

ÁLTALÁNOS METALLOGRÁFIAI MÓDSZER A KÖBÖS KRISTÁLYOK ORIENTÁCIÓMEGHATÁROZÁSÁRA

PROHÁSZKA JÁNOS*

AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

és

TASSY-BETZ ÉVA**

(Beérkezett 1975. október 2-án)

A szerzők általános módszert dolgoztak ki a köbös kristályok orientációjának a meghatározására, a maratási idomok geometriájának figyelembevételével. Módszerük alkalmas az $\{100\}$ az $\{110\}$ és az $\{111\}$ síkokkal határolt maratási idomok értékelésére. Kimutatták, hogy nagyobb Miller-indexű síkokkal határolt maratási idomok gyakorlatilag alkalmatlanok a kiértékelésre. A módszer magában foglalja mindazokat az eljárásokat, melyeket eddig kidolgoztak, de az általánosítás révén azoknál többet ad, mert a megoldást nem köti speciális feltételek teljesüléséhez. A kidolgozott módszer alapgondolata alkalmas arra is, hogy a feladatot nem köbös, tetszőleges kristályrendszerre is felhasználják.

I. Bevezetés

A modern anyagvizsgálat keresi azokat az új módszereket, amelyek az anyag szerkezetének és szerkezeti változásainak mélyebb értelmezését teszik lehetővé, mint a klasszikus vizsgálatok. A metallográfiai vizsgálatok során gyakran feltűnő maratási idomok alak, gyakoriság és megjelenési helyük szerint – több tapasztalat tanúsítja, hogy – függvényei az anyag szerkezeti felépítésének, ill. állapotának. Ennek az összefüggésnek a tisztázása az anyagvizsgálat számára értékes információkkal szolgálhat.

Kísérleteink során a maratási idomok orientációfüggését tanulmányoztuk. Célunk az volt, hogy a maratási idomok felhasználásával a gyakorlat számára alkalmas, könnyen kivitelezhető és általános orientációmeghatározási módszert dolgozzunk ki.

Már 1926-ban TAMMAN és MÜLLER [1] a maratási idomokra alapozott orientációmeghatározási módszert dolgoztak ki. Optikai úton a maratási idomokat úgynevezett fényábrákká transzformálták, amikből elsősorban az alacsony indexű $\{100\}$ $\{111\}$ $\{110\}$ síkok orientációját azonosították. BARETT [2] a megfelelően maratott felületről visszaverődő fényt használta fel orientációmeghatározásra. LAUCOMBE és BEAUJARD [3] a reflektáló felületet növelték meg azáltal, hogy az egyes idomok nagyságát növelték. Néhány esetben a maratási idomok egyszerű szemrevételezésével is következtek a maratási

* Prof. Dr. Prohászka János 1016 Budapest, Tigris u. 48

** Dr. Tassy-Betz Hidvégi Éva 1118 Budapest, Villányi út 78–80, I. 6

idomhoz tartozó szemese orientációjára. Érdemük, hogy felhívták a figyelmet az egyes idomok értékelésének lehetőségére. HERENGEL [4] olyan módszert javasol, miszerint a kartonpapírra kinagyított, kivágott maratási idomot egy plexiből készült tengelyrendszerben kell elhelyezni úgy, hogy a tengelymetszetek leolvashatóak legyenek. LAUCOMBE és BEAUJARD [5] grafikus módszert dolgoztak ki, amiben a minta maratott felületét tekintették a sztereografikus vetítés síkjának. TUCKER és MURPHY [6] ezt az eljárást továbbfejlesztve, a maratási idom szögeiből határoztak meg orientációt.

A metallográfián alapuló orientációmeghatározás történetét ILLGEN és munkatársai [7] összegezték, azzal a céllal, hogy a metallográfusoknak a gyakorlatban jól alkalmazható, gyors módszert nyújtsanak. Véleményük szerint maratási idomból csak abban az esetben lehetséges orientációt meghatározni, ha a maratási idomot $\{100\}$ síkot támadó marószert hozta létre, minden más esetben az orientációfüggés értékelése nehézségekbe ütközik.

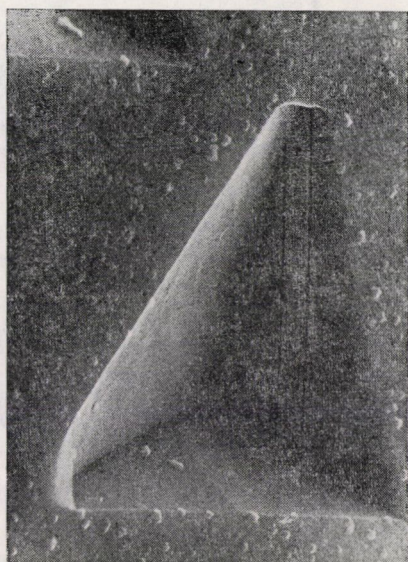
Annak ellenére, hogy metallográfián alapuló orientációmeghatározás lehetősége már régóta foglalkoztatja a kutatókat és az anyagvizsgálat is igényelné ezt a módszert, az eddig javasolt módszerek egyike sem tudott elterjedni a gyakorlatban. Sokkal általánosabb és egyszerűbben kezelhető módszer kidolgozása szükséges.

A feladatot kristálytani oldalról közelítettük meg. A maratási idom és a hozzá tartozó szemese orientációja közötti kapcsolatot a köbös kristályrendszerre általános érvényű formában foglaltuk össze és a számítógép adta lehetőségeket kihasználva 2° -os pontossággal táblázatban rögzítettük.

2. A maratási idomok általános jellemzése

A maratási idomot létrehozó folyamat lényege az, hogy az oldódás során a kisebb szabadenergiájú felületek oldódási sebessége is kisebb. Ennek eredményeként az oldódás során kis szabadenergiájú, rendszerint sűrű illeszkedésű felületek alakulnak ki, melyek kristálytani jellege a további oldódás során már nem változik. Maratási idom képződésekor a csiszolat síkjának kitüntetett nagyobb szabadenergiájú pontjaiban meginduló oldódás az anyagban olyan „gödröket” hoz létre, melyeket meghatározott Miller-indexű síkok határolnak.

Az irodalomban általában az alacsonyindexű síkok meghatározására adnak megoldásokat. Ez nem jelenti azt, hogy kizárt annak a lehetősége, hogy általános $\{hkl\}$ síkrendszerrel képzett maratási idomok is keletkeznek. A probléma ez esetben úgy jelentkezik és teszi a kiértékelést gyakorlatilag lehetetlenné, hogy amíg az alacsonyindexű síkok rendszere kisszámú, az általános indexűeké nagy. Pontosabban szólva az $\{100\}$ síkokból mindössze három, az $\{111\}$ síkokból négy és az $\{110\}$ síkokból hat párhuzamos síkrendszer van.



1. ábra. a) Alumínium $\{4\ 10\ 15\}$ síkról $\{1\ 0\ 0\}$ síkokat felszabadító maratás után készült pásztázó elektronmikroszkópos felvétel. $N : 4350\times$. A felvételt a Fémipari Kutató Intézetben Stefániai Vilmos készítette

b) Al felületén keletkezett maratási idom jól szemlélteti, hogy a felület alatt bonyolult alakú üregek is képződhetnek, de azokat is mindig a marószernek megfelelő hkl síkok határolják. Készült a Balzers cég kutatólaboratóriumában, Metioskop-on

(Mindaz, amit állítunk, csak a köbös rendszerre igaz minden korlátozás nélkül.) Ezzel szemben már pl. az $\{112\}$ síkrendszerből tizenkettő, a $\{123\}$ síkrendszerből pedig huszonnégy létezik. Ennek megfelelően egy ilyen általános síkrendszer képezte maratási idomnak az alakja nagyon változatos lehet, és elvben semmi akadályja annak, hogy ezeket ugyanúgy kiértékeljük, mint az alacsonyindexűeket, de a vele járó fáradság olyan nagy, hogy ezt a többletmunkát nem érdemes vállalni. Azt azonban hangsúlyozni szeretnénk, hogy sem elvi, sem gyakorlati akadályja nincsen annak, hogy egy általános rendszer esetében ne lehetne elfogadható megoldást találni.

Ezekután nyilvánvaló a maratási idomoknak az az értelmezése, miszerint a maratási idomot alkotó oldalegyenesek az oldalsíkoknak és a csiszolat síkjának a metszésvonalai. Szemléltető módon támasztja ezt alá az 1. ábrán bemutatott, maratási idomról készült scanning elektronmikroszkópos felvétel.

A maratási idomok tanulmányozásához tartozó kérdés, hogy a csiszolat síkjának melyek azok a kitüntetett pontjai, ahol a maratási idomok megjelennek? Oldódási aktív hely lehet minden olyan pont, amelynek környezetében a kémiai potenciál nagyobb az átlagos értéknél vagy fordítva, ahol az oldódást megindító aktiválási energia kisebb, mint a spontán oldódási helyhez tartozó aktiválási energia. Tehát egy reális kristályfelületen mindazok a ráctorzulá-

sok, szennyezők, amelyek a helyi szabadenergia növekedést létrehozzák a maratási idomok kialakulásának kitüntetett aktív helyei lehetnek. Általános érvényűen kijelenthetjük, hogy a felület termodinamikai állapota határozza meg a maratási idomok megjelenésének a helyét.

Orientációmeghatározáshoz elsősorban fontos, hogy tökéletes geometriájú, tehát határozott egyenes vonalakkal határolt, kellően nagy maratási idomokat tudjunk értékelni. Ennek érdekében meg kell találnunk azt a speciális marószert, amelyik kitüntetett módon csak az azonos alacsony Miller-indexű síkokból, tehát vagy csak az $\{100\}$, vagy csak az $\{110\}$, illetve $\{111\}$ síkokból képez felületet. Az alkalmas marószert mellett másik követelmény az anyagállapottól, ötvöző és szennyezőtartalomtól függő maratási körülmény beállítása. A maratási idomokat létrehozó metallográfiai eljárást nevezzük szelektív maratásnak. Szelektív oldószert már igen sok színtémre, sőt ötvözetre is ismerünk az irodalomból. Vizsgálataink során alumínium, réz és wolfram felületeken hoztunk létre orientációmeghatározásra is alkalmas maratási idomokat.

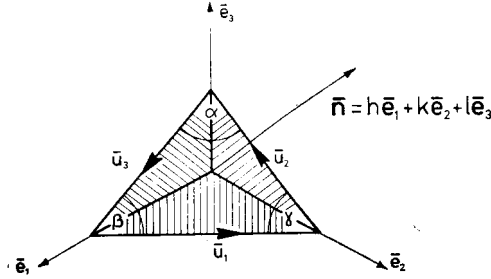
3. A maratási idomok orientációfüggése

Ha a maratási idomokat használjuk fel orientációmeghatározásra, akkor a maratási idomot tartalmazó síkot a szemcséhez kötött tengelyrendszerben definiáljuk. Általános esetben 48 egyenértékű megoldást kaphatunk, ami a köbös kristályrendszerre jellemző három egyenértékű tengely felcseréléséből adódik. Az egyértelműség biztosítására ki kell jelölni a kristálytani tengelyeket, amit kezdetben tetszőlegesen megtehetünk. Munkánkban a tengelyek kijelölésével biztosítottuk, hogy az eredményt mindig abban az egységháromszögben kapjuk, ahol mind a három Miller-index pozitív, és $h > k > l$. Az egységháromszöget megszábozó pólusok pedig: $[001]$ $[011]$ $[111]$.

A maratási idom és a hozzátartozó kristály vagy krisztallit orientációs kapcsolatának feltárásánál a számunkra legmegfelelőbb egységháromszög kijelölése után azt a köbös kristályrendszerre érvényes geometriai kapcsolatot használjuk ki, miszerint az azonos Miller-indexű síkok és irányok merőlegesek egymásra. Mint már szó volt róla, a maratási idom egy-egy oldalegyenese, a szelektív marás során létrejött meghatározott Miller-indexű síknak és a csiszolat síkjának metszészvonala. A vizsgált anyag és a választott maratási technológia összehangolása biztosítja, hogy oldódás során kialakuló „gödör” határoló síkjainak Miller-indexe mint ismert tényező szerepel az orientációs kapcsolat vizsgálatánál. Ezáltal a maratási idom oldalegyenes az ismert marási sík és a keresett sík metszészvonala. Ez érvényes a maratási idom minden oldalegyenesére.

A köbös kristály bármely tetszőleges pontját az

$$\bar{r} = \bar{r}_0 + m\bar{e}_1 + n\bar{e}_2 + p\bar{e}_3$$



2. ábra. Maratási idom orientációfüggésének meghatározását szemléltető vázlat. A példán a csiszolat síkja $\{1\ 0\ 0\}$ síkokat metsz

vektor egyértelműen megszabja, ahol \bar{r}_0 egy rögzített helyvektor, mely pontosan ugyanolyan környezetű pontra mutat, mint a V vektor, ha m , n és p egész számok, e_1 , e_2 , e_3 pedig az elemi cella élével párhuzamos — ebben az esetben egymásra merőleges — egységvektorok. Ezek szerint bármely tetszőleges kristálytani irány a

$$h\bar{e}_1 + k\bar{e}_2 + l\bar{e}_3$$

vektorral megadható. Amint azt korábban említettük, a megadott irány éppen merőleges a $\{h\ k\ l\}$ indexű síkra.

Ezek után a maratási idom oldalait felírhatjuk, mint a metszősíkok normálvektorainak vektoriális szorzatait. A maratási idom egy-egy szöge pedig két ismert vektor hajlásszöge, amit a mikroszkópiai csiszolaton lemérhetünk. A maratási idom értékelésének menetét a 2. ábra alapján mutatjuk be, fel-tételezve, hogy a metszésben részt vevő oldalsíkok $\{100\}$ Miller-indexűek.

A csiszolat $\{h\ k\ l\}$ síkjának normálvektora

$$\bar{n} = h\bar{e}_1 + k\bar{e}_2 + l\bar{e}_3$$

A maratáskor létrejött „gödör” határoló oldalsíkjainak normálvektorai:

$$\bar{s}_1 = \bar{e}_1 + 0\bar{e}_2 + 0\bar{e}_3$$

$$\bar{s}_2 = 0\bar{e}_1 + \bar{e}_2 + 0\bar{e}_3$$

$$\bar{s}_3 = 0\bar{e}_1 + 0\bar{e}_2 + \bar{e}_3$$

A maratási idom oldalvektorai a normálvektorok vektoriális szorzataként kifejezve

$$\bar{r}_1 = \bar{n} \times \bar{s}_1 = \begin{vmatrix} \bar{e}_1 & \bar{e}_2 & \bar{e}_3 \\ h & k & l \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} = \{0\ l\ k\}$$

$$\bar{r}_2 = \bar{n} \times \bar{s}_2 = \begin{vmatrix} \bar{e}_1 & \bar{e}_2 & \bar{e}_3 \\ h & k & l \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} = \{l\ 0\ h\}$$

$$\bar{r}_3 = \bar{n} \times \bar{s}_3 = \begin{vmatrix} \bar{e}_1 & \bar{e}_2 & \bar{e}_3 \\ h & k & l \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \{k \ h \ 0\}$$

$\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3$ vektorokkal a maratási idom bármelyik szöge felírható, mint a két oldal hajlásszögének koszinusza.

$$\cos \alpha = \frac{-\bar{r}_1 \cdot \bar{r}_2}{|\bar{r}_1| \cdot |\bar{r}_2|} = \frac{hk}{\sqrt{l^2 + k^2} \cdot \sqrt{l^2 + h^2}}$$

$$\cos \beta = \frac{-\bar{r}_2 \cdot \bar{r}_3}{|\bar{r}_2| \cdot |\bar{r}_3|} = \frac{lk}{\sqrt{l^2 + h^2} \cdot \sqrt{h^2 + k^2}}$$

$$\cos \gamma = \frac{-\bar{r}_3 \cdot \bar{r}_1}{|\bar{r}_3| \cdot |\bar{r}_1|} = \frac{l \cdot h}{\sqrt{k^2 + h^2} \cdot \sqrt{l^2 + k^2}}$$

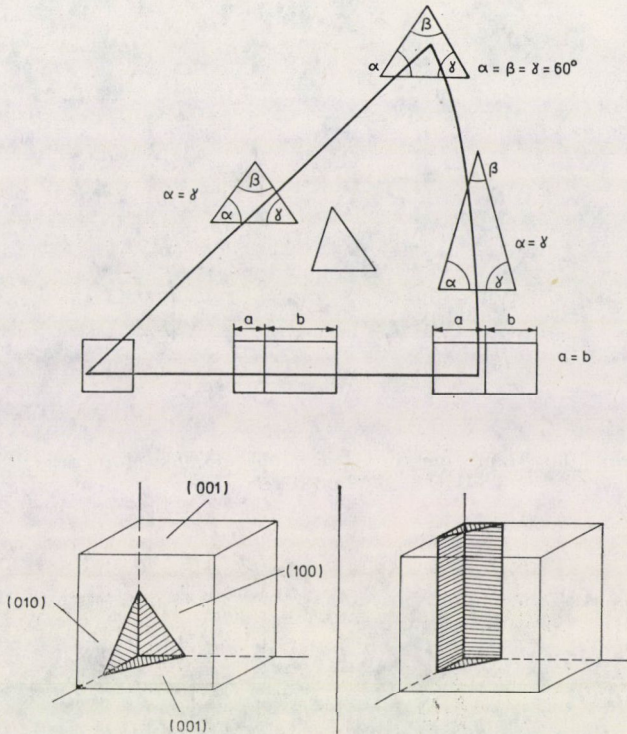
α, β, γ szögeket a metallográfiai csiszolaton lemérve elegendő adat áll reellenkezésünkre ahhoz, hogy a csiszolat síkjának három hkl indexét meghatározzuk.

Ahhoz, hogy a módszert a gyakorlat számára könnyen alkalmazhatóvá tegyük, a maratási idomok orientációfüggésének kiértékelését a számítógépre programoztuk és orientációs táblázatot készítettünk. A sztereografikus pólusábra egységháromszögében 2°-os sűrűséggel felvett merőleges főkörök mentén haladva, a metszéspontokban vettünk fel síkokat és a számítógépes program segítségével meghatároztuk az ezeket a síkokat jellemző maratási idom szögeit.

A maratási idom alapján meghatározott orientáció pontosságát úgy ellenőriztük, hogy az azonos szemcsén talált minden értékelhető — tehát egyenes oldalakkal határolt — idom szögeit lemértük. A vizsgálatot mintegy ötven szemcsénél elvégezve úgy találtuk, hogy a lemért szögek $\pm 1^\circ$ -os szórásával kell számolni. A szögmérésnek ez a hibája nem minden orientációs tartományban érinti egyformán az orientációmeghatározás pontosságát. Ha a maratási idom egy vagy két szöge 90° környezetében van, az 1° mérési hiba $10-15^\circ$ pontatlanságot jelent az orientációmeghatározásban. 90° -tól távolodva a szögmérés hibája egyre kevésbé befolyásolja az orientációmeghatározás pontosságát.

4. Orientációmeghatározás, ha a maratott „gödröt” $\{100\}$ síkok határolják

Elméleti és geometriai megfontolások szerint az $\{100\}$ síkokat felszabadító marószerszű hatására a képződő maratási idomoknak a szemcse orientációjától függően öt alaptípusa lehetséges: négyzet, téglalap, egyenlő oldalú háromszög, egyenlő szárú háromszög és végül általános háromszög. A 3. ábrán feltüntettük az egyes típusok tartományát a sztereografikus egységháromszögben.



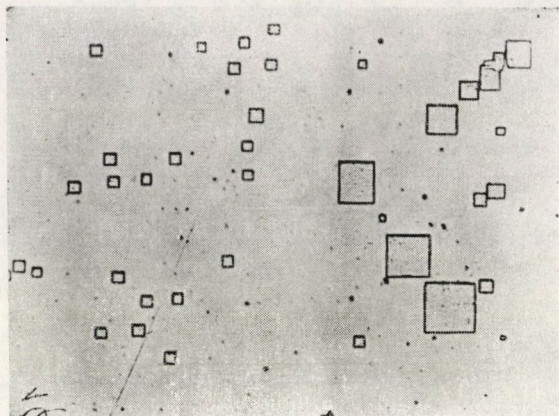
3. ábra. a) $\{100\}$ síkokkal határolt maratási idomoknak a stereografikus egységháromszög egyes tartományaira jellemző típusai; b) $\{100\}$ síkokkal határolt maratási idomok kialakulását és típusait szemléltető vázlat

Az ábra alapján a szemcse durva orientálása egyszerű szemrevételezéssel is elvégezhető. A kvantitatív orientációmeghatározáshoz külön kell választani a négyszög és a háromszög geometriájú idomok értékelését.

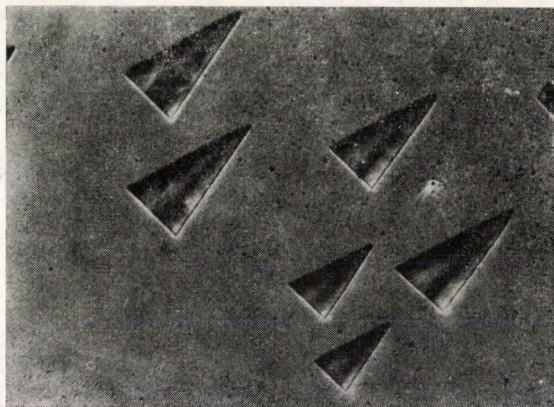
Ha a vizsgált szemcse orientációja olyan, hogy két $[100]$ irány a csiszolat síkjában fekszik, négyszög alakú maratási idomot kapunk, amiben belső osztó él sem figyelhető meg. Ebben az esetben számítás nélkül is megállapítható, hogy a csiszolat síkjának orientációja a szemcséhez kötött tengelyrendszerben $\{001\}$ (4. ábra).

Ha a csiszolat síkja csak egy $[100]$ irányt tartalmaz, a maratási idom téglalap alakú, amit egy belső él — ami két hexaéder oldal metszéspontjának vetülete a csiszolat síkjában — kettéoszt. Ebben az esetben ennek az élnek az oldalakhoz viszonyított helyzetéből határozzuk meg az orientációt. A gyakorlat számára táblázat áll rendelkezésre az orientációmeghatározáshoz, de meghatározható az orientáció a megadott egyenletek segítségével is.

Amikor a csiszolat síkja $\{111\}$ orientációjú, a maratási idom egyenlő oldalú háromszög. Számításra ebben az esetben sincsen szükség.



4. ábra. Alumínium $\{100\}$ síkján megfigyelt maratási idomok. Marórszer: $\text{HNO}_3 : \text{HCl} : \text{Hl} : \text{H}_2\text{O} = 3 : 9 : 3 : 5$. N: $500\times$



5. ábra. Alumínium $\{4\ 10\ 15\}$ síkján megfigyelt maratási idomok, N: $500\times$

Általános esetben (5. ábra) a maratási idom alakja háromszög. Ilyenkor az orientációmeghatározást a megadott egyenletekkel vagy a rendelkezésre álló táblázatok segítségével lehet elvégezni. A táblázatból ki kell keresni a csiszolaton mért összetartozó szög-kombinációt és le kell olvasni a hozzá tartozó Miller-indexekkel jellemzett síkorientációt.

A maratási idom technikával meghatározott orientációt összehasonlítottuk Laue röntgendiffrakciós orientációmeghatározással. A maratási idom szögei az alapul választott egység háromszögnek megfelelő sorrendben: 27° , 72° , 81° (5. ábra). Az összehasonlítás eredményét az 1. táblázat tartalmazza.

Meghatározás módjra	h	k	l	l/k	k/h
Táblázatból	4	10	15	1,5	2,5
LAUE	3561	7194	10 000	1,4	2,0

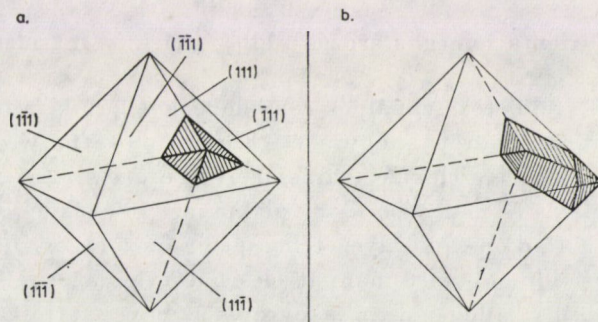
A különböző módon meghatározott orientáció 001—011 irányban 2° és 011—111 irányban $2^\circ 30'$ eltérést mutat, ami mindkét módszer hibalehetőségét figyelembe véve kielégítő.

5. Orientációmeghatározás, ha a maratott „gödrot” $\{111\}$ síkok határolják

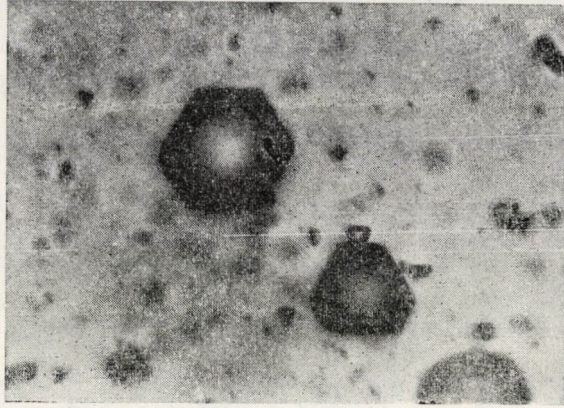
Ebben az esetben a maratási idom az esetek túlnyomó többségében egy szabályos oktaéder olyan térfogata, amit a metallográfiai csiszolat metszett el. Ilyen lehetőségeket mutat a 6. ábra. A maratási idomokat elmetsző felületdarab általános esetben egy szabálytalan négyszög. Különleges helyzetű kristallitok esetében ez szabályossá is válhat. Hatszög alakú a maratási idom-metszet abban az esetben, ha a csiszolat síkja tartalmaz egy $[110]$ irányt. Ha pedig az orientáció éppen 111, akkor a maratási idom rendszerint hatszög, még hozzá szabályos hatszög. Ebben az esetben természetesebb lenne a szabályos háromszög, de a marószerszám negatív felületeket is képez és ennek eredménye a két egymásra szuperponált szabályos háromszögből kialakult hatszög (7. ábra).

A maratási idom oldalélei a csiszolat síkjának az $\{111\}$ $\{\bar{1}\bar{1}\bar{1}\}$ és $\{111\}$ síkokkal alkotott metszévonalai. Az oldaléleket két-két metszősíkhöz tartozó normálvektor vektorszorzataként kifejezve

$$\begin{aligned}\bar{r}_1 &= (k - l)\bar{e}_1 - (h - l)\bar{e}_2 + (h - k)\bar{e}_3 \\ \bar{r}_2 &= (k - l)\bar{e}_1 - (h + l)\bar{e}_2 + (h + k)\bar{e}_3 \\ \bar{r}_3 &= (k + l)\bar{e}_1 - (h + l)\bar{e}_2 + (-h + k)\bar{e}_3 \\ \bar{r}_4 &= (k + l)\bar{e}_1 - (h - l)\bar{e}_2 + (-h - k)\bar{e}_3\end{aligned}$$



6. ábra. $\{111\}$ síkokkal határolt maratási idomok kialakulását és típusait szemléltető vázlat



7. ábra. Réz {111} felületen megfigyelet maratási idomok. Marószer: telített $K_2CrO_7 : H_2SO_4 = 10 : 1$, N: $500\times$

Ha a maratási idom szögeit oldalvektorok segítségével felírjuk, az alábbi egyenletrendszerhez jutunk:

$$\cos \alpha = \frac{-(h^2 - kl)}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2 - hk - hl - kl} \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + l^2 + hk + hl - kl}}$$

$$\cos \beta = \frac{-(k^2 + hl)}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2 + hk + hl - kl} \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + l^2 - hk + hl + kl}}$$

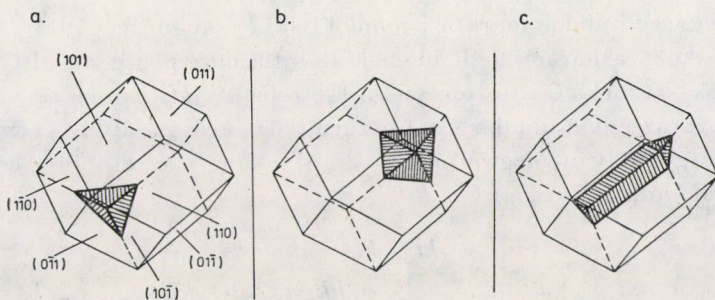
$$\cos \gamma = \frac{-(h^2 + kl)}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2 + hk - hl + kl} \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + l^2 - hk + hl + kl}}$$

$$\cos \delta = \frac{-(k^2 - hl)}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2 + hk - hl + kl} \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + l^2 - hk - hl - kl}}$$

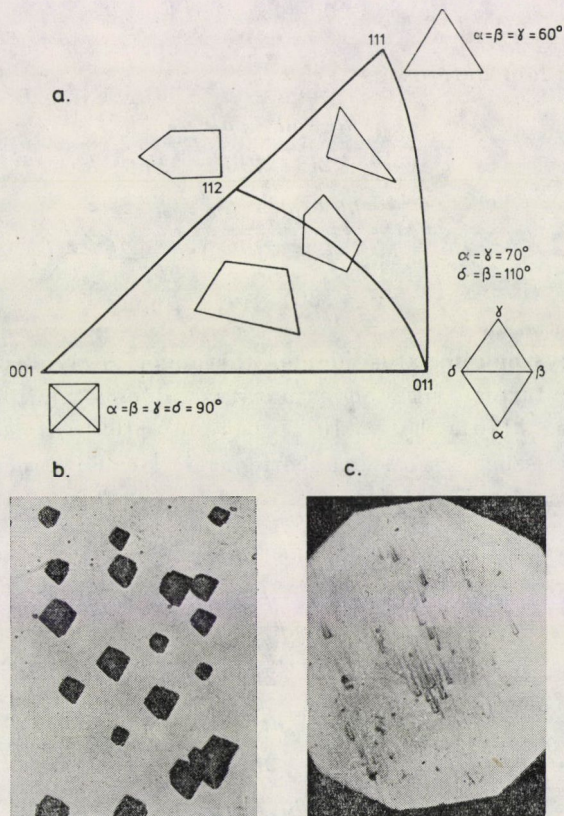
Az egyenletrendszer megoldása alapján orientációs táblázatot készítettünk, amiből a szögekombinációkhoz tartozó sík orientációja leolvasható.

6. Orientációmeghatározás {110} szelektív maratás után

Az {110} felületek szabályos rombdodeakaedert képeznek. Ez az idom alkotja a maratási gödröt, ahogy azt a 8. ábra mutatja. Geometriai megfontolás szerint az {110} szelektív marással nyerhető maratási idomok két alap típusra oszlanak. A maratási idom alakja az 100 síkon és környezetében négyszög, az 111 síkon és környezetében pedig háromszög. A négy- és háromszögű maratási idomok tartományát éles határvonal, az 111 zóna választja ketté. Az alacsony Miller-indexű síkokra és az egyes tartományokra jellemző maratási idomalakokat a 9. ábrán mutatjuk be.



8. ábra. $\{110\}$ síkokkal határolt maratási idomok kialakulását és típusait szemléltető vázlat



9. ábra. a) $\{110\}$ síkokkal határolt maratási idomoknak a stereografikus egységsháromszög egyes tartományaira jellemző típusai; b) Wolfram $\{1\ 5\ 36\}$ síkján megfigyelt maratási idomok. Marószér: 15% telített $K_3Fe(CN)_6$ + 5% telített NaOH + 80% H_2O , N: 500×
c) Wolfram $\{10\ 15\ 18\}$ síkján megfigyelt maratási idomok, N: 500×

A négyszög alakú maratási idom kialakításában az $\{101\}$ $\{110\}$ $\{110\}$ és $\{101\}$ síkok, a háromszögű idom kialakításához pedig az $\{101\}$ $\{011\}$ és $\{110\}$ síkok vesznek részt és metszik a csiszolat síkját. Ennek figyelembevételével a maratási idom oldalai által bezárt szögekre az alábbi egyenletrendszer írható fel ugyanolyan megfontolások alapján, mint az előbbi esetekben. Ha a maratási idom négyszög:

$$\begin{aligned}\cos \alpha &= \frac{kl + hl + kh - k^2 - h^2}{\sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 - 2hk} \cdot \sqrt{2h^2 + k^2 + l^2 - 2kl}} , \\ \cos \beta &= \frac{kl - hl - hk - k^2 - h^2}{\sqrt{2h^2 + k^2 + l^2 - 2kl} \cdot \sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 - 2hl}} , \\ \cos \gamma &= \frac{-kl - hl + hk - k^2 - h^2}{\sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 - 2hl} \cdot \sqrt{2h^2 + k^2 + l^2 + 2kl}} . \\ \delta &= 360 - (\alpha + \beta + \gamma)\end{aligned}$$

Ha a maratási idom háromszög:

$$\begin{aligned}\cos \alpha &= \frac{kl + hl + hk - h^2 - l^2}{+\sqrt{h^2 + k^2 + 2l^2 - 2hk} \cdot \sqrt{2h^2 + k^2 + l^2 - 2kl}} , \\ \cos \beta &= \frac{kl + hl + hk - h^2 - k^2}{\sqrt{2h^2 + k^2 + l^2 - 2kl} \cdot \sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 - 2hl}} . \\ \gamma &= 180 - (\alpha + \beta)\end{aligned}$$

A három- és négyszögű maratási idomok tartományát elválasztó határvonalában az III zónához tartozó síkokon a maratási idomok alakja ötszög, aminek kialakításához az $\{110\}$ $\{101\}$ $\{101\}$ $\{011\}$ és $\{100\}$ síkok járulnak hozzá. A maratási idom szögei és a szemcseorientáció közötti kapcsolat leírására az alábbi egyenletrendszer szolgál:

$$\begin{aligned}\cos \alpha &= \frac{kl + hl + kh - h^2 - l^2}{\sqrt{h^2 + k^2 + 2l^2 - 2kh} \cdot \sqrt{2h^2 + k^2 + l^2 - 2kl}} , \\ \cos \beta &= \frac{kl + hl + kh - h^2 - k^2}{\sqrt{2h^2 + k^2 + l^2 - 2kl} \cdot \sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 - 2hl}} , \\ \cos \gamma &= \frac{-kl + hl - kh - k^2 - l^2}{\sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 - 2hl} \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + 2l^2 + 2kh}} , \\ \cos \delta &= \frac{kl - hl - hk - l^2 - k^2}{\sqrt{h^2 + k^2 + 2l^2 + 2hk} \cdot \sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 + 2hl}} , \\ \cos \varepsilon &= \frac{-kl - hl + kh - l^2 - k^2}{\sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 + 2hl} \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + 2l^2 - 2kh}} .\end{aligned}$$

Mindhárom egyenletrendszer alapján elkészítettük az orientációs táblázatot, amik lehetővé teszik a gyors orientálást.

Összefoglalás

Módszert ismertettünk, amelynek alkalmazásával metallográfiai úton határozhatunk meg kristályorientációt.

Egy ilyen módszer iránti igényre utal, hogy a megvalósításra már számos javaslat született. A törekvések ellenére mind ez ideig a javasolt eljárások egyikét sem vette át a gyakorlat. Ennek okait elemezve jutottunk arra a következtetésre, hogy a következő alap-problémákat kell megoldanunk:

1. A maratási idomok és krisztallográfiai orientáció kapcsolatát a köbös kristályrendszerbe tartozó minden fémre érvényes formában kell megfogalmazni.

2. Meg kell vizsgálni az értékelésre alkalmas, tökéletes geometriájú maratási idomok létrehozásának lehetőségét.

3. A gyakorlati felhasználás céljára könnyen kezelhető módszert kell adni, ami kiküszöböli, hogy az orientációmeghatározás bonyolult kiértékelő munkával járjon.

A követelmények kielégítésére a maratási idomok keletkezési körülményeit figyelembe vevő matematikai kapcsolatot határoztunk meg az idomok szögei és az idomhoz tartozó szemcse orientációja között. A gyors és egyszerű orientációmeghatározás érdekében könnyen kezelhető orientációs táblázatot állítottunk fel. Véleményünk szerint lehetősége van annak, hogy a javasolt metallográfiai orientációmeghatározási módszer az anyagvizsgálat új segéd-eszközévé váljon.

Szeretnénk kihangsúlyozni, hogy a metallográfiai orientációmeghatározást nem a röntgendiffrakciós orientációmeghatározás pótlására, hanem kiegészítésére javasoljuk. Célszerűen alkalmazhatjuk a metallográfiai orientációmeghatározást pl. olyan esetben, amikor a szemcseméret a röntgendiffrakció számára túl kicsi vagy a szemcse nehezen hozzáférhető. Értékes információt nyerhetünk több szomszédos szemcse egyidejű megfigyelésével, ami más módon nehézkesen vagy egyáltalában nem valósítható meg.

Végül megjegyezzük, hogy a leírt módszer általánosságát mi sem bizonyítja jobban, minthogy ugyanennek a megfontolásnak a segítségével kidolgoztuk valamennyi kristályrendszerre az orientációmeghatározás módját a maratási idomok alapján. A hexagonális rendszerre vonatkozó megoldást már publikáltuk.

Köszönetnyilvánítás

Szerzők ezúton is szeretnének köszönetet mondani BENKŐ Hannának a metallográfiai munkában nyújtott segítségért. Köszönet illeti STEFÁNIAI Vilmost is, aki a scanning elektronmikroszkópos felvételt rendelkezésünkre bocsátotta, valamint a *Balzars* cég kutató laboratóriumát, ahol az 1.b ábrát készítették részünkre.

IRODALOM

1. TAMMAN, G.—MÜLLER, A.: *Z. Metallkunde* **18** (1926)
2. BARRETT, C.: *Structure of Metals*. New York, Mc. Grow-Hill 1943
3. LAUCOMBE, P.—BEAUJARD, L.: *J. Inst. Met.* **8** (1952—53)
4. HERENGUEL, J.: *Rev. Metall* **45** (1948)
5. LAUCOMBE, P.—BEAUJARD, L.: *J. Inst. Met.* **74** (1948)
6. TUCKER, G. E. G.—MURPHY, P. C.: *J. of the Inst. Met.* **8** (1952)
7. ILLGEN, L. és munkatársai: *Prakt. Met.* (1969), **6**, **7**, **8**

General Metallographical Method for the Determination of the Orientation of Cubic Crystals. — The authors have elaborated a general method for determining the orientation of cubic crystals, taking into account the geometry of the etching patterns. The method is suitable for evaluating the etching shapes limited by the planes {100}, {110} and {111}. The etching shapes limited by planes with higher Miller indices are practically unsuitable for evaluation. The method includes all methods elaborated so far, but due to the generalization it provides more than these, the solution not being subject to special conditions. The basic principle of the method is also suitable to use with other than cubic, arbitrary crystals.

Allgemeines metallographische Methode zur Bestimmung der Orientierung von kubischen Kristallen. — Die Verfasser haben ein allgemeines Verfahren zur Bestimmung der Orientierung von kubischen Kristallen ausgearbeitet, unter Berücksichtigung der Geometrie der Ätzfiguren. Ihr Verfahren eignet sich zur Auswertung der durch die Ebenen {100}, {110} und {111} begrenzten Ätzfiguren. Sie zeigten, daß die durch Ebenen mit höheren Miller-Indizes begrenzten Ätzfiguren für die Auswertung praktisch ungeeignet sind. Die Methode schließt alle bisher ausgearbeiteten Verfahren ein, bietet aber zufolge der Verallgemeinerung mehr, weil die Lösung nicht an die Erfüllung von speziellen Bedingungen geknüpft ist. Der Grundgedanke des ausgearbeiteten Verfahrens ist auch dazu geeignet, dasselbe auf beliebige nicht kubische Kristallsysteme anzuwenden.