

MIKROSKÓPIVIZSGÁLAT

Egy leképező rendszer felbontási határa az a legkisebb d távolság, amely távolságra elhelyezkedő tárgyponatok még különálló képpontokként képződnek le. A felbontóképesség ennek a távolságnak a reciproka. Az átlagos, egészséges emberi szemben található szemlencse felbontóképessége „normális látás távolságában” (~250 mm) a személyi adottságoztól függően ~0,1 mm, ami szögben egy ívpercenek (1') felel meg. Ha ennél kisebb objektumok megfigyelésére van szükség, akkor látószöget növelő eszközöket kell alkalmazni (pl. nagyító, mikroszkóp).

Számos mikroszkóp létezik, a leggyakoribb (és az első, amelyet feltaláltak) az optikai mikroszkóp, amely megfelelő lencserendszerrel irányított fényt használ a nagyítani kívánt tárgy leképezésére (1. táblázat). A mikroszkópok egyéb leképezési módot alkalmazó főbb típusai: az elektronmikroszkópok (pl. transzmissziós elektronmikroszkóp: TEM¹, pásztázó elektronmikroszkóp: SEM²), az ultramikroszkóp és a különféle pásztázó túspondás mikroszkópok (pl. atomi erő mikroszkóp: AFM³, pásztázó alagút mikroszkóp: STM⁴).

1. táblázat. Optikai mikroszkópok típusai

Típus	Használat	Kontraszt oka
<i>Visszavert fény</i>	<ul style="list-style-type: none">nem átlátszó próbatestpl.: fémek, kerámiák, kompozitokpróbatest előkészítése szükséges, sima felület	<ul style="list-style-type: none">felületi topográfia variációk és tükrözőképesség különbségei miattpl.: különböző fázisok, szemcseorientációk
<i>Áteső fény</i>	<ul style="list-style-type: none">átlátszó, nagyon vékony próbatest (~10-50 μm)pl.: polimerek, biológiai minták	<ul style="list-style-type: none">különböző régiók esetében különböző a fény abszorpciója

1. A fémvizsgáló mikroszkóp

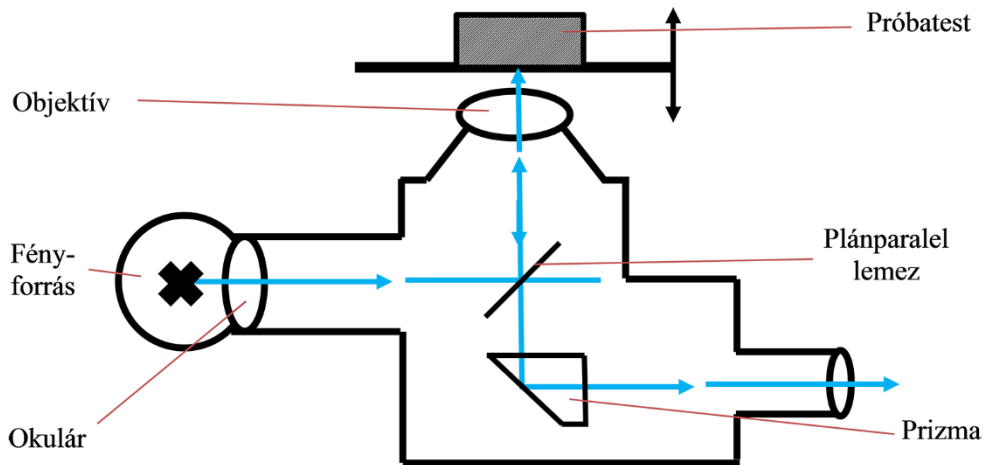
Mivel fémekből átlátszó preparátumokat nem lehet készíteni, mikroszkópi vizsgálatuk áteső fényel nem végezhető el. A használatos fémmikroszkópok többsége Le Chatelier-rendszerű, vagy fordított mikroszkóp (1. ábra). Ilyen a gyakorlaton megismerendő és használandó mikroszkóp is.

¹ Transmission Electron Microscope

² Scanning Electron Microscope

³ Atomic Force Microscopy

⁴ Scanning Tunneling Microscope



1. ábra: A fémvizsgáló mikroszkóp működésének elvi vázlata.

A tárgy a függőleges tengelyű objektív lencserendszer fölött vízszintes síkban fekszik. Nagyobb nagyítások esetén a tárgy és az objektívlencse olyan közel vannak egymáshoz, hogy a megvilágítás csak az objektíven keresztül valósítható meg. Ezért ezt a megvilágítási módot alkalmazzák a gyakorlaton használt minden objektívnél (a kisebb nagyítások esetén is). A megvilágító fényt - a fényforrástól kiindulóan - belső lencséken és prizmákon áthaladva egy plánparalel üveglemez vetíti az objektív lencséjén keresztül a vizsgálandó tárgy felszínére.

Az objektívlencse felbontóképessége alatt azt a legkisebb tárgytávolságot értjük, aminek végpontjait már külön pontként képezi le a lencse. Ennek nagysága az Abbe-egyenlet szerint:

$$d = \frac{\lambda}{2n \sin \alpha}$$

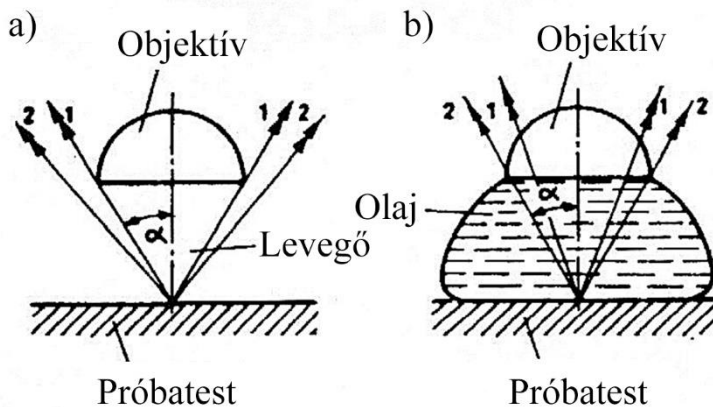
ahol:

d – az objektívlencse felbontóképessége (mm)

λ - a megvilágító fény hullámhossza (450-650 nm);

n - a tárgy és az objektív közötti ún. immerziós közeg törésmutatója (0,9-1,52);

α - az optikai tengely és az objektívbe még bejutó legszélső fénysugarak által alkotott kúp félszöge (2. ábra).



2. ábra: Az optikai tengely és az objektívbe még bejutó legszélső fénysugarak által alkotott kúp félszögének szemléltetése levegő (a) és olaj (b) közeg esetén.

Az $n \sin \alpha$ szorzatot numerikus apertúrának (NA) is nevezik. Az immerziós közeg leggyakrabban cédrusolaj, amelynél $n=1,52$, de ma már vannak olyan objektívek, amelyekkel immerziós olaj nélkül is elérhető a maximális felbontóképesség.

A hasznos nagyítás az emberi szemlencse és az objektívlencse felbontóképességének hányadosa. További nagyítással a tárgy képe csak elmosódottabb lesz, és az egyébként látható terület egy része elveszik. Emiatt az optikai mikroszkópokat legfeljebb $2000\times$ nagyításúra készítik. A mikroszkóp felbontóképessége tehát csak az objektívtől függ, nagyítása pedig az objektív és az okulár rendszer nagyításának szorzata.

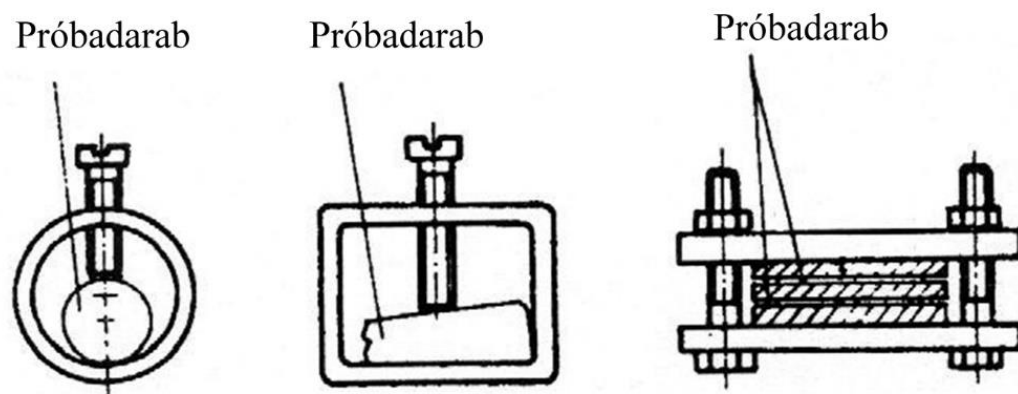
A mélységélesség (vagyis az a tárgytávolság különbség, amelyen belül a kép élessége érdemben még nem romlik) az optikai mikroszkópoknál a nagyítás növelésével $1\ \mu\text{m}$ nagyságrendig csökken (ez az alapvető oka annak, hogy csak sík minták vizsgálhatók, és hogy nagyobb nagyításokhoz gyengébben maratott mintafelületek szükségesek). A hasznos nagyításnál nagyobb mértékű nagyítás esetén a kapott kép kontrasztossága csökken.

2. A mikroszkópi (metallográfiai) próbatest kivétele és előkészítése

A próbadarab kivételének helyét úgy kell megválasztani, hogy az jellemző legyen a vizsgálandó tárgyra, és magába foglalja a vizsgálandó jellegzetességeket. A próbadarab optimális mérete 20-25 mm élhosszúságú kocka, vagy ugyanekkora átmérőjű és magasságú henger (a vizsgálandó felület mérete: 1-3 cm²).

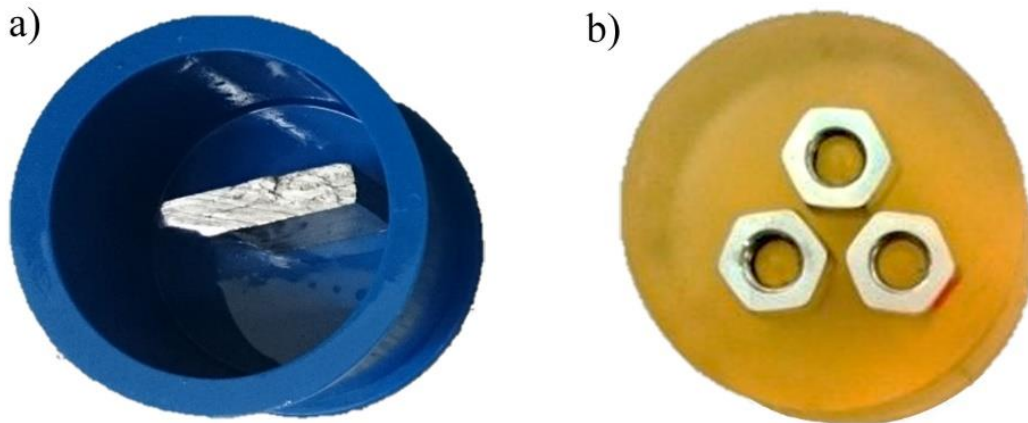
Ha a vizsgálandó tárgy mérete ennél nagyobb, akkor a megfelelően kiválasztott próbadarabot forgácsoló eljárással (fűrészelés, marás stb.) munkáljuk ki belőle. A próba kivételénél ügyelni kell arra, hogy a próbadarab hőmérséklete kimunkálás közben jelentősen ne növekedjen meg (max. 100 °C), mert nagyobb hőmérsékleten az anyag szövetszerkezete megváltozhat.

Ha a próbadarab kicsi (huzal, vékony lemez stb.), akkor az előkészítés előtt megfelelően kialakított mechanikus (csavaros) tartóba lehet befogni (3. ábra), de ma már leginkább a beágyazással történő befogás a legelterjedtebb. Kisebb mintaméretnél - elektronikai eszközöknél ez a gyakori eset - a manipulálhatóság érdekében a mintát gyorsan szilárduló műgyantába szokás ágyazni (4. ábra).



3. ábra: Csavaros szorítású próbatest befogó megoldások.

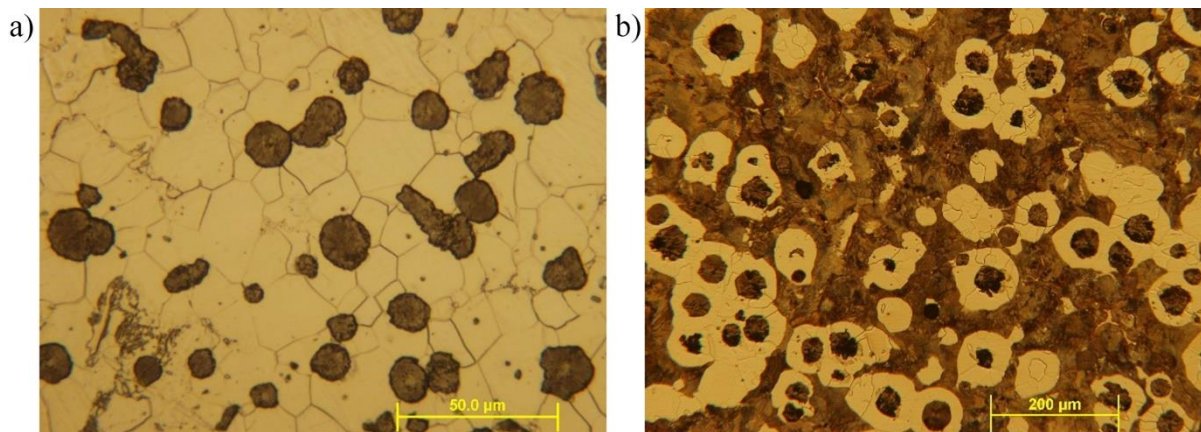
A vizsgálathoz a próbadarabon először nagyon sima, sík felületet kell kialakítanunk, először 5-6 féle, egyre finomabb szemcsenagyságú csiszolópapírral. A csiszolópapír szemcséinek anyaga általában korund (Al_2O_3), vagy szilícium-karbid. Ügyelni kell arra, hogy mielőtt finomabb szemcsenagyságú papíron folytatnánk a csiszolást, a próbatestet alaposan meg kell tisztítani, nehogy durvább csiszoló szemcse kerüljön tovább vele! Minden papírfokozaton addig kell csiszolni 90°-os váltásokkal, amíg az előző durvább szemcséjű papírral létesített karcok, és ezzel a durvább képlékeny deformáció rétege teljesen el nem tűnik.



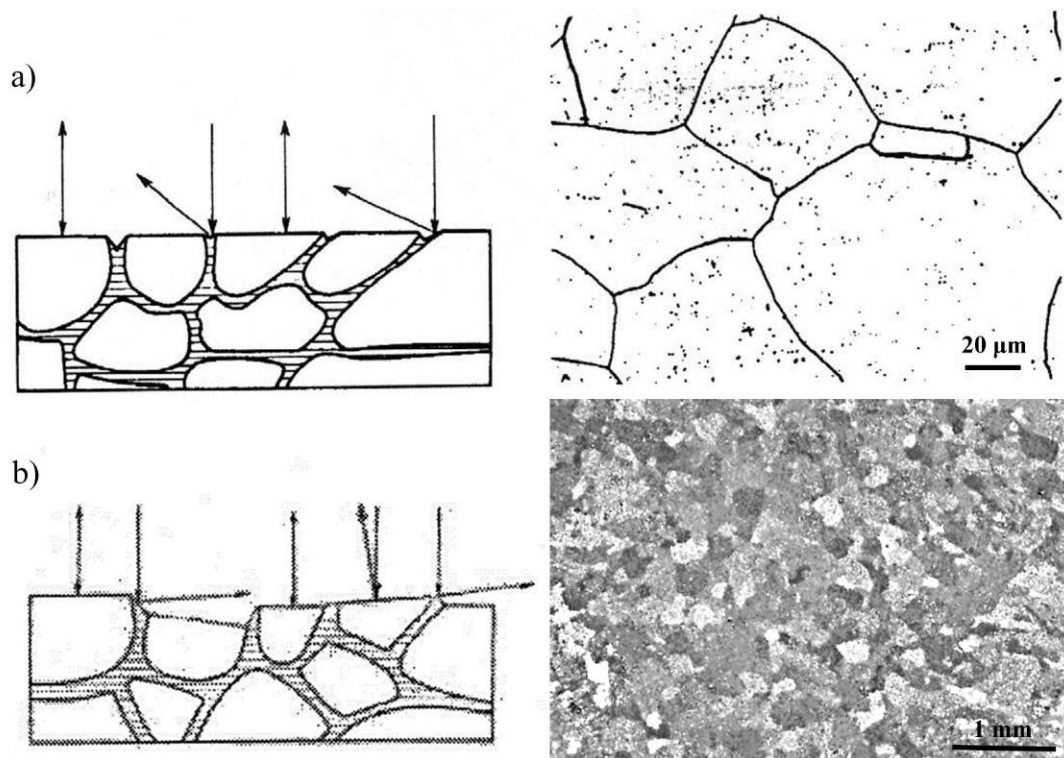
4. ábra: Próbatétel beágyazás előtt (a), műgyantába ágyazott próbatetek (b).

A legfinomabb papírral már készre csiszolt mintafelületet az eltorzult felületi réteg eltávolítása céljából tovább fényesítjük (polírozzuk). Ezt általában finom posztóval bevont forgó korongon végezzük, amelyre vízben szuszpendált finom szemcséjű timföldet (Al_2O_3) öntünk. A jó polírozás (fényesítés) után a minta felületén mikroszkópi vizsgálattal sem látható karcolás, vagy felületi elkenődés. Nagyon jó minőségű fényesítést lehet elérni gyémántpasztákkal, de drágaságuk miatt csak különleges esetekben használatosak. A fényesítés elektropolírozással is végezhető. Ilyenkor a próbatétel anódként kapcsolva, megfelelő elektrolit, áramsűrűség, hőmérséklet és idő értékek betartásával főleg homogén szilárd oldatos ötvözeteket lehet jól előkészíteni. A készre fényesített minta tisztítását általában alkoholos mosással fejezzük be a víz eltávolítása és a korrózió elkerülése miatt.

A polírozott minta síktükörként viselkedik. Ilyen állapotban vizsgálhatók a repedések, üregek, nemfémes zárványok (pl. oxidok, szulfidok), és az egymástól eltérő színű fázisok (pl. alumínium oldali szilárd oldat és az Mg_2Si fázis). A legtöbb anyagnál a fázishatárok és a kristallithatárok láthatóvá tétele maratással történik (erre példa az 5. ábra). Ezt a minta anyagát oldó, vagy az egyes fázisokat elszínező oldatokban végezzük.

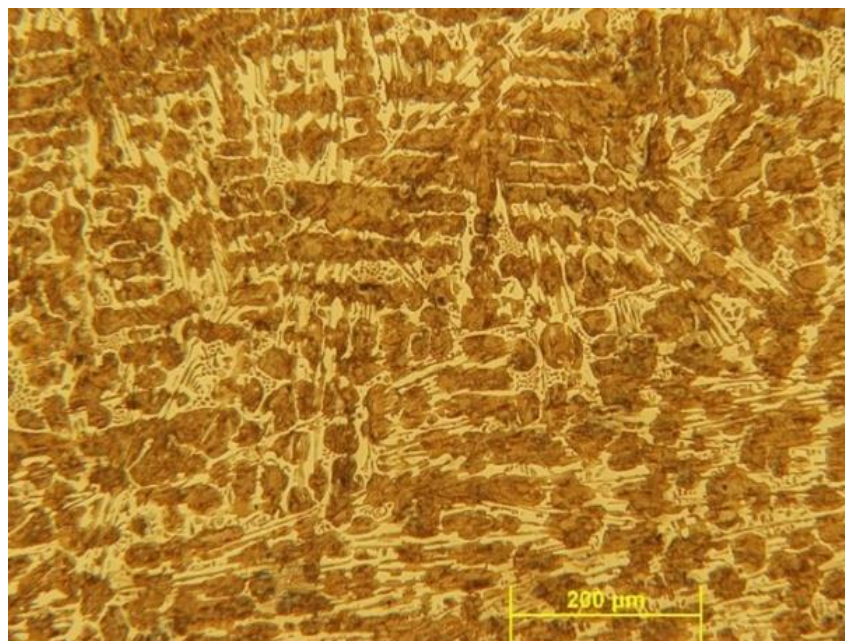


5. ábra: Gömbgrafitos öntöttvas minta maratás előtt (a) és után (b).



6. ábra: a) A maratás eredménye homogén, irányfüggetlenül maródó szemcseszerkezet esetén, b) A maratás eredménye homogén, irányfüggően maródó szemcseszerkezet esetén.

Homogén ötvözetekben (6.a ábra) a marószer vagy a kristallitok határvonalát támadja meg, és ott „árkot” old, vagy úgy kezdi oldani a kristályok anyagát, hogy sok, de apró méretű „lépcsőt” hoz létre a felületeken (6.b ábra). Ezek az egymással párhuzamos - kis Miller-indexű - síkok, a rájuk eső fényt is ennek megfelelően adott irányban tükrözik. Megvilágítás alkalmazásával az így maródott homogén minta kristályai különböző árnyalatúaknak látszanak (a jelenség neve: diszlokált reflexió). Heterogén, többfázisú ötvözetekben általában az egyik fázis nagyobb mértékben oldódik (7. ábra).



7. ábra A maratás eredménye heterogénen maródó szemcseszerkezet esetén (ledeburit).

2. Mikroszkópi (metallográfiai) vizsgálatok

Mivel általában nagyon kis felület értékelése alapján kell az egész tárgyra következtetéseket levonnunk, nagyon fontos, hogy a próbatesten a vizsgálatra kiválasztott terület képe a vizsgálandó anyagra valóban jellemző legyen. (A terület kiválasztása előtt a mikroszkóppal a minta teljes felületét végig kell nézni, és olyan területet kell kiválasztani, amely a teljes mintára jellemző. Amennyiben több jellemző terület is megkülönböztethető, mindegyik terület külön elemzése ajánlott.)

a) *Polírozott próbatestek mikroszkópos vizsgálata*

Polírozott (fényesített) próbatesten vizsgálhatók: a felületre kifutó repedések, üregek, zárványok és a felületen található önálló színű fázisok. A vizsgálat kiterjedhet az elemzés alatt álló hibák és fázisok alakjára, méretére és eloszlására.

b) *Maratott próbatestek mikroszkópos vizsgálata*

Maratás után a kialakult domborzat (árok, lépcsőképződés), vagy szín szerint elkülönülnek egymástól az egyes fázisok, szövetelemek.

3. Átlagos szemcseméret meghatározása

a) *Átlagos szemcseméret meghatározása a szemcseátmérő megméréssel*

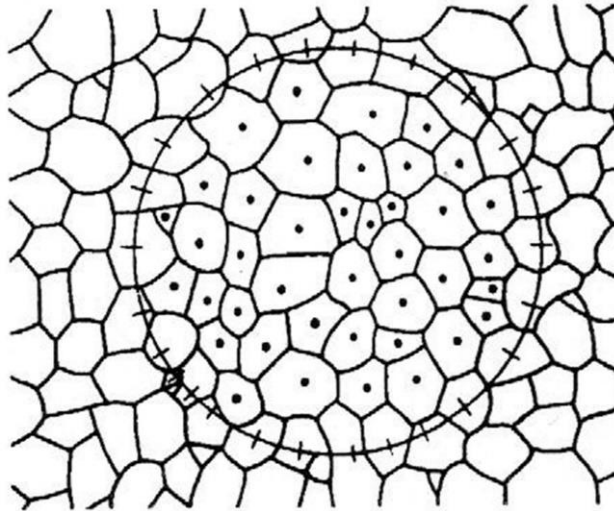
A polikristályos fémek egyes kristallitjait egymástól az érintkező felületek, kristallithatárok (szemcsehatárok) határolják el. Mivel a polírozott felület síkja az egyes kristallitokat (szemcséket) középen, másokat pedig a csúcsuk közelében metszi, a metszeten akkor is különböző nagyságú szemcserajzolatokat kapunk, ha az anyag csupa egyforma szemcsékből áll. (Azonos méret esetén természetesen a legnagyobb méretű metszet adná a valódi szemcse méretet.)

A szemcsék méretét a mérés előtt nem ismerjük. A szemcsék mérete az esetek többségében nem azonos. Jellemzésükre általában több kristály méretéből képzett számtani középérték az ún. átlagos kristallitméret a jellemző. A módszer lényege, hogy kellő számú (általában 100 db) kristallitnak a két egymásra merőleges (vagy a legnagyobb és a legkisebb) méretét az okulárlencse osztásértékének egységében megmérjük, majd a mérések eredményeit átlagoljuk. Az átlagolt érték valódi méretét az azonos nagyításban elvégzett hitelesítéssel megállapítjuk. A megállapított méret hosszúság mértékegységű.

b) *Átlagos szemcseméret meghatározása adott területre jutó szemcsék számából*

Ezt a mérést olyan okulárlencsével lehet elvégezni, ahol a lencse belsejében egy kör látható. A méréshez először hitelesítő eszközzel (tárgymikrométer) meg kell mérni a kör átmérőjét és meg kell határozni mm^2 egységben a kör területét.

Ezután meg kell számolni a kör által behatárolt területen elhelyezkedő egész szemcsék számát (8. ábra pontozott szemcséi), majd meg kell határozni a körvonal által metszett szemcsék számának a felét (8. ábra vonalkázott szemcséi). A kör területéből és a két szám összegéből képzett hányados megadja egy szemcse átlagos területét. A területből az átlagos kristallitméret is meghatározható.



8. ábra: A szemcsenagyság meghatározásának egyik (területalapú) módszere.

c) Átlagos szemcseméret meghatározása összehasonlító képsorozattal

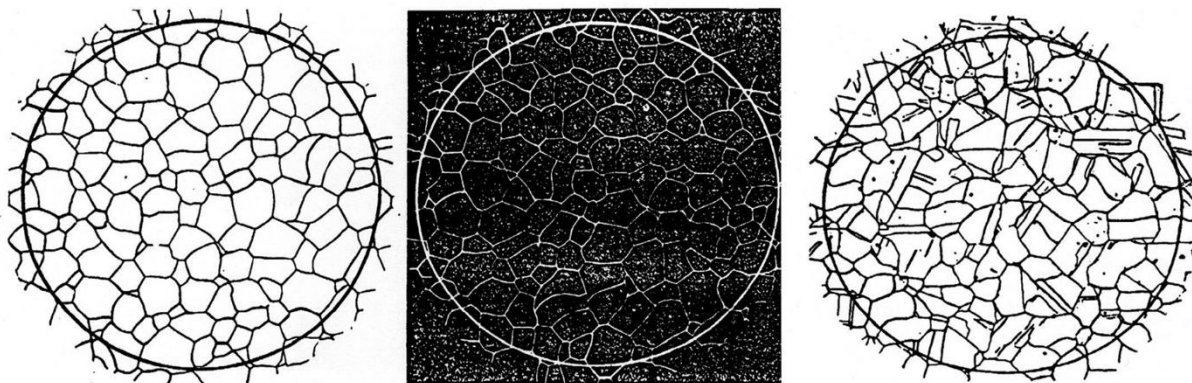
A szemcseméret meghatározásának harmadik módja a próba 100× nagyításban vizsgált képének ismert szemcsenagyságú anyagok szövetképével vagy ún. összehasonlító képsorozattal történő összevetése. Ipari körülmények között a szemcsenagyság meghatározása általában eszerint a módszer szerint történik. Az összehasonlító képsorozatok 100× nagyítással készítve 1-10 fokozatból állnak (9. ábra).

A szemcseméret-fokozat megfelel az egyik összehasonlító képnek, megadása a fokozatszám megjelölésével történik (például az 9. ábránál $G = 5$). Amennyiben a szemcseméret egyik összehasonlító képnek sem felel meg, megjelölése a nagyobb és a kisebb fokozat együttes megadásával történik (pl. $G = 4-5$).

Az összehasonlító képsorozatok úgy vannak összeállítva, hogy az 1 mm²-re eső szemcseszám „ m ” és a szemcsenagyság-fokozatszám „ G ” között az összefüggések az alábbiak:

$$m = 2^{G+3}$$

$$G = \lg(m - 2) - 3$$



Szemcsenagyság (G)	1	3	5	7	9	11
Nagyítás	25	50	100	200	400	800

9. ábra: Összehasonlító képsorozat a $G=5$ szemcsenagyság fokozathoz.

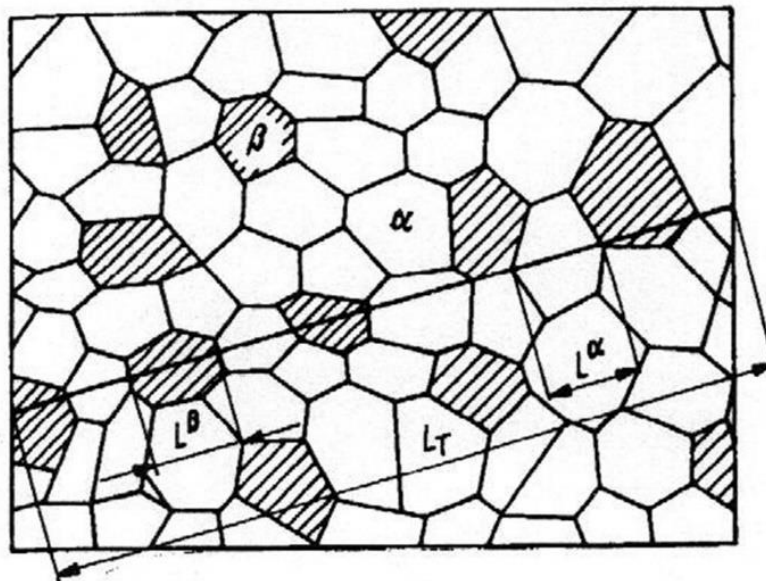
A számított szemcsenagyság fokozatot kis eltérés esetén egészre kerekítve, a középérték közelében mindkét fokozat megjelölésével kell megadni. Durvaszemcsés anyagok (pl. trafólemezek) esetén a „0” vagy negatív előjelű fokozatszám is értelmezhető.

4. Fázis- (szövetelem-) arány mikroszkópos vizsgálata

A szemcseméret meghatározás mellett gyakori feladat a szövetelem-arány meghatározása. A szövetelemek rajzolatának rendelkezésre állása esetén ennek egy lehetséges módja a planimetrálás. Ilyenkor a vizsgált fáziselem (szövetelem) által elfoglalt területet és a vizsgált összterületet a területmérésre alkalmas planiméterrel meghatározzák. A mért fáziselem területeinek összességét (FT) és az egész képterületet (KT) ismerve, a mért fáziselem (szövetelem) és a másik (nem mért) fáziselem (szövetelem) hányadosa az alábbi módon számítható ki:

$$\frac{\text{Mért fáziselem mennyisége}}{\text{másik fáziselem mennyisége}} = \frac{FT}{KT - FT}$$

Mikroszkópi vizsgálatok esetén az egyensúlyhoz közeli állapotú ötvözetekben két fázis (vagy két szövetelem) fázisarány (ill. szövetelem-arány) mérése az ún. Rosiwall-módszer szerint történik (10. ábra).



10. ábra: A fázisarány (szövetelem-arány) mérésének elve.

Az okulárskála alkalmazásával okulár osztással lemérjük, hogy a kiválasztott (pl. a sötétebb árnyalatú) fázisok a teljes skálahosszból (L) összesen hány osztásrészt (FL_i) takarnak le. Természetesen a skálaosztások többi része a másik fázis (szövetelem) által elfoglalt osztások összességéhez ($L-FL_i$) tartozik. Az adott irányban a mért fázisarány értéke: $FL_i/(L-FL_i)$.

Az okulárskála forgatásával elegendően sok helyzetben megismételt méréssel a fázisok arányának átlagértéke is megadható. A fázisok vagy a szövetelemek arányának, kémiai összetételének és sűrűségének ismeretében – homogén és izotróp anyagot feltételezve - a vizsgált anyag kémiai összetétele közelítőleg meghatározható.

A mérlegszabály alkalmazásával a vizsgált minta összetétele az alábbi:

$$c = \frac{G_1}{G} c_1 + \frac{G - G_1}{G} c_2$$

ahol:

G_1 - a mért fázis (szövetelem) tömege;

G - az összes fázis (szövetelem) tömege $G = G_1 + G_2$;

c_1 - a mért fázis (szövetelem) kémiai összetétele;

c_2 - a másik (nem mért) fázis (szövetelem) kémiai összetétele.

A Rosiwall-módszer alapján a vizsgált minta összetétele az alábbi:

$$c = \frac{FL\rho_1}{L\rho}c_1 + \left(1 - \frac{FL}{L}\right)\left(1 - \frac{\rho_1}{\rho}\right)c_2$$

ahol:

FL - a mért fázis (szövetelem) összegzett átlagos hossza az okulár skála osztásértékében;

L - a teljes skála hossza az okulár skála osztásértékében;

ρ_1 - a mért fázis (szövetelem) sűrűsége;

ρ - a vizsgált „c” összetételű próba (ötvözet) sűrűsége;

c_1 - a mért fázis (szövetelem) kémiai összetétele;

c_2 - a másik (nem mért) fázis (szövetelem) kémiai összetétele.

Amennyiben a vizsgált fázis, és a nem vizsgált fázis sűrűsége közel azonos, vagyis:

$$\frac{\rho_1}{\rho} \approx \frac{\rho_2}{\rho} \approx \frac{\rho_1}{\rho_2} \approx 1$$

akkor a fenti összefüggés a mérlegszabályból adódó formulához hasonló alakra egyszerűsödik:

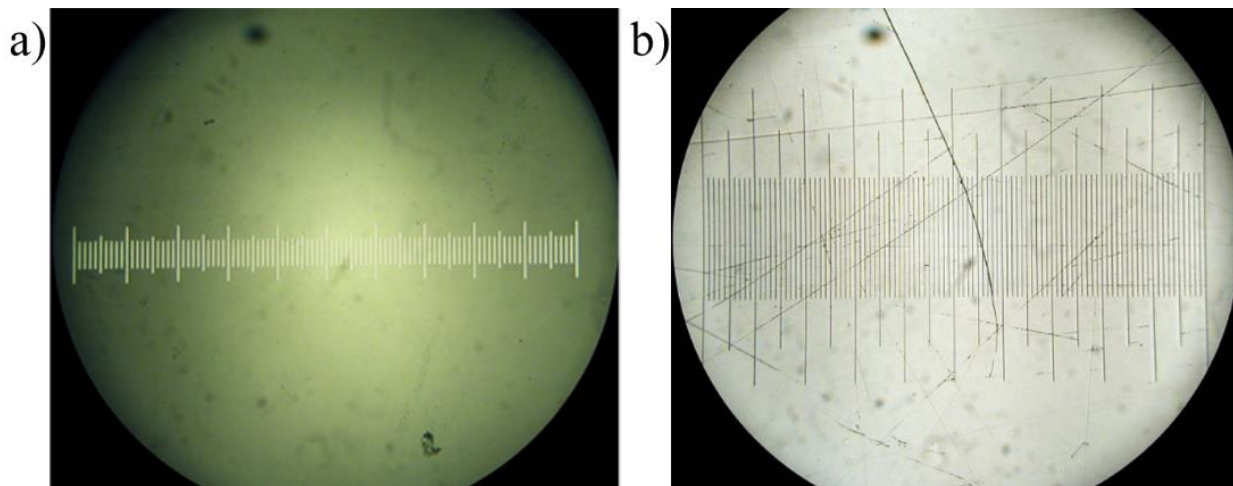
$$c = \frac{FL}{L}c_1 + \left(1 - \frac{FL}{L}\right)c_2$$

amelyben a két fázis összetételén kívül már csak a mért fázis átlagos vonalhosszának és a skála hosszának hányadosa (FL/L) szerepel.

5. Mikroszkópi hitelesítések

Az okulárskála hitelesítésére általában kétféle etalon (más néven: tárgymikrométer, kalibrációs tárgylemez) áll rendelkezésre. Az egyik üveglapra készül és a mikroszkópi megvilágításban fehér skálát szolgáltat (11.a ábra). A képen jól láthatók a 0,01 mm (10 μm) nagyságú egységek mellett az ötszázadonként és a tizedenként elhelyezkedő osztások is. A mérésnél az 0,01 mm osztások között becsült értékek nagyságrendje μm . A szokásos másik megoldásként készülő etalon fém alapon található és a mikroszkópi megvilágításban fekete vonalakkal jelenik meg (11.b ábra).

Mindkét etalon alkalmazásának az a célja, hogy a mikroszkópi vizsgálat során az adott vagy beállított nagyítással vizsgált tárgy méreteiről a vizsgálatot végző személy megfelelő pontos információval rendelkezzen. Az etalonok (tárgymikrométerek) alkalmazásának előnye, hogy bármely mikroszkópon és bármely nagyítás esetén alkalmazhatók, attól függetlenül, hogy az egyes mikroszkópok vizsgáló rendszerei egymástól általában eltérők.



11. ábra: a) A „fehér osztású” üveg tárgymikrométer mikroszkópi képe, b) A „fekete osztású” fém tárgymikrométer mikroszkópi képe.

Az okulárskála hitelesítése azzal kezdődik, hogy az adott nagyításban az okulár lencsébe nézve a tárgyasztal mozgatásával megkeressük a tárgymikrométer képét. Az okulárlencse forgatásával és a tárgyasztal mozgatásával az okulárskála és a tárgymikrométer skálát egymással fedésbe hozzuk. A tárgyasztal mozgatásával az okulárskála egyik szélét a tárgymikrométer legközelebb eső osztásával fedésbe hozzuk, majd leszámoljuk, hogy az okulárskálára az egyik végétől a másik végéig hány tárgymikrométer osztást esik. (Lehetőleg mindig a teljes okulárskála hosszát célszerű vizsgálni, mert a hossz mérés hibája annál kisebb, minél nagyobb a hossz mérés bázistávolsága.)

6. A mikroszkópi gyakorlatokon elvégzendő feladatok

A mérésekhez előkészített csiszolatok állnak rendelkezésre. A vizsgálatokat EPITYP 2 fémmikroszkópon végezzük (12. ábra).

a) A mikroszkóp üzembe helyezése

Feszültség alá helyezzük a mérőhelyeket, majd bekapcsoljuk a fémmikroszkóp világítását az oldalsó kapcsolókkal. Ekkor az objektív és okulárlencse megvilágosodik, ha a fényirány állító forgatógomb a megfelelő szélső állásban van. Ez a forgatógomb az egyik szélső állásában a visszaverődő fény irányát az okulár lencséhez irányítja egy prizma segítségével. A forgatógomb másik szélső állása a fényt a fényképezőgép helyének optikai tengelyéhez vetíti (ilyenkor az okulár lencse látótere sötét).

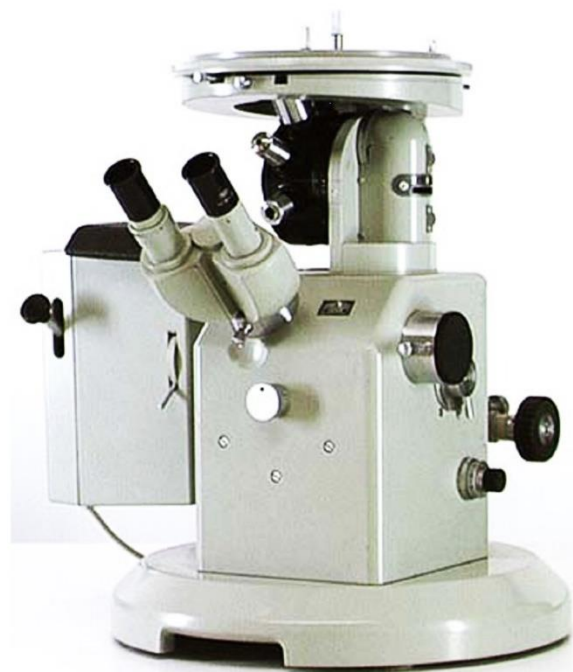
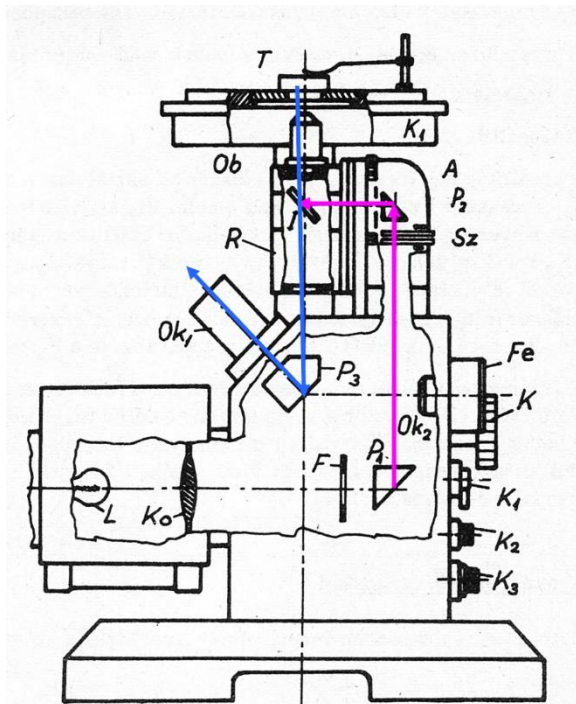
A vizsgálandó próbatest fényesített, vagy fényesített és maratott felületét óvatosan ráhelyezzük a tárgyasztal nyílására úgy, hogy a vizsgálandó felületrész az objektívlencsével szembe kerüljön. FONTOS: a fényesített felülettel a tárgyasztalon lévő porszemekre támaszkodó próbatest tologatása mindenkor a próbatest tükrös felületének megkarcolását eredményezi. A próbatest mozgatása minden esetben úgy történjen, hogy nem magát a próbatestet, hanem a próbatestet tartó tárgyasztalt mozgatjuk.

A vizsgálatok elkezdésekor először a jobb oldalon elhelyezkedő nagyméretű (durva) tárgyasztal-emelő gombbal keressük meg a mikroszkópi kép környezetét. Akkor vagyunk a mikroszkópi kép környezetében, amikor a nagyméretű (durva) tárgyasztal-emelő gomb mozgatásával az okulárlencsében a kép megvilágosodik. A nagyméretű (durva) tárgyasztal-emelő gomb alatt elhelyezkedő kisméretű (finom) emelőgombbal tudjuk a képet élesre állítani. A kép fényerőssége az apertúra fényrekesz állítható tárcsájával változtatható. A képmező szélén elhelyezkedő árnyék eltüntetésére, a mikroszkóptestben hasznosuló

fényterület beállítására és a fényszóródás csökkentésére a látótér határoló fényrekeszt mozgató forgatógomb szolgál.

A szükséges nagyítás objektívváltással, a tárgyasztal alatt elhelyezkedő revolverfej lefelé történő elmozdításával, majd a revolverfej következő pozícióba történő elforgatásával állítható be.

- az objektívek nagyítása: 4×, 10×, 25×
- az okulár nagyítása: 12,5×
- a beállítható nagyítások értéke: 50×, 125×, 312,5×



12. ábra Az EPITYPfémmikroszkóp felépítésének vázlata és fényképe.

b) Az Mg_2Si vegyülettartalom meghatározása (100% összetételű) Mg_2Si vegyület és 13% Mg_2Si vegyülettartalmú eutektikum szövetelemek arányának mérésével

A legnagyobb nagyításban a skála kb. függőleges helyzetében – Rosiwal-módszerrel – a tized osztásokat is megbecsülve megmérjük az okulár skálájára eső vegyülethosszakat. Az összes vegyületre jutó skálahossz összeadásával meghatározzuk a függőleges helyzetre a vegyület és a teljes skálahossz arányát (FL_1/L).

Anélkül, hogy a próbatestet elmozdítanánk és az okulárlencsébe belenézni, elfordítjuk az okulárskálát kétszer $\sim 60^\circ$ -al az óramutató járásával egyező irányba, majd ismét elvégezzük a vegyület és a teljes skála arányának mérését (FL_2/L , illetve FL_3/L).

Kiszámítjuk a 3 mérés számtani közepét, amely az FL/L értéket adja. Ezzel a vegyület és az eutektikum közelítő aránya:

$$\frac{V}{E} = \frac{\frac{FL}{L}}{1 - \frac{FL}{L}}$$

Felírva a mérlegszabályt egy hipereutektikus pontra:

$$V(100 - x) = E(x - 13)$$

amelyet átalakítva:

$$\frac{V}{E} = \frac{x - 13}{100 - x}$$

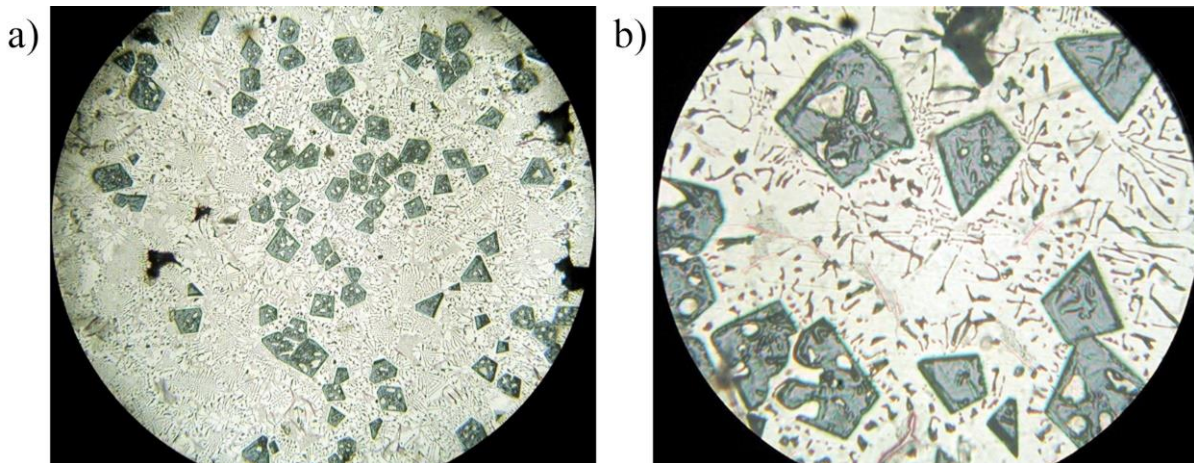
És amelyből a kérdéses összetétel (x , vagyis a Mg_2Si aránya) könnyen kifejezhető (százalékban).

c) Az okulárskála hitelesítése üveg tárgymikrométerrel

Az üveg tárgymikrométert óvatosan a tárgyasztalra helyezzük. A legkisebb nagyítással kezdve a legnagyobb nagyításig - a tárgyasztal mozgatásával – megkeressük, és középre helyezzük a skálát (két darab koncentrikus körben helyezkedik el). Az okulárlencse forgatásával és a tárgyasztal mozgatásával az okulárskála és a tárgymikrométer skálát egymással fedésbe hozzuk. A tárgyasztal mozgatásával az okulárskála egyik szélét a tárgymikrométer legközelebb eső osztásával fedésbe hozzuk, majd leszámoljuk, hogy az okulárskálára az egyik végétől a másik végéig hány tárgymikrométer osztást esik. Lehetőleg mindig a teljes okulárskála hosszú célszerű vizsgálni, mert a hossz mérés hibája annál kisebb, minél nagyobb a hossz mérés bázistávolsága.

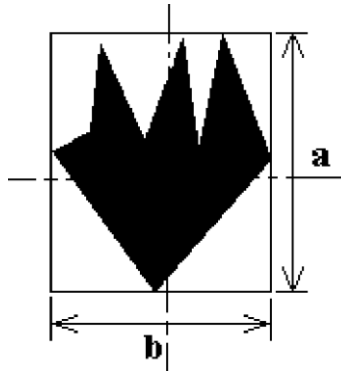
d) Átlagos krisztallitméret meghatározása okulárskálával

Al-Mg₂Si ötvözet esetén: Az Mg_2Si vegyületet tartalmazó próbatestet – a tükrösített felülettel lefelé – óvatosan a mikroszkóp tárgyasztalára helyezzük. A legkisebb nagyításban kiválasztott átlagos területet a tárgyasztal mozgatásával az okulárskála közepére helyezzük. A revolverfejen lévő következő nagyítású objektív függőleges helyzetbe állításával eggyel nagyobb nagyítási fokozatban újra megkeressük a mikroszkópi képre jellemző átlagos területet. A nagyítás a legnagyobb értékig (rendszerint 312,5×) növelése után kiválasztjuk a megmérni kívánt egyedi, átlagosnak tűnő vegyületkrisztallitot. Az 13. ábra két képet mutat be ebben az állapotban. A 13.a ábrán több kisméretű vegyület, a 13.b ábrán kevesebb nagyméretű vegyület található.



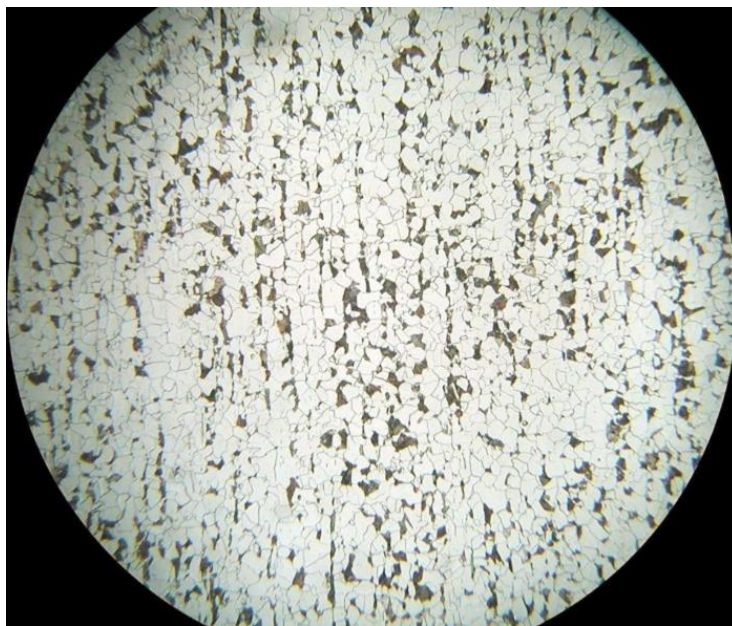
13. ábra: Az „5” sorozat a) és a „6” sorozat b) jellemző képe.

A vegyületkrisztallitot a tárgyasztal mozgatásával középre helyezzük úgy, hogy annak befoglaló méreteit (az 14. ábra „a” és „b” értékei) az okulár skálával mind függőlegesen mind vízszintesen meg tudjuk mérni. A vegyület képét lerajzoljuk, és a befoglaló méreteket okulár osztásértékben megmérve és tizedes osztásértékben megbecsülve megadjuk.



14. ábra: Egy kiválasztott Mg_2Si vegyületkristallit befoglaló méretei (a és b).

Ferrit szemcseméret meghatározása acél próbatesten: Egy szemcseméret méréséhez tartozó mikroszkópi képet az 15. ábra mutat be.



15. ábra: A szemcseméret méréséhez tartozó mikroszkópi kép.

A fényezett és maratott felülettel lefelé óvatosan felhelyezzük a tárgyasztalra az acél próbát. A legnagyobb nagyításban kiválasztunk a szemcseméret méréséhez egy átlagos ferrit kristallitot. Okulár egységben megmérjük (és tizedegységben megbecsüljük) a kristály legnagyobb („ n ”) és legkisebb („ k ”) méretét. Képezzük a két szám számtani közepét.

Más technikaként alkalmazható az is, hogy a szátkereszt közepének vonalába eső kristályok L távolságát (kristályhatártól-kristályhatárig) elosztjuk a két szélső kristályhatár között leszámlolható kristályok számával (n).

Felkészülést segítő kérdések:

- 1) Mi az okulár feladata?
- 2) Mi az objektív feladata?
- 3) Hogyan számítjuk ki egy mikroszkóp össznagyítását?
- 4) Hogyan számítjuk az objektívlencse felbontóképességét?
- 5) Mi a hasznos nagyítás?
- 6) Mitől függ az objektívlencse felbontóképessége?
- 7) Hogyan helyezkedik el a minta és az objektív egymáshoz képest a fémvizsgáló mikroszkópok esetén?
- 8) Hogyan történik a minta megvilágítása a fordított rendszerű (Le Chatelier) mikroszkópban?
- 9) Mi a mélységélesség fogalma?
- 10) Miért tudunk csak sík mintákat vizsgálni fémvizsgáló mikroszkópokkal?
- 11) Ismertesse a metallográfiai mintaelőkészítés főbb lépéseit!
- 12) Hogyan lehet láthatóvá tenni a fázis- és szemcsehatárokat?
- 13) Hogyan hitelesíthetjük az okulárskálát?

Felhasznált és ajánlott irodalom:

Gillemot László: Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat; Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1996.

Verő József – Káldor Mihály: Fémtan; Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.

Douglas B. Murphy: Fundamentals of light microscopy and electronic imaging. Wiley-Liss, Inc, 2001.

(online elérhető: www.biology.uoc.gr/courses/BIOL493/documents/book.pdf)

Optical Microscopy and Specimen Preparation, 2009.

(online elérhető: www.doitpoms.ac.uk/tlplib/optical-microscopy/index.php)