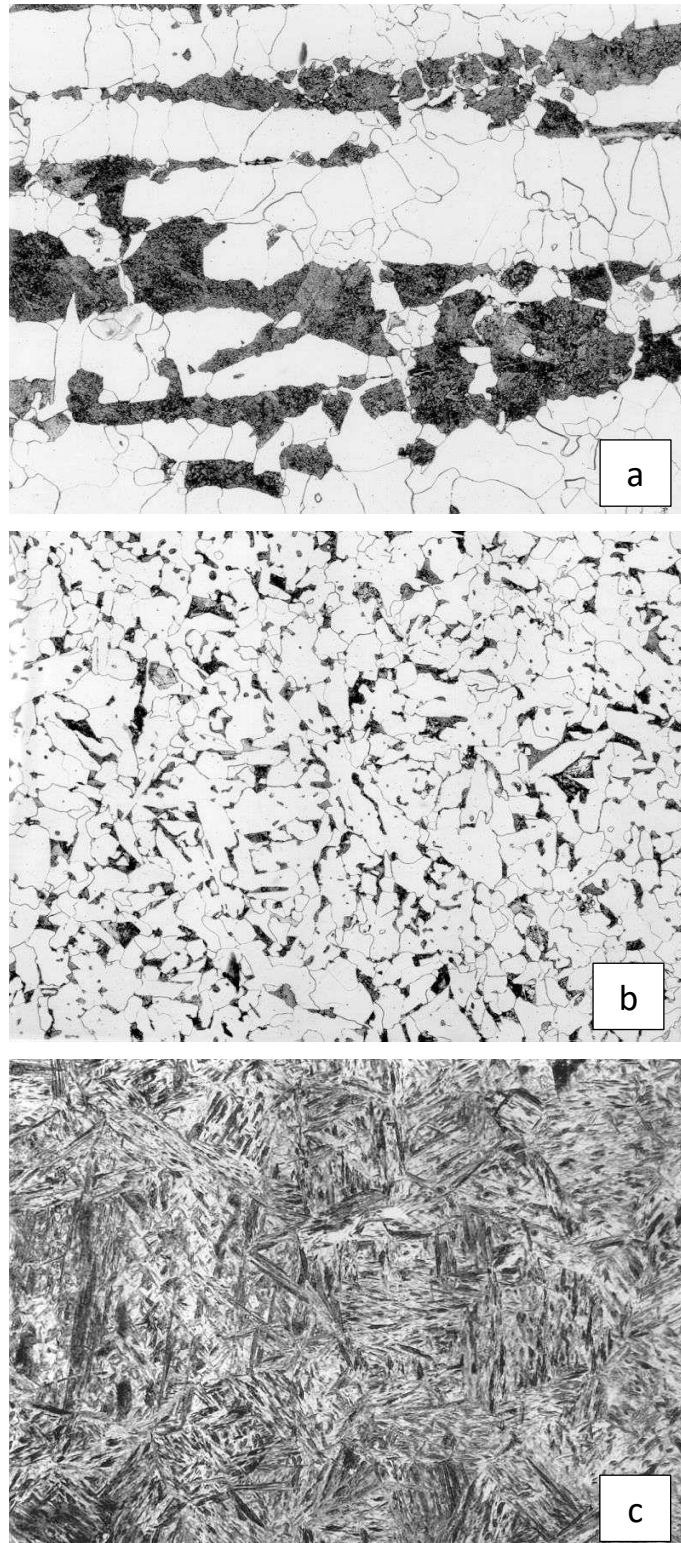


3.5.4. ábra - A perlit részlete nagy nagyításban (500x) - A perlit ferrit (fehér) és cementit (szürke/barna) pelyhek váltakozásából áll. Metszőanyag: Nital 2%. Forrás: Nital: IIS Laboratórium.

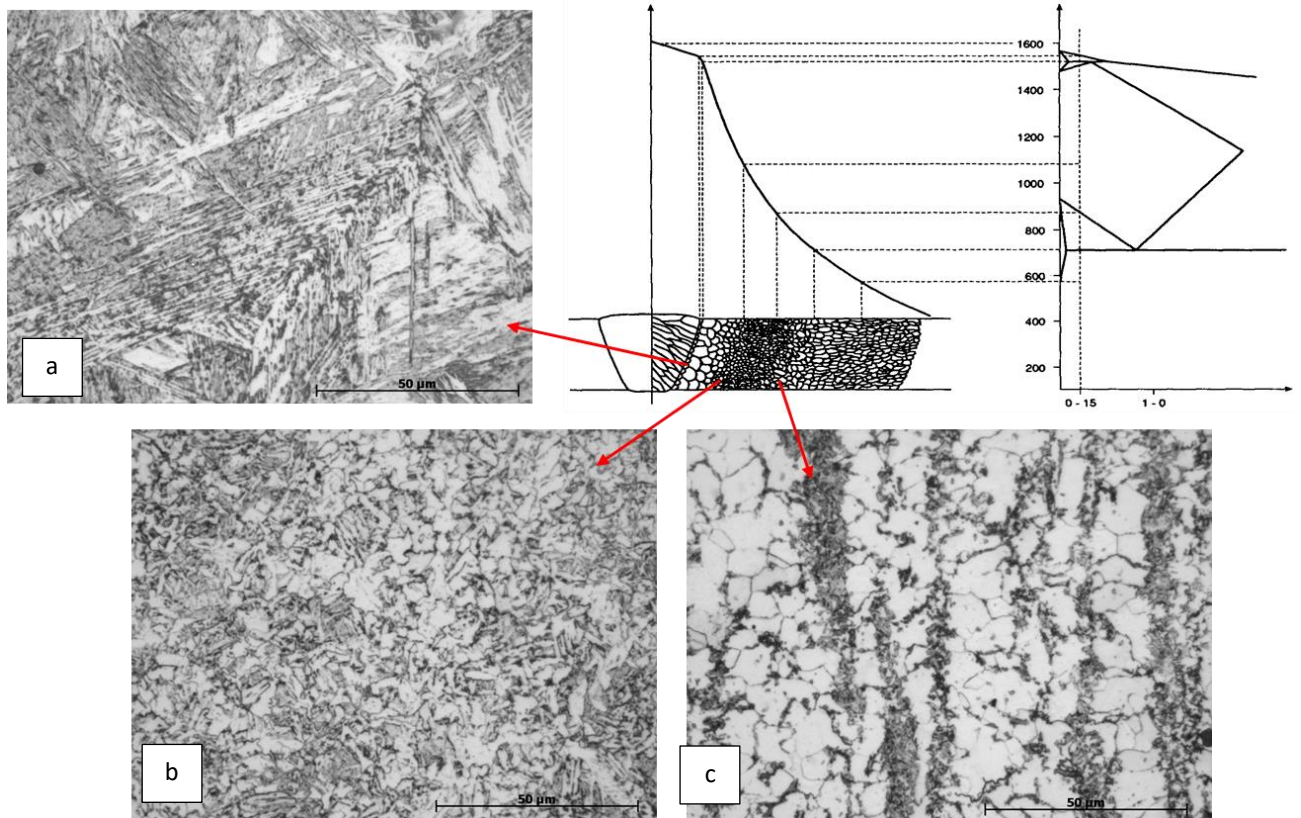


3.5.5. ábra - C45 típusú közepes széntartalmú acél (C = 0,45 tömegszázalék) részlete - Gyöngyház- és ferritsziget. Marószert: Nital 2%. Forrás: IIS laboratórium.

A vas különböző allotróp formái, valamint a szén és más ötvözőelemek jelenléte lehetővé teszi a hőkezelés vagy a hegesztés során hőciklusoknak kitett szerkezet átalakulását.



3.5.6. ábra - S355J2 típusú szerkezeti acél részletei különböző hőkezelésekkel. (a) Lágyított; b) normalizált; c) hűtött. Maratás: Nital 2%. Forrás: IIS Laboratórium.



3.5.7. ábra - Alacsonyán ötvözött acél hegesztési kötés hőhatás alá vont zónájának részletei. (A) Durva szemcsés zóna; (b) Finomszemcsés zóna; (c) Részleges traszformációs zóna - Nital 2%. Forrás: Nital (NIT) (1): IIS Laboratórium.

3.7.1. Austenites rozsdamentes acél

Az acélhoz adott ötvözőelemek hozzáadásával a fázisok egyensúlya és a végső szerkezet módosítható. Egyes elemek a ferrites fázist (króm egyenértékű), míg mások az ausztenites fázist (nikkel egyenértékű) stabilizálják. A magasan ötvözött acélok legfontosabb családja a rozsdamentes acélok.

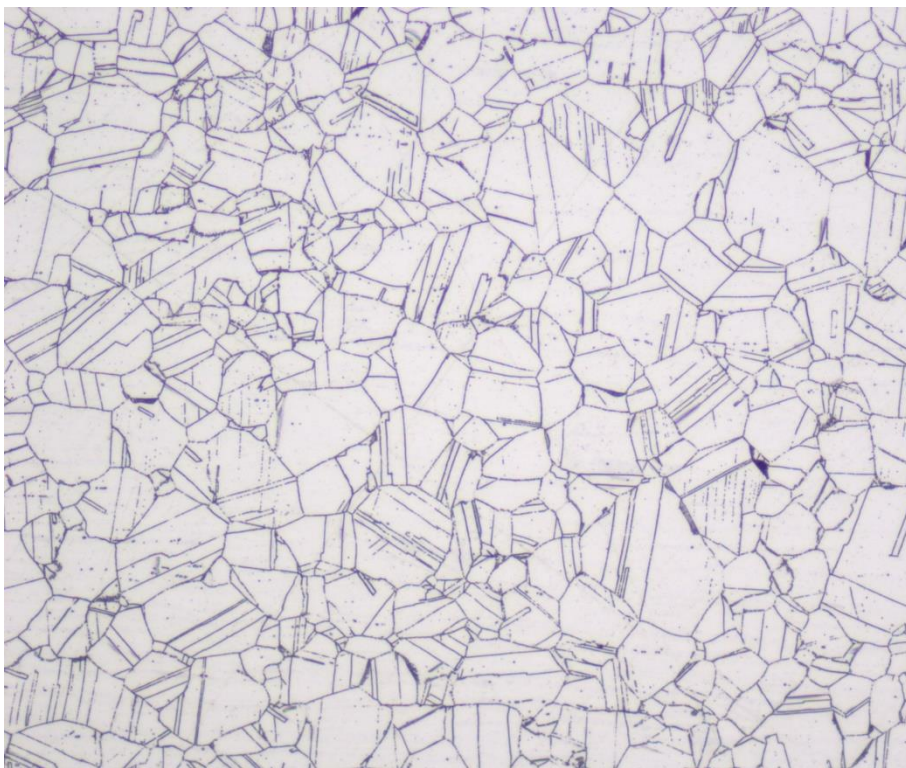
Ha nagy mennyiségű ausztenitet stabilizáló elem (szén, nikkel, mangán, nitrogén) van jelen, akkor alacsony hőmérsékleten ausztenit figyelhető meg.



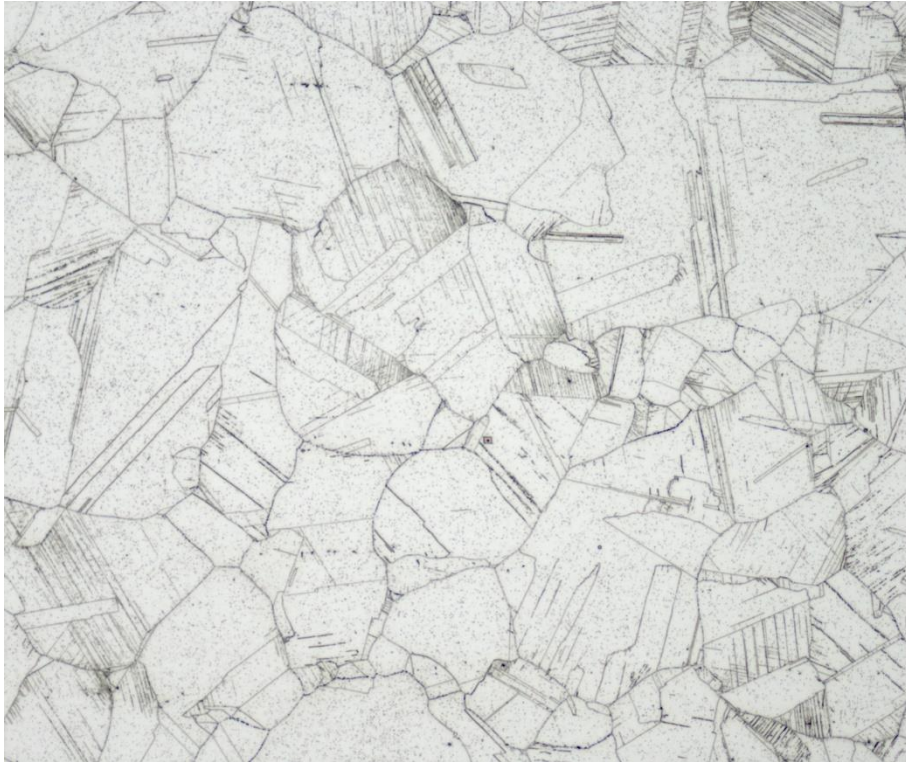
Az ausztenites rozsdamentes acélok és az ausztenites mangánacélok teljesen ausztenites ötvözetek. Ezek egyfázisú ötvözetek. Az ausztenit szintén lágy, alacsony szilárdságú fázis; a hidegmegmunkálás azonban keményedést eredményez.

Az ausztenites rozsdamentes acélban (AISI 300-as sorozat) a szilárd állapotú allotróp átalakulás elnyomott; és a hőciklikus ciklikusság miatt nincsenek átalakulások; így csak szemcseméret-növekedés figyelhető meg a hővel érintett zónában (HAZ).

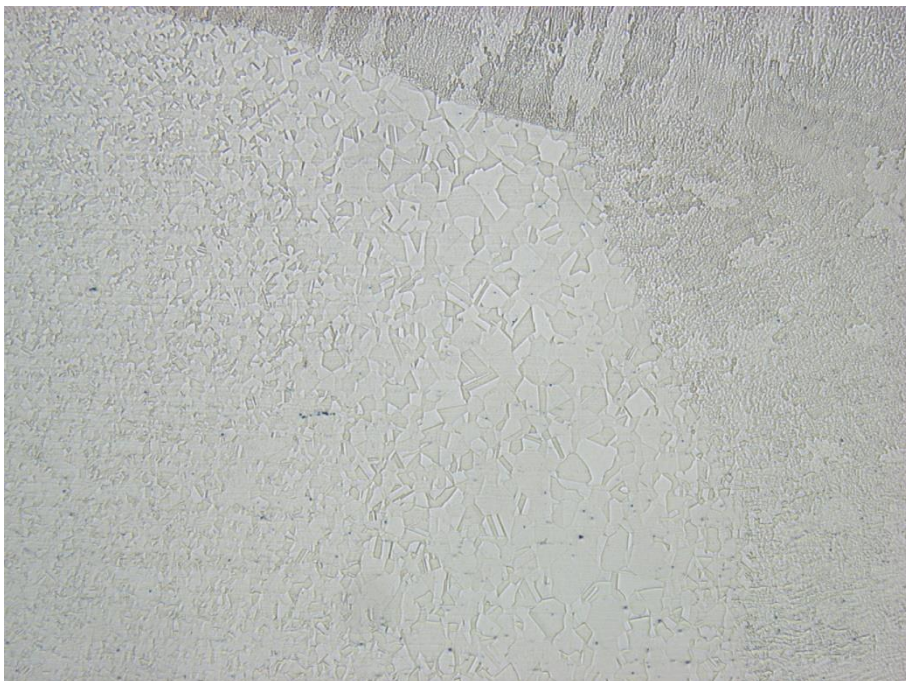
A hegesztési zóna jellemzően dendrites szerkezetű, körülbelül 5-10 % delta-ferritet tartalmaz. A deltaferrit jelenléte nagyon fontos, mert hegesztéskor javítja a forró repedésállóságot.



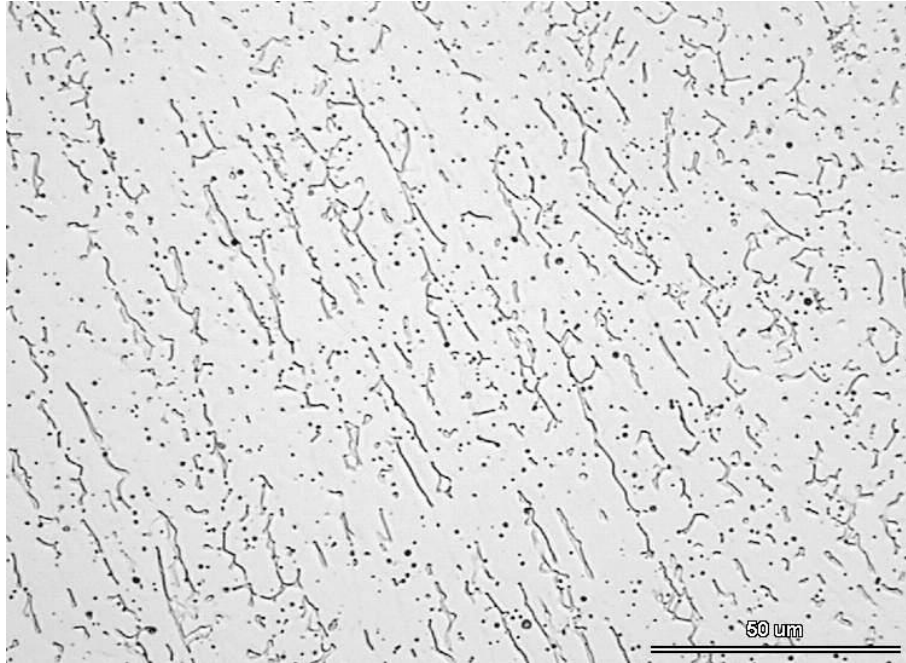
3.5.8. ábra - Teljesen ausztenites szerkezet részlete (100x) - Poligonális ausztenites szemcsék. Metszőanyag: Elektrolitikus oxálsavoldat. Forrás: IIS Laboratórium.



3.5.9. ábra - Teljesen ausztenites szerkezet részlete (100x) keményedési jelekkel - Polygonális ausztenites szemcsék. Marószert: Elektrolitikus oxálsavoldat. Forrás: IIS Laboratórium.

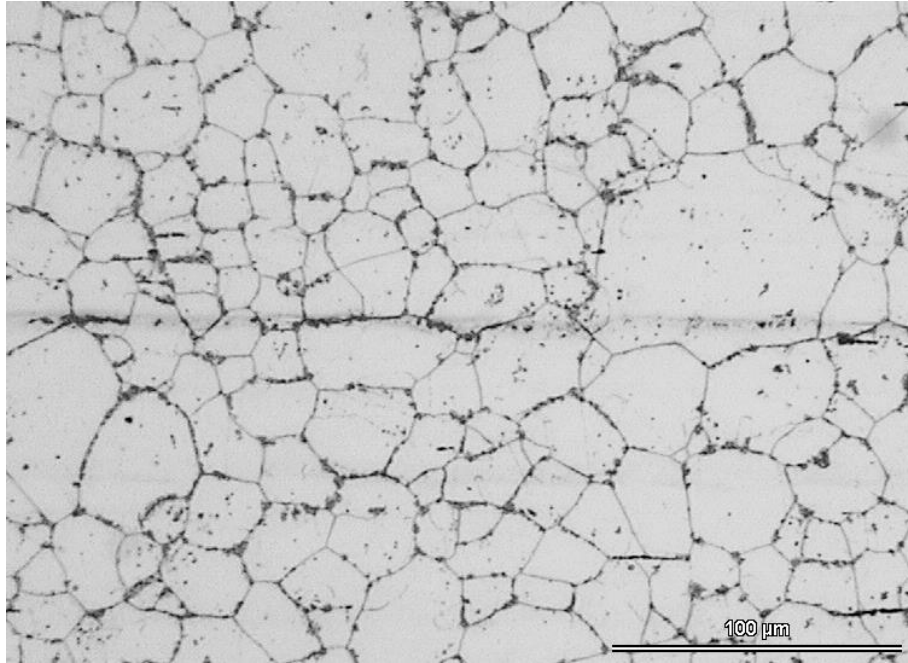


3.5.10. ábra - Austenites AISI 316 típusú rozsdamentes acél hőhatásmentes zónája (HAZ) (25 x). Durvult szemcsék a HAZ-ban. Forrás: IIS laboratórium.



3.5.11. ábra - Austenit rozsdamentes AISI 304 típusú acél hegesztési zónája (WZ). Austenit dendrites szerkezet delta ferrittel. Marószer: Elektrolitikus oxálsavoldat- Forrás: Mészkö: IIS Laboratórium.

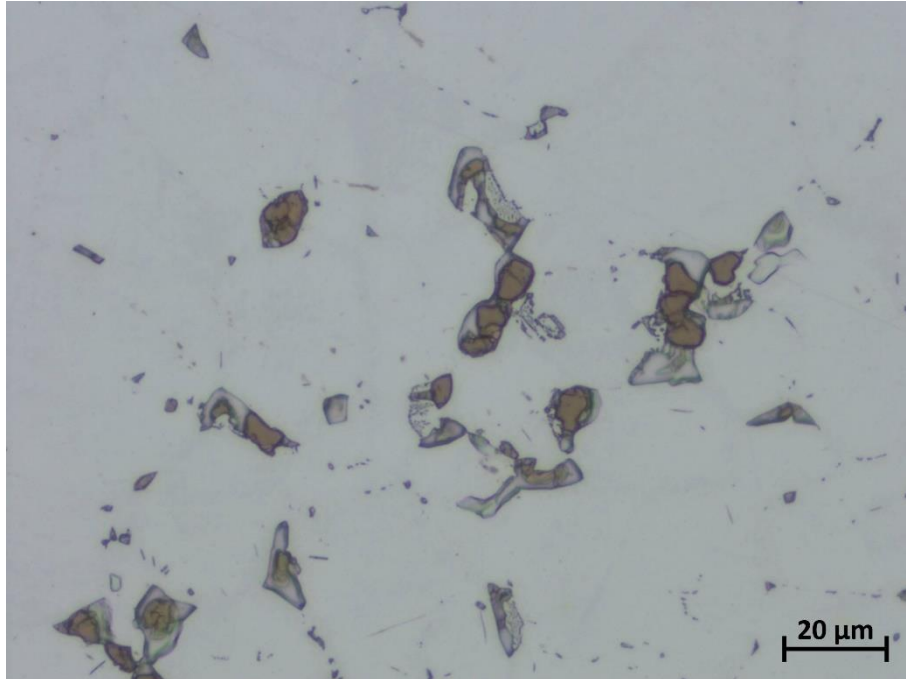
Az ausztenites rozsdamentes acélok érzékennyé válhatnak, ha hőkezelik vagy 500 - 850°C közötti hőmérsékleten használják őket. Bizonyos körülmények között a hegesztési varratok hőérzékeny zónái is érzékennyé válhatnak. A krómkarbidok a szemcsehatárokon sötét pontokként láthatók.



3.5.12. ábra - Teljesen ausztenites szerkezet részlete (200x) krómkarbidokkal a szemcsehatárokon (szenzibilizáció).
Maratószer: Elektrolitikus oxálsavoldat- Forrás: Vöröshagyma: IIS laboratórium.

A Sigma-fázis egy nem mágneses, főként vasból és krómból álló intermetallikus fázis, amely a ferrites és ausztenites rozsdamentes acélokban 550-950 °C-on történő hosszú expozíció során alakul ki; ez a probléma az üzemeltetés vagy a hőkezelések során jelentkezik, nem pedig a hegesztés során.

A szigma fázis kemény és rideg, és ha jelen van a rozsdamentes acélokban, általában nem kívánatos. Elektrolitikus maratással (pl. NaOH vagy KOH oldattal) kimutatható a szigmafázis, így diszpergált gömb alakú morfológiát mutat.



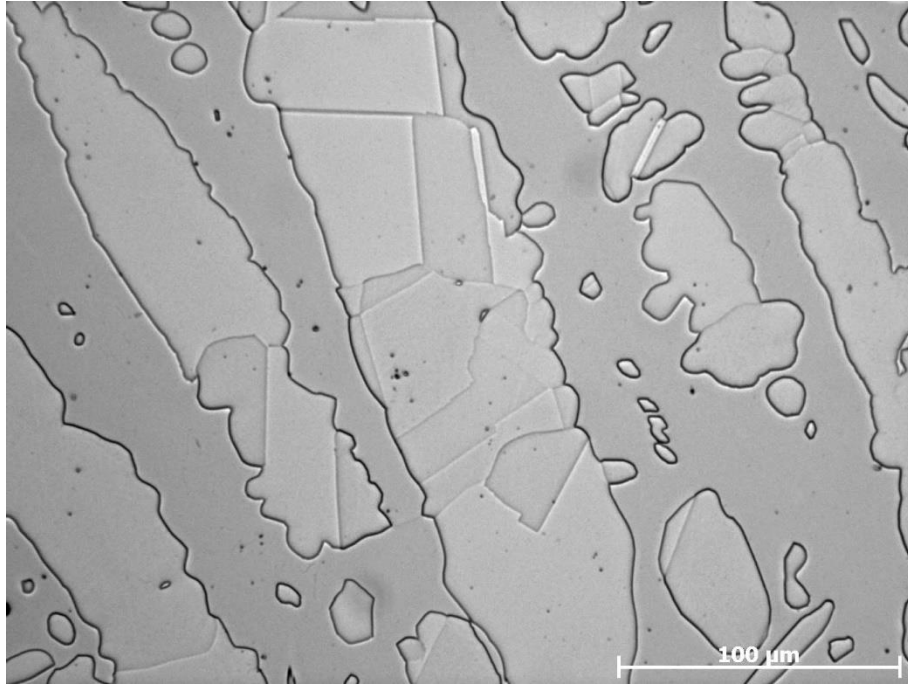
3.5.13. ábra - Sigma fázis a 304H típusú ausztenites rozsdamentes acélon. Marószér: NaOH elektrolitikus oldat.

Forrás: IIS laboratórium.

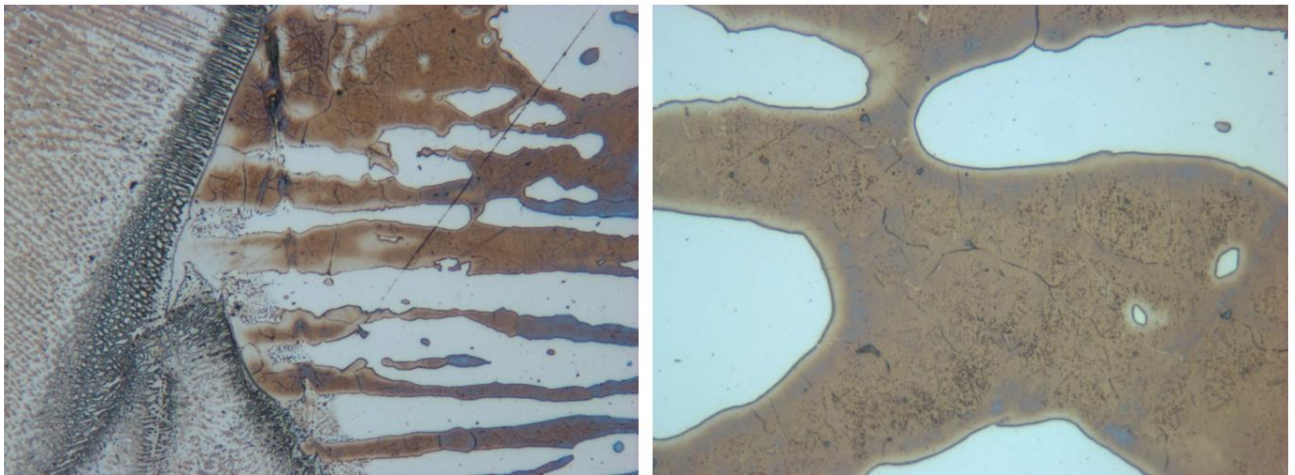
3.7.2. Duplex rozsdamentes acél

A duplex rozsdamentes acélok Fe-Cr-Ni-N ötvözetrendszeren alapulnak. Ezen ötvözetek kémiai összetételét úgy állították be, hogy az alapfém mikroszerkezete általában körülbelül 50%-ban ferritből és 50%-ban ausztenitből áll.

A duplex minőségek összetett ötvözése miatt számos kicsapódási reakció léphet fel a hőmérséklet-tartományban, körülbelül 1000 °C alatt. E csapadékok közül sok a duplex ötvözetek ridegségét okozó, ezért kerülendő. Ezek közé tartozik a szigma (σ), chi és alfa (α') prím, valamint a króm-nitridek.



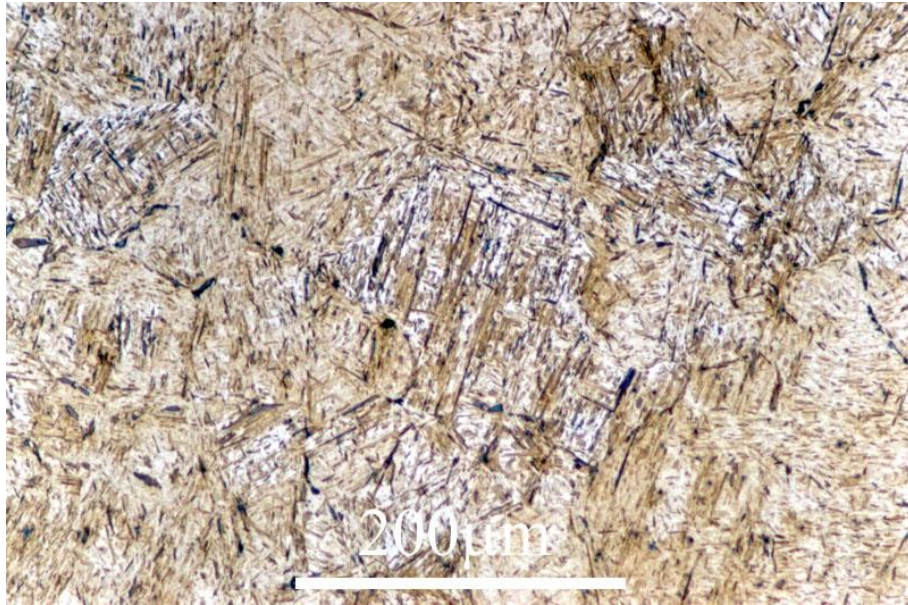
3.5.14. ábra - Duplex rozsdamentes acél - ferrit és ausztenit kétfázisú szerkezete. Marószer: Elektrolitikus oxálsav. Forrás: IIS Laboratórium.



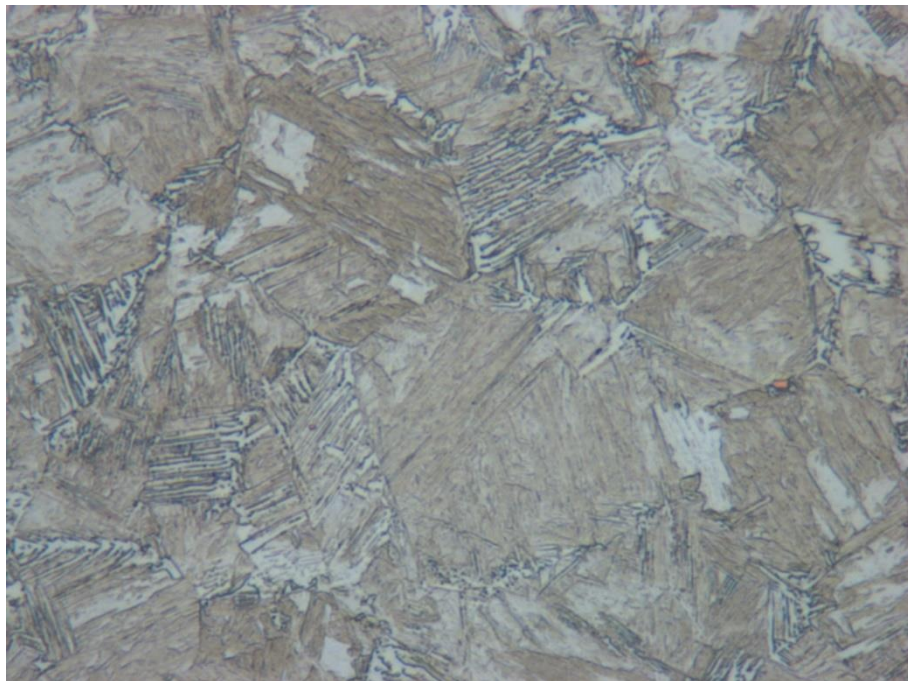
3.5.15. ábra - Egy rozsdamentes duplex (2205) hőhatású zóna részletei. A szemcséken belüli króm-nitridek jelenléte a ferrites fázisban. Maratószer: Elektrolitikus NaOH-oldat. Forrás: IIS Laboratórium).

3.7.3. Martenzites szerkezet

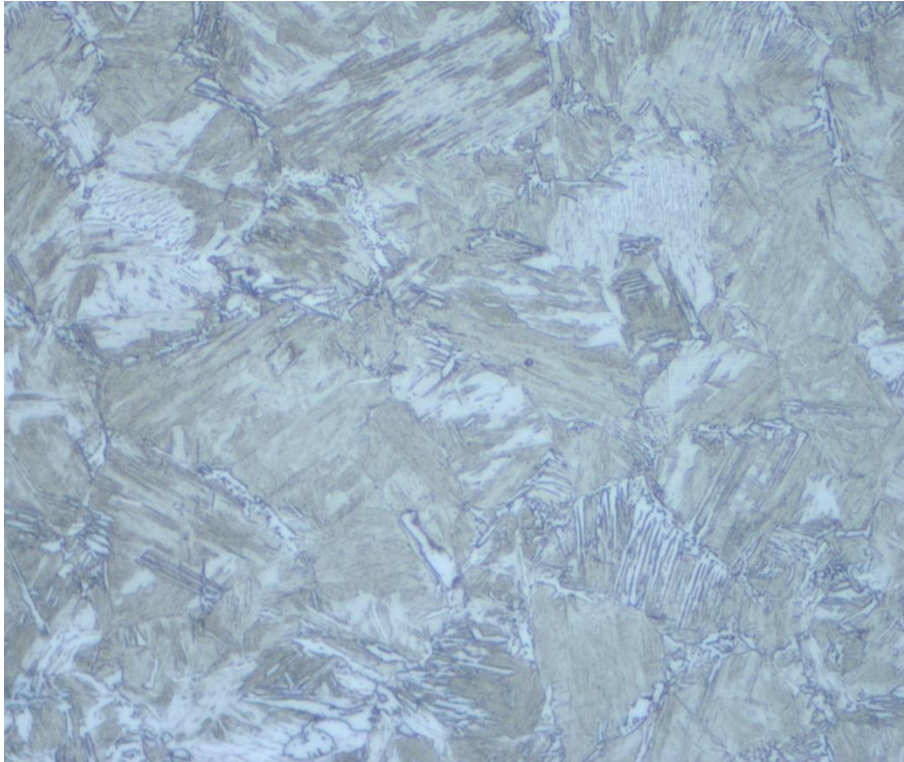
A martenzit a diffúziómentes fázisátalakulással kialakuló mikroszerkezetek gyűjtőneve. A martenzites átalakulások acélban és vasalapú ötvözetekben, valamint számos nemvas rendszerben fordulnak elő. A martenzit általában acélban vagy vasalapú ötvözetekben az ausztenit gyors leállításával keletkezik és nyírési mechanizmussal alakul ki. A végső szerkezet finom és hegyes; egyes esetekben megfigyelhető az elsődleges ausztenites szemcsehatár.



3.5.16. ábra - Közepes széntartalmú edzett acél részletei. Marószer: Nital 2%. Forrás: Nital: IIS Laboratórium.



3.5.17. ábra - Króm-molibdén acél (P91) részletei. Marószer: Vilella. Forrás: Vella: IIS Laboratórium.



3.5.18. ábra - Egy ballisztikus acél részletei (Secure 500). Metszőanyag: Nital 2%. Forrás: Nital: IIS Laboratórium.

Hivatkozások:

[3.5.1] ASM HANDBOOK - 9. kötet - *Metallográfia és mikroszerkezetek*

[3.5.2] *Hegesztési kohászat és hegeszthetőség rozsdamentes acélok* - John C. Lippold és Damian J. Kotechi.

3.8. A különböző mikroszkopikus struktúrák bemutatása (Mhte)

3.8.1. Hegesztési elemzés

A makrovizsgálatot általában hegesztett kötéseken keresztül, szereletlen keresztmetszeteken végzik, és vágási és durva/finomcsiszolási technikákat alkalmaznak. Az így kapott felület megfelelő a maratáshoz, majd a hegesztési varrat makro jellemzőinek vizsgálata következik.

Ezek közül néhányat az alábbiakban sorolunk fel:

- Hegesztési geometria
- A menetszám és -méret
- Behatolási mélység
- A HAZ (hővel érintett zóna) kiterjedése
- Felületi tökéletlenségek, például repedések, alulvágás, túlzott torok, domborúság és hegesztési orrszög.



- Belső hibák, mint például repedések, porozitás, fémes zárványok, olvadás hiánya, penetráció hiánya és salak.
- Az illesztési geometria tökéletlenségei, mint például a gyökérhézag, a gyökérfelület, a ferdeség szöge és a helytelen igazodás.

A mikrovizsgálati technikákhoz polírozott, optikailag sík felület biztosítása szükséges. A mikroszkópos vizsgálatot a hegesztési hibák és mikroszerkezeti jellemzők vizsgálatára végzik, mint például:

- Üregek (porozitás, zsugorodási üregek, mikrorepedések)
- Speciális fázisok (sigma-fázis rozsdamentes acélból)
- Szemcseméret/szerkezet
- Hegesztési szerkezet
- Szegregáció
- HAZ és alapszerkezet

3.8.2. Fáziselemzés

A fázis definíciója a fémes anyag esetében a következő: a rendszer azon részét, amely homogén, kémiai és fizikailag azonos tulajdonságokkal rendelkezik, és független határfelülettel elválasztható, fázisnak nevezzük. A fémfáziselemzésre a fémes anyagok különböző fázisainak jellemzésére van szükség. A fázisanalízis a hegesztéstechnikában és az anyagtudományban alkalmazott speciális technika, amellyel a minta fázisait különböző módszerekkel lehet meghatározni. A kívánt eredményektől függően többféle módszerrel is elvégezhető, többek között színes maratással, röntgendiffrakcióval (XRD), pásztázó elektronmikroszkópiával (SEM) és transzmissziós elektronmikroszkópiával (TEM). A fémfáziselemzés elengedhetetlen ahhoz, hogy információt nyerjünk az egyes hegesztett és alapanyagokról.

Az alapfém, a HAZ és a kötés fáziselemzésének eredménye információt ad a várakozó mechanikai tulajdonságokról és a hegesztett szerkezet megfelelőségéről. Példa: egy hegesztett alacsony széntartalmú acél HAZ-jában a martenzit fázis nemkívánatos. Egy másik példa az ausztenites rozsdamentes acél HAZ-jában lévő kiválások. A fázisanalízis a szénacélok esetében az ausztenitesedés módjáról (ausztenitzemcseméret) is tájékozathat bennünket, mert a lehűlés után még akkor is, ha fázisátalakulás történik (ferrit, perlit), a szemcsék megtartják a korábbi ausztenit szemcseméretét.

3.8.3. Porozításelemzés

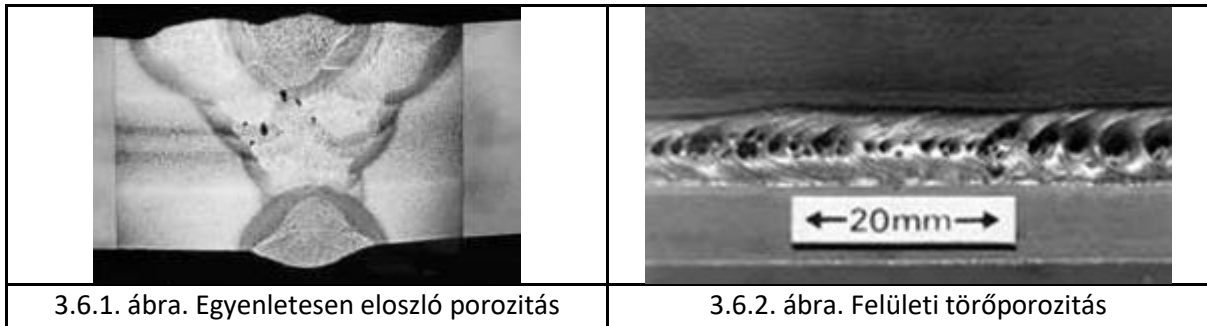
A hegesztett kötésben többször is lehet porozitás. A porozitás oka a nitrogén, az oxigén és a hidrogén felszívódása az olvadt hegesztőmedencében, amely megszilárdulásakor felszabadul, és a hegesztett fémbe reked. A legjobb módja a porozitás elkerülésének a munkadarab hegesztés előtti tisztítása. A táblázat néhány fémtípust és a porozitást okozó gázokat foglalja össze.

3.6.1. táblázat. A porozitást okozó gázok

Fém	Gáz
C-Mn acél	H, N, O
Rozsdamentes acél	H
Alumínium és ötvözetek	H
Réz és ötvözetek	H, N
Nikkel és ötvözetek	N
Titán és ötvözetek	H, N, O



A porozitás a hegesztési varratban (3.6.1. ábra) vagy a felület közelében (3.6.2. ábra) található.



Számos roncsolásmentes vizsgálat alkalmas, mint például a behatoló vagy mágneses részecske vizsgálat, ultrahangos vizsgálat, röntgenvizsgálat stb. A roncsolásos vizsgálat, mint mikroszkópos vizsgálat alkalmas (3.6.1. ábra).

3.8.4. Széntelenítés

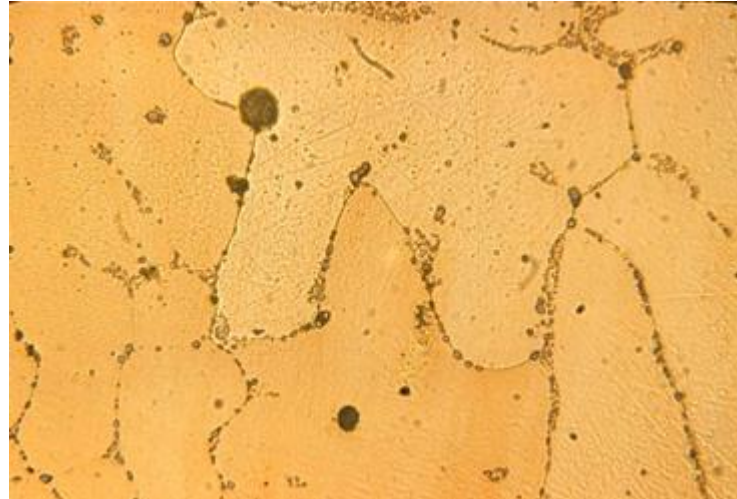
A dekarburálás egy kémiai folyamat, amikor az acél szénje oxigénnel egyesül. Ez a folyamat magas hőmérsékleten (700 °C felett) jön létre (3.6.3. ábra). A probléma ezzel a folyamattal az acél széntartalma csökken. A folyamat diffúzióval történik, és a diffúzió ennek a folyamatnak is korlátja. A dekarbonizáció általában az acél felületén és a felület alatti vékony rétegben történhet. A dekarbonizált réteg negatív hatással van a hegesztett kötés mikroszerkezetére és mechanikai tulajdonságaira, és repedéseket okozhat a kötés és az alapfém határán.



3.6.3. ábra. C-Mn acél dekarbonizált felülete

3.8.5. Rézszervezetek

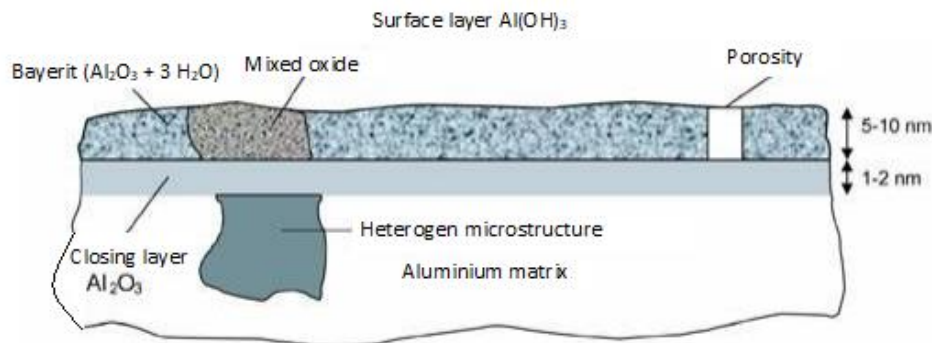
A réz és az ötvözet szerkezete a gyártási eljárástól (öntés, hengerlés stb.) függ. Az öntött rézszervezet dendrites szerkezetet, a hengerelt és lágyított szerkezet pedig apró szemcsés szerkezetet mutat. A réz a szerkezetben oxidokat képezhet, ami mikroszkópos vizsgálattal kimutatható.



3.6.4. ábra. Réz mikroszerkezet oxidokkal

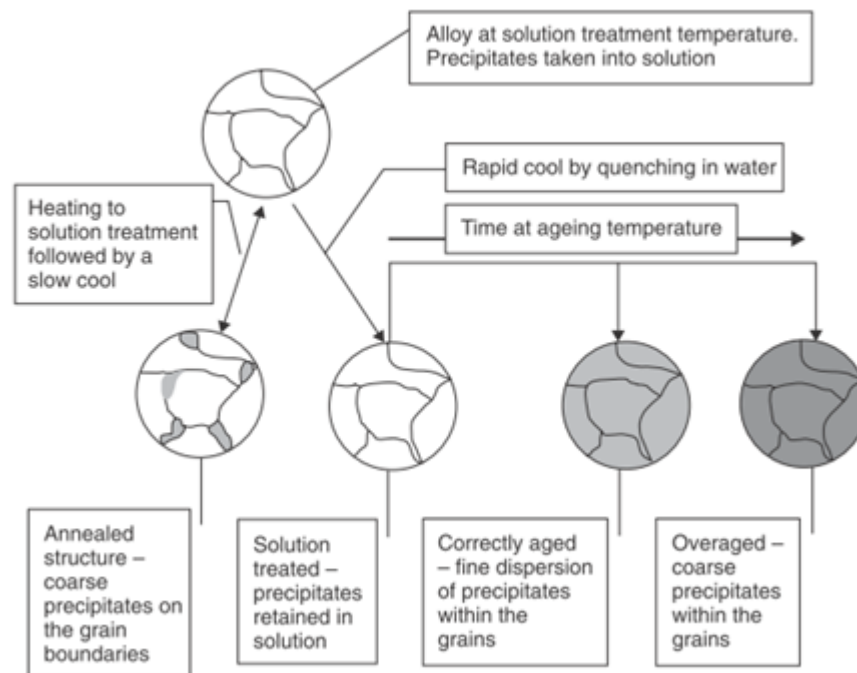
3.8.6. Alumínium szerkezetek

Az alumínium és az ötvözetek szerkezete a gyártási eljárástól (öntés, hengerlés stb.) függ. Az öntött rézszerkezet dendrites szerkezetet, a hengerelt és lágyított szerkezet pedig apró szemcsés szerkezetet mutat. Az alumínium a munkadarab felületén oxidréteget képez. Az öntött alumínium esetében a pórusos, vékony oxidréteg felületén porozitást találhatunk. A hegesztés során az olvadt alumínium reakcióba lép az oxigénnel, és oxidokat vagy porozitást hoz létre. Az oxidréteg vastagsága az idővel, a hőmérséklet és a rendelkezésre álló oxigén mennyiségével nő. Egy alumínium munkadarab keresztmetszete a 3.6.5. ábrán látható.



3.6.5. ábra. Alumínium munkadarab keresztmetszete

A hőkezelés a speciális alumíniumötvözet esetében módosíthatja a felületi szerkezetet. Az oldatkezelés és a korszakos kicsapásos edzés hőkezelés illusztrációja a 3.6.6. ábrán látható.



3.6.6. ábra. A hőkezelés által érintett szerkezetek

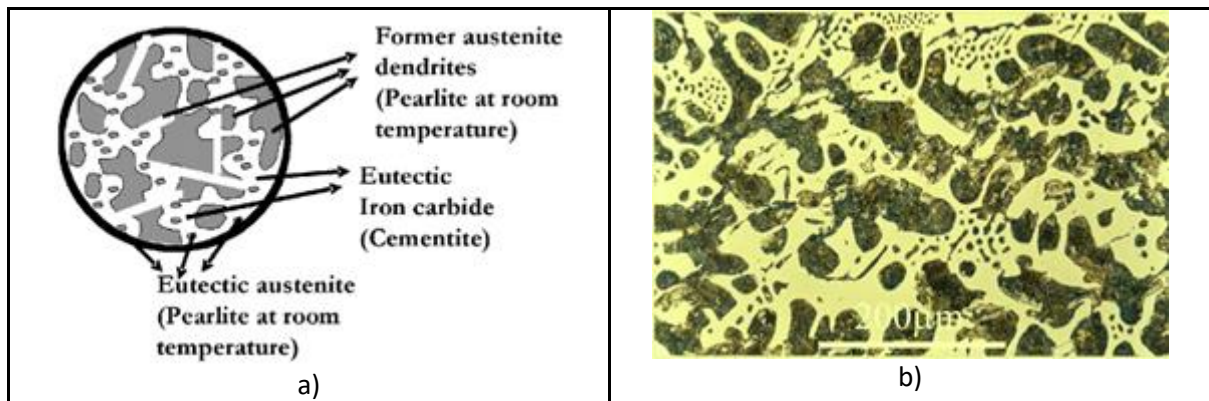
3.8.7. Öntöttvas szerkezetek

Az öntöttvas kohászat sokkal összetettebb, mint a gazdaságossága. Az öntöttvas az egyik legösszetettebb kohászati rendszer. Érdekes megjegyezni, hogy a vas-szén ötvözetek (2%-nál kevesebb szénnel) metastabilak. Az igazi stabil rendszer a vas-grafit fázisátalakulási rendszer (Fe-C). A szilárd halmazállapotú átalakulások, amelyeken az öntöttvas hőkezelések alapulnak, hasonlóak az acéloknál alkalmazott átalakulásokhoz, és a következőképpen jellemezhetők:

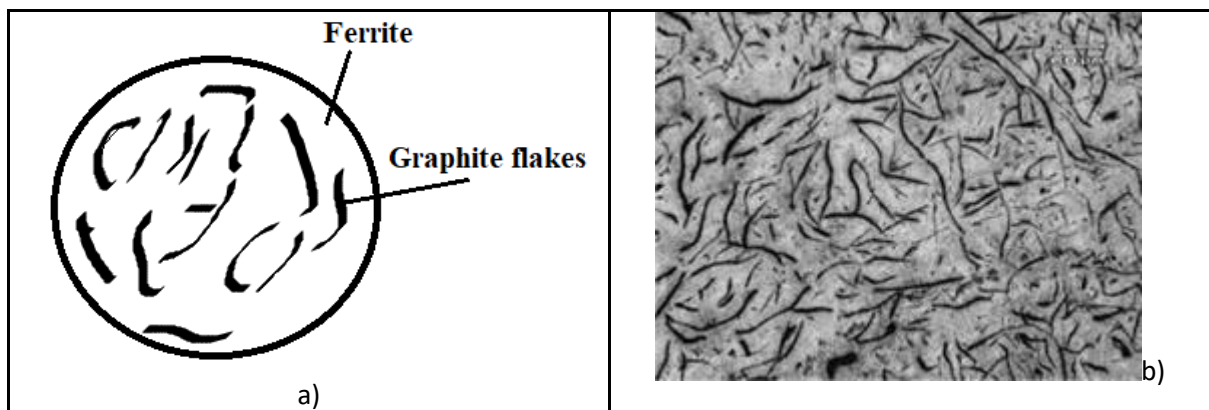
- A hipoeutektikus vasak hűtésekor, valamivel $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti hőmérsékleten a mikroszerkezet proeutektikus ausztenitből és ledeburitból áll. További lehűléskor a proeutektikus és eutektikus ausztenitből cementit formájában kiválik a felesleges szén. Végül $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on mind az eutektikus, mind a proeutektikus ausztenit perlitre bomlik, amelynek széntartalma körülbelül 0,77%.
- Az eutektikus öntöttvasak hűtésekor ledeburit képződik. További lehűléskor a felesleges szén cementit formájában kijön az oldatból az eutektikus ausztenitből. Végül $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on az eutektikus ausztenit perlitre bomlik.
- A hipereutektikus vasak hűtésekor, valamivel $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti hőmérsékleten a mikroszerkezet proeutektikus ausztenitből és ledeburitból áll. További lehűléskor a felesleges szén cementit formájában jön ki proeutektoid cementit és eutektikus ausztenit formájában. Végül $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on az eutektikus ausztenit perlitre bomlik.

Ha egy vasötvözet meghaladja a 2,11% szén-dioxidot, a szénnek nem kell az ausztenit bomlásából kiindulnia, hanem eutektikus reakcióval közvetlenül az olvadékból is képződhet. Megjegyzendő, hogy a cementit (Fe_3C) az eutektikumban még mindig könnyebben nukleálódhat, mint a grafit, de kellően lassú lehűlés esetén maga a grafit is kialakulhat és növekedhet.

A megszilárdulási folyamat alapján két csoportra oszlottunk. A fehér öntöttvasok (3.6.7. ábra) a metastabil Fe-C rendszer szerint kristályosodnak, a szürke öntöttvasok (3.6.8. ábra) pedig a stabil Fe-C rendszer szerint kristályosodnak.

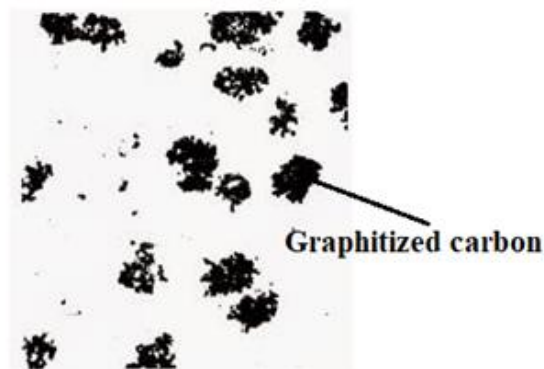


3.6.7. ábra. Fehér öntöttvas a) sematikus ábrázolás, b) mikroszkópos kép



3.6.8. ábra. Szürke öntöttvas a) sematikus ábrázolás, b) mikroszkópos kép

A fehér öntöttvas szerkezete hőkezelési eljárással módosítható. A képlékeny öntöttvas hőkezeléssel készül. Ez az átalakítás a szokásos gyakorlatban kétlépcsős folyamat, amelyet általában a grafitizálás első és második szakaszának neveznek. Egy tipikus hőkezelési ciklus első szakasza az öntvények 900 és 950 °C közötti hőmérsékleten történő melegítéséből áll. A perlit a cementitből a vasba történő gyors szén-diffúzióval a cementitből a vasba történő gyors diffúziója révén átalakul ausztenitté, és így a szén szilárd oldata a gamma vasban képződik. A masszív karbidokat a hevítés gyakorlatilag nem befolyásolja. Ezért az eutektoid tartomány felett (de az eutektikum alatt) a vas masszív karbidokból áll az ausztenitben. A grafitosodás első szakasza után a képlékeny öntöttvas szerkezete ausztenitből és grafitból áll (3.6.9. ábra).



3.6.9. ábra. Ferrites temperöntvény

Hivatkozások

3.6.1. Gene Mathers: The welding of aluminium and its alloys, Woodhead Publishing Ltd. USA 2002.

3.6.2. Hegesztés tervezőmérnököknek, CWB Group, Canadian Welding Bureau 2006. ISBN 0-9739175-0-4

3.6.3. John C. Lippold; Welding Metallurgy and Weldability, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 2015.

3.9. A metallográfiai vizsgálathoz szükséges mintaelőkészítési módok bemutatása

3.9.1. A metallográfiai mintaelőkészítési lépések makroszkópos vizsgálata:

1. Mintavételezés: Megfelelő méretű próbadarabot kell vágni (lásd az 1.2.1. fejezetet), lassan, vízhűtés mellett (3.7.1. ábra). Ha rendelkezésre áll, vízsugaras vágás is alkalmazható.



3.7.1. ábra. Mechanikus vágás vízhűtés mellett

2. Szerelés: A minta méretétől és geometriájától függ. Makroszkópos vizsgálat esetén a kézben tartható minta rögzítés nélkül is elkészíthető (a rögzítés az 1.2.2. fejezetben látható).

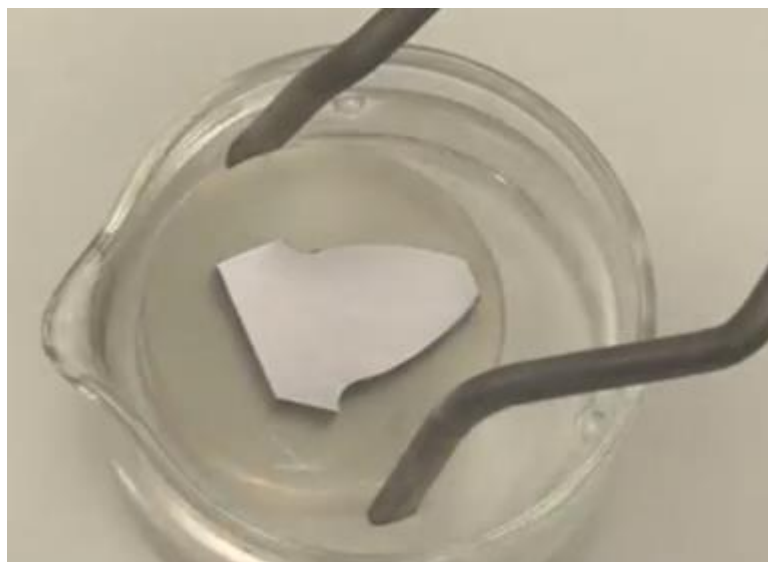
3. Jelölés: A vizsgálati mintát meg kell jelölni, hogy az előkészítés során azonosítható legyen (lásd az 1.2.3. fejezetet).

4. Csiszolás: Csiszolás SiC-papírral lépésről lépésre finomabb szemcsés papíron az 1.2.5. fejezetben leírtak szerint.



3.7.2. ábra. Csizolás

5. Tisztítás: víz alatti mosás, majd légbefúvás (lásd az 1.2.4. fejezetet).

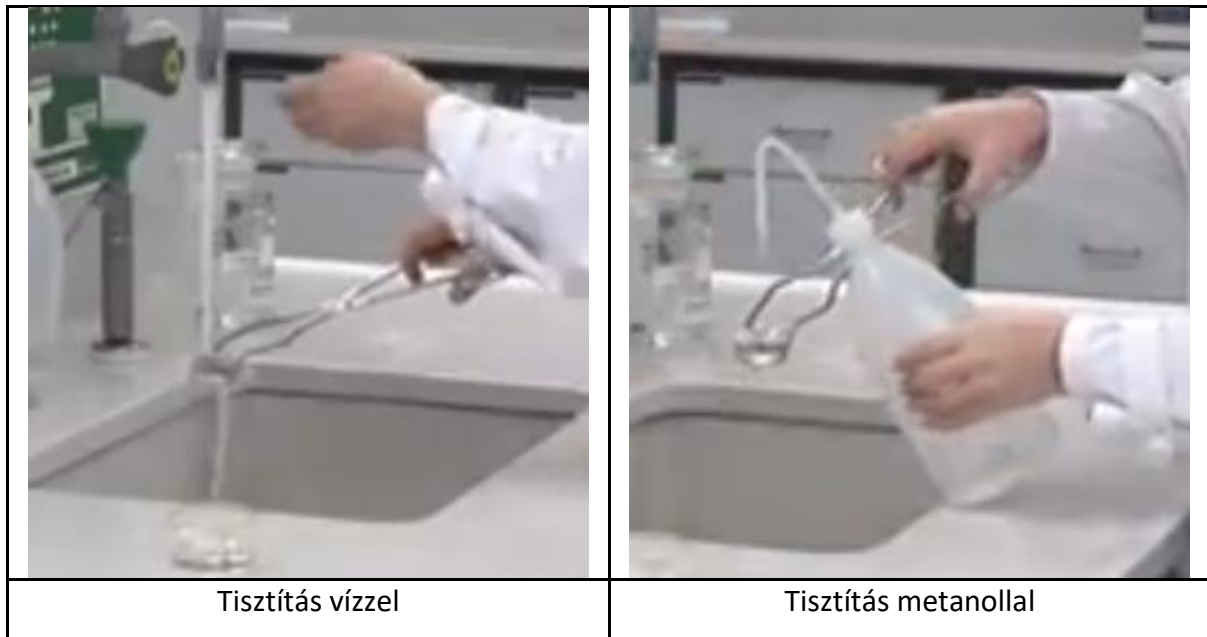


3.7.3. ábra. Maratás

6. Maratás: ha szükséges, a tervezett elemzés típusának megfelelően (lásd az 1.2.8. fejezetet).

3.7.3. ábra. Rézkarc

Tisztítás: vízzel történő mosás, majd alkoholos tisztítás (lásd az 1.2.4. fejezetet). Polimer minták esetében csak víztisztítást szabad használni.



3.7.4. ábra. Tisztítás

8. Szárítás: A környezeti levegő hőmérsékletű polimerek esetében a szárítást enyhe levegőáramban kell végezni (lásd az 1.2.4. fejezetet).

3.9.2. A metallográfiai minta előkészítési lépéseinek mikroszkópos vizsgálata:

1. Mintavétel: Megfelelő méretű próbadarabot kell vágni, általában legfeljebb $25 \times 25 \times 25 \text{ mm}^3$ vagy legfeljebb 25 mm átmérőjű és 25 mm magas hengert (lásd az 1.2.1. fejezetet), lassan kell vágni vízűtés alatt (3.7.1. ábra), vagy vízsugaras vágást kell alkalmazni.

2. Tisztítás: vízzel történő mosás, majd metil-alkohollal történő mosás (lásd az 1.2.4. fejezetet), polimer próbadarabok esetében csak víztisztítás szükséges. Ultrahangos fürdővel is tisztítható.

3. Szárítás: A szárítást enyhe levegőáramban kell végezni (lásd az 1.2.4. fejezetet).

4. Felszerelés: meleg vagy hideg felszerelés (a felszerelés az 1.2.2. fejezetben található).



Figure 3.7.5. Mounting

5. Jelölés: A próbadarabot meg kell jelölni az előkészítési folyamat során történő azonosítás érdekében (lásd az 1.2.3. fejezetet).

6. Őrlés: SiC papírral történő csiszolás, lépésről lépésre finomabb szemcsés papíron (3.7.6. ábra) (lásd az 1.2.5. fejezetet).



3.7.6. ábra. Őrlés

7. Tisztítás: vízzel történő mosás (lásd az 1.2.4. fejezetet).

8. Polírozás: Polírozás polírozópárnán alumínium-oxid vagy gyémánt csiszolószemcsékkel, finomabb csiszolószemcséken lépésről lépésre elektrolitikus polírozás is alkalmazható (lásd az 1.2.6. és 1.2.7. fejezetet).



9. Tisztítás: mosás vízzel, majd alkohollal (lásd az 1.2.4. fejezetet).
10. Szárítás: a szárítást enyhe levegőáramban kell végezni (lásd az 1.2.4. fejezetet).
11. Maratás: megfelelő maratással (3.7.3. ábra) (lásd az 1.2.8. fejezetet).
12. Tisztítás: mosás vízzel, majd alkohollal (lásd az 1.2.4. fejezetet).
13. Szárítás: a szárítást enyhe levegőáramban kell végezni (lásd az 1.2.4. fejezetet).

Final Remarks