

Mérnöki károsodásanalízis

Dr. Dévényi László

Bemutakozás:

Színesfémipari Technikum, Veszprém 24/600

NME, Miskolc, anyagtudományi érdeklődés

Fémteni Tanszék, MTA ösztöndíj 1 év

BME VAT, MTA tudományos segédmunkatárs + oktatás

Adjunktus – docens – dékán helyettes – tanszékvezető

MTA: műsz. tud. kandidátusa, BME: PhD

Anyagtudomány és Technológia Tanszék



Alapítva 1889

MT épület

Az ATT oktatási tevékenysége

BSc képzés (alapképzés)

Gépészmérnöki Szak

Alaptárgyak: Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat (420 fő)
Fémek technológiája (300 fő)

Anyagtechnológia szakirány (80 fő)

(Képlékeny-) alakítástechnika, Hegesztés,
Hőkezelés, Roncsolásmentes anyagvizsgálat
Minőségirányítás

Villamosmérnöki Szak – Anyagtudomány (450 fő)

Terméktervező Szak – Anyagismeret (100 fő)

Energetikai Szak – Anyagismeret (100 fő)

Mechatronikai Szak – Anyagismeret (100 fő)

MSc képzés (mesterképzés)

Gépészmérnöki Szak

Alaptárgy: Anyagtudomány (270 fő)

Anyagtechnológia szakirány (11 fő)

Alakító technológiák elmélete

Öntészet, porkohászat

Hegesztés

Végeselemes tervezés (MSC MARC)

Kerámiák, kompozitok

Orvostechnikai anyagok

Korrózió, **Károsodás (fáradás, törés)**

Mikroszerkezeti vizsgálatok

PhD képzés (doktori)

Anyag- és Gyártástechnológia alprogram

Anyagtechnológia részprogram

10 doktorandusz hallgató

Hegesztő szakmérnök képzés

3 féléves képzés (25 fő)

Magyar + EWE és IWE diploma

Szakmai területek

Anyagok

- ❖ Szerkezeti
- ❖ Kerámia
- ❖ Fémmátrixú
- ❖ Tömbi
nanoszerkezetű
- ❖ Orvostechnikai
- ❖ Mágneses

Technológiák

- ❖ Hegesztés
- ❖ Hőkezelés
- ❖ Képlékeny alakítás
- ❖ Lézer megmunkálás

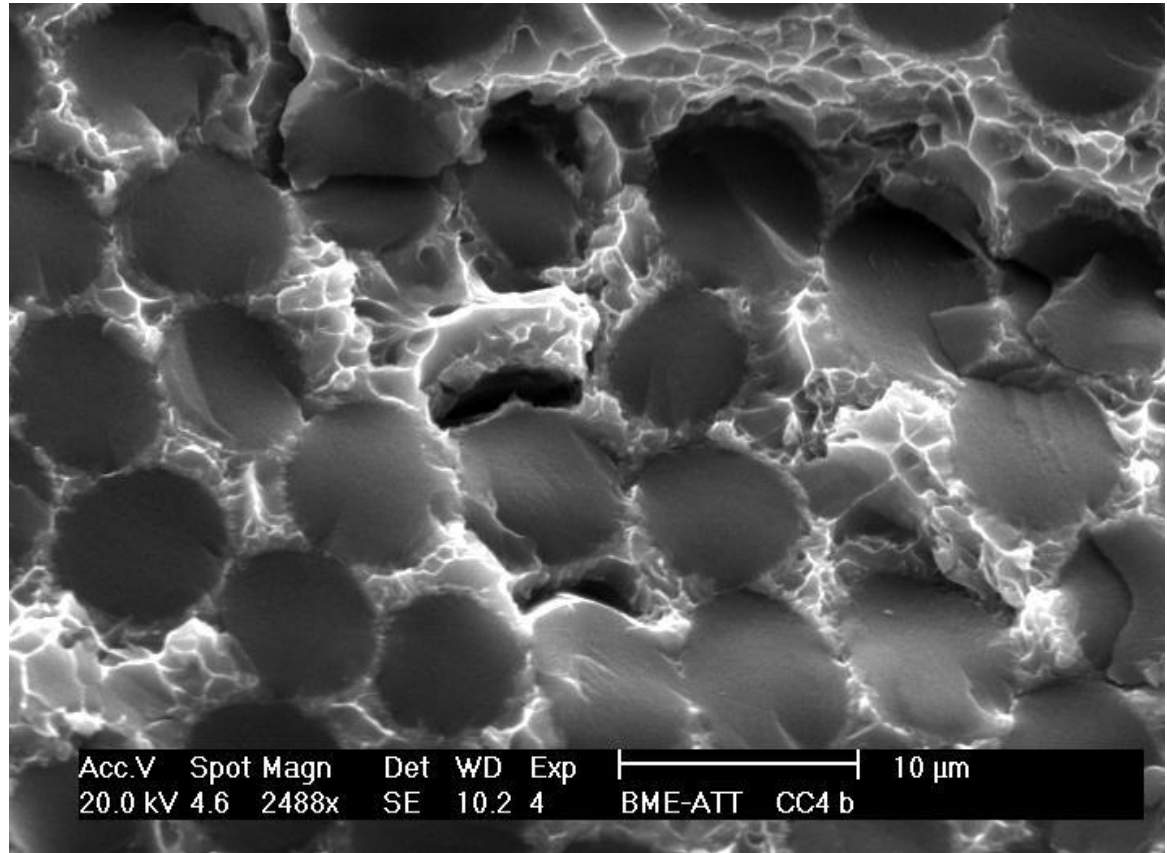
Károsodás, anyagvizsgálat

- ❖ Mechanikai
- ❖ Mikroszerkezeti

Fém mátrixú anyagok gyártása, vizsgálata, előállítása

Kompozitok

- ❖ Könnyűfém mátrix
- ❖ Szál, részecske...
- ❖ ~60 tf% térkitöltés
- ❖ Al_2O_3 , C, SiC
- ❖ Hibrid kompozitok
- ❖ Dupla kompozitok
- ❖ Folyamatos módszer

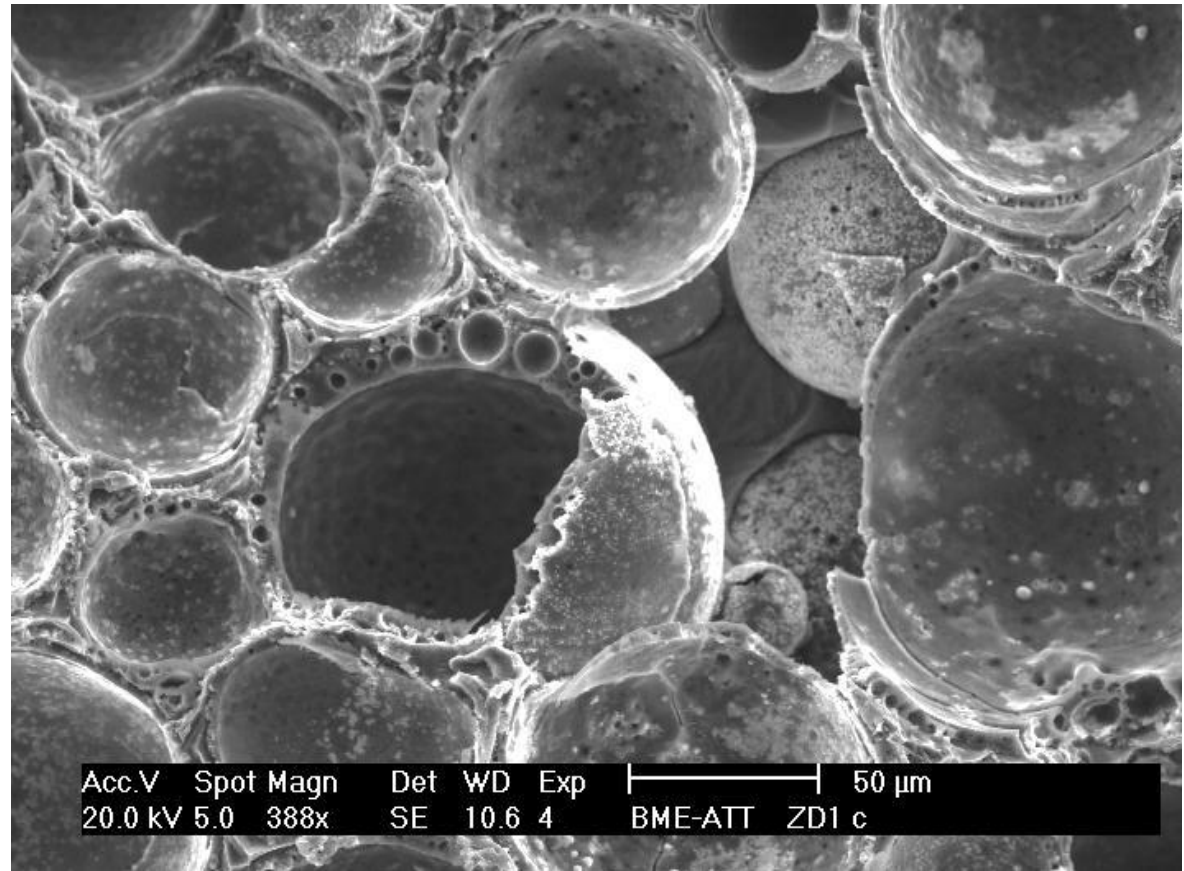


Fémhátrixú anyagok gyártása, vizsgálata, előállítás



Fémhabok

- ❖ Könnyűfém mátrix
- ❖ Nyílt cellás
- ❖ Szintaktikus
- ❖ ~60 tf% térkitöltés
- ❖ Kiemelkedő fajlagos tulajdonságok
- ❖ Dupla kompozitok
- ❖ Ideális kutatás



Mágneses anyagok vizsgálata, alkalmazása (→ OMH)

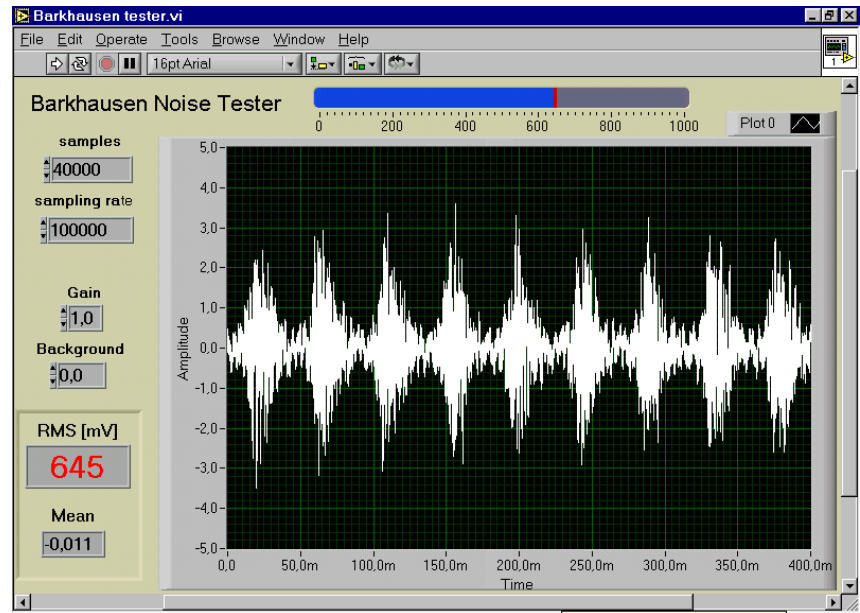
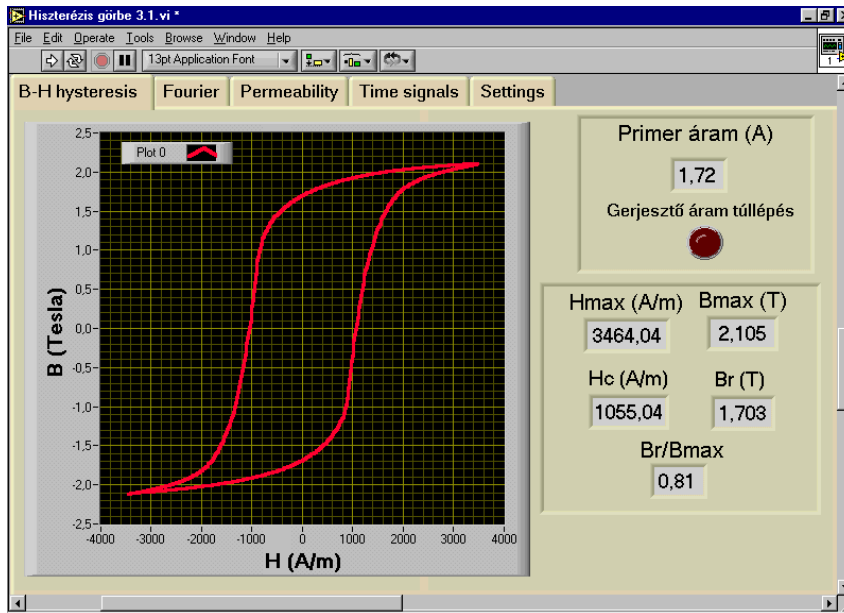
Mágneses vizsgálatok

- ❖ Dia-, paramágneses anyagok vizsgálata
- ❖ Kemény mágnesek vizsgálata
- ❖ Lágymágneses anyagok vizsgálata (*amorf, nanokristályos*)
- ❖ Magnetostrikció mérése

Anyagvizsgálati alkalmazások

- ❖ Mechanikai feszültségi állapot vizsgálata
- ❖ Szövet ill. diszlokációs szerkezeti változások vizsgálata
- ❖ Mágneses vizsgáló eljárások és mérőeszközök fejlesztése (hardware, software, adatgyűjtés)

Mágneses hiszterézis, Barkhausen zajmérés



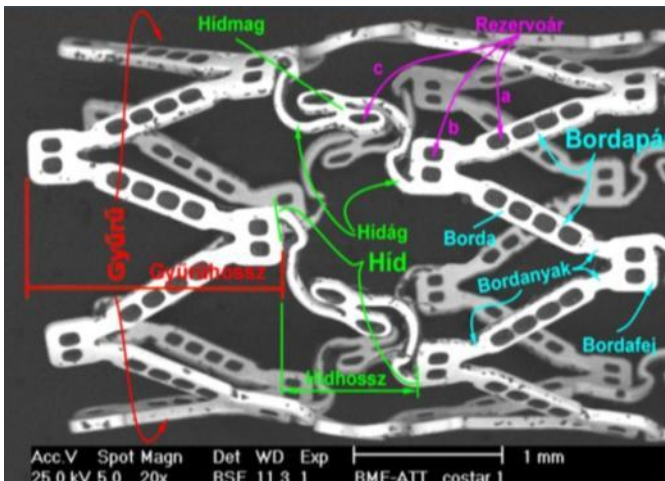
- ❖ AISI 430 ferrites , AISI 304 ausztenites, SAF 2507 duplex, Lean-duplex korrózióálló acél vizsgálata
- ❖ Hőerőművi kazán túlhevítő csövek , ipari csővezetékek feszültségi állapotának vizsgálata
- ❖ Amorf és nanokristályos anyagok, Fe-Si transzformátor lemezek vizsgálata

Orvostechnikai anyagok gyártása, vizsgálata, alkalmazása

Jelenleg aktív kutatási területeink:

- ❖ Értágítóbetétek (koszorúér és perifériás) vizsgálata és fejlesztése
- ❖ Vezetődrótok és ballonkatéterek vizsgálata
- ❖ Fogszabályzó eszköz vizsgálata
- ❖ Fogászati implantátumok vizsgálata és fejlesztése

Koszorúérszent részei



Anyagok: korrózióálló acél, Co-Cr ötvözet, Pt-Cr ötvözet, nitinol, titán

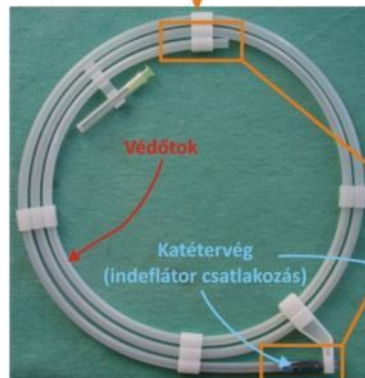
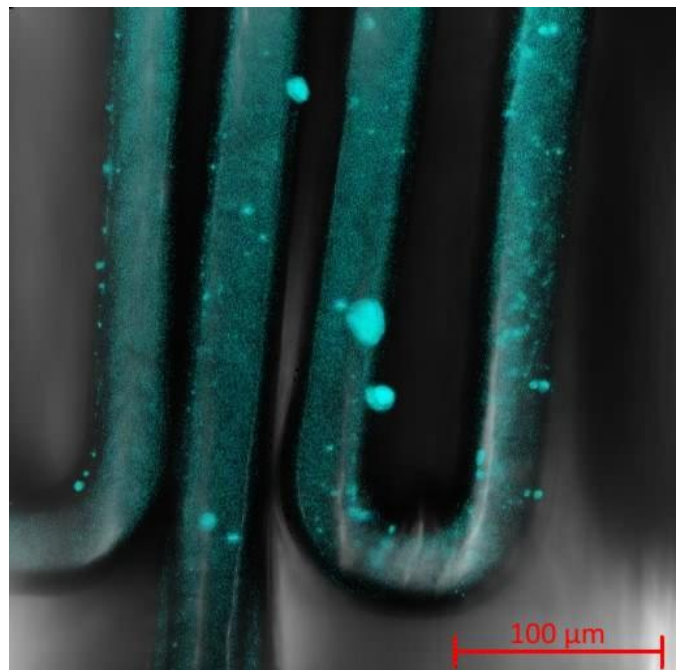
Gyártástechnológia:

- ❖ Lézersugaras vágás vagy hegesztés
- ❖ Kémiai maratás
- ❖ Elektropolírozás
- ❖ Bevonatolási technológiák

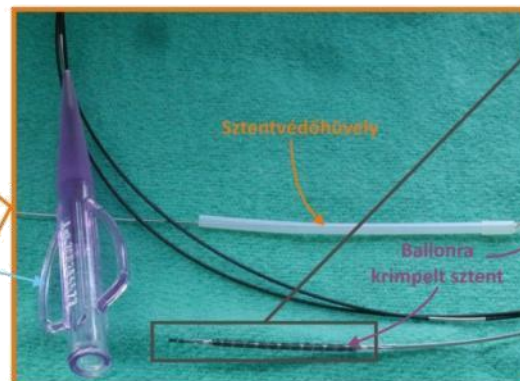
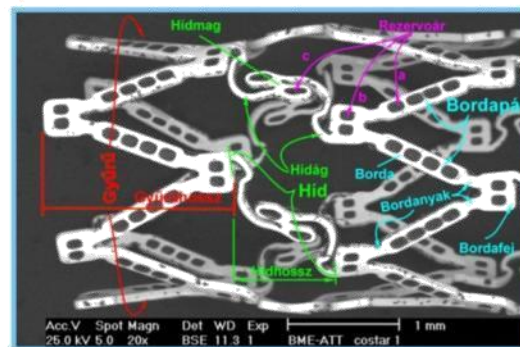
Saját fejlesztésű perifériás sztent



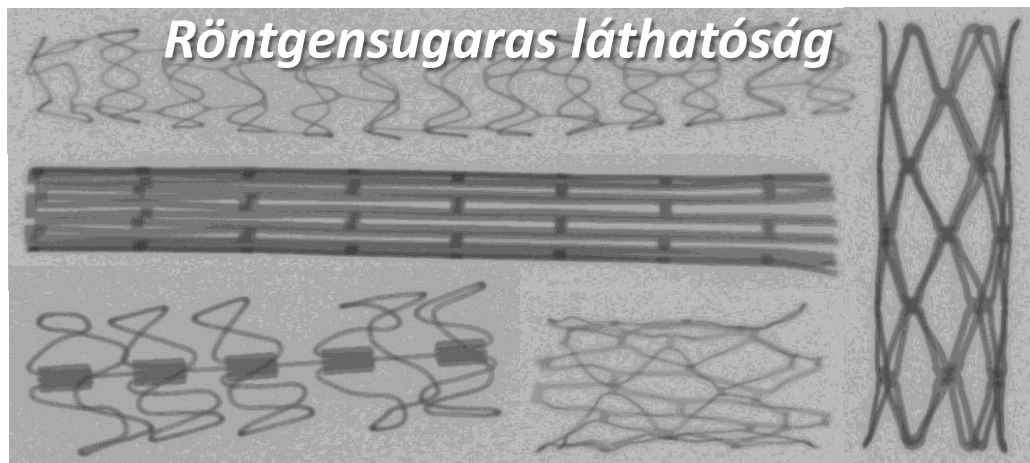
Hatóanyag-eloszlás



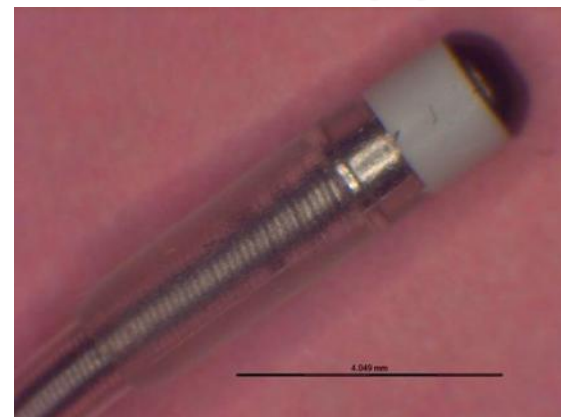
Koszorúersztent részei



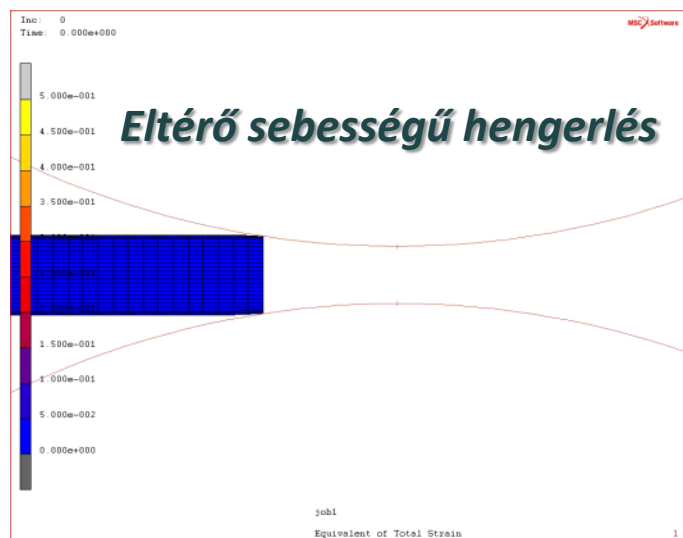
Röntgensugaras láthatóság



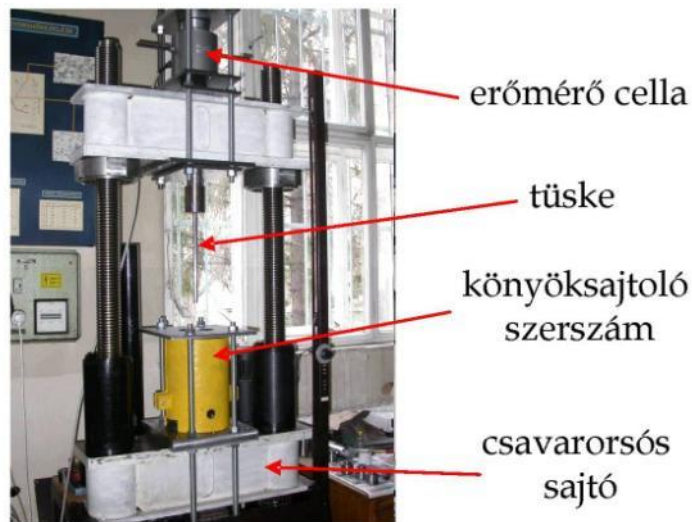
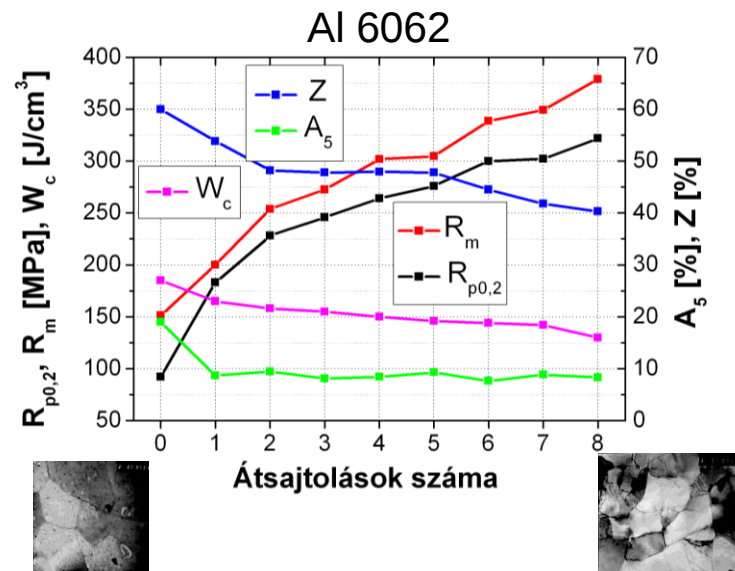
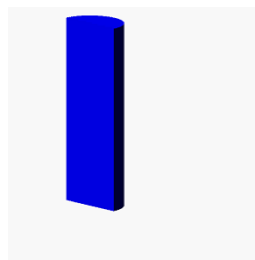
Elektródafeje



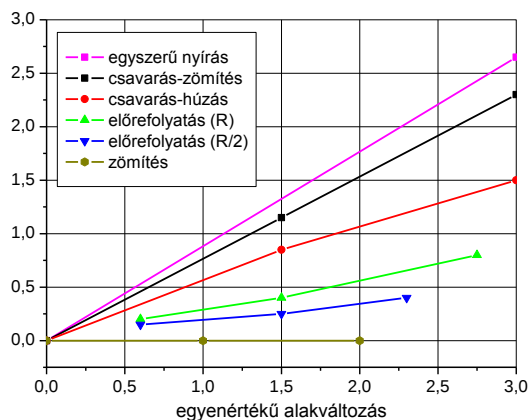
Tömbi nanoszerkezetű anyagok gyártása, vizsgálata, alkalmazása



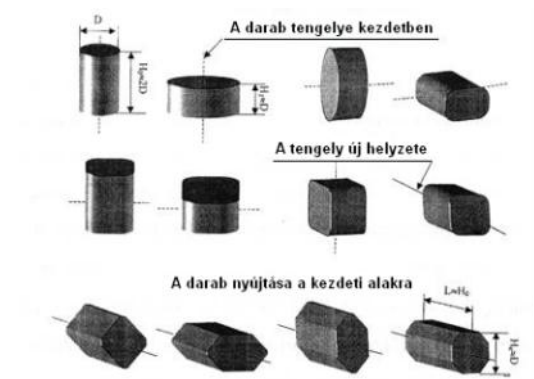
**Rudak,
lemezek
gyártása**



Könyöksajtolás

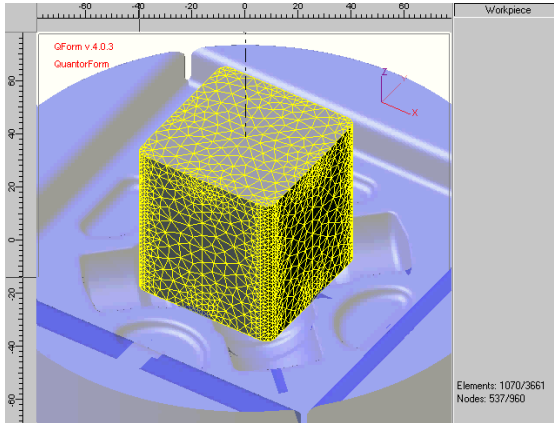


Különböző irányú kovácsolás



Dr. Krállics György

Képlékenyalakítás



Lemezalakító technológiák

Alakíthatósági vizsgálatok

Lemezanyag minősítése

Térfogatalakító technológiák

Hidegfolytatás, redukálás, zömítés

Süllyesztékes kovácsolás tervezése

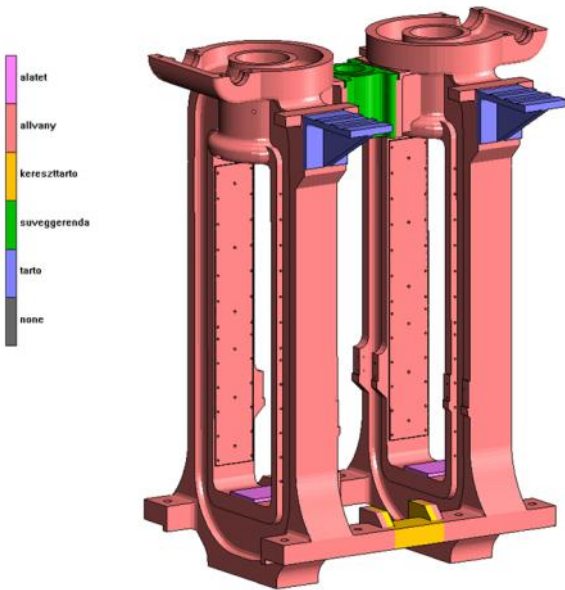
Anyagjellemzők meghatározása

Súrlódás, kenőanyag minősítése

Folyamatmodellezés

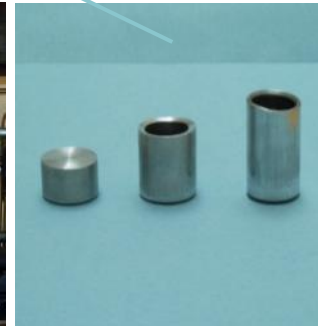
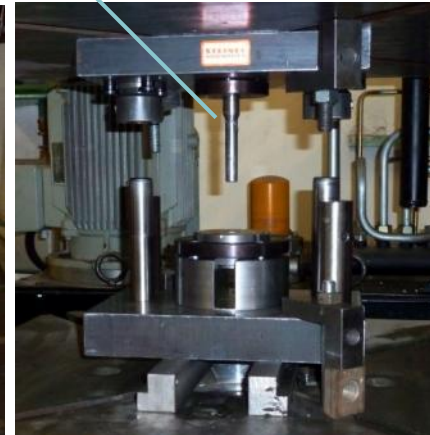
Szerszám és berendezés terhelhetőségi vizsgálata

Görgőzött termék



Üzemi hengerállvány

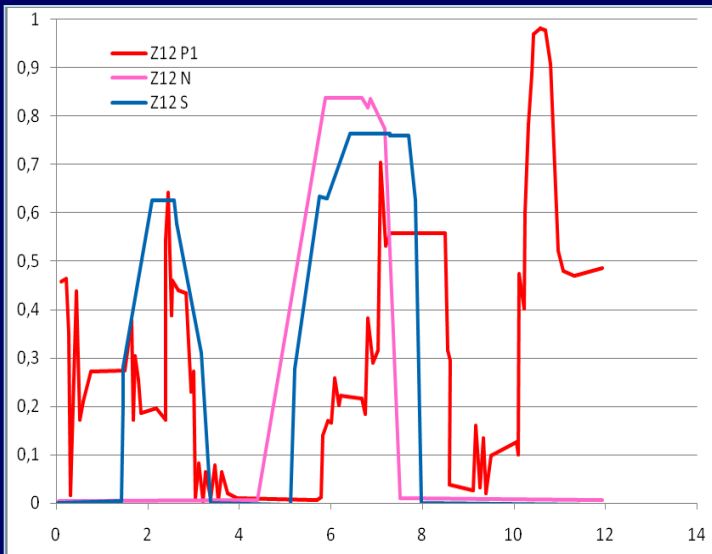
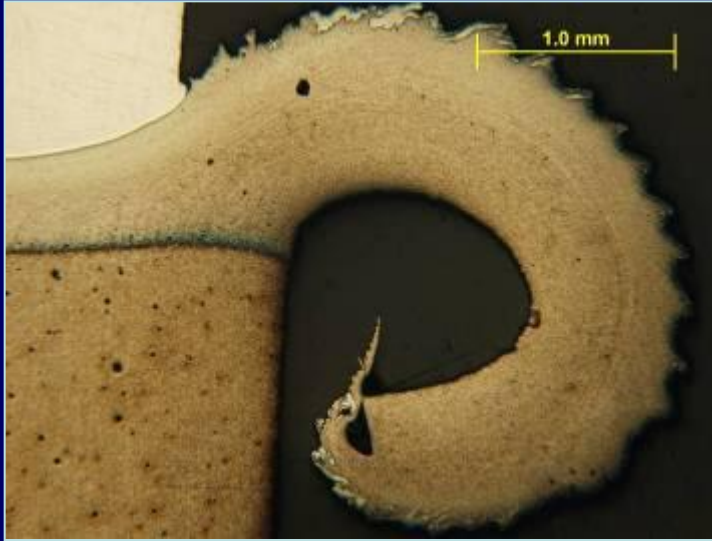
Dr. Krállics György



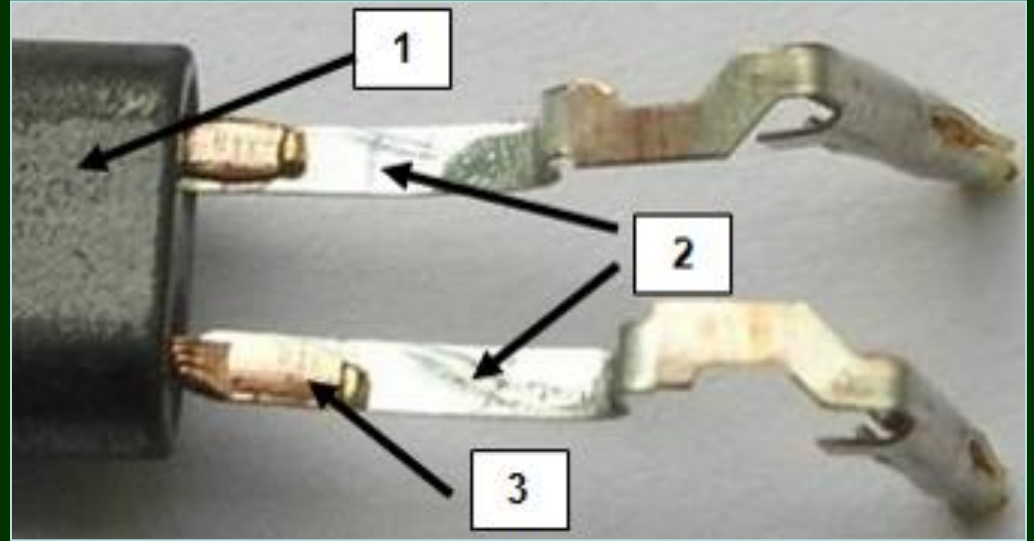
Hegesztés, hőkezelés

Dr. Dobránszky János

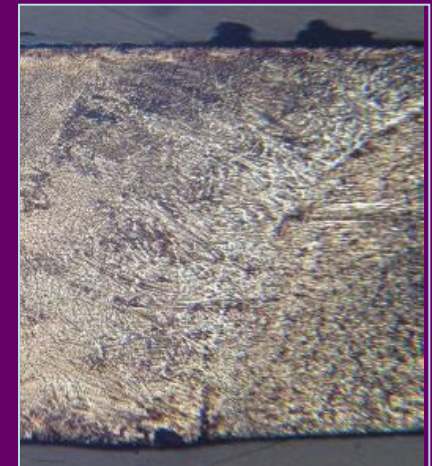
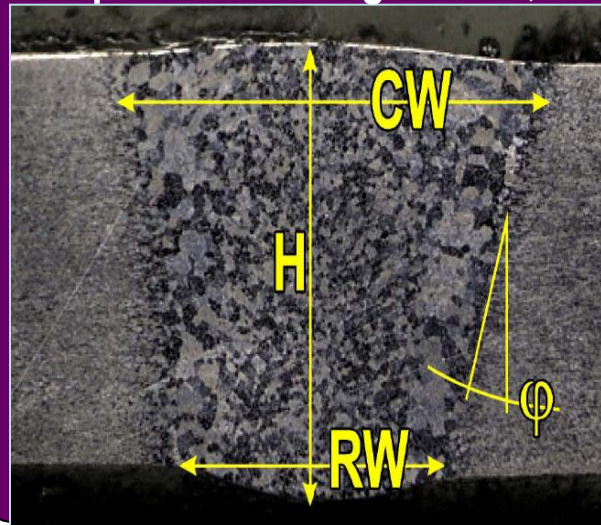
Dörzshegesztési folyamat elemzése



Réz-réz mikrohegesztés: lézersugaras és ellenállás- ~



Duplex acélok hegesztése, ATIG, termikus öregítése



Mechanikai anyagvizsgálat

- ❖ Szakítóvizsgálat
 - 5 kN, 100 kN, 250 kN
- ❖ Törésmechanika
 - K_{Ic} , J, da/dN
 - CT, TPB
- ❖ Kisciklusú fárasztás
- ❖ Univerzális gépek
- ❖ Keménységmérés
 - HR, HB, HV, HK, ...
 - mikrokeménység
- ❖ Ütőmunka (300 J)

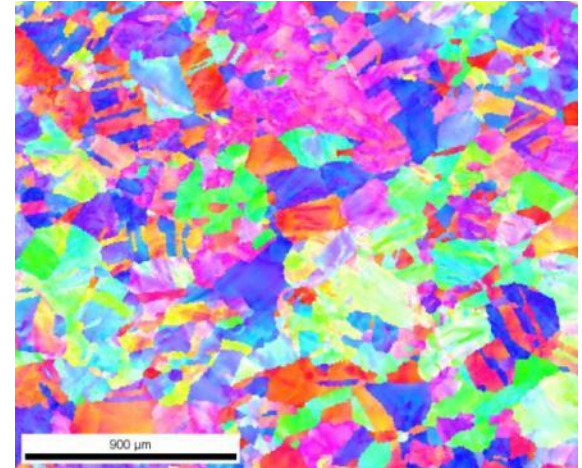
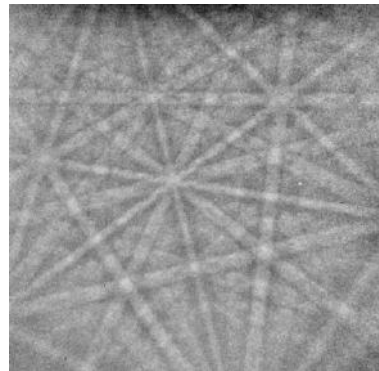
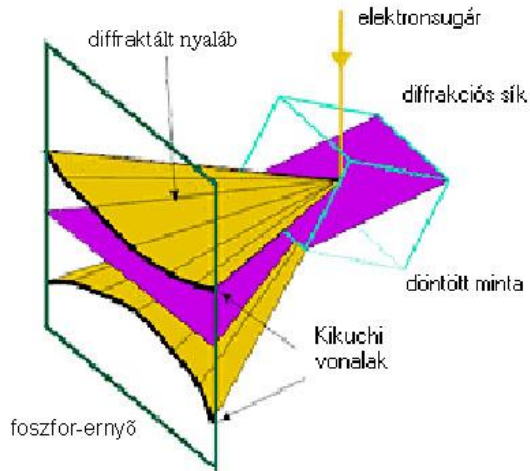


spektrométer



Mikroszerkezeti vizsgálatok

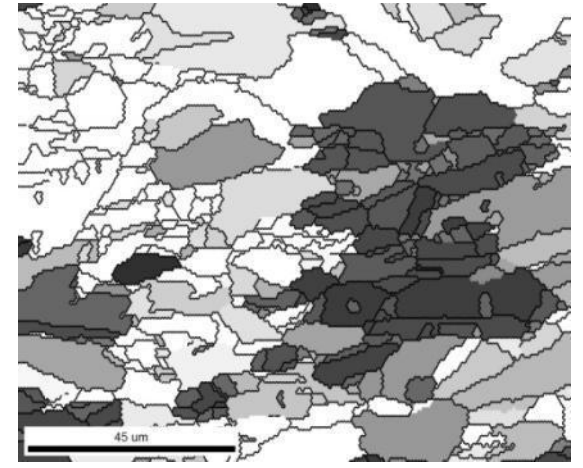
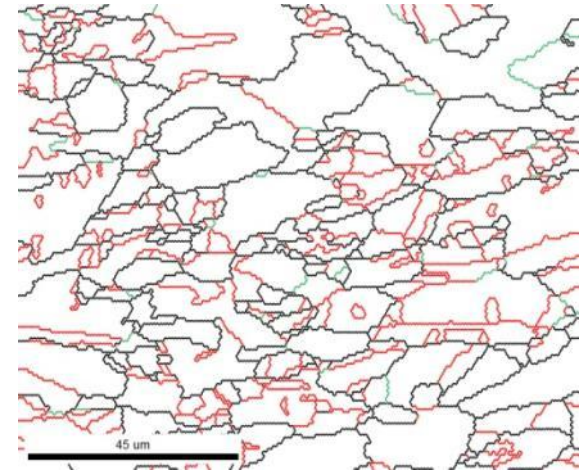
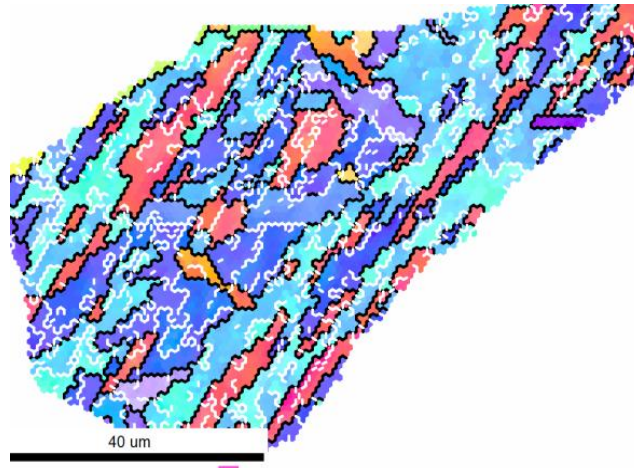
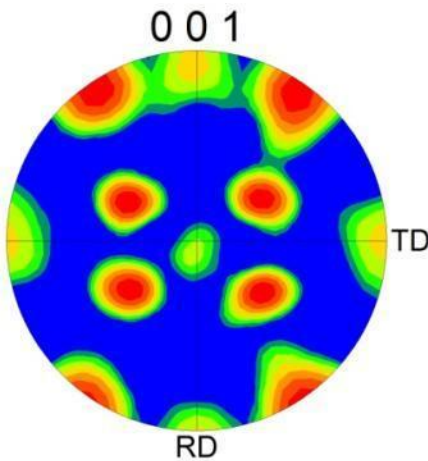
Visszaszórt elektron-diffrakció, EBSD



- ❖ Egyedi mérési pontok orientációjának gyors meghatározása
- ❖ Statisztikus mennyiségű adat
- ❖ Textúra meghatározás
- ❖ Szemcsehatárok vizsgálata
- ❖ Szemcsék belső deformációjának vizsgálata

Kutatási területek

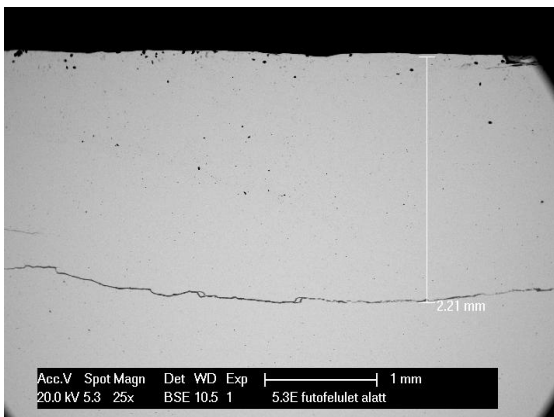
- ❖ fémek szemcsehatár-szerkezetének tudatos módosítása
- ❖ léces martenzit orientációs viszonyainak vizsgálata
- ❖ újrakristályosodás mértékének meghatározása
- ❖ intenzív képlékeny alakítás hatásának vizsgálata a szemcsehatár-szerkezetre és a textúrára



Károsodásanalízis

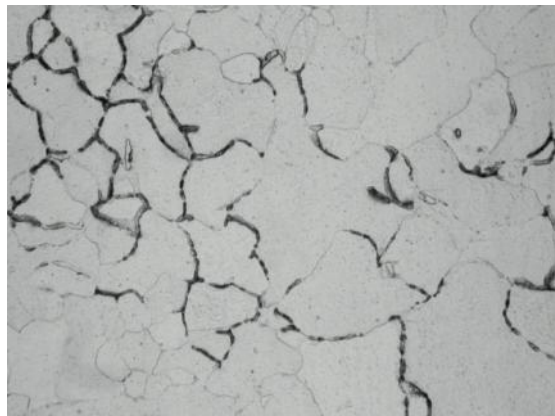
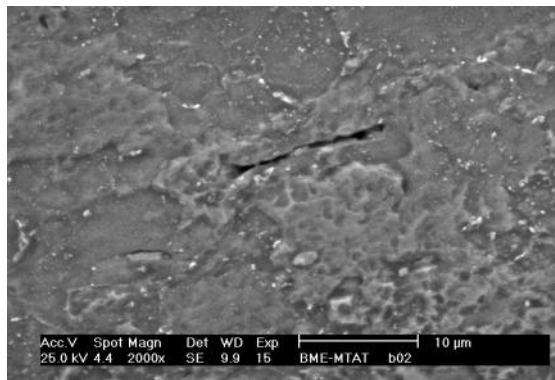
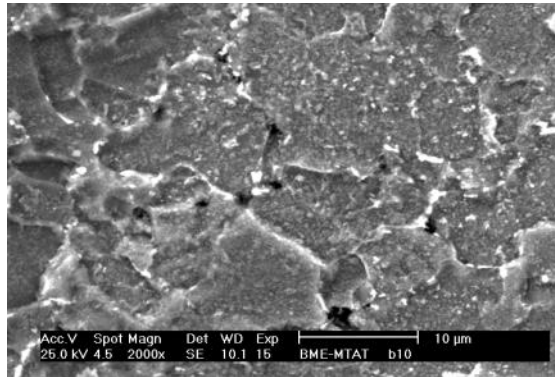
Vasúti kerék

- ❖ Üzem közbeni keréktörés
- ❖ A futófelületre merőleges kicsi, mikroszkópikus repedések, elhanyagolhatók
- ❖ A futófelülettel párhuzamos, kiterjedt repedések
- ❖ 280°C környékén (akár intenzív fékezés hatására) a kerék anyaga ridegedik (Cr)
- ❖ Túlterhelés és a fenti együttállások hatására a koszorú repedései instabilan terjedtek.



Erőművi acélok károsodás vizsgálata

Regeneráló hőkezelés



- ❖ $T > 500^{\circ}\text{C}$, 10-50 MPa, kúszási üregképződés
- ❖ Mikroüregek, üregsorok, mikrorepedések, stabil-, majd instabil repedésterjedés, makrotörés
- ❖ Élettartam növelési lehetőség regeneráló hőkezeléssel.

A regeneráló hőkezelés hatásai:

- ❖ Az üregek részben záródnak, részben az új szemcsék belsejébe kerülnek, a kúszás szempontjából „közömbös” helyre
- ❖ A szekunder kúszás egyharmadáig hatásos.

Dr. Ginsztler János, Dr. Dévényi László

Vízvezetéki csövek korróziójának vizsgálata, maradék élettartam becslés



- ❖ Több, mint 30 éves kapcsolat a Fővárosi Vízművekkel.
- ❖ Az FVM csőrendszerében bekövetkezett káresetek elemzése.
- ❖ Folyamatos vizsgálat a feltárt csövekből a maradék élettartam meghatározásához.

Vizsgálati módszerek: metallográfia, mikroszkópia, statikus és ciklikus terhelés, törésmechanika, feszültségkorróziós vizsgálatok

Mérnöki károsodásanalízis

- A mérnöki károsodásanalízis legtöbbször a hiba azonosítását, az azt okozó folyamat feltárását, a károsodás mértékének becslését, a további használhatóságra való alkalmasság, a maradék műszaki élettartam megítélését jelenti.
 - A károsodásanalízis nem csak az éppen vizsgált káreset okait tárja fel, hanem hozzájárul a hasonló esetek jövőbeni elkerüléséhez, a konstrukció kedvező irányú módosításához, a minőség, a megbízhatóság javításához is.
- VISSZACSATOLÁS.**

Mérnöki károsodásanalízis

- Amint a mérnöki szerkezetek alkatrészei egyre kisebb méretűek lettek, magasabb szilárdságú szerkezeteket, új ötvözeteket, anyagátársításokat alkalmaztak, az igény a károsodásanalízist végző szakemberek, laboratóriumok tevékenységével szemben egyre komplexebbé vált.
- Csoportmunkát igénylő feladat!

Élettartam

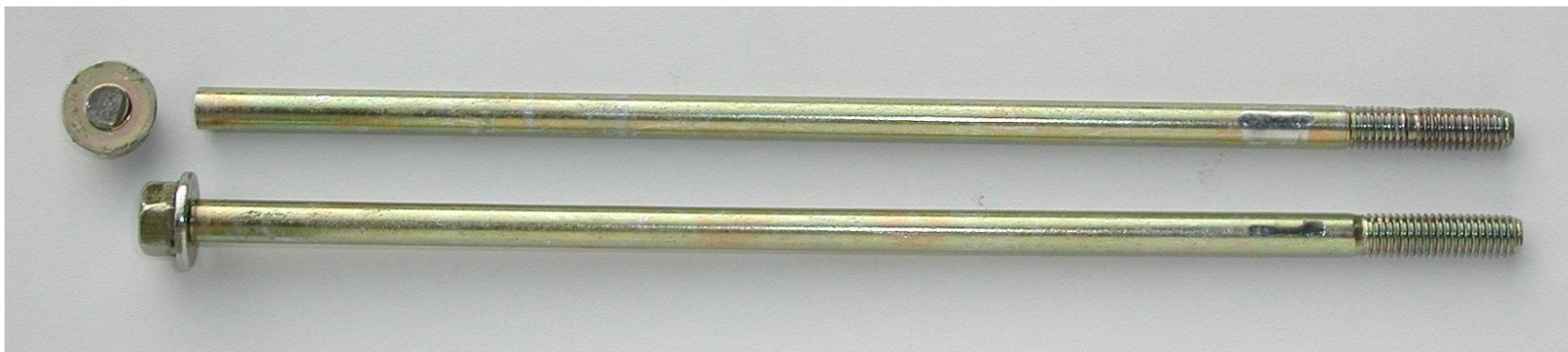
- Nem elég arra törekednünk, hogy az alkalmazott anyag, alkatrész műszaki élettartama nagyobb legyen! A gyártási és használati technológia, az alkatrész geometriája, az igénybevétel formája és intenzitása, és maguk az anyagi tulajdonságok *együttesen* határozzák meg a műszaki élettartamot.

Élettartam

- Erkölcsi élettartam $\Leftrightarrow$ fizikai élettartam
 $\Leftrightarrow$ méretezés
- A károsodott anyag védelmének szükségessége
- *A kíváncsiság és a gondatlanság*

Példák, érdekességek

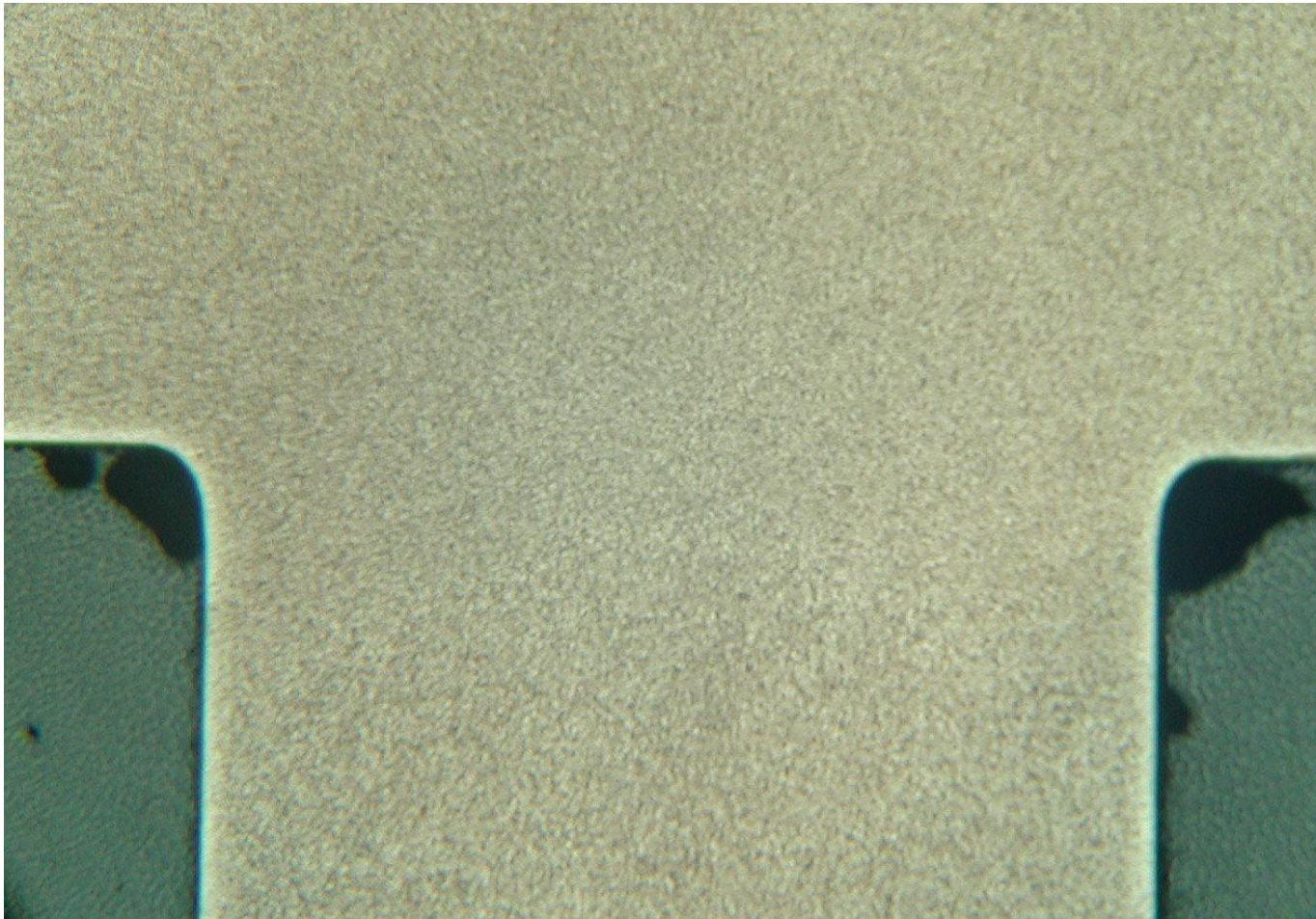
- Repedések szilárdtestekben
- Üregek, mikroüregek
- Elektrotechnikai alkatrészek
- Orvosi alkalmazások



Szerelési hiba, elégtelen meghúzás és nem egytengelyű igénybevétel.

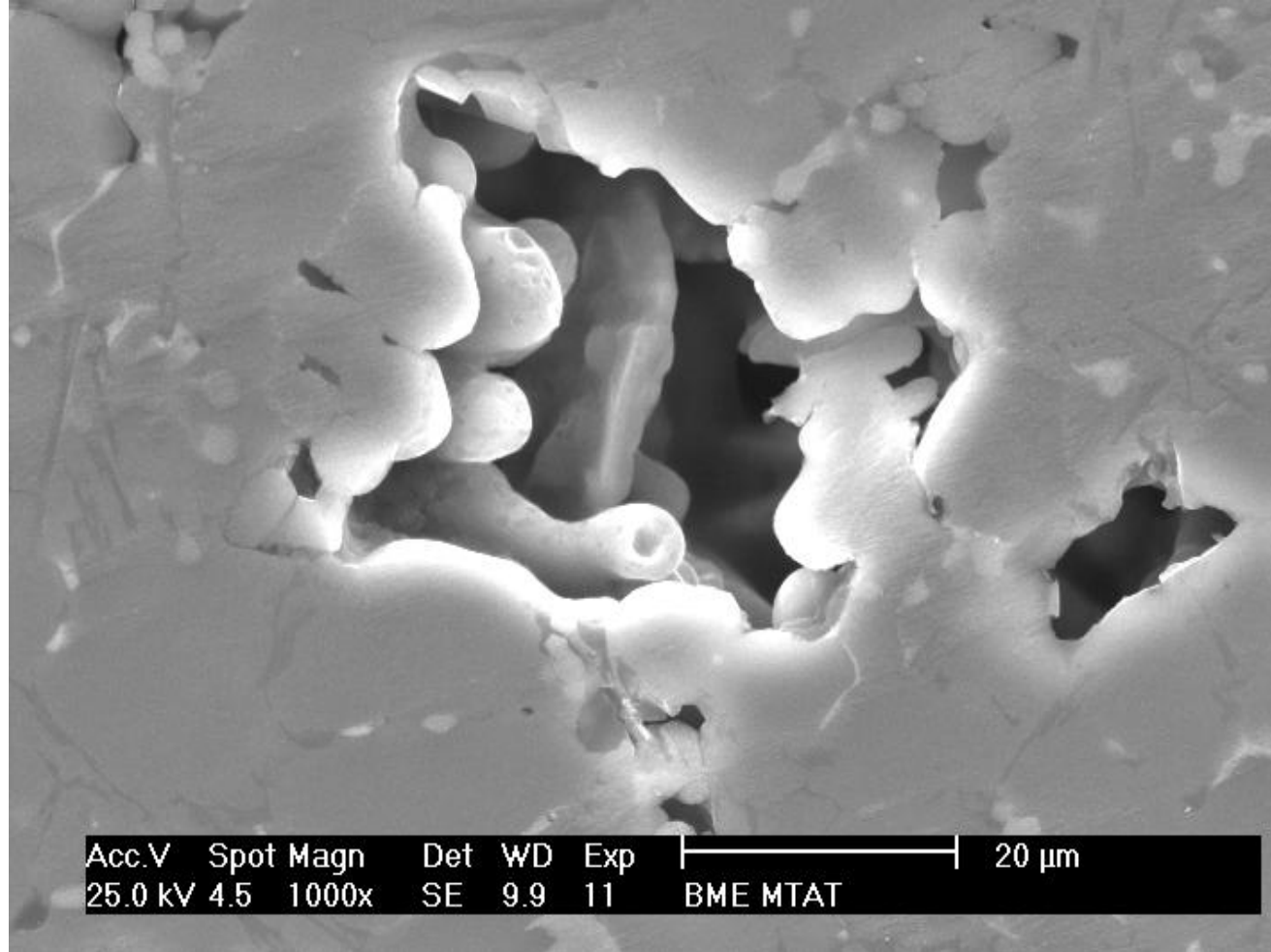


Transzkrisztallin
fáradásos
repedés



Kicsi lekerekítési sugár a csavarfejnél. Tervezés, konstrukció?

Csavarfej és szár nem egytengelyű, sajtolási és minőségellenőrzési hiba.



AlSi13 Szívódási üreg. Csúszófelület? Dugattyúgyűrű élettartama? Tömörség (fékdugattyú)?

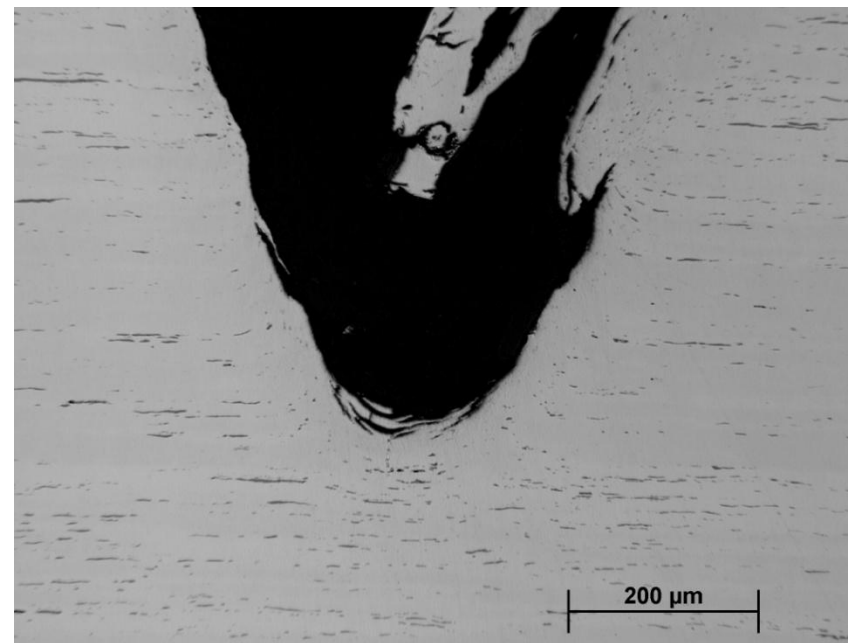
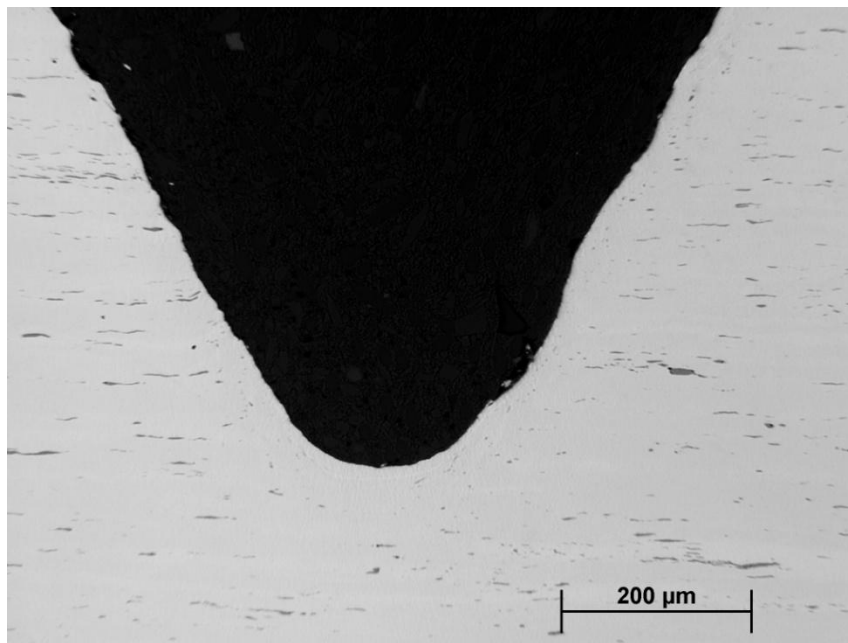
Kábelek polimer szigetelő rétegét extrudáló berendezésbe került roncsolódó idegen test azonosítása

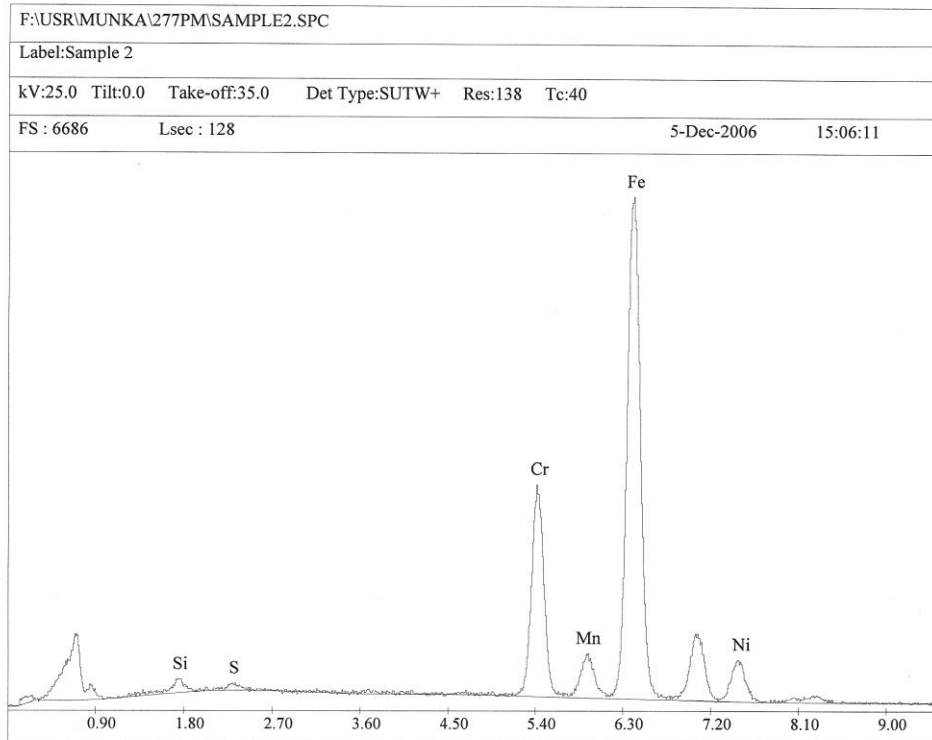




Roncsolt és
eredeti
„gyanús” minta
metszete

Eredeti és „gyanús” minták metszete
MnS zárványsorok, forgácsolt csavarmenetek,
EDS azonos saválló kémiai összetétel





Roncsolt - Eredeti
minta [tömeg%]

1,28	Si	0,77
0,45	S	0,52
17,73	Cr	17,73
2,05	Mn	2,40
69,62	Fe	69,89
8,86	Ni	8,69

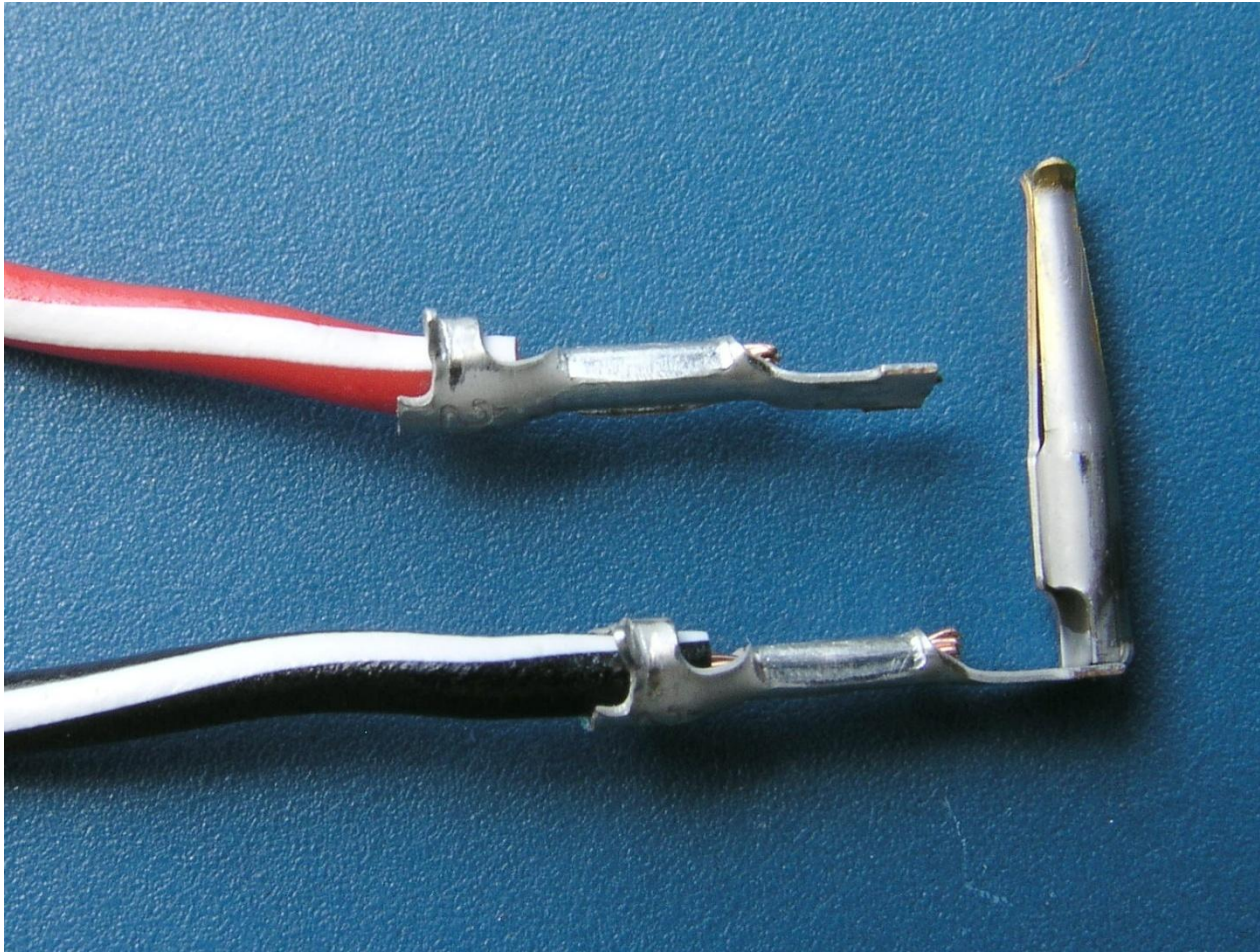
EDAX ZAF Quantification (Standardless)
Element Normalized
SEC Table : Default

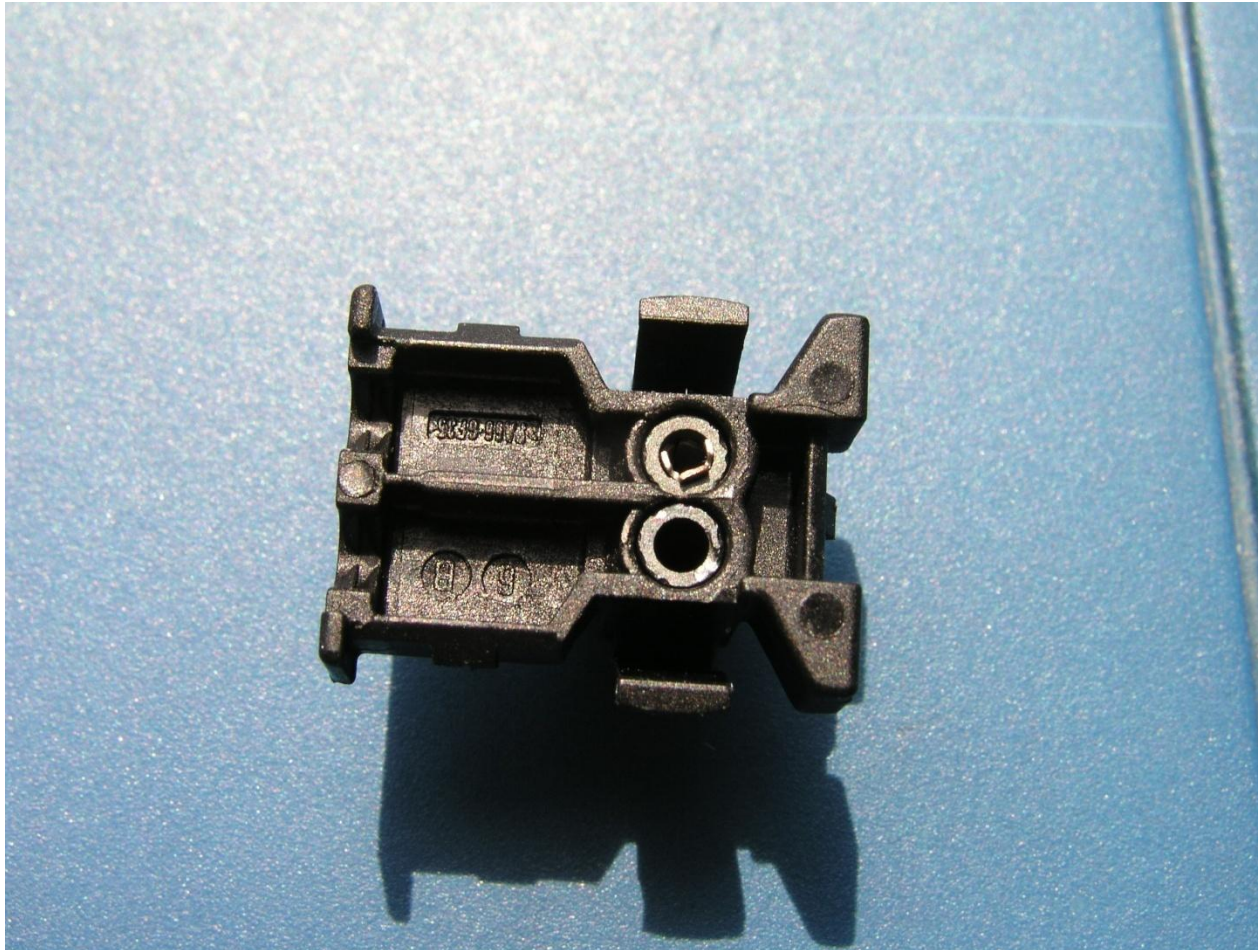
Element	Wt %	At %
SiK	1.28	2.48
S K	0.45	0.77
CrK	17.73	18.58
MnK	2.05	2.04
FeK	69.62	67.91
NiK	8.86	8.22
Total	100.00	100.00

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
SiK	11.07	12.76	3.88	0.87
S K	5.86	16.70	7.14	0.35
CrK	223.17	13.27	0.61	16.82
MnK	19.53	12.46	2.55	1.57
FeK	573.00	10.84	0.37	52.87
NiK	49.20	8.46	1.36	5.82

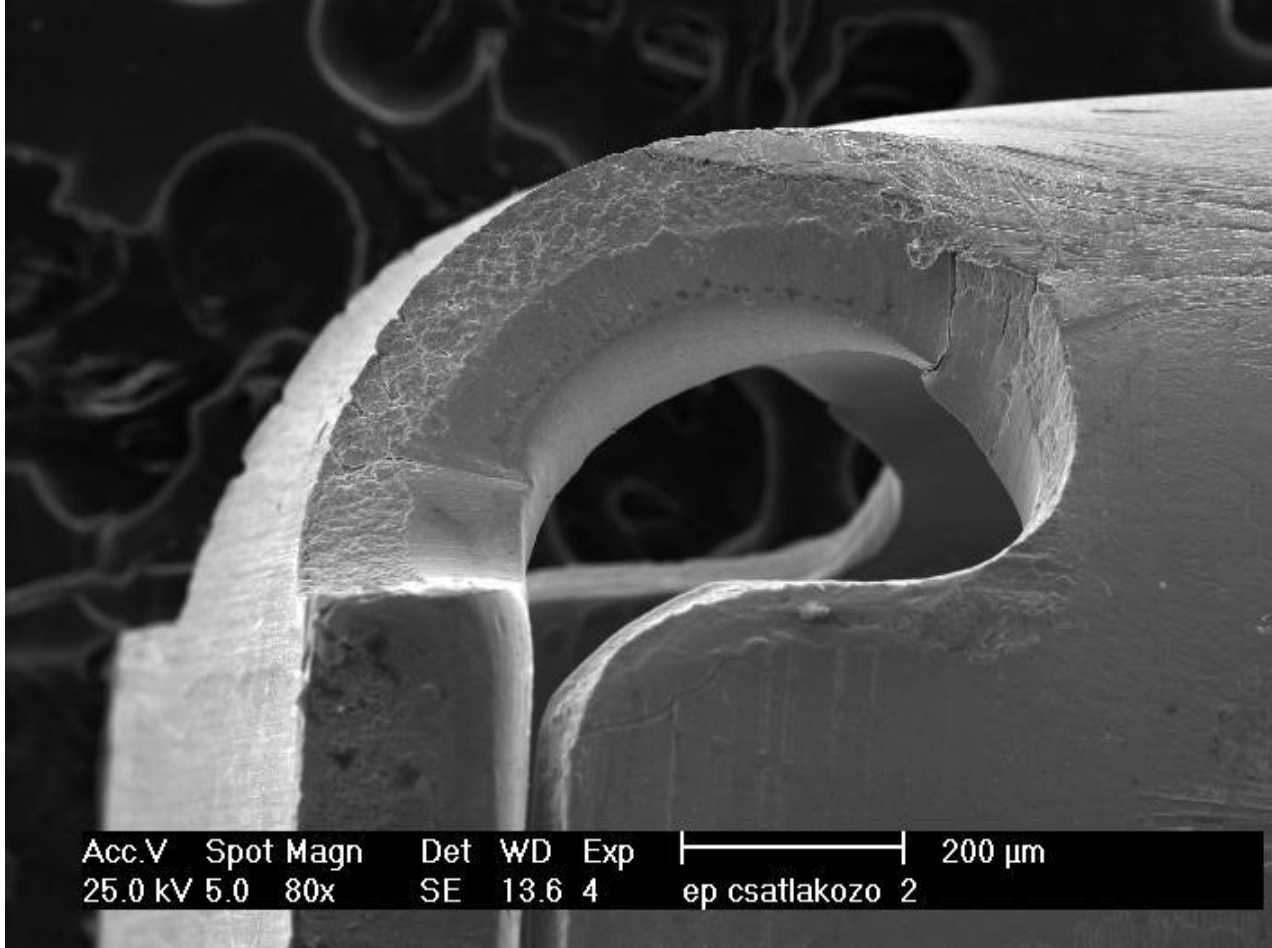
Metallurgiai és mérési
szórás? és pontosság.

Elektromos kábel csatlakozók 1.



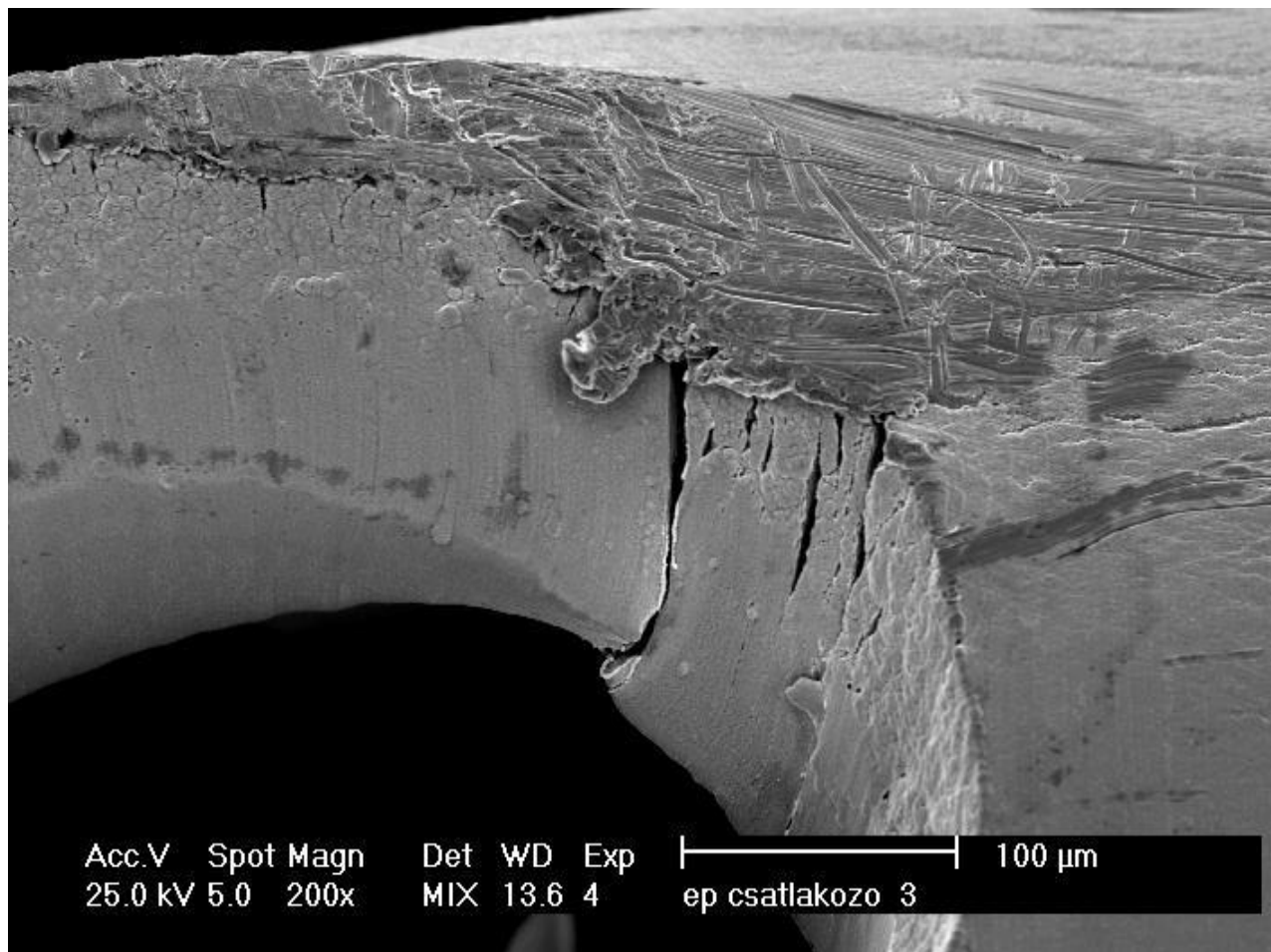


Polimer házfél,
a felső ferrit
gyűrűben
a törött
csatlakozó

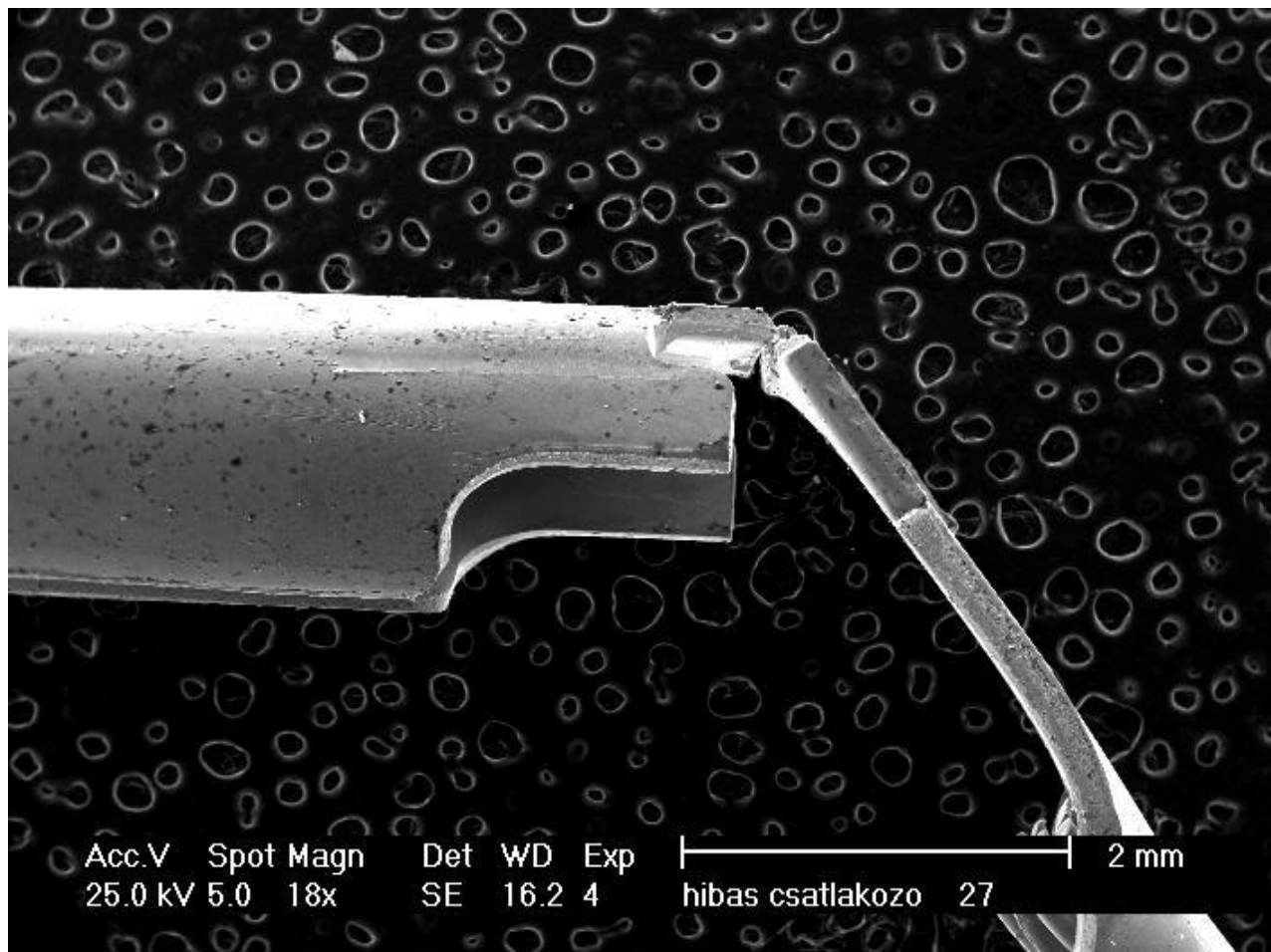


Ép csatlakozó
nyakrésze

Tervezés
anyagminőség
és
technológia

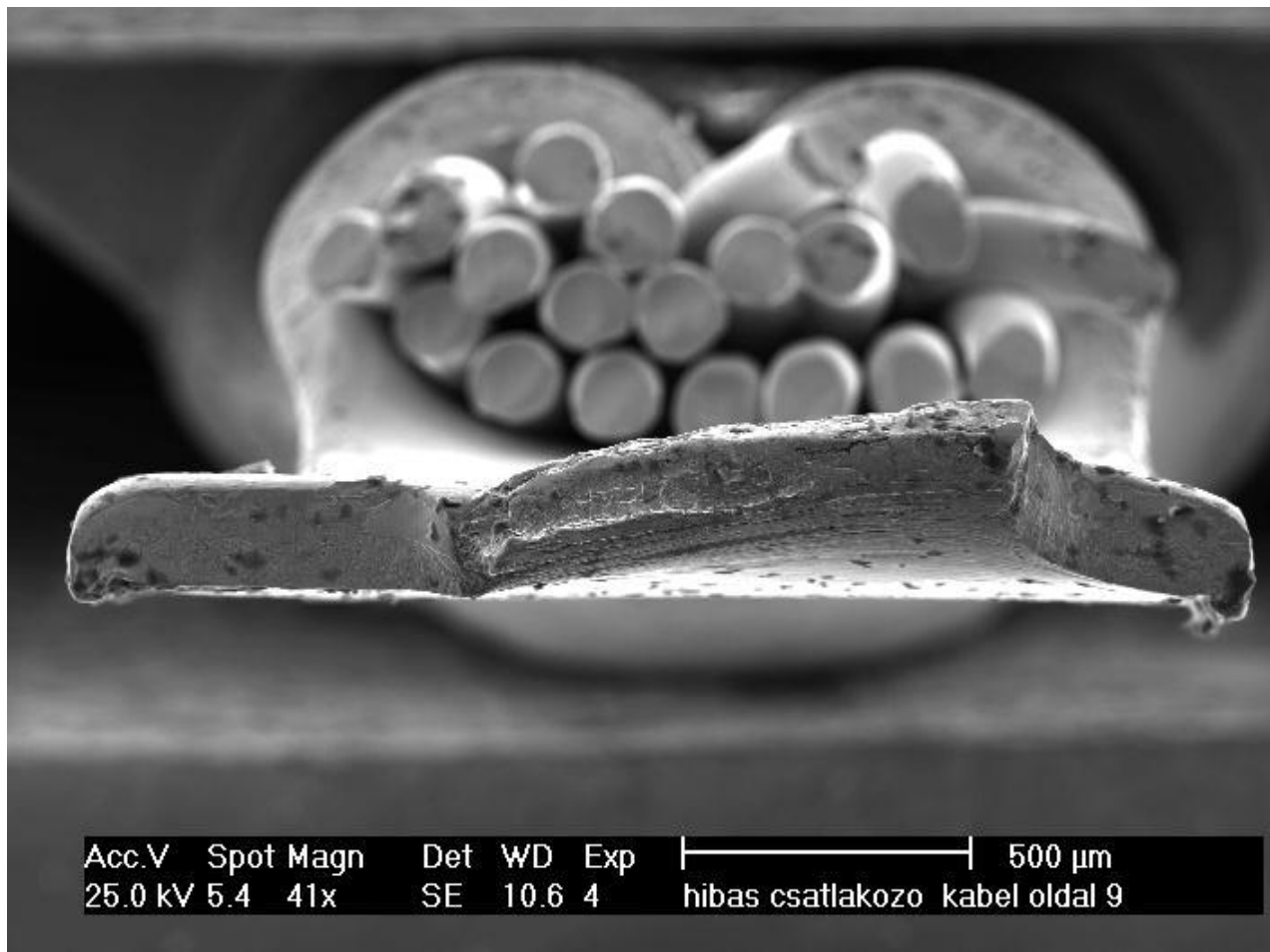


„Ép” – „Jó”
csatlakozó
nyakrésze



Törött csatlakozó
szakadási
szöghelyzet.

Szereléskor a
kábelrel tépték le



Törött csatlakozó,
törési felület.
Csavarás okozta
maradó
deformáció.

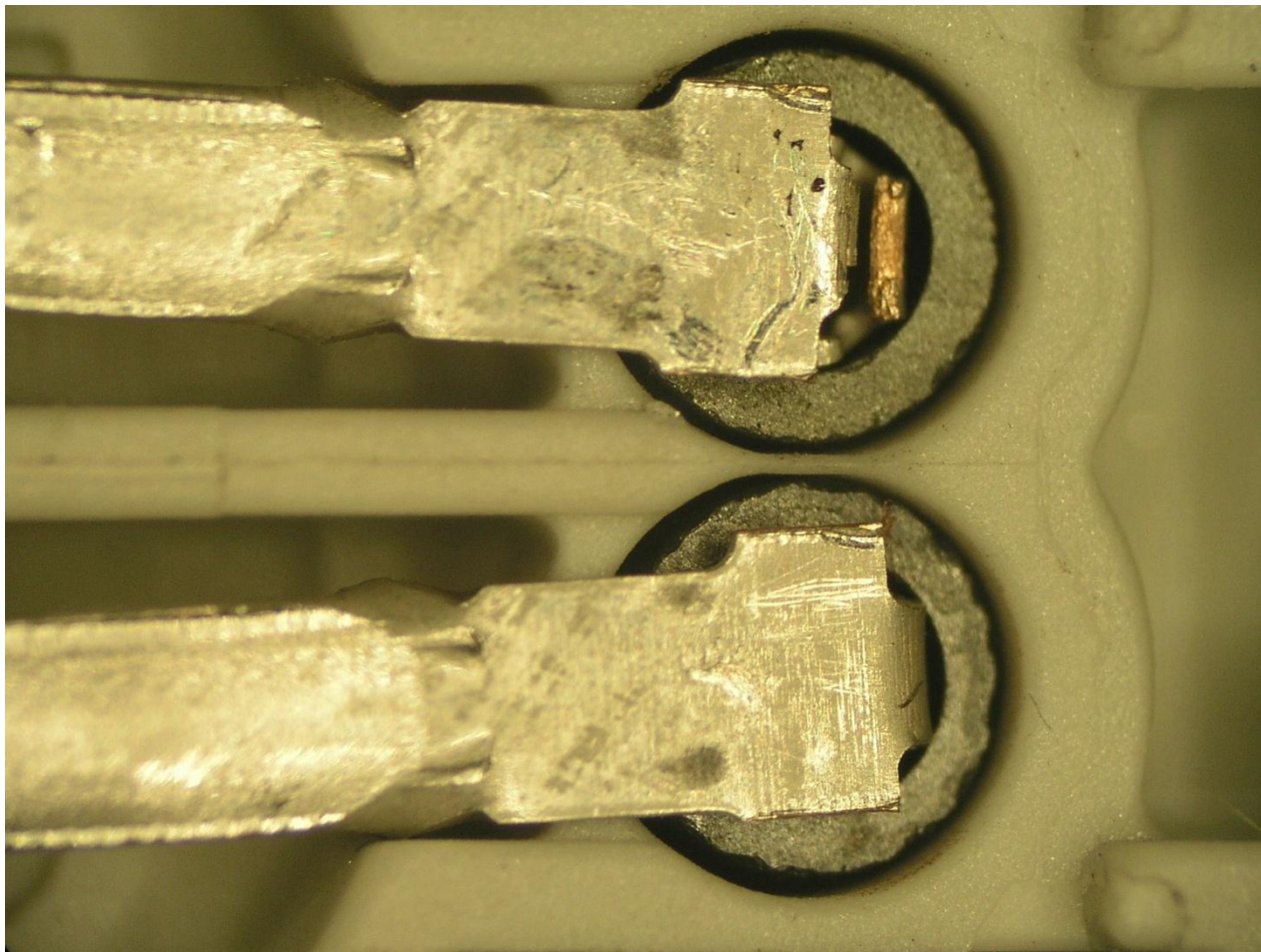
Cu: 94.61% ; Zn: 0.15% ; P: 0.19% ;
Sn: 5% ; Fe: 0.05%.

Kábel meghúzás, hajlító - szakító igénybevétel.
A meghúzás iránya 45°-ot zárt be a szerelési
alaphelyzettel.

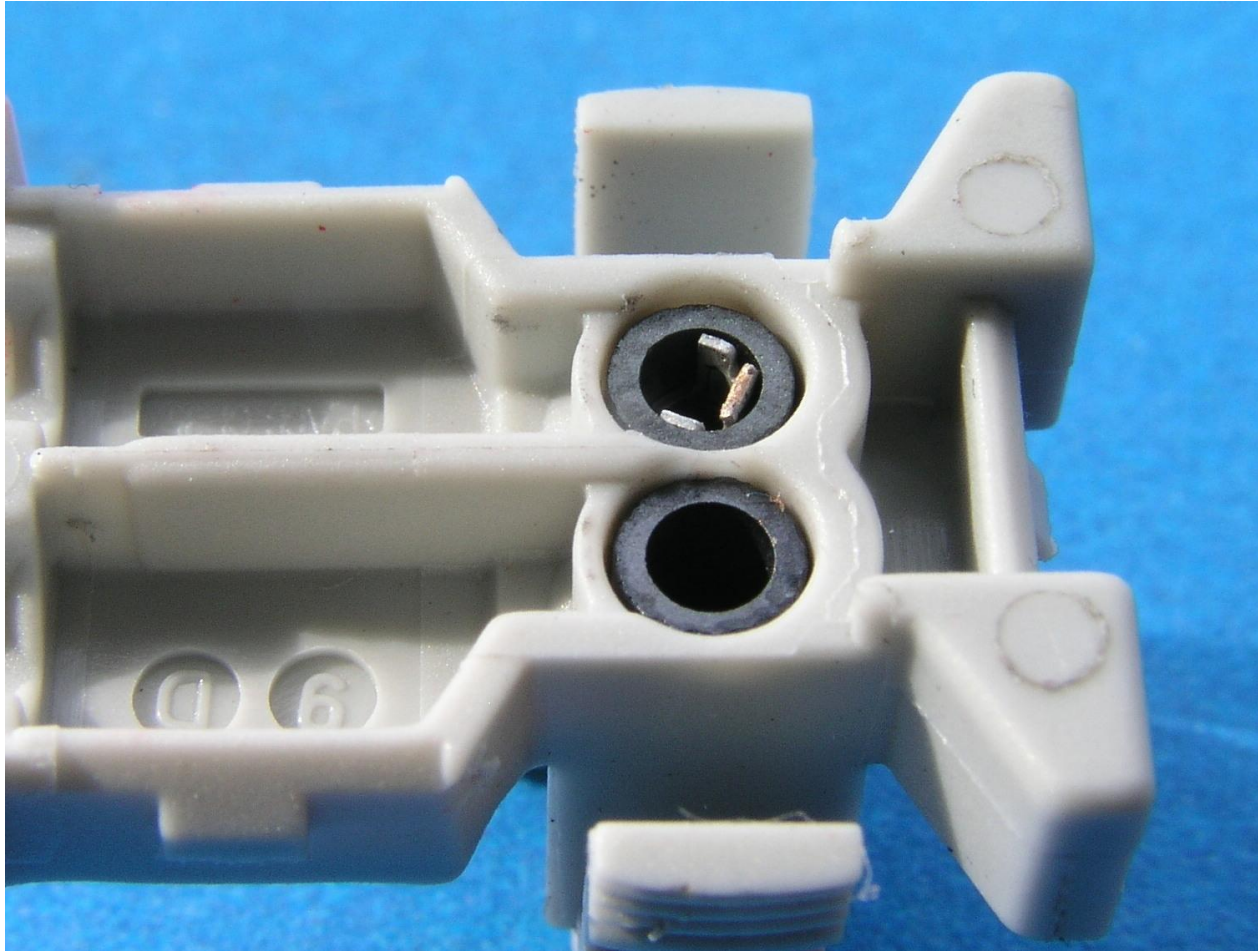
Rugókemény bronz anyag, repedések a
gyártáskori hajlításból. Hajlítás görbületi sugara
kicsi (konstrukciós hiba).

Közvetlen károsodási ok: a szerelő letépte.

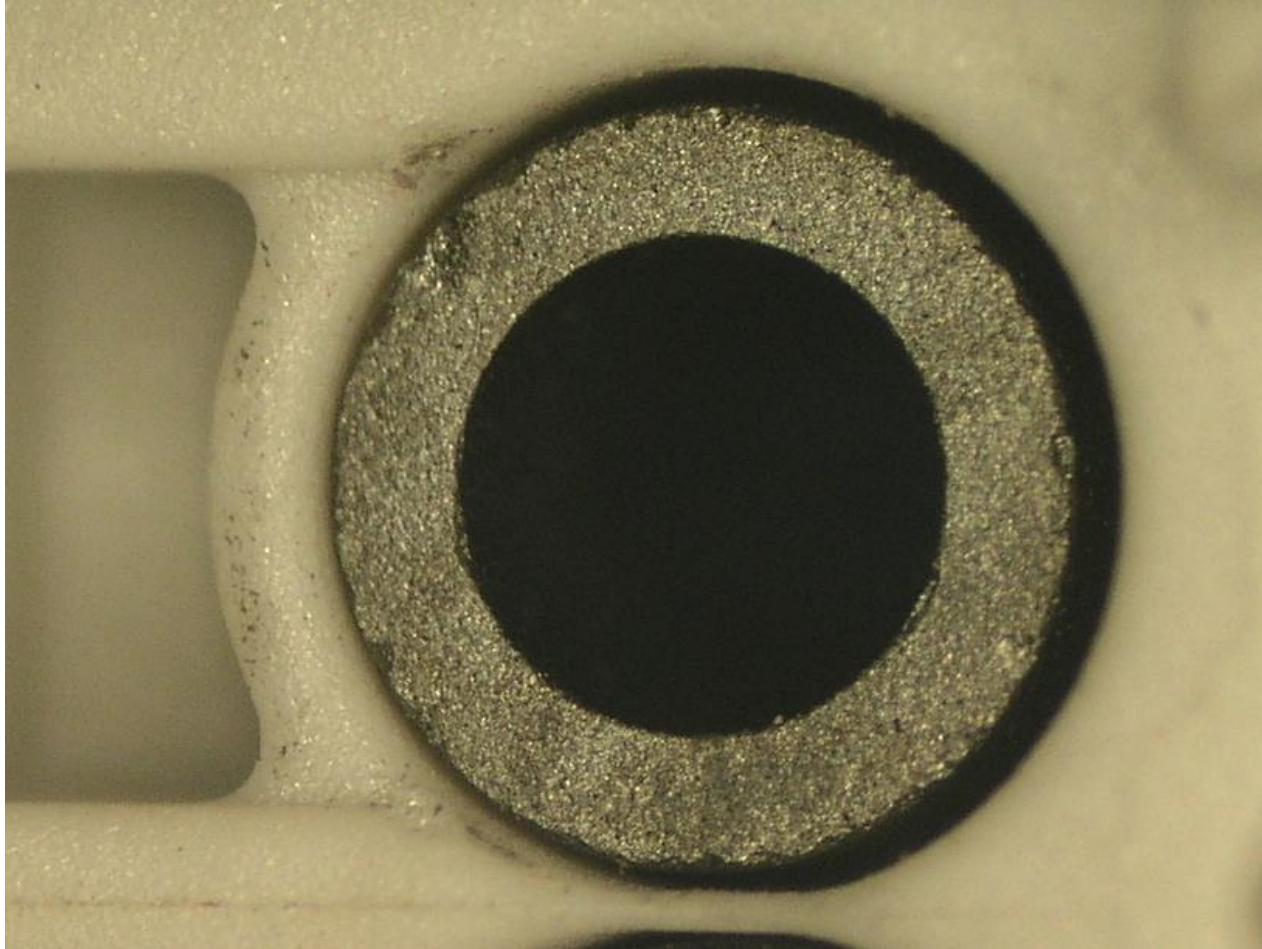
Elektromos kábel csatlakozók 2.



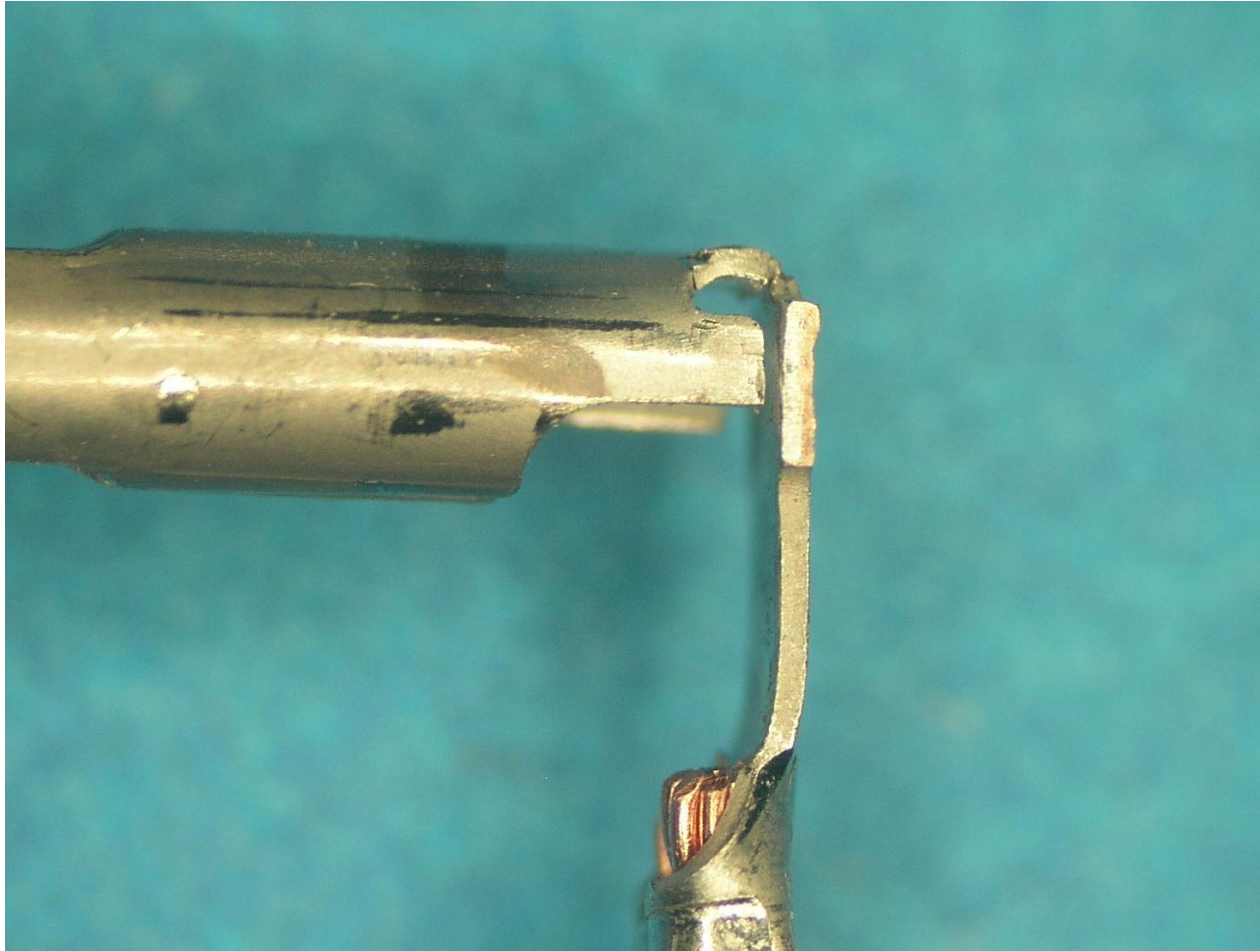
Felül törött,
alul ép
csatlakozó



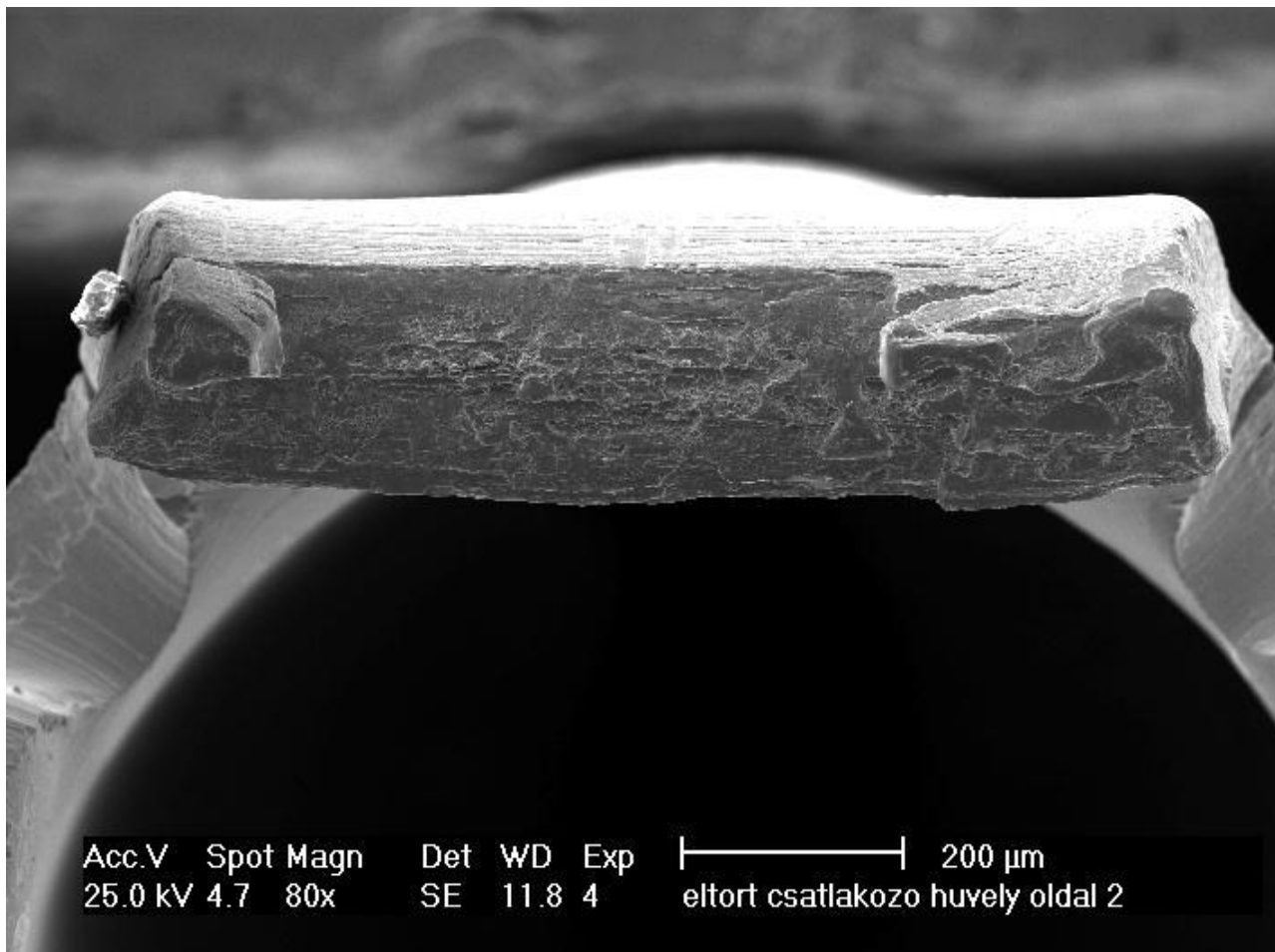
Polimer házfél,
a felső ferrit
gyűrűben
a törött
csatlakozó



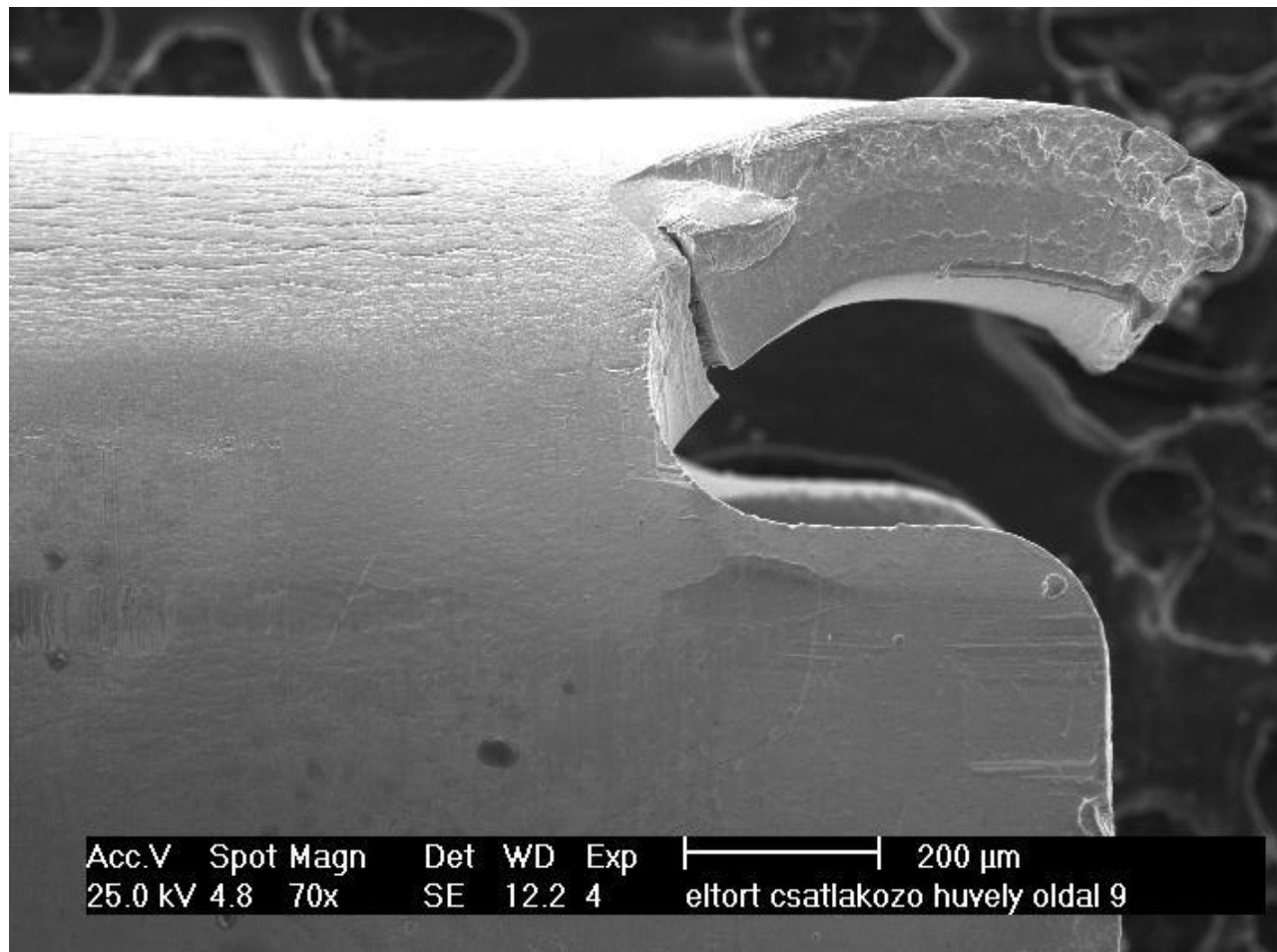
Súrlódási nyomok
a polimer ház
vállrészén.
Leszakítás
szöghelyzete!



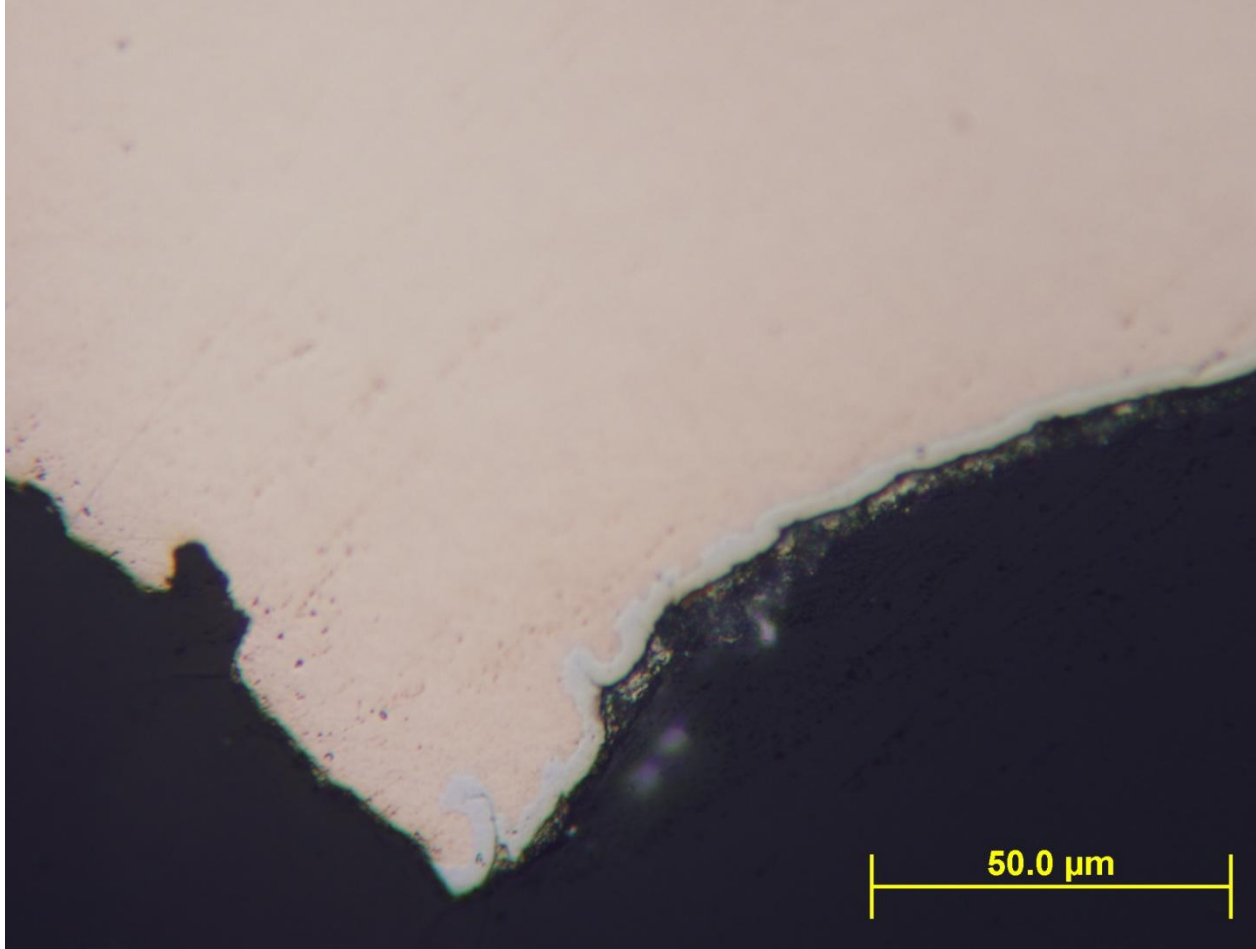
Töretfelület
alakjából
becsült
szakadási
szöghelyzet.



Töretfelület



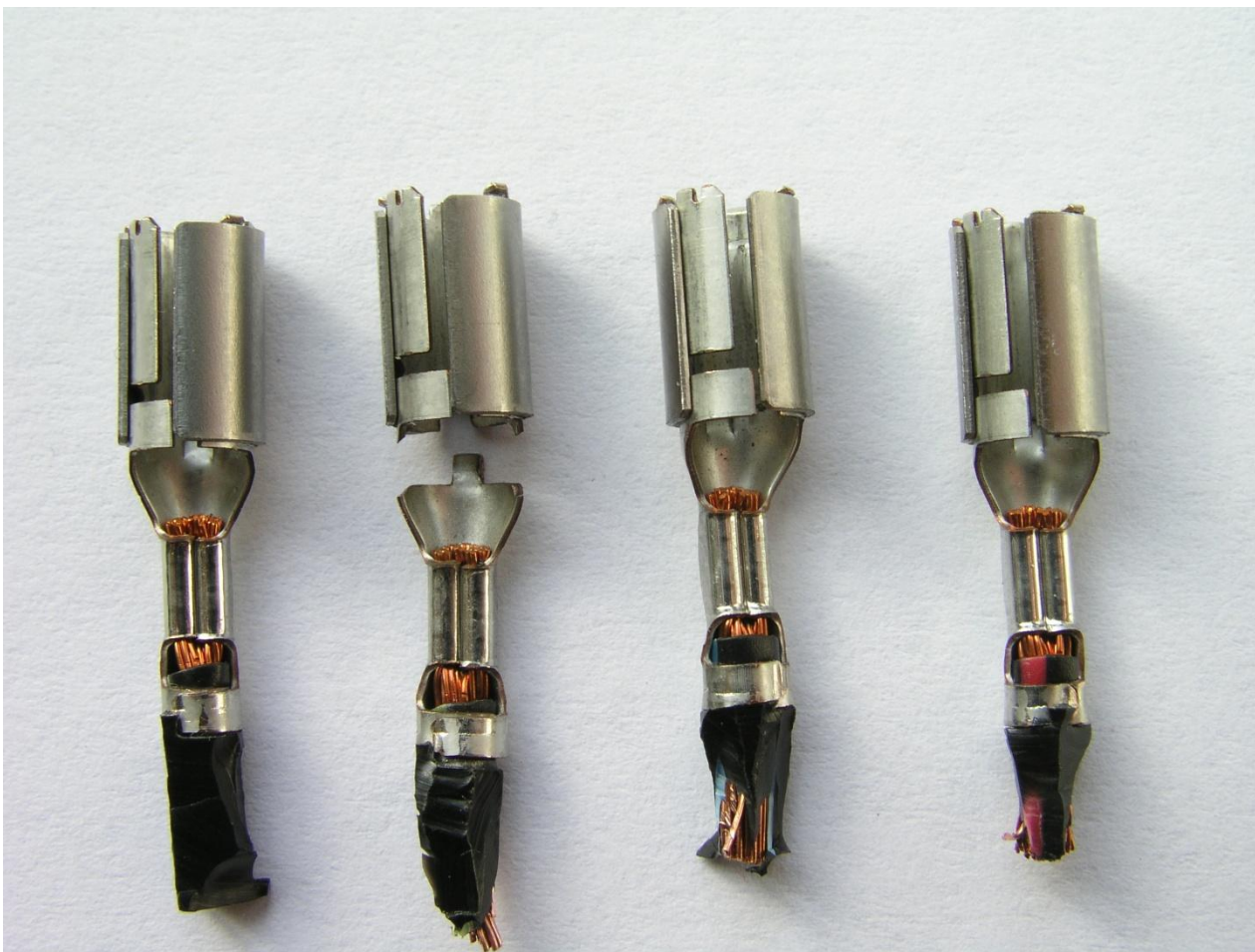
Törött
csatlakozó
hüvely.



Töretfelület
metszete.
Gyártási
repedések
a belső íven,
galvanizált
nikkellel
feltöltve.

Elektromos kábel csatlakozók 3.



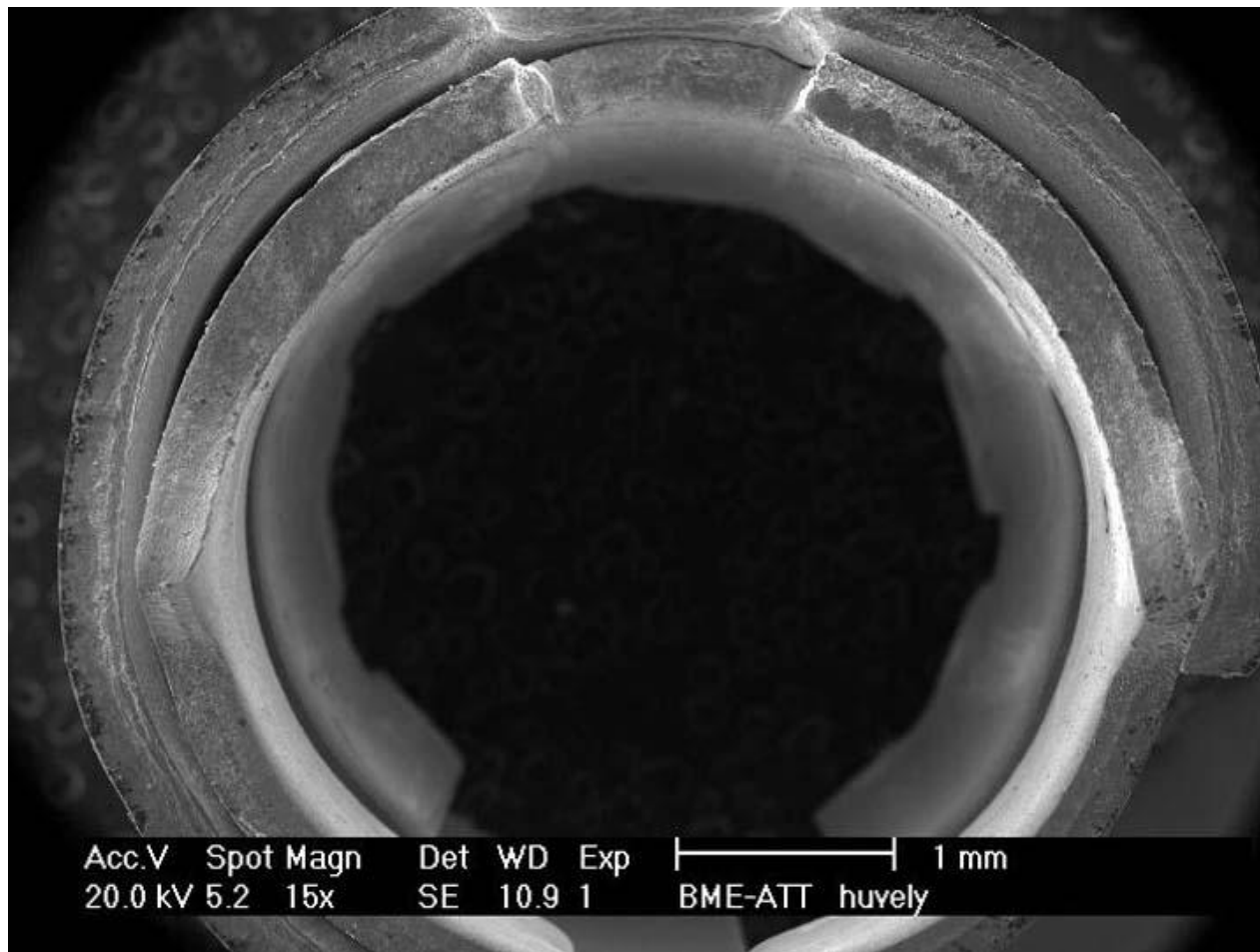


„Lágy” rézötvözet érintkező, rugózó acél hüvelyben.

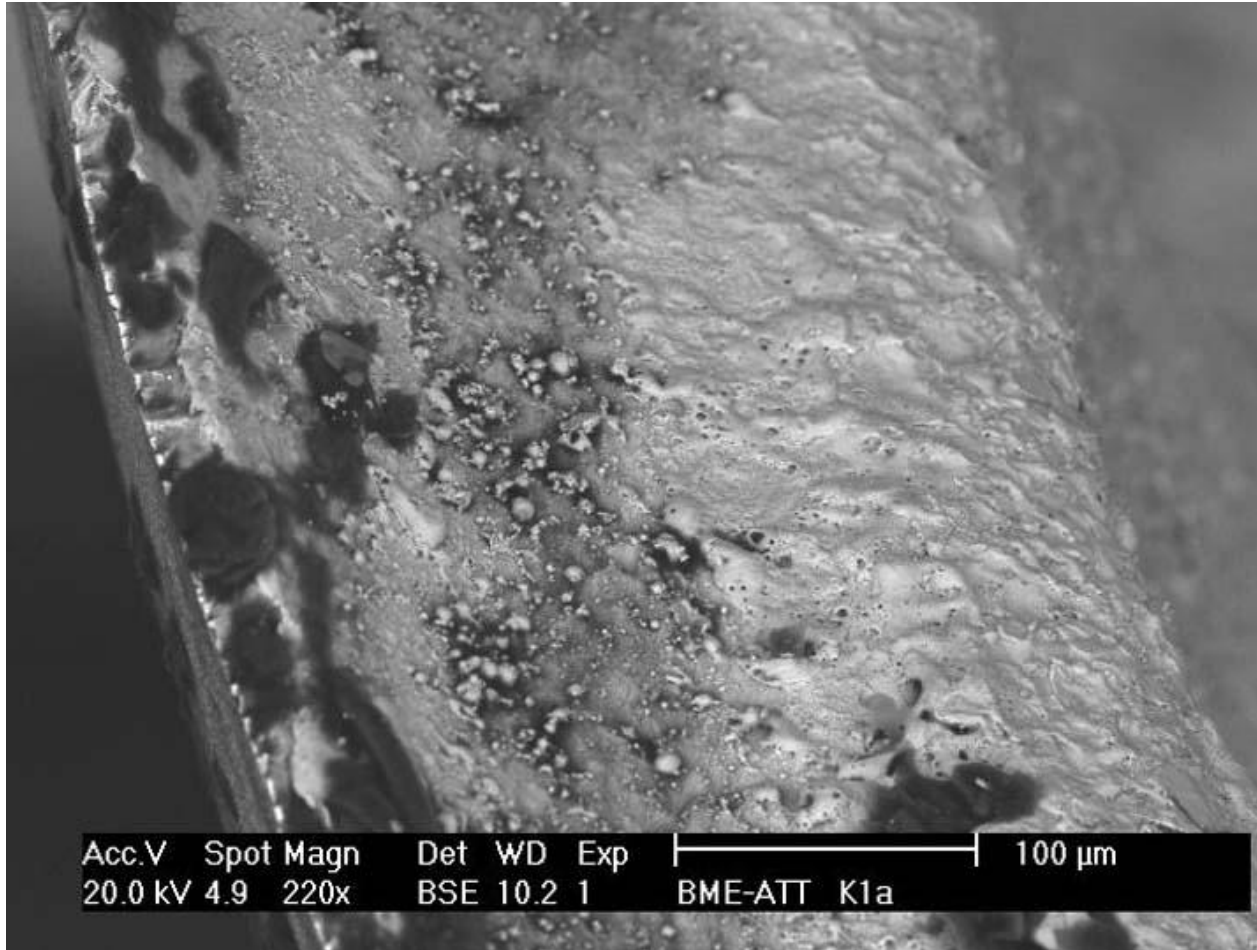




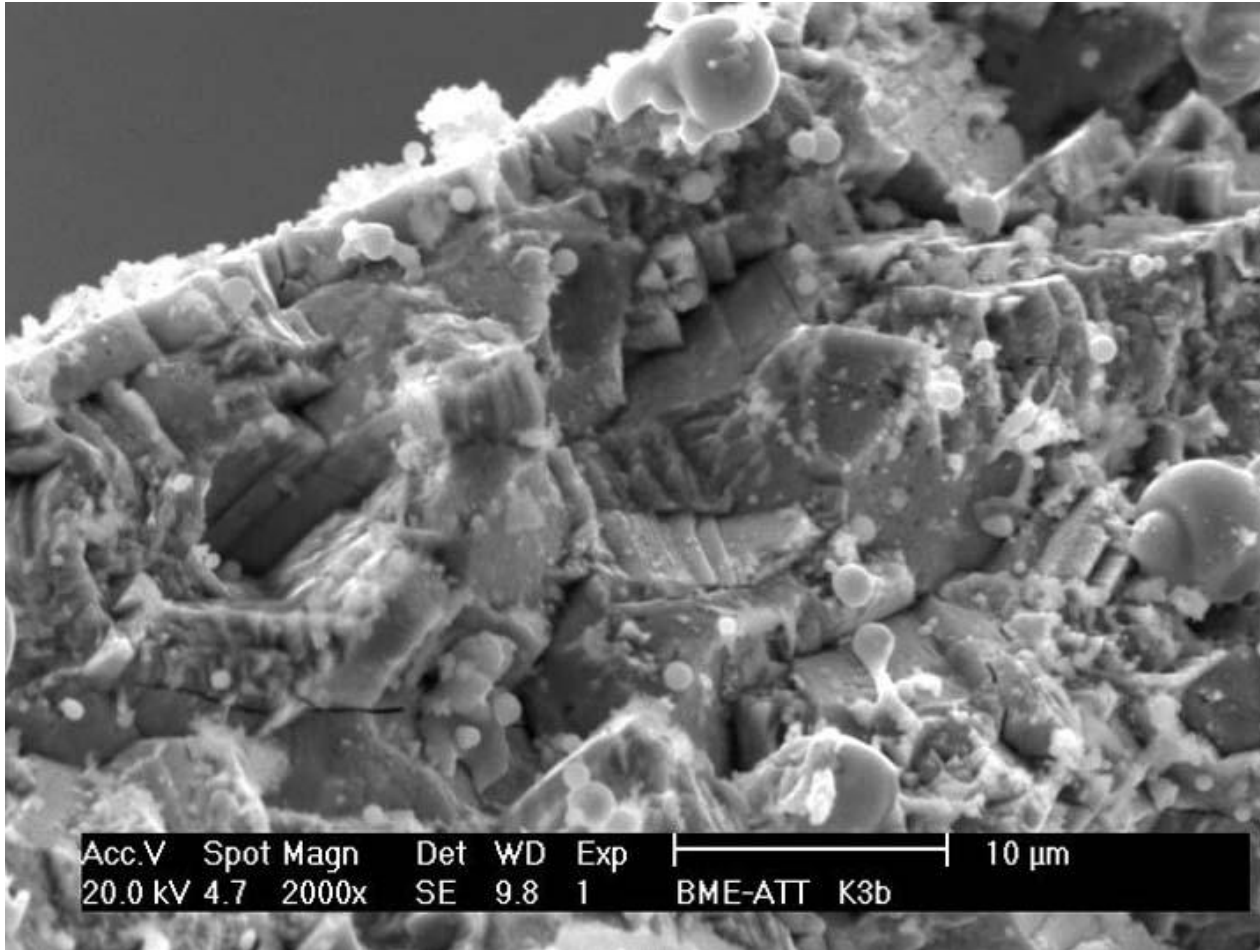
Törött
kontaktus,
kábel oldal.
(keresztmetszet,
biztosító fül).



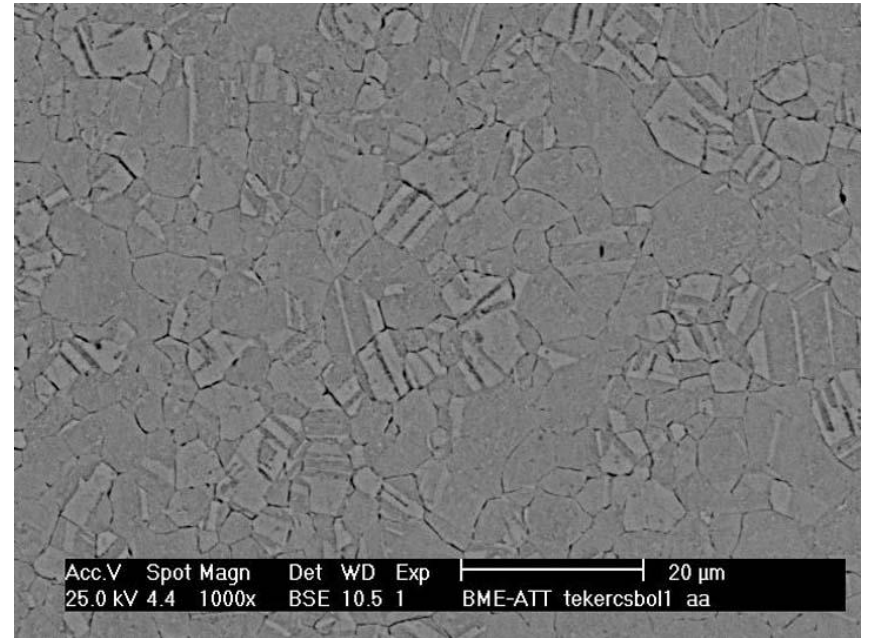
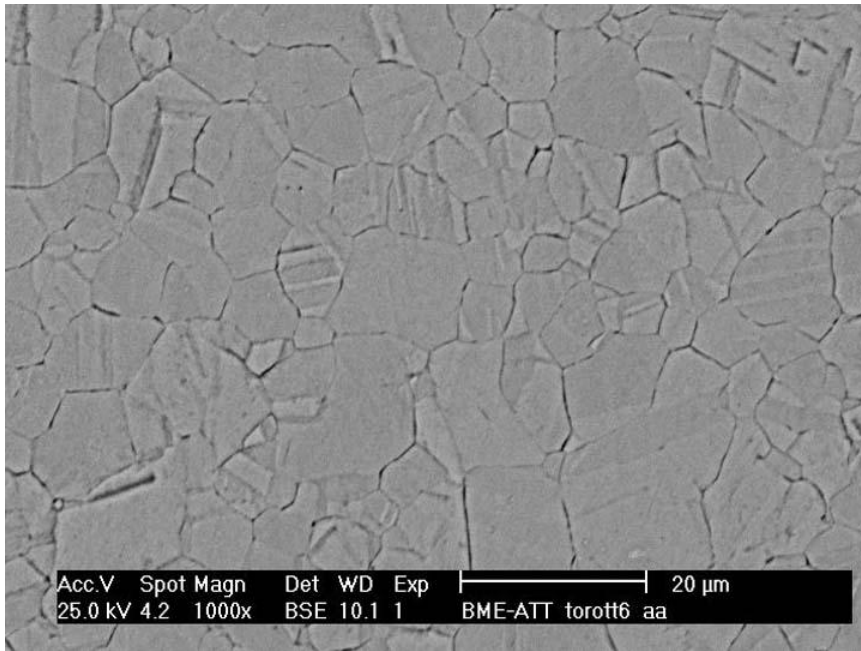
Törött
kontaktus,
hüvely oldal.



Megolvadt,
fröcskölt
töretfelület.



Interkrisztallin
töretfelület,
fröcskölési
gömbök.



Törött

„Jó”

érintkezők szövetszerkezete

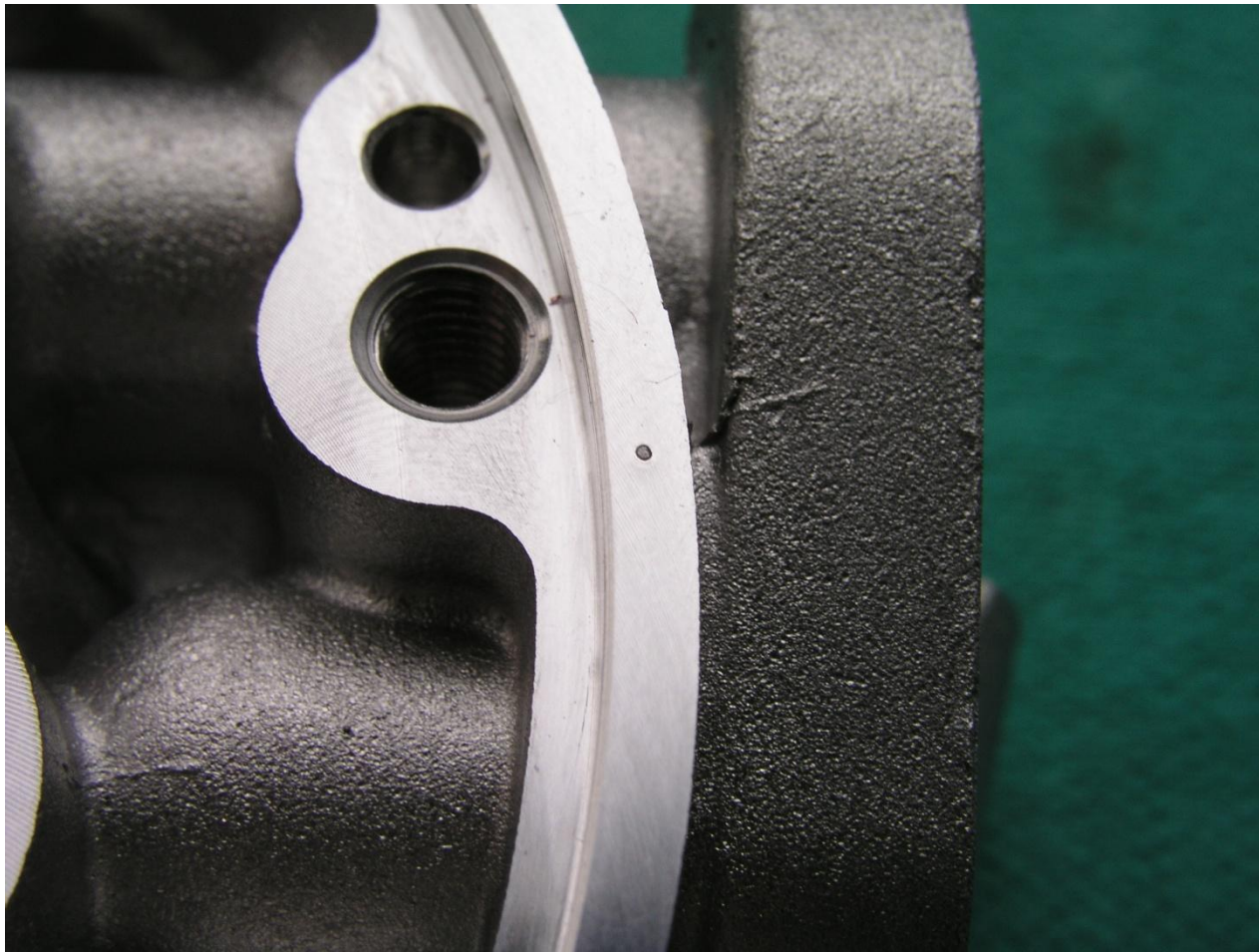
CuNi₃Si minőség (Cu: 95,99 ; Ni: 3,18 ; Si: 0,83 tömeg%).

A töret felülete:

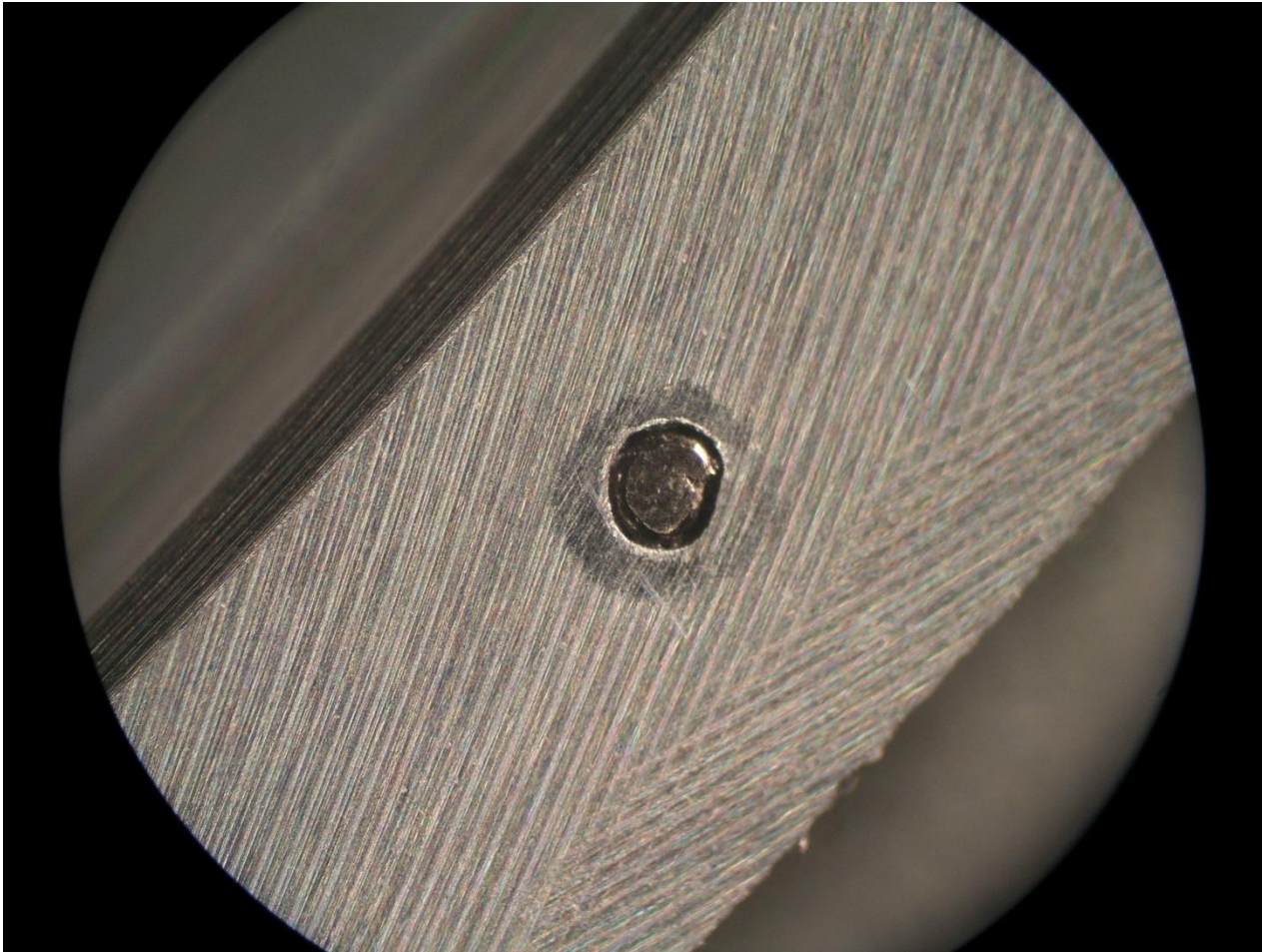
- eltörést követően mechanikusan összeverődött, képlékenyen alakváltozott felületrész,
- eltörést követően elektromos szikra, ív hatására megolvadt, majd megdermedt felületrész,
- a töretfelületen az olvadék fröcskölődéséből származó gömbszerű részecskék találhatók,
- a töretfelület előző kettő károsítástól kevéssé fedett részén durvának minősíthető, krisztallithatók mentén eltörött (interkrisztallin), rideg törési felület található.

Az eltört minta szemcsenagysága lényegesen nagyobb, mint a „jó” referencia. A töréses károsodás eredeti oka a metastabilis δ -Ni₂Si fázis létrehozására irányuló hőkezelési művelet paramétereinek be nem tartása, az ötvözet „túlhőkezelése”. A többi károsodás csak következmény, törés nélkül nem következne be.

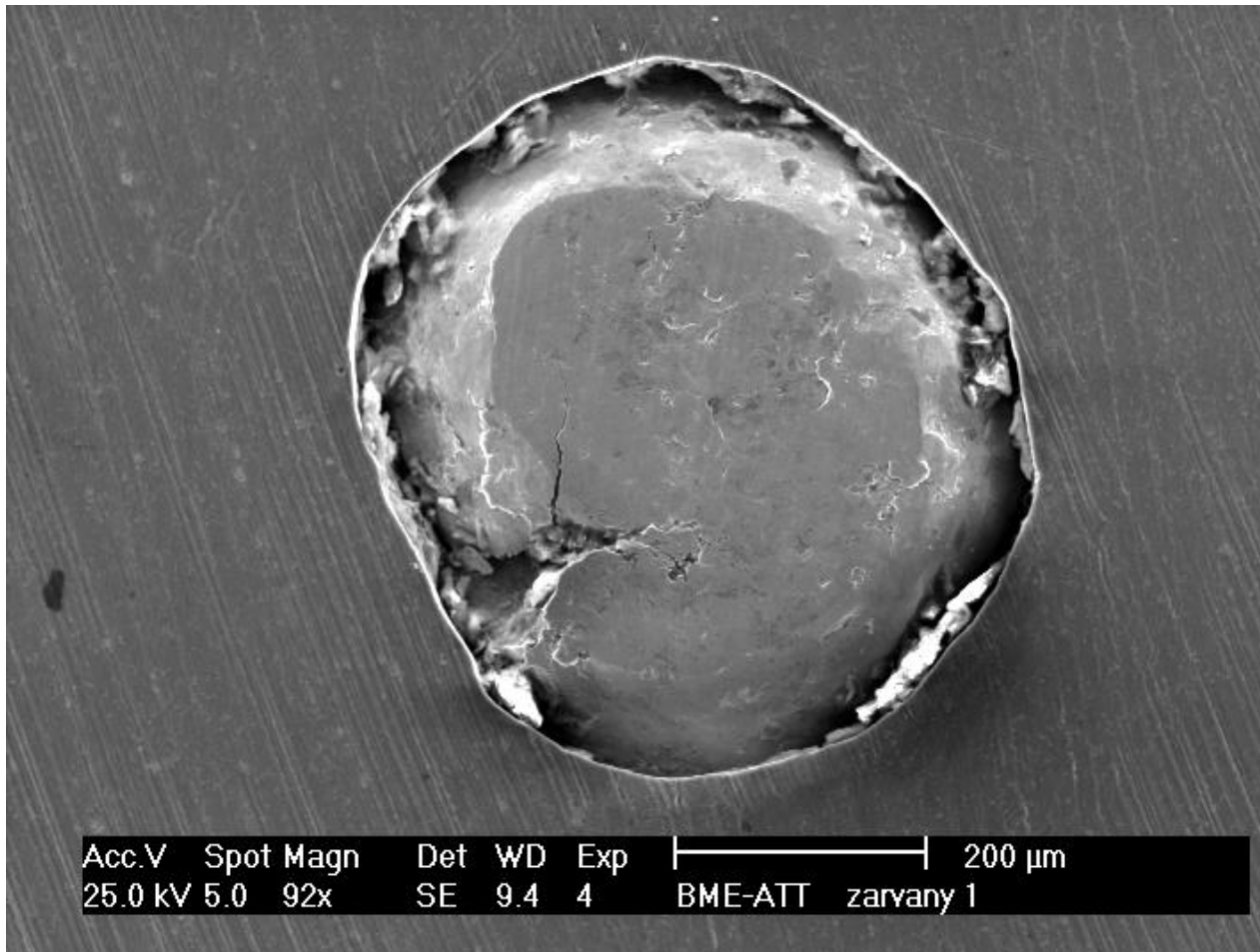
Kemény, nagyméretű zárványok tömítési felületeken.



Forgácsoló szerszám élettartama!



Zárvány, elváló, nem fémtiszta felületek



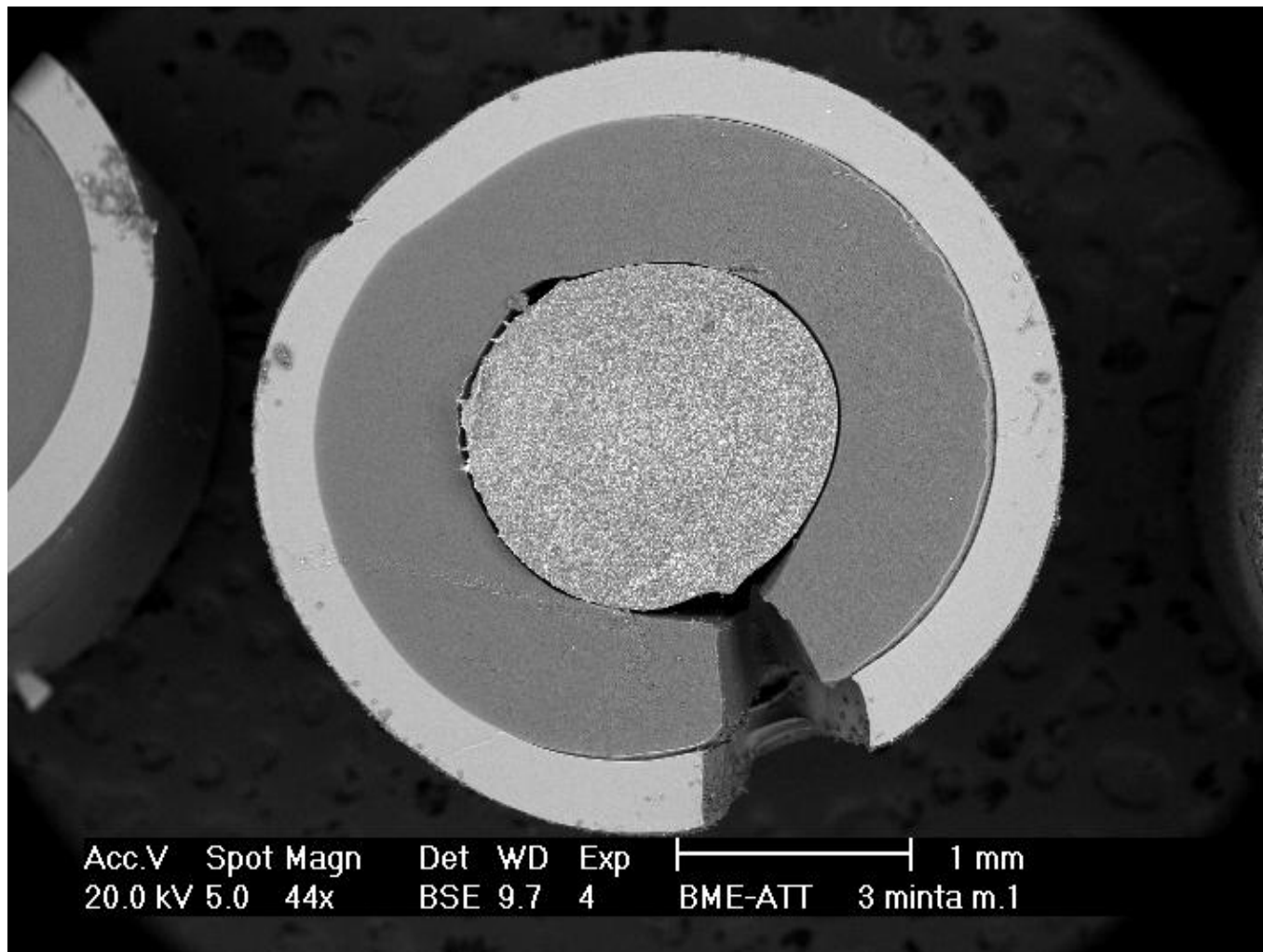
Eutektikus Al ötvözet: 14% Si, 2,5% Cu, 1% Zn, 1% Fe

Az eutektikum szövetelemeinek mérete finomnak tekinthető, forgácsolási problémát nem okoz.

Az ötvözetben lévő, vas és króm ötvözőket tartalmazó zárványok átlagos átmérő mérete a mikrométerestől a fél milliméterig terjed. A forgácsolt felületre nagy méretű zárvány is kikerült. **Valószínűleg az újraolvasztási technológia során kerültek az öntvénybe.**

A felületi forgácsolási karcolatok „ugrásából” látszik, hogy a nagy méretű Fe-Cr zárványok a forgácsoló szerszám és a megmunkált darab rezgését okozzák.

Felhasadás a diffúziót gátló rétegben

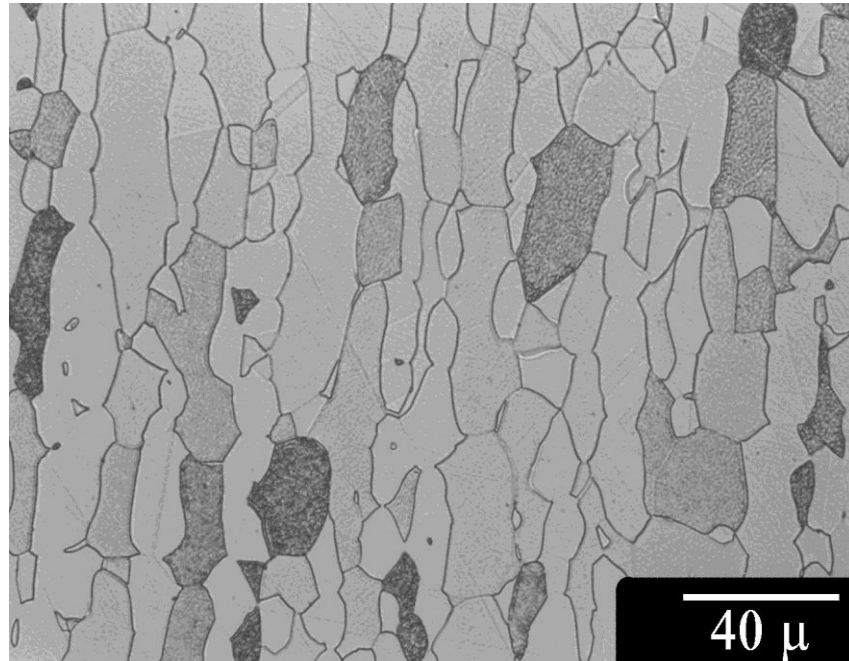


IRODALOM

- American Society of Materials
- Kárelemzés, Első Országos Konferencia.
Miskolctapolca, 2007. április 24-25.
- Damage Analysis ...

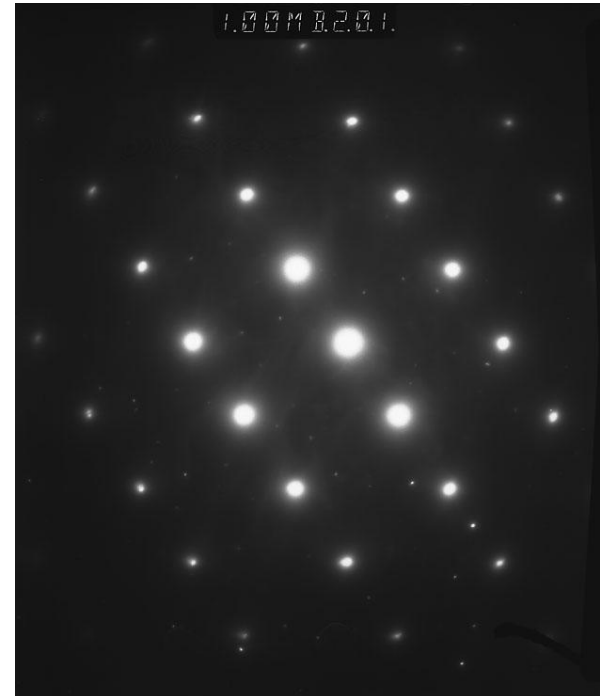
Mikroszkópi technikák

- Optikai mikroszkópia



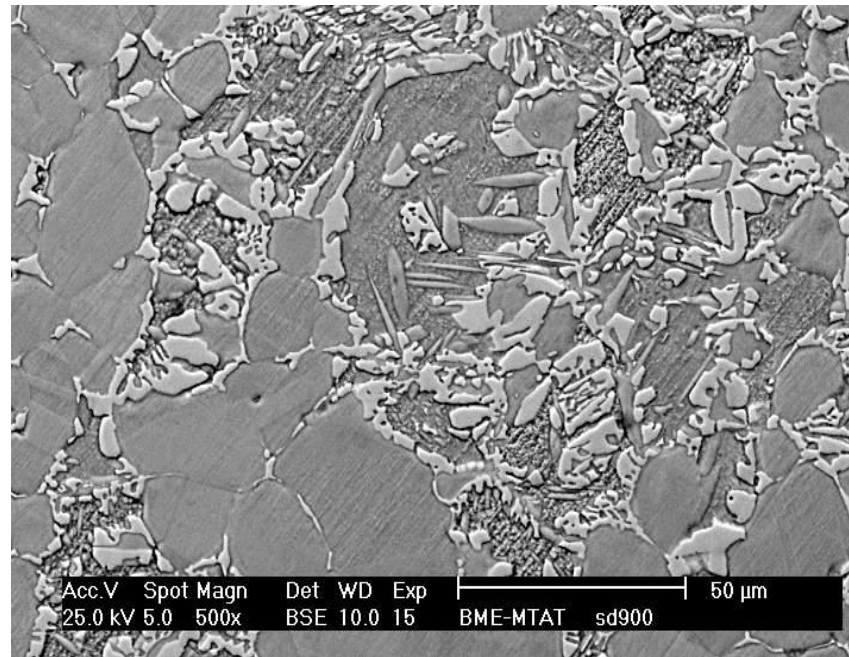
Mikroszkópi technikák

- Transzmissziós elektronmikroszkópia



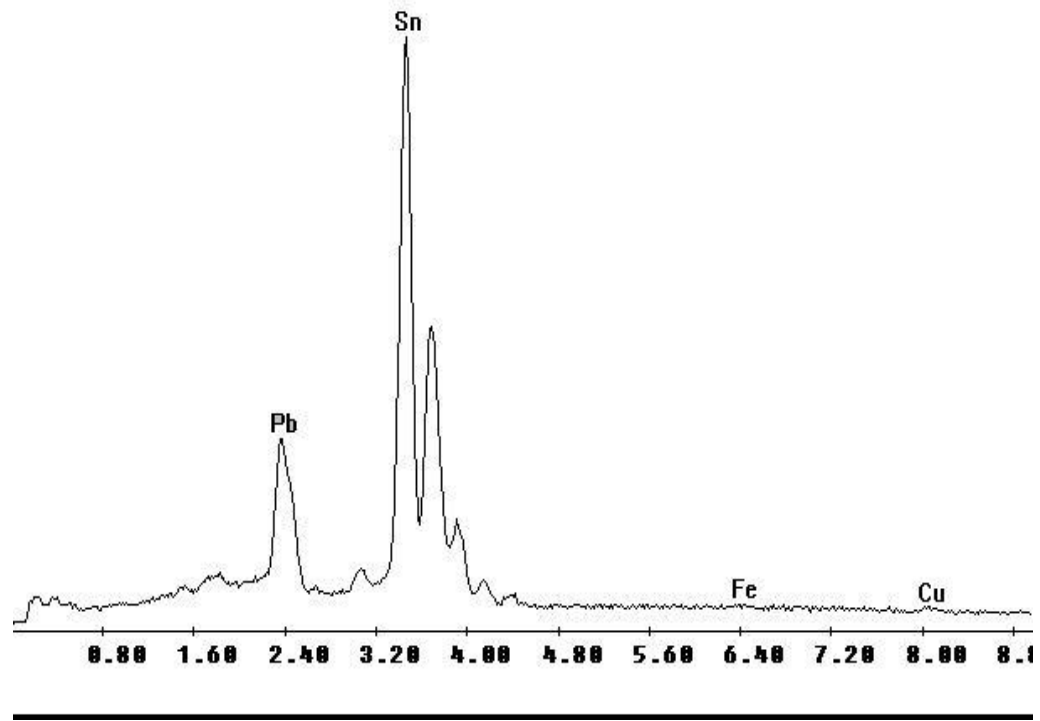
Mikroszkópi technikák

- Pásztázó elektronmikroszkópia



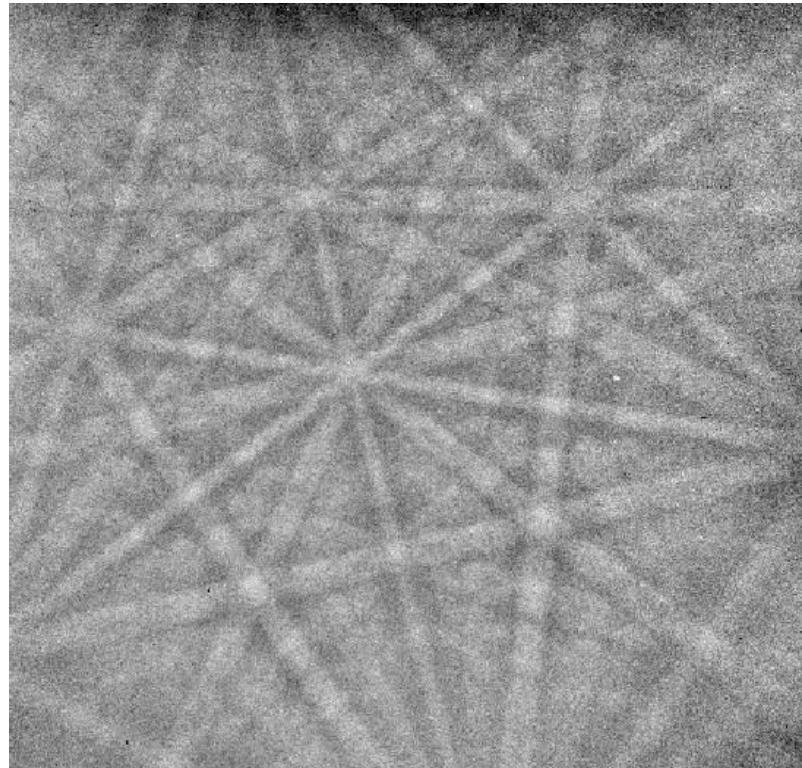
Mikroszkópi technikák

- Energia-diszperzív spektroszkópia (EDS)



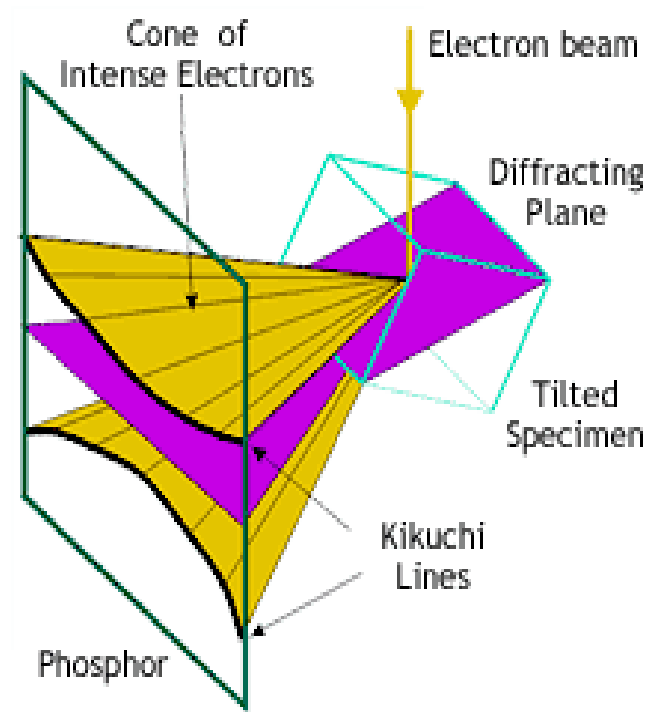
Mikroszkópi technikák

- Visszaszórt
elektron diffrakció
(EBSD)



Mikroszkópi technikák

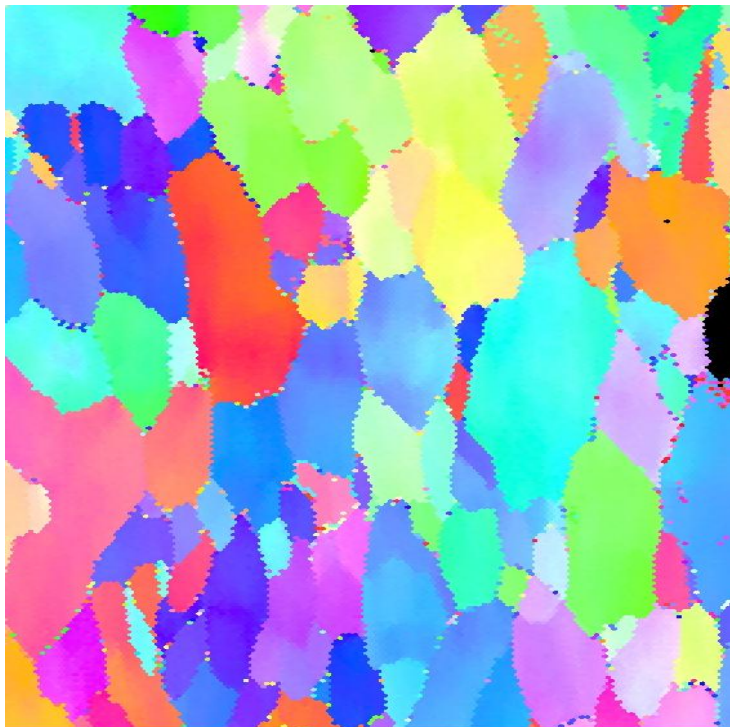
- Rugalmatlan elektronszóródás
- Szórt elektronok Bragg-reflexiója
- Kikuchi-vonalak



EBSD – Tulajdonságok

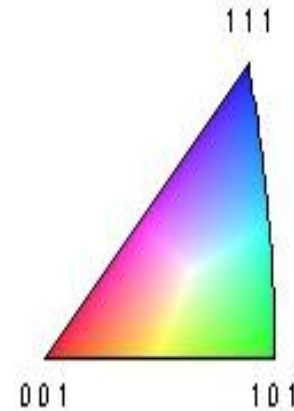
- Egyedi szemcseorientáció-meghatározás
- Automatikus vonalfelismerés
- Nagy mérési sebesség (akár 25 Kikuchi-ábra detektálása másodpercenként)
- OIM - Orientation Imaging Microscopy („orientációs térképezés”)

EBSD – Orientációs térkép

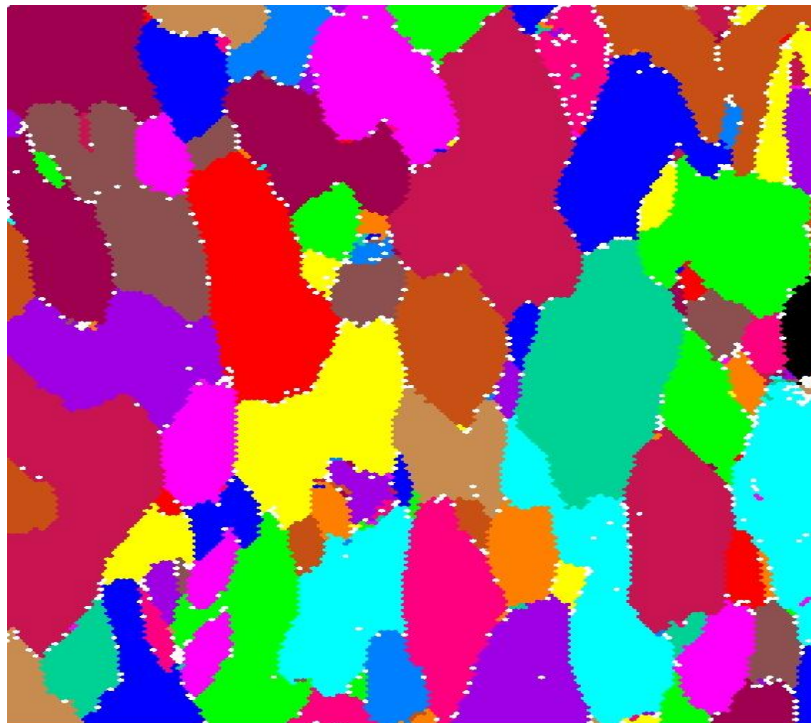


4.80 μm = 30 steps

Inverz pólusábra
térkép

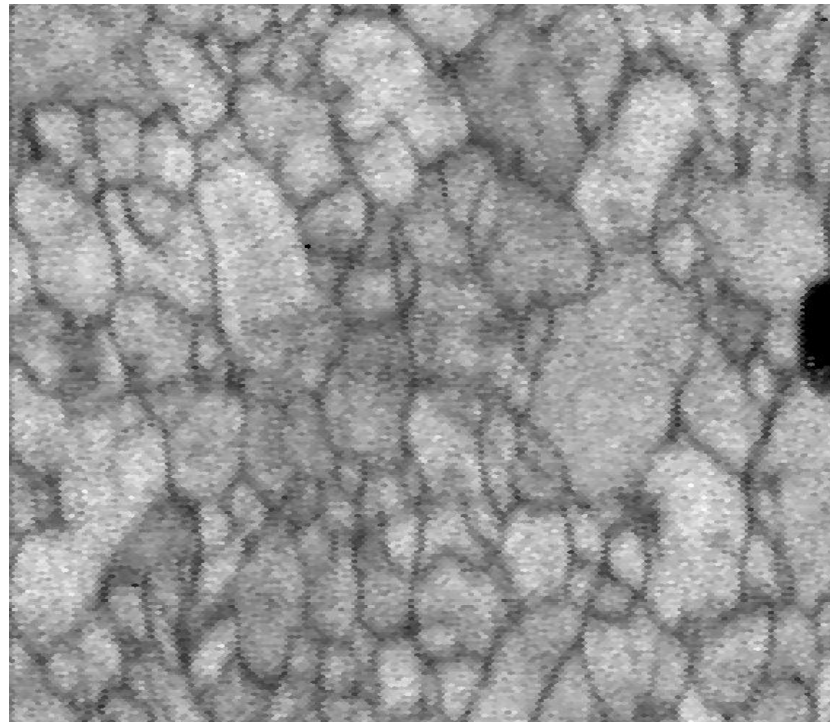


EBSD – Szemcsetérkép



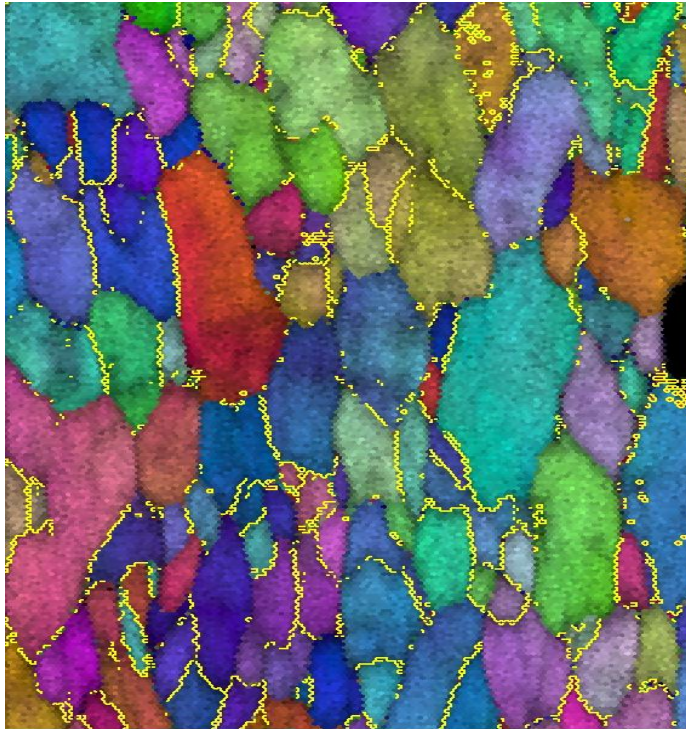
 4.80 μm = 30 steps

EBSD – Képmínőség térkép

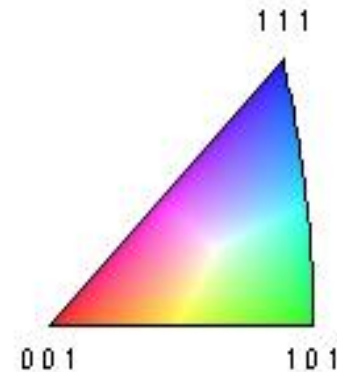


4.80 μm = 30 steps

EBSD – Kombinált térképek

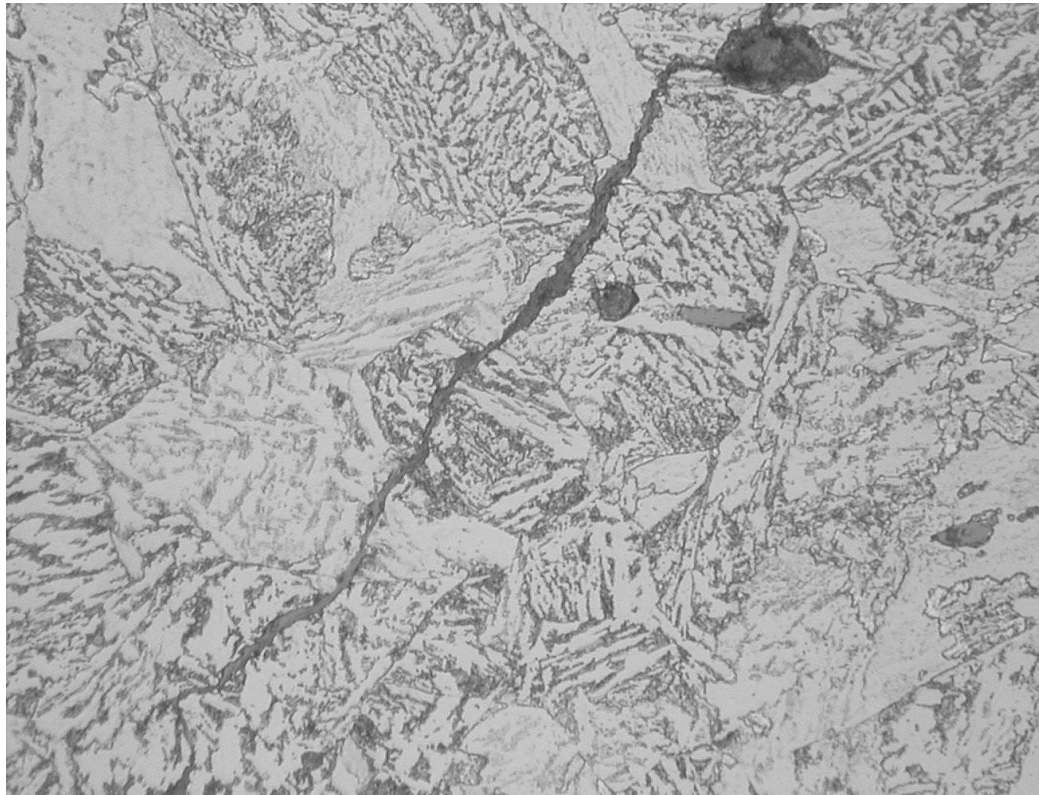


4.80 μm = 30 steps



Inverz pólusábra + képminőség + kisszögű
határok

Repedések szilárdtestekben



Melegszilárd anyag

Transzkrisztallin,
oxidokkal töltött
repedés

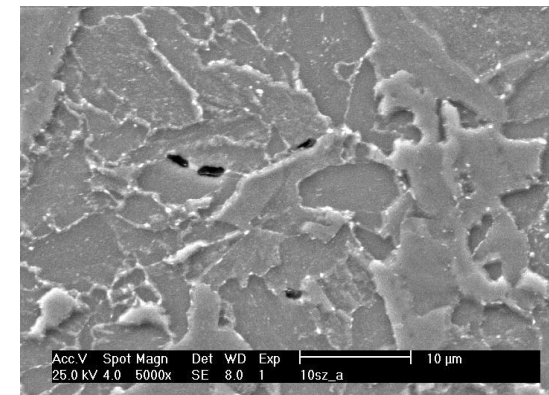
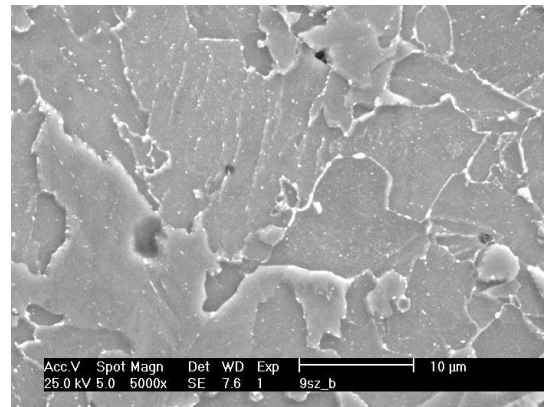
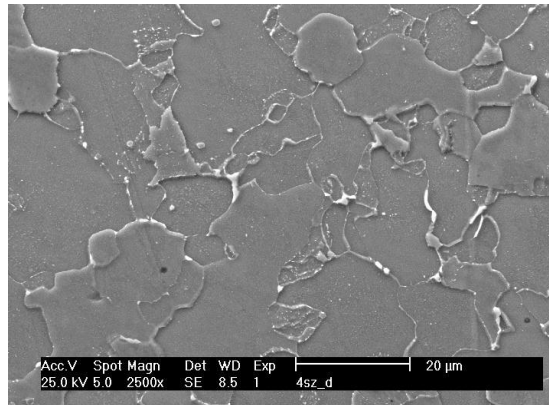
Repedések szilárdtestekben



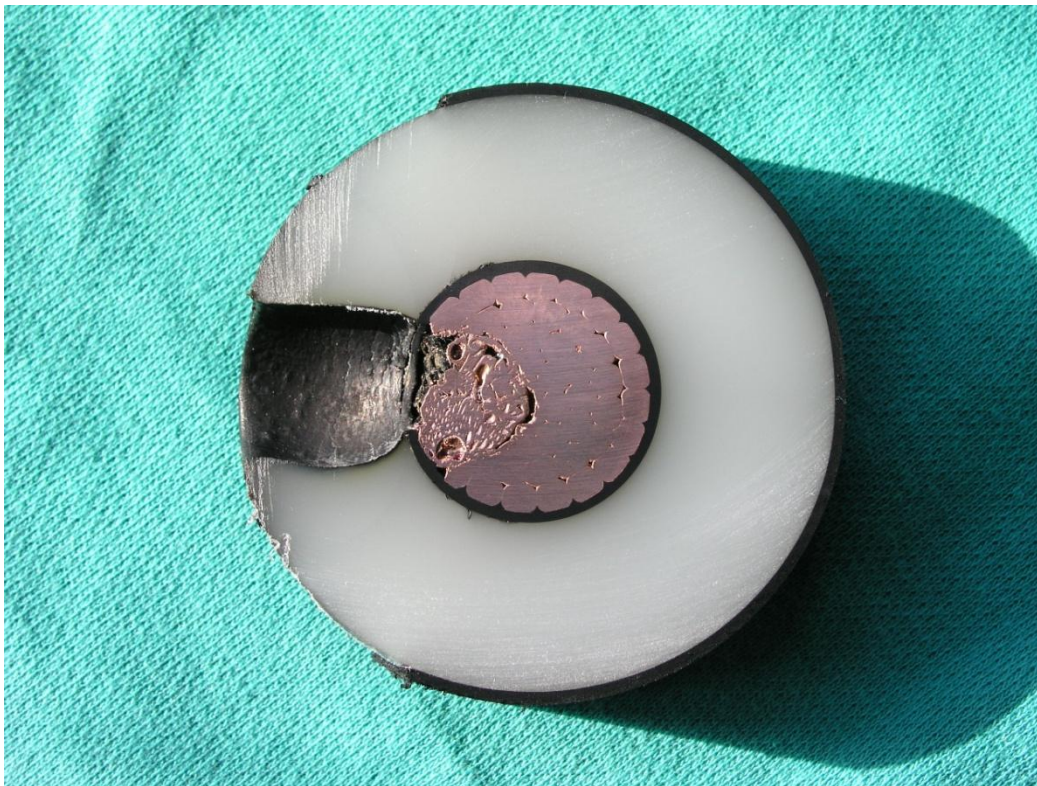
Melegszilárd
anyag

Interkrisztallin
repedésterjedés

Mikroüregek



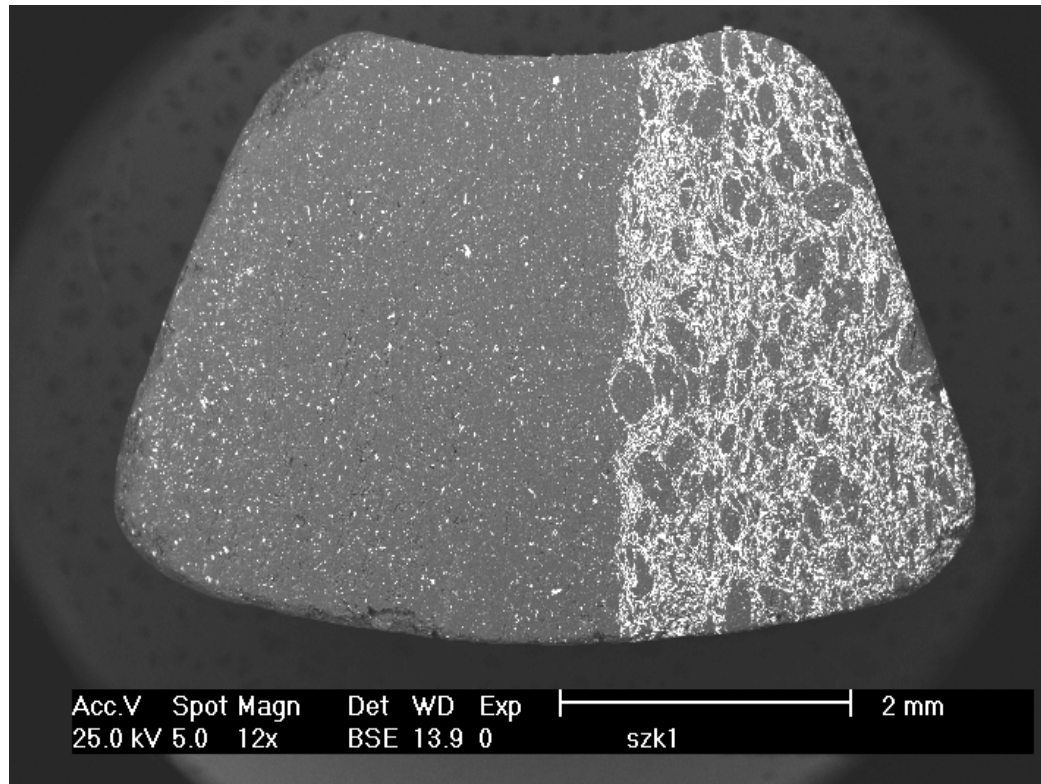
Elektrotechnikai alkatrészek



40 kV-os földkábel

Átütés

Elektrotechnikai alkatrészek



Szénkefe

Kettős Ag-C
kompozit

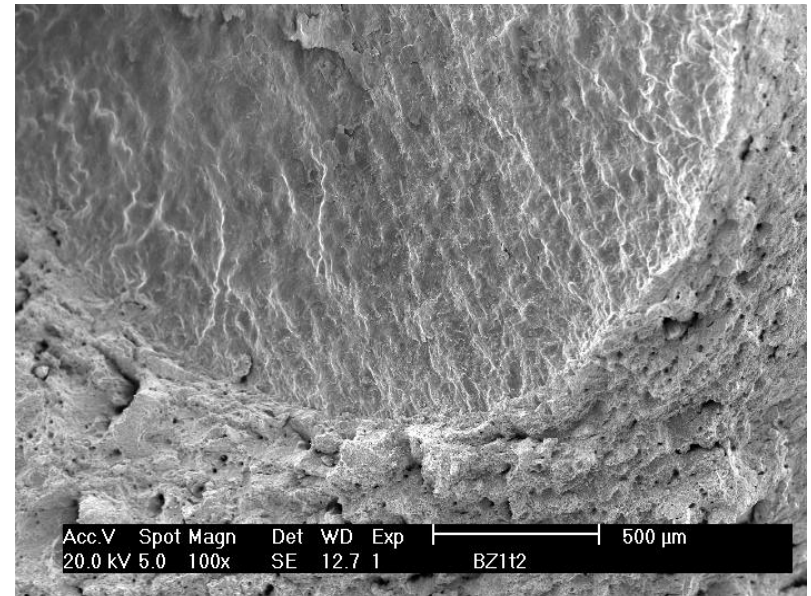
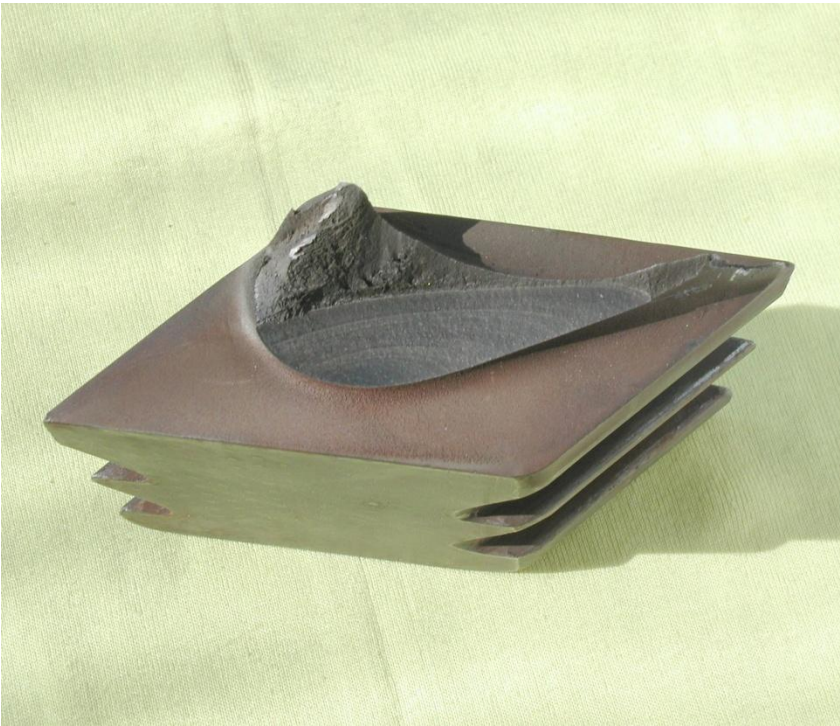
Erőművi alkalmazások



Gőzturbina járókerék
csillapító huzal

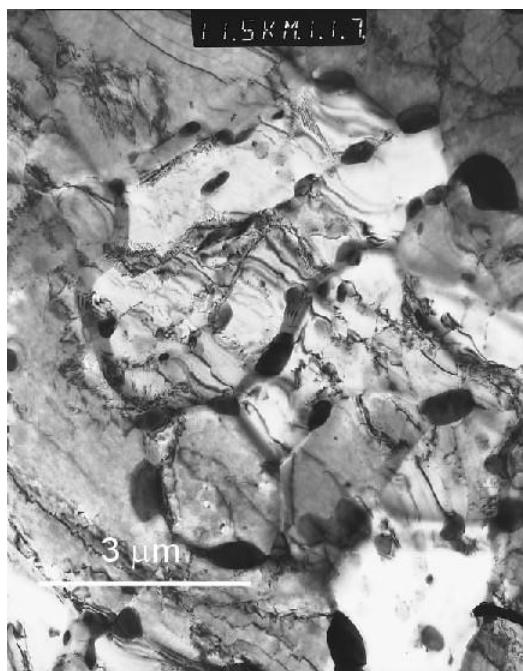
TiAl6V4

Erőművi alkalmazások

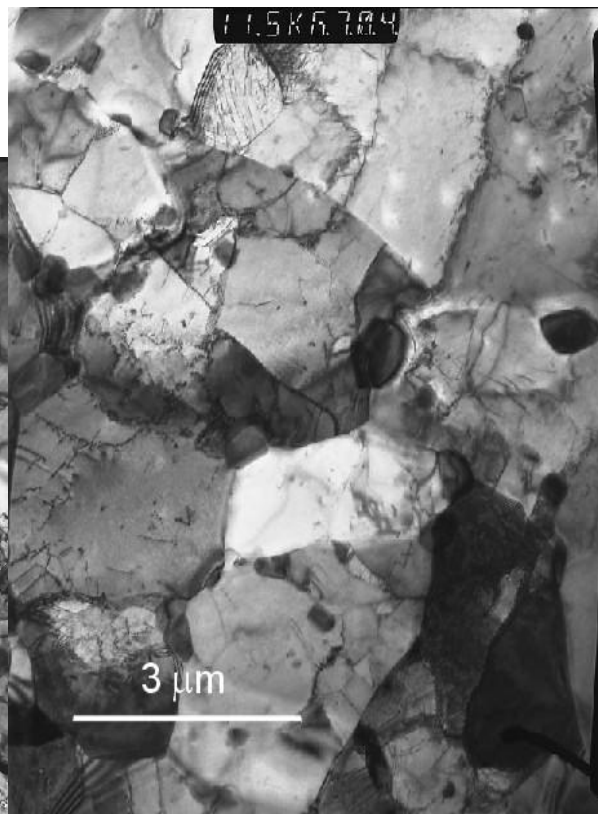


Gőzturbina lapát, fáradásos törés

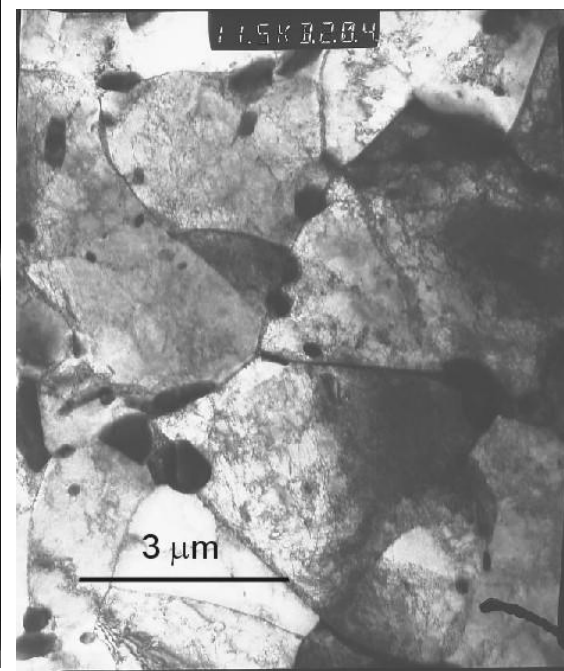
Kúszás



Kiindulási
állapot

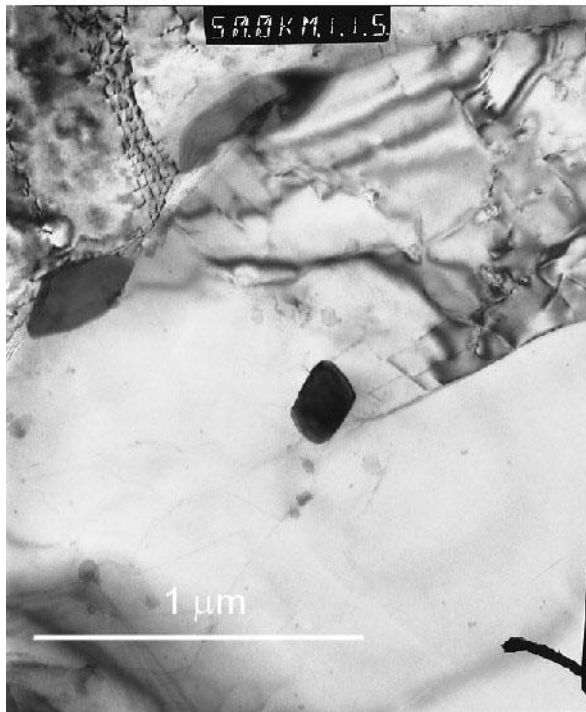


481 óra után

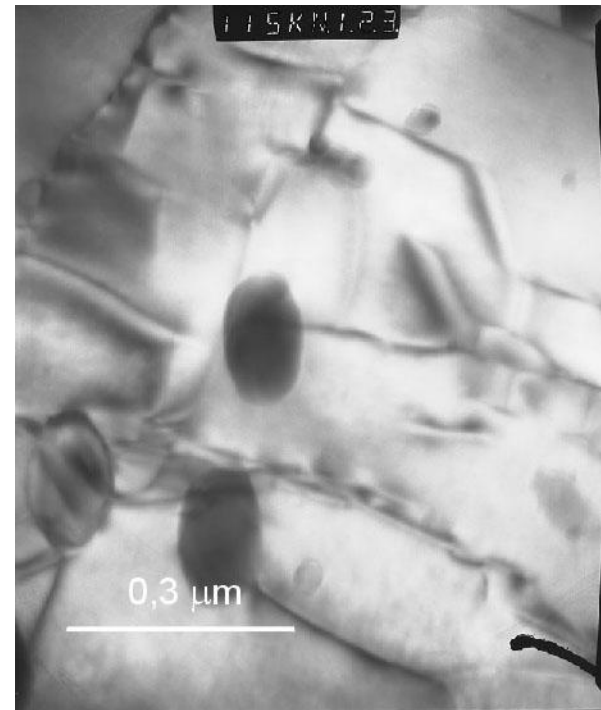


868 óra után

Kúszás



Kiindulási állapot

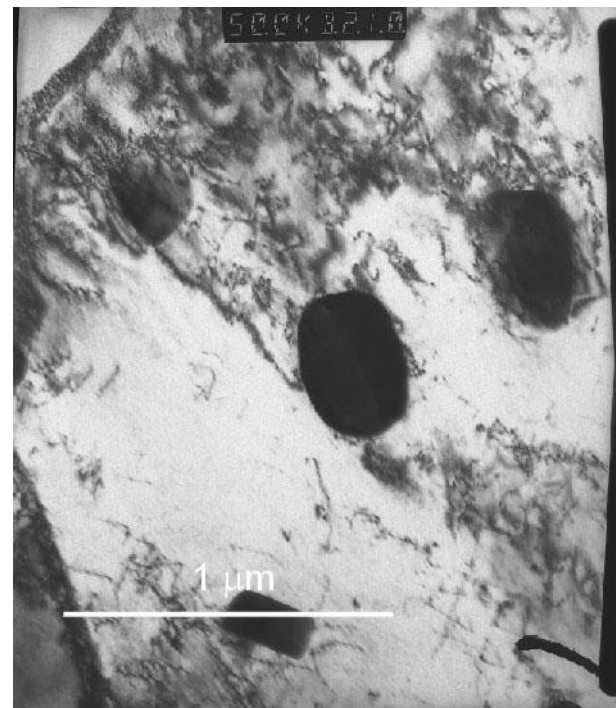


290 óra után

Kúszás

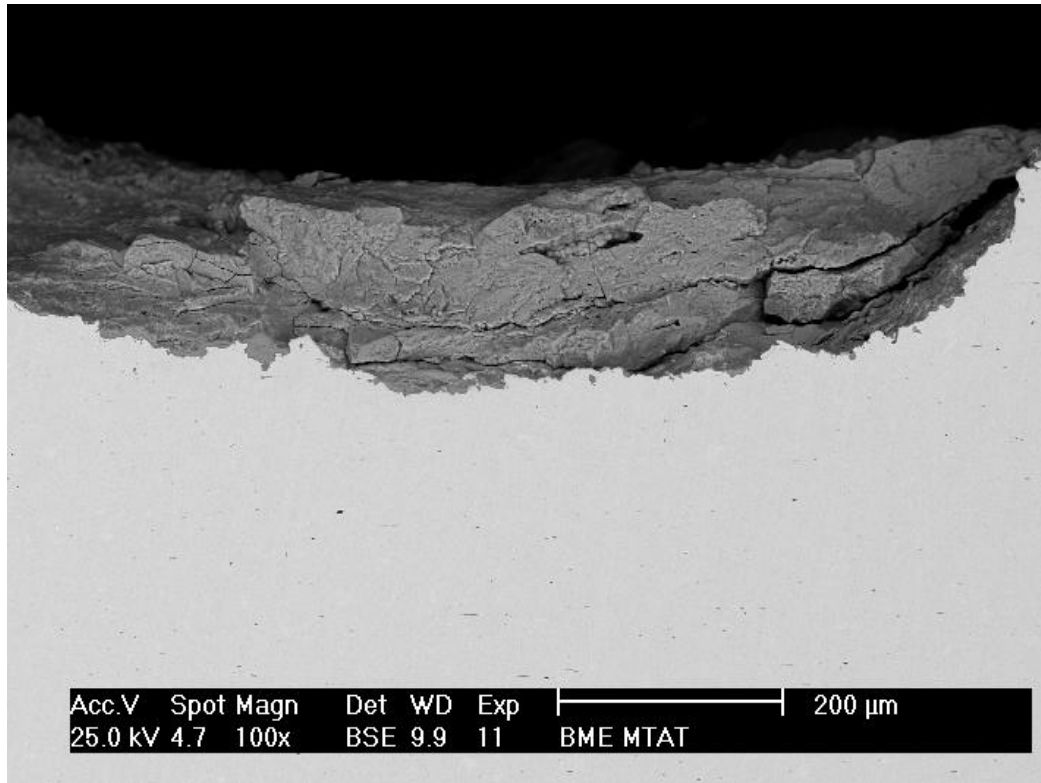


481 óra után



868 óra után

Időjárás-álló acélok



Korell

CORTEN

KÖSZÖNÖM MEGTISZTELŐ FIGYELMÜKET

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Anyagtudomány és Technológia Tanszék
MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport

1111 Budapest, Bertalan Lajos u. 7. MT épület

Tel.: +36 1 463 1234

Fax: +36 1 463 1366

E-mail: matsci@eik.bme.hu

www.att.bme.hu