



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ANYAGTUDOMÁNY ÉS TECHNOLÓGIA TANSZÉK

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

JUHÁSZ ZSOMBOR

(GÉPÉSZMÉRNÖKI SZAK MSc, 2. FÉLÉV)



**A többtengelyű kovácsolás
mikroszerkezeti hatásainak
vizsgálata**

Konzulensek:

Konzulensek:

Dr. Reé András

címzetes egyetemi docens

Dr. Renkó József Bálint

külső konzulens

Budapest, 2023

NYILATKOZATOK

Elfogadási nyilatkozat

Ezen dolgozat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kara által a Tudományos Diákköri Konferenciára előírt valamennyi tartalmi és formai követelménynek, továbbá a célkitűzésekben megfogalmazottaknak maradéktalanul eleget tesz. Ezen dolgozatot a nyilvános bírálatra és nyilvános előadásra alkalmasnak tartom.

A beadás időpontja: 2023.11.13.

.....

Dr. Reé András

Ezen dolgozat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kara által a Tudományos Diákköri Konferenciára előírt valamennyi tartalmi és formai követelménynek, továbbá a célkitűzésekben megfogalmazottaknak maradéktalanul eleget tesz. Ezen dolgozatot a nyilvános bírálatra és nyilvános előadásra alkalmasnak tartom.

A beadás időpontja: 2023.11.13.

.....

Dr. Renkó József Bálint

Nyilatkozat az önálló munkáról

Alulírott, *Juhász Zsombor* (CTATQD), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2023.11.13.

.....

hallgató

TARTALOMJEGYZÉK

Előszó	v
Jelölések jegyzéke	vi
1. Kivonat	1
1.1. Abstract	2
2. Bevezetés	3
3. Szakirodalmi áttekintés	4
3.1. Rácsrendezetlenségek	4
3.1.1. Nem egydimenziós rácsrendezetlenségek	4
3.1.2. Egydimenziós rácsrendezetlenségek	6
3.1.2.1. Mi a diszlokáció?	6
3.1.2.2. Diszlokációk keletkezése	7
3.1.2.3. Diszlokációk mozgása	8
3.2. Alakváltozás kristályos anyagokban	11
3.2.1. Egykristály alakváltozása	12
3.2.2. Polikristályos anyag képlékeny alakváltozása	13
3.3. Ultrafinomszemcsés és nanoszerkezetű anyagok	15
3.4. Az intenzív képlékenyalakítás	17
3.4.1. Az intenzív képlékenyalakítás néhány eljárása	18
4. Főbb lépések és felépítésük	21
4.1. Vizsgált anyag	21
4.2. Többtengelyű kovácsolás	21
4.2.1. Többtengelyű kovácsszerszám bemutatása (Juhász, 2021) nyomán	21
4.2.2. Fizikai szimuláció	23
4.3. Mintaelőkészítés	23
4.4. Mikroszkópia	24
4.5. Keménységmérés	25
4.5.1. O&P módszer leírása (Oliver, 2003) alapján	25
4.5.2. A keménységmérés menete	26
5. EREDMÉNYEK	27
5.1. Keménységmérés	27

5.1.1. Azonos alakítási lépésben bekövetkező keményedés	27
5.1.2. Alakítási ciklusok előrehaladásával bekövetkező keményedés megfigyelése ...	30
5.2. Mikroszkópia	32
5.2.1. Mintázat vizsgálata	32
5.2.2. Ultrafinomszemcsés szerkezet megjelenése az alakítás hatására	36
6. Eredmények értékelése	38
6.1. Jövőbeli tervek	38
7. Felhasznált források	39
7.1. Irodalomjegyzék	39
7.2. Ábrajegyzék	43
8. Melléklet	45
8.1. A mikrokeménység mérés jegyzőkönyveinek listája	45
8.2. A több tengelyű kovácsszerszám megértését segítő műszaki rajzok	45

ELŐSZÓ

A többtengelyű kovácsolás 2020 óta képezi kutatásaim témáját. Ekkor témavezetőm, Dr. Renkó József Bálint nagyon inspiráló módon beszélt az intenzív képlékeny alakítás ezen ágáról, ezért felkeltette az érdeklődésemet és elkezdtem egy zárt üregű többtengelyű kovácsszerszám tervezését. A tervezéssel 2021-re készültünk el, így szerencsére a gyártás is megvalósult ebben az évben. A szerszám elkészülte óta több tudományos munkám középpontjává is szolgált.

* * *

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni témavezetőimnek, Dr. Reé Andrásnak és Dr. Renkó József Bálintnak a dolgozat írása során nyújtott segítségüket és szakmai meglátásaikat. Köszönöm az Anyagtudomány és Technológia Tanszéknek a kutatásomhoz szükséges laborfelszerelés biztosítását. Köszönöm a Miskolci Egyetem Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézetének, hogy helyszínt és eszközt biztosított a többtengelyű kovácsszerszám működtetéséhez, így kutatásom alapjához. Külön köszönet illeti Korsós Krisztiánt, Szovák Benedeket, Kemény Dávidot és Kukta Ágneszt a mintáim előkészítésében és maratásában nyújtott segítségükért.

A dolgozat a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-2-I-BME-372 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.



Budapest, 2023. 11. 12.

Juhász Zsombor

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

A táblázatban a többször előforduló jelölések magyar nyelvű elnevezése, valamint a fizikai mennyiségek esetén annak mértékegysége található. Az egyes mennyiségek jelölése – ahol lehetséges – megegyezik hazai és a nemzetközi szakirodalomban elfogadott jelölésekkel. A ritkán alkalmazott jelölések magyarázata első előfordulási helyüknél található.

Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
A	felület	m^2
$\frac{a}{b}$	az atomok közötti és atomsíkok közötti távolság hányadosa	1
\bar{b}, \vec{b}	Burgers-vektor	Å
d	szemcseméret	mm
h	az alakított minta hossza, a keménységmérő szűrőszerszámának benyomódása	mm
h_c	a szűrőszerszám mintával való érintkezésének hossza	mm
h_{max}	a szűrőszerszám maximális elmozdulása	mm
H	az alakítatlan mint hossza	mm
k	akadályozási paraméter	1
F	erő	N
G	csúsztató rugalmassági modulus	GPa
P	a keménységmérés során fellépő terhelőerő	N
P_{max}	a keménységmérés során fellépő maximális terhelőerő	mm
r	a Frank-Read-forrás távolsága a szemcse szélétől	Mm
$R_{p0,2}$	egyezményes folyáshatár	MPa
R_m	szakítószilárdság	MPa
S	rugalmas leterhelési merevség	N/m

Görög betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
α	terhelés iránya és a csúszósík normálisa által bezárt szög	rad
β	terhelés iránya és a csúszás iránya által bezárt szög	rad
γ	elfordulás szöge	°
ε	egyenértékű képlékeny alakváltozás	1
ϵ	szúrószerszám geometriájától függő alaktényező	1
φ	logaritmikus alakváltozás	1
φ_{kum}	kumulált logaritmikus alakváltozás	1
ν	Poisson-tényező	1
τ	csúsztatófeszültség	MPa
τ_{min}	minimális csúsztatófeszültség, amely szükséges a képlékeny alakváltozás megkezdéséhez szükséges	MPa
σ_i	a kristályrács diszlokációk mozgásával szembeni ellenállása	MPa
σ_0	alsó folyáshatár	MPa

Rövidítések

Jelölés	Megnevezés, értelmezés
<i>FKK</i>	Felületen középpontos köbös (rácstípus)
<i>ECAP</i>	Equal channel angular pressing – magyarul: könyöksajtolás
<i>HPT</i>	High pressure torsion – magyarul: nagynyomású csavarás
<i>HPTE</i>	High pressure torsion extrusion – magyarul: nagynyomású csavaró extrudálás
<i>HV</i>	Vickers keménység
<i>Max</i>	Maximum
<i>Min</i>	Minimum
<i>MF</i>	multi-axial forging – magyarul: többtengelyű kovácsolás
<i>NS</i>	nanostructured – magyarul: nanoszerkezetű
<i>SPD</i>	severe plastic deformation – magyarul: intenzív képlékeny alakítás
<i>TKK</i>	Térben középpontos köbös (rácstípus)
<i>UFG</i>	ultrafine grained – magyarul: ultrafinomszemcsés

1. KIVONAT

A mérnöki életben kiemelt figyelmet kapnak a nagyszilárdságú fémes anyagok, illetve a szilárdságnövelő eljárások. A szilárdság növelése többféleképpen lehetséges, például a szemcseméret csökkentésével (Hall, 1951) (Petch, 1953). Ezen a vonalon elindulva hamar az egyre nagyobb népszerűségnek örvendő ultrafinomszemcsés és nanoszerkezetű (UFG-Ultrafine grained; NS-Nanostructured) anyagokra találhatunk. Az UFG (és NS) szerkezet létrehozásának több módja ismert. Az egyik ígéretes módszer az intenzív képlékenyalakítás (SPD-Severe plastic deformation). Az SPD során az anyag nagy mértékű képlékeny alakításon esik át, diszlokációsűrűsége drámaian megnő, a kristallitokon belül pedig úgynevezett diszlokációs cellák alakulnak ki. Az anyagban található diszlokációk a kvázi hidrosztatikus feszültségállapot és az alakváltozás hatására erősen torzítják a szemcséket, növelve így a bennük tárolt feszültséget, szilárdságnövekedést idézve elő ezzel. A folyamat lejátszódásakor az azonos előjelű diszlokációk növelik a cellák orientáció-különbségét egészen addig, amíg ezek nagyszögű szemcsehatárokká nem válnak (Valiev, 2000). Az intenzív képlékenyalakítás eljárásai között kiemelt figyelmet érdemel a többtengelyű kovácsolás (MF-Multi-axial forging). Ezzel az eljárással a többihez képest jelentősen nagyobb mérettartományban nyílik lehetőség tömbi anyagok alakítására (Trivedi, 2016). Az esetemben releváns kétutas eljárásváltozat lényege, hogy a munkadarabot két, egymásra merőleges tengely mentén zömítjük.

Immár három éve tartó kutatásom kezdetén kollégáimmal megterveztünk egy zárt szerszáműregű többtengelyű kovácsszerszámot, amely a kétutas eljárásváltozat elvét követi. Ez a szerszám egy $10 \times 10 \times 20$ mm nagyságú próbatest alakítását hivatott elvégezni. Működése ciklusokra osztható. Egy ciklus a szerszám alakítást végző tengelyei mentén egy-egy alakítási lépést jelent (Juhász, 2022¹). Szakdolgozatomban a szerszámmal alakított minták segítségével validáltam az újonnan megalkotott alakítószerszámot, azonban az alakítás hatásának átfogó elemzésére, valamint a mikroszerkezetben bekövetkező változások kiértékelésére eddig nem került sor (Juhász, 2022²). Jelen munkám célja ezért a próbatest középső keresztmetszetének vizsgálata különböző alakítási lépésszámok mellett, ezzel mutatva rá a többtengelyű kovácsolás mikroszerkezetre gyakorolt hatásaira, illetve a szerszám határait, továbbfejlesztésének lehetőségeire.

Kulcsszavak: Többtengelyű kovácsolás, Ultrafinomszemcsés anyagok, Mikroszerkezeti vizsgálat

1.1. Abstract

In the engineering practice, high strength metallic materials, and strengthening procedures are looked upon with great attention. A higher strength can be achieved through different methods, e.g., by decreasing the grain size (Hall, 1951) (Petch, 1953). Hence, the ultrafine grained and nanostructural (UFG and NS) materials come up as a relevant possibility. There are different methods for producing UFG (and NS) materials. One promising option is severe plastic deformation (SPD). During SPD, the microstructure's dislocation density increases rapidly while the so-called dislocation cells are forming. Through the deformation in a quasi-hydrostatic state of stress, the dislocations in the material will deform the grains strongly, ultimately increasing the strength of the material. Through this process the opposing dislocations shall cease, the ones with matching direction will increase the difference of the cells' orientation, up to the point, when new high-angle grain boundaries are formed (Valiev, 2000). One of the leading processes of SPD is multi-axial forging (MF). With this procedure, the range of size for processing bulk materials is significantly higher than any other SPD processes. In some cases, this range can reach up to 100 mm (Trivedi, 2016). In this work, the two-directional method of MF was used, where the deformation occurs along two, perpendicular axes.

Through my studies of this field in the last three years, a new closed-die multi-axial forging tool was designed, which utilizes the dual-axial load method. This tool works with $10 \times 10 \times 20$ mm specimen. Its function can be described by cycles. One cycle means the forming along both of the forming-axes one time (Juhász, 2022¹). In my Bachelors thesis, I have stated a characteristic hardness- and grain structure on the 10×10 mm cross section of the examined specimen (Juhász, 2022²). In this thesis my goal is to create characteristics for the 10×20 mm cross section with a similar method. This could help in understanding the microstructural effects of multi-axial forging, and also could show the limits, and the possibilities of development of the tool.

Keywords: *multi-axial forging, ultrafine grained materials, microstructural analysis*

2. BEVEZETÉS

Korábbi vizsgálatok már irányultak a többtengelyű kovácsolás hatásaira, ekkor a kutatáshoz egy Gleeble 3800 termofizikai szimulátort használtak. Ezek a mérések egy működőképes anyagmodell felírásában segédkeztek (Bereczki, 2015). A vizsgálatok során használt próbatest geometriájából adódóan anyagáramlás jelentkezett a befogószárak irányában. Ez az alakítható térfogat folyamatos csökkenéséhez vezetett, mely egy 19 lépéses alakítás során majdnem 30%-os veszteséget jelentett. (Renkó, 2018)

Az anyagáramlás megelőzésére szükségessé vált egy új szerszám tervezése és gyártása. Fontos volt a megvalósítás során, hogy a szerszám zárt szerszámüreggel rendelkezzen, az alakított térfogat pedig állandó legyen, ezáltal az is kiemelt szerepet kapott, hogy a bélyegek rögzíthetők legyenek. (Juhász, 2021) (Juhász, 2022¹)

A szerszám elkészültével az első mérések is megvalósultak. Az itt többtengelyűen kovácsolt próbatestek 10 × 10 mm-es keresztmetszetein később mikrokeménység mérés, illetve mikroszkópos vizsgálatok kerültek végrehajtásra. Ez összesen 16 darab minta vizsgálatát jelentette. A próbatest darabolásával a minták a próbatestet negyedekre osztva, a próbatest közepéből, első negyedéből és a szerszámmal érintkező végéből kerültek ki. A vizsgálatok során megfigyelhető volt, hogy a keménység jellemzően a próbatest közepéről és az első negyedből származó minták közepén egy sávban jóval nagyobb, mint a minta többi részén. A nagyobb keménységű rész –nem meglepő módon– az alakítási lépések számának növelésével szélesedett. A mikroszkópos vizsgálatok a keménységmérés eredményeit alátámasztották, a mikroszkópos képeken jól el lehetett különíteni egy finomabb szemcsés sávot a minták szélén található durvaszemcsés résztől. Ezáltal a mintákat három részre lehetett osztani. A középső sáv a finomszemcsés tartomány, a minta szélé a durvaszemcsés tartomány, a kettő közötti elmosódott rész pedig az átmeneti tartomány nevet kapta. (Juhász, 2022²)

Munkám céljaul az újonnan alakított próbatestek 10 × 20 mm-es keresztmetszeteinek mikroszerkezeti vizsgálatát tűztem ki.

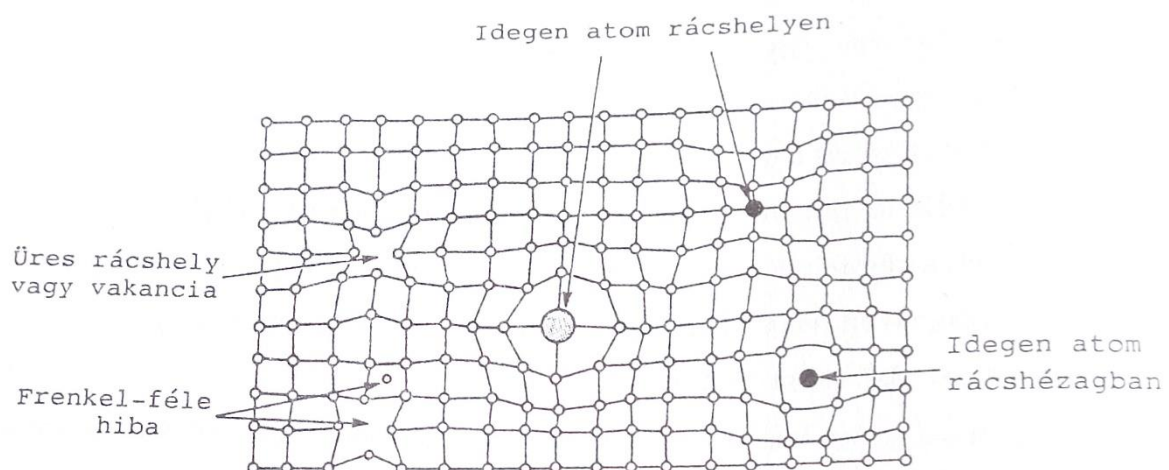
3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Rácsrendezetlenségek

A reális kristályrács az ideálshoz hasonlóan elemi cellák végtelen sokaságából áll össze, azonban attól jelentősen eltérően hibákat tartalmaz. Ezen hibákat kiterjedésüket figyelembe véve szokás csoportosítani. Így létezik nulla-, egy-, kettő- és háromdimenziós rácshiba. Ezek a hibátlanságtól való eltérést okozó hibák a fémek mechanikai és fizikai tulajdonságait nagymértékben befolyásolják. (Gillemot, 1967)

3.1.1. Nem egydimenziós rácscsoporthibák

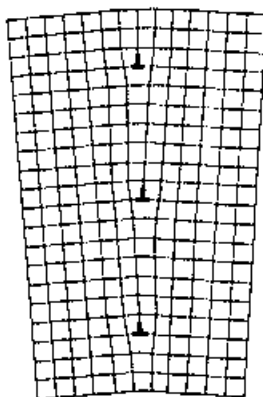
A nulldimenziós (pontszerű) rácshibák esetén a kristályrácsból hiányzó (vakancia), vagy a rács rendezett atomjai közé (intersztíciós atom), vagy azok helyére (szubsztitúciós atom) beékelődött atomról beszélünk. Amikor a kristályrács egy atomjának energiája eléri egy bizonyos értéket (ez fémeknél 1-2 eV), az kiugrik a rácsból és beékelődik a környező rácspontok közé, ezáltal keletkezik egy vakancia és egy intersztíciós hiba (Guy, 1978). Ezt a jelenséget Frenkel-mechanizmusnak, az így kialakult vakancia-intersztíció párokat pedig Frenkel-hibapároknak nevezzük. Intersztíciósan az alapanyaggal megegyező, illetve idegen anyagú atomok is be tudnak ágyazódni a kristályrácsba. Szubsztitúciós atomok esetén azonban csak idegen anyagú atomokról beszélhetünk. A beágyazódás okozta torzulás mindkét típusnál a beágyazódott atom méretétől függ. (Tóth, 2003)



3.1.1. ábra. A nulldimenziós rácshibák.

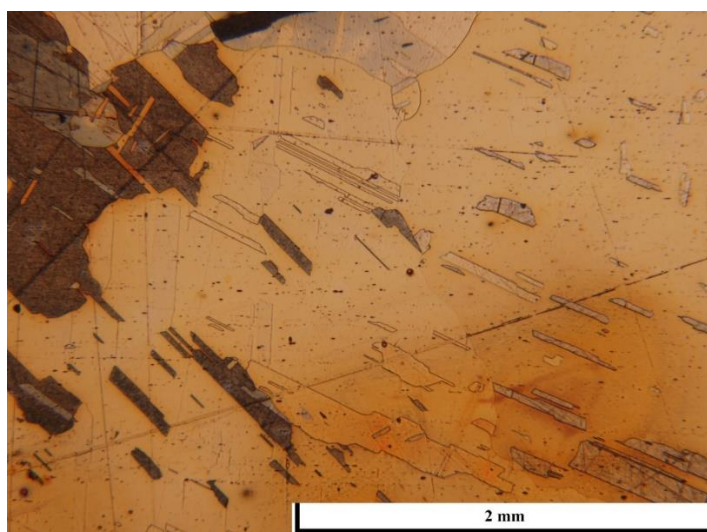
A két irányban jelentős kiterjedéssel bíró kristályhibákat kétdimenziós, vagy felületi hibáknak nevezzük. Két fajtája ismert, ezek a szemcsehatármenti hibák és a rétegződési hibák.

Folyékony halmazállapotú fém megszilárdulása során a kristályosodás kristálymagokból kiindulva történik. Annak az esélye, hogy két kristálymagból kiinduló kristallit orientációja megegyezzen, rendkívül kicsi, ezért összeérésükkor szemcsehatárok alakulnak ki. Ezek a határok az elválasztott szemcsék orientációkülönbségétől függően lehetnek kis-, vagy nagyszögű szemcsehatárok. 1-5°-os különbség esetén szubszemcsehatárokról, röviden szubhatárról beszélünk (3.1.2. ábra). Ezek a diszlokációk egymás fölé rendeződésével alakulnak ki, jellemzően megújulás során, vagy képlékeny alakítás hatására (Bárczy, 1998).



3.1.2. ábra. Az egymás fölé rendeződött diszlokációk szubszemcsehatárt alkotnak.

A rétegződési hibákra példa az ikerhatár. Az ilyen hibáknál a kristályban jelentkezik egy olyan tartomány, melyben az atomsíkokat a szemcsehatárra tükrözve a tartomány szomszédos szemcséjének síkjait kapjuk. Mikroszkóppal készült képet figyelve az ilyen határokat könnyű észrevenni. Olyan tartományokat kell keresni, melyeknek két, egymással párhuzamos határa van. Jellemzően képlékeny alakítás, vagy az alakítást követő újrakristályosítás hatására alakulnak ki (Tóth, 2003).



3.1.3. ábra. Ikerhatárokkal teli réz kristallitok.

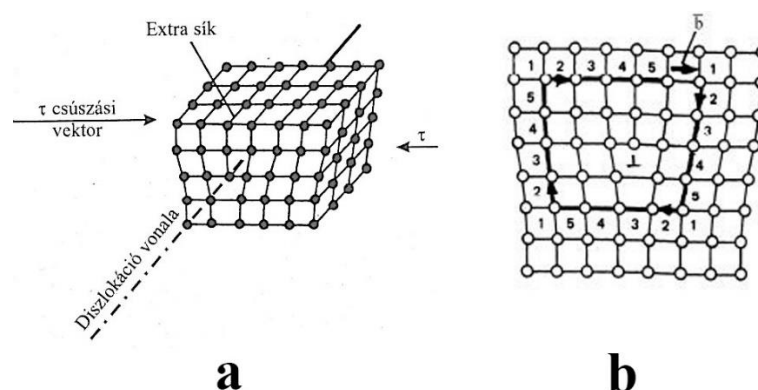
Térbeli (vagy háromdimenziós) rácshibák alatt a kristályrác folytonosságának olyan megszakadását értjük, melynek kiterjedése a tér minden irányába számottevő. Az acélgártás során sok gáz oldódik be az acélba (leggyakoribb: nitrogén, hidrogén, oxigén). Mivel nagy hőmérsékleten ezen gázok sokkal jobban oldódnak, mint dermedés után, a dermedést követően ezek kiválnak és eltávoznak az acélból, egészen addig, amíg a szabad áramlásuk útját kristályszerkezet nem állja. Ekkor ugyanis beragadnak és gázhólyagként az anyagban maradnak. További példa a háromdimenziós hibákra a zárványok, illetve a mikrorepedések. (Artinger, 1971)

3.1.2. Egydimenziós rácsrendezetlenségek

A képlékeny alakváltozás mértéke és megvalósulása szoros összeköttetésben áll a kristályrác egydimenziós, vagy vonalmenti hibáinak jelenlétével és a rájuk ható feszültségre adott reakciójával. Ezeket a hibákat diszlokációknak nevezzük. (Courtney, 1990)

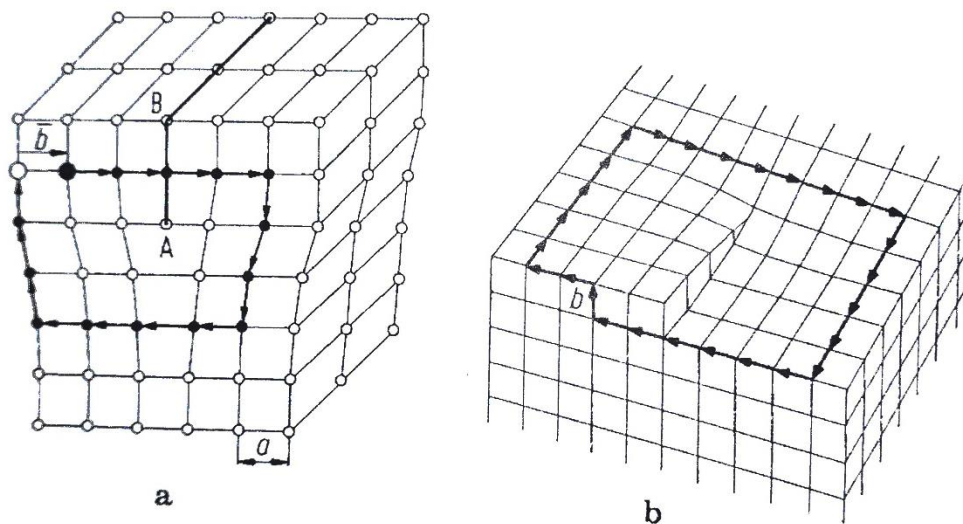
3.1.2.1. Mi a diszlokáció?

Ha veszünk egy tökéletes rácsot, majd a rács atomjai közé beszúrunk egy félsíkot, azt láthatjuk, hogy a félsík utolsó atomjáig sűrűbb lesz a rács, alatta viszont tágabb (3.1.4. a ábra) (Pék, 2000). A rácsot az extrafélsíkra merőlegesen elmetszve kapott képen a félsík határát egy L jellel szokás jelölni, és diszlokációs vonalnak nevezik. A diszlokációk egy fontos tulajdonsága a Burgers-vektor. Ez a vektor az atomrác torzulásának mértékét mutatja és a diszlokáció az előbb említett metszetben történő körüljárásával kapható meg. Ehhez a diszlokációtól tetszőleges számú rácspontnyit elmozdulva elindulunk lefele szintén tetszőleges számú –például öt– rácspontnyit, majd ugyanígy balra, felfele, végül pedig jobbra. Az utolsó és az első pont között húzható vektor a Burgers-vektor (3.1.4. b ábra). (Ashby, 2005)



3.1.4. ábra. Diszlokáció (a) és Burgers-vektor (b).

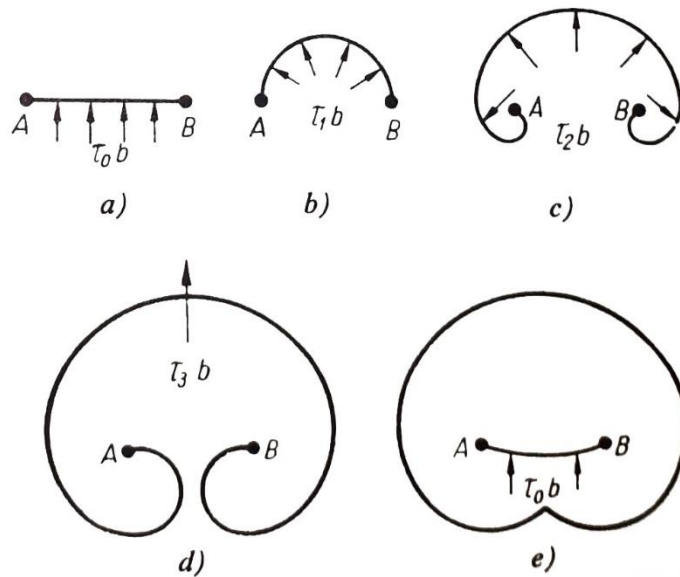
A diszlokációknak két típusa ismert, az él- és csavardiszlokációk (illetve ezek kombinációi). Az éldiszlokáció a korábban vázolt félsíkkal torzított rács, melyben a diszlokációs vonal a félsík határa (3.1.5. a ábra). A diszlokációk mozgásának szempontjából lényeges, hogy a félsík a diszlokációs vonal alatt, vagy felett található. Előbbi esetben a diszlokációt negatív előjelűnek, utóbbiban pozitív előjelűnek tekintjük. A csavardiszlokáció például csavaró igénybevételkor jöhet létre, amikor a τ feszültség a rácsot egy csavarfelület mentén tolja el (3.1.5. b ábra). A csavarfelület középvonalát az ábrán az AB szakasz jelöli. Fontos különbség él- és csavardiszlokációk között, hogy előbbiek esetén a Burgers-vektor merőleges a diszlokációra, utóbbiaknál pedig párhuzamos vele. (Bárczy, 1998)



3.1.5. ábra. Él (a)- és csavardiszlokációk (b).

3.1.2.2. Diszlokációk keletkezése

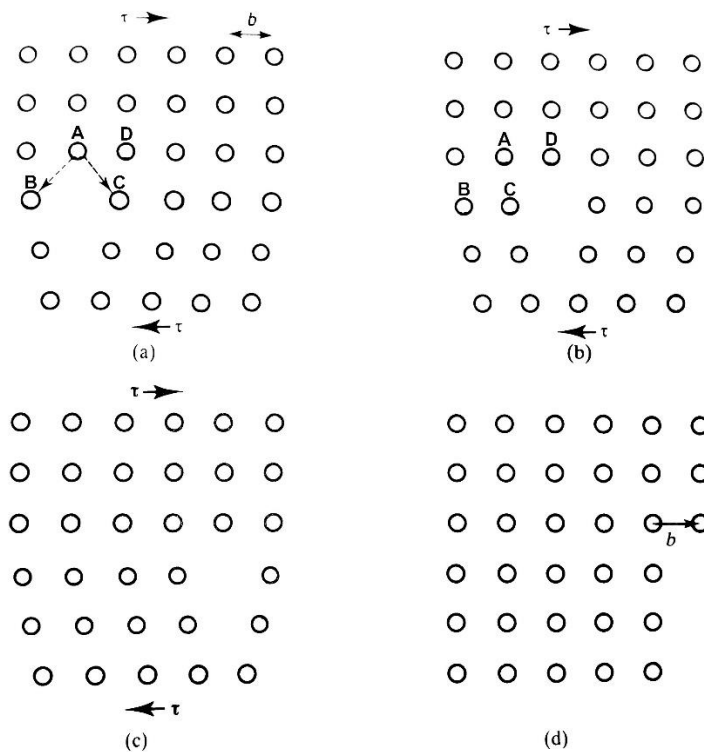
A diszlokációk keletkezésének okozói a Frank-Read-források. A folyamat során az A és B pontban végződő diszlokációt eleinte τ_0 feszültség terheli. Idővel a diszlokáció kihajlásba kezd. Bármilyen nagy is a feszültség, a diszlokáció nem képes elszakadni, ugyanis a diszlokáció nem tud szemcsén belül végződni. A terhelés növelésével a diszlokációs vonal először konkáv alakot vesz fel, majd eléri önmagát. Ekkor mivel az összeért felek Burgers-vektorai ellentétes irányúak, kioltják egymást, így pedig új diszlokáció keletkezik. Képlékeny alakítás során ilyen módon a diszlokációk megsokszorozódnak, így megmagyarázható a szemcséknél az alakítás után jelentkező orientációkülönbség. (Pék, 2000)



3.1.6. ábra. Frank-Read-forrás értelmezése

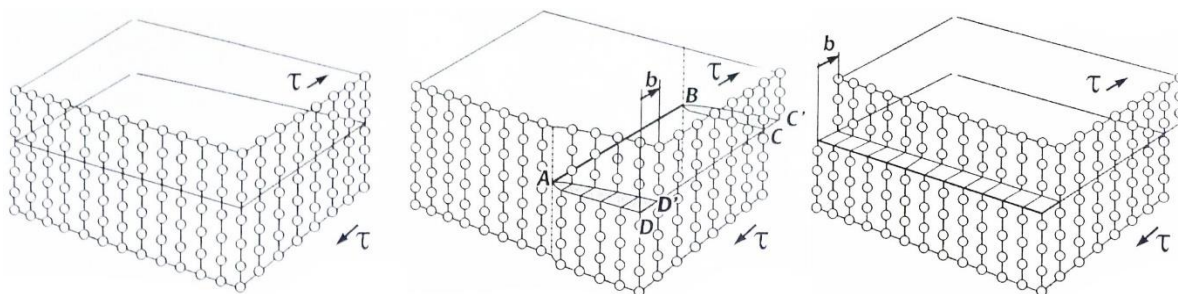
3.1.2.3. Diszlokációk mozgása

Terhelés hatására a diszlokációk is mozgásba kezdenek. Mozgásuk az atomrác legsűrűbben rakott síkjai mentén történik. Ez felületen középpontos köbös (FKK) rácok esetén az $\{111\}$, térben középpontos köbös (TKK) rácok esetén pedig az $\{110\}$ síksereg (Gillemot, 1967). Ilyenkor a terhelés nélküli állapotot figyelve az látható, hogy az extra félsík utolsó (B jelű) atomja egyenlő távolságra helyezkedik el az A és C jelű atomoktól (3.1.7. a ábra). Amikor a τ feszültség hatására a C jelű atom rácsállandónyi távolságra kerül A és B atomoktól, a D jelű atom egyenlő távolságra kerül a C és E atomoktól (3.1.7. b ábra). A diszlokáció ezután a mozgásához szükséges energiaigényt kielégítő igénybevétel fennmaradásával ilyen módon mozog tovább (3.1.7. c,d ábra). (Courtney, 1990)



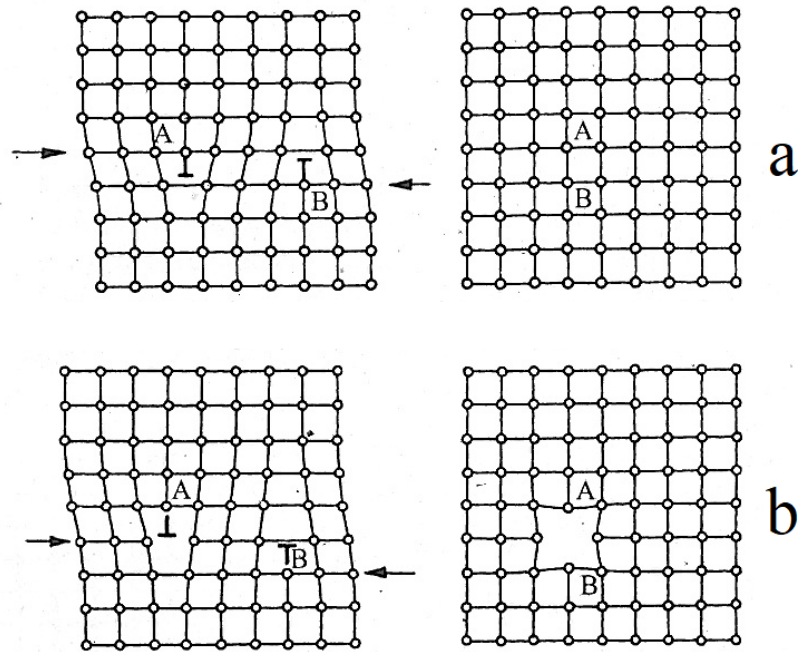
3.1.7. ábra. Éldiszlokációk csúszósík menti mozgása. Meglévő diszlokáció elhelyezkedése terheletlen állapotban (a), Terhelés hatása a diszlokációra (b), diszlokáció mozgása (c-d).

Csavardiszlokációk is képesek mozogni. Ekkor a diszlokáció alsó és felső részét nyírófeszültség terheli a 3.1.8. ábrán látható módon. Az éldiszlokációkhoz hasonló módon itt is kis atomi újrendeződésekkel történik a mozgás, viszont attól eltérően annak iránya merőleges a Burgers-vektor síkjára (Verő, 1977). A folyamatos elmozdulás eredménye, hogy a felső és alsó kristályfél Burgers-vektornyt elcsúszik egymáshoz képest a feszültség által diktált irányban. A csavardiszlokációk képesek a legsűrűbben rakott síksereg más tagjaira átmozogni. Például egy csavardiszlokáció, ami az (111) síkon mozog, át tud mozogni az $(1\bar{1}\bar{1})$ síkra és ott folytatni a haladást, így kikerülve az útjába kerülő akadályt, miközben mozgása konzervatív marad. (Prohászka, 2001)



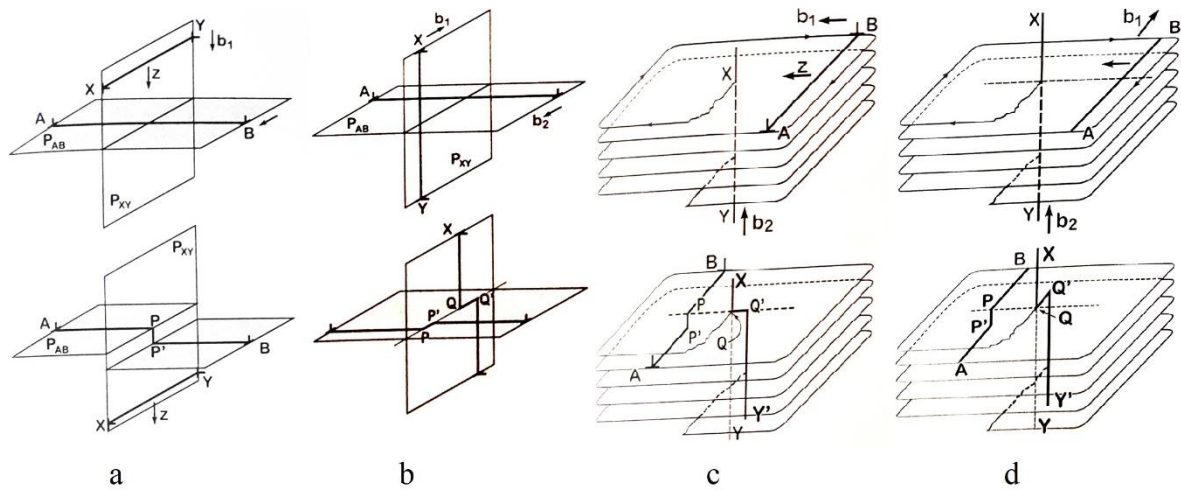
3.1.8. ábra. csavardiszlokációk csúszósík menti mozgása.

A diszlokációk mozgásuk során elkerülhetetlenül ütközni fognak egymással. Először vegyük azt az esetet, hogy két, ellentétes előjelű diszlokáció találkozik úgy, hogy az extra félsíkjaik határa rácscsillandónyi távolságra van egymástól. Ekkor a két diszlokáció kioltja egymást, a kristályrác lokálisan helyreáll. Az előző esethez hasonlóan vegyünk egy pozitív és egy negatív diszlokációt annyi különbséggel, hogy most két rácscsillandónyi távolság legyen határaik között. Ekkor a diszlokációk találkozásánál vakancia alakul ki (Pék, 2000).



3.1.9. ábra. Ellentétes előjelű diszlokációk találkozása a diszlokációk megsemmisülésével (a) és vakancia keletkezésével (b).

Amikor egy édiszlokáció mozgása során találkozik egy rá merőleges csúszósíkon elhelyezkedő álló édiszlokációval, utóbbin lépcső formálódik (3.1.10. a ábra). Ennek a lépcsőnek a csúszósíkja nem egyezik CD csúszósíkjával, így ez a diszlokáció mozgásképtelen egészen addig, amíg a lépcső csúszósíkjában terhelés nem éri (Guy, 1978). Mozgó édiszlokáció álló csavardiszlokációval való találkozásakor az előbbi esettől eltérően a mozgó diszlokáción keletkezik lépcső, ez is hasonló mozgásképtelenséget eredményez. Mozgó csavardiszlokáció álló csavardiszlokációba ütközésekor mindkét diszlokáción lépcső alakul ki. Ezek a diszlokációk a továbbiakban konzervatív mozgásra nem lesznek képesek (Meyers, 1999).



3.1.10. ábra. Éldiszlokáció ütközése: a, éldiszlokációval; b, csavardiszlokációval. c, csavardiszlokáció ütközése csavardiszlokációval.

A kristályrác hibái akadályt állítanak a diszlokációk mozgása elé. Így tehát nem csak a szemcsehatárok, hanem azokon belüli hibák, például diszlokációk is gátat jelentenek. Az ilyen akadályok kikerülését a konzervatív mozgás nem teszi lehetővé, ez nem konzervatív mozgással, vagyis a diszlokációk mászásával lehetséges. Ilyen mozgás során a diszlokáció a csúszósíkjára merőlegesen mozdul el az atomok diffúziós mozgásával, ezért bekövetkezése sokkal valószínűbb nagy hőmérsékleten (Ashby, 2005) (Domke, 1986).

3.2. Alakváltozás kristályos anyagokban

A kristályos anyagok deformációja rugalmas és képlékeny deformációra osztható. Előbbi esetén az alakváltozást előidéző jelenség megszűnésével a darab visszanyeri eredeti alakját. A terhelés megjelenésekor a deformáció a kristálysíkok γ szöggel történő elfordulásával jelentkezik, ez a Hooke törvény analógiáját követve írható le (Gillemot, 1967):

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (3.2.1.)$$

Ahol τ a csúsztató feszültség, G a csúsztató rugalmassági modulus, γ pedig az elfordulás szöge. Ha az elfordulást kellő mértékig növeljük, leterhelést követően az anyag nem tér vissza eredeti állapotába, az alakváltozás képlékeny lesz. Meghatározható tökéletes kristályok esetén egy minimális csúsztatófeszültség, amely szükséges a képlékeny alakváltozás megkezdéséhez:

$$\tau_{min} = \frac{a}{b} \cdot \frac{G}{2\pi} \quad (3.2.2.)$$

Ahol $\frac{a}{b}$ az atomok közötti és atomsíkok közötti távolság hányadosa, fémek anyagoknál megközelítőleg egységnyi, ezért az alábbi egyszerűsítés alkalmazható:

$$\tau_{min} = \frac{G}{2\pi} \quad (3.2.3.)$$

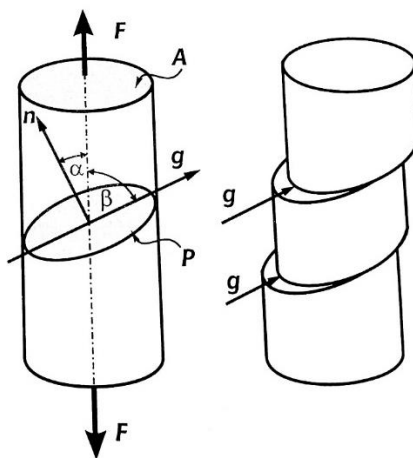
Ahol τ_{min} az alakváltozás megkezdéséhez szükséges feszültség, G pedig a csúsztató rugalmassági modulus (Verő, 1977).

3.2.1. Egykristály alakváltozása

Az egykristályok csúszása mindig abban a csúszási rendszerben kezdődik meg, amelyikben a rendszert terhelő csúsztató feszültség a legnagyobb. Csúszási rendszernek nevezünk egy csúszósíkot és egy hozzá tartozó csúszási irányt. Az esetben releváns FKK rácsonál csúszási rendszer az $\{111\}$ síkok és az $\langle 110 \rangle$ irányok valamelyikéből áll össze. A csúszási rendszerben fellépő csúsztatófeszültség nagysága függ a terhelőerő rendszerhez képesti irányától. A terhelésből adódó feszültség az alábbi képlettel számítható:

$$\tau = \frac{F}{A} \cdot \cos\alpha \cdot \cos\beta \quad (3.2.4.)$$

Az egyenlet az F erővel terhelt A (az erőre merőleges) keresztmetszettel rendelkező henger P csúszósíkjában g csúszási irányban ébredő τ csúsztatófeszültséget adja meg (3.2.1. ábra). Az egyenletben α a terhelés iránya és a csúszósík normálisa által bezárt szög, β pedig a terhelés iránya és a csúszás iránya által bezárt szög. A $\cos\alpha \cdot \cos\beta$ tagot Schmid-tényezőnek szokás nevezni (Prohászka, 2001).



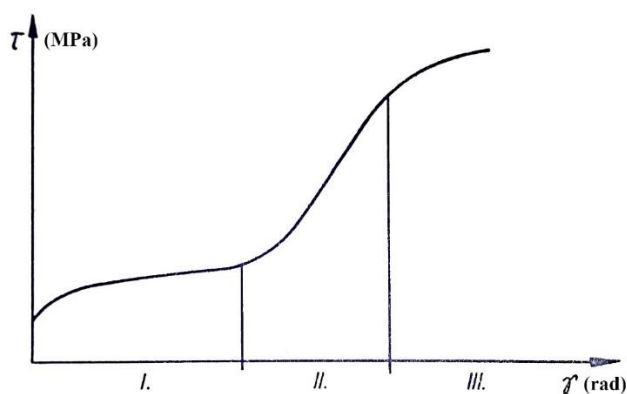
3.2.1. ábra. Csúsztató feszültség a csúszási rendszerben.

A fellépő csúsztatófeszültség hatására megindul az alakváltozás, ennek menetét a 3.2.2. ábra szemlélteti. A folyamat az ábrán látható módon három részre tagolható. A ezek közül a legelsőben kismértékű rugalmas alakváltozást követően a görbe csökkenő meredekséggel jelentkező alakváltozást mutat. Az első szakaszban a keményedés mértéke csekély, hiszen az alakváltozás egyetlen csúszási rendszeren történik. Ezért is nevezik ezt a szakaszt a könnyű csúszási szakasznak. Ekkor a folyamatban a csúszósík azon Frank-Read-forrásai vesznek részt, melyek rögzített pontjaik között a legnagyobb távolsággal rendelkeznek. Amikor ezek

kimerülnek, a kisebb távolságú pontokból állók veszik át ezt a szerepet, így azonban egyre nehezebbé válik a diszlokációk mozgása, keményedik az anyag (Courtney, 1990).

A további alakváltozás hatására a diszlokáció mozgások hátráltatása elér egy olyan szintet, amikor egy újabb csúszási rendszer lép be a folyamatba. Ekkor lépünk át a második szakaszba. Lévén, hogy itt már két csúszási rendszer működik, a Frank-Read-források kimerülése, illetve a diszlokációk a meglévő csúszósíkokkal párhuzamos síkokra való áttérése egyre nagyobb – az egész folyamatot tekintve a legnagyobb – keményedést eredményez ezen a szakaszon.

A diagram harmadik szakaszán a görbe meredeksége láthatóan kisebb lesz. Ezt a diszlokációk keresztcsúszása eredményezi. Ez alatt azt a jelenséget értjük, amikor a diszlokációk – megfelelő körülmények között – eredeti csúszósíkjukról egy másikra térnek át, mozgásukat ott folytatják. Ez a csavardiszlokációk miatt lehetséges, ugyanis képesek minden olyan csúszósíkon mozgást végezni, ami tartalmazza Burgers-vektorukat (így a diszlokáció vonalát is) két csúszósík metszetéből adódó vonalként (Gillemot, 1967).



3.2.2. ábra. Egykristály alakváltozása nyírófeszültség hatására.

3.2.2. Polikristályos anyag képlékeny alakváltozása

A polikristályos anyagok az egykristálytól eltérően sok-sok krisztallitból állnak össze. Ezek kialakulásuk során különböző orientációval jelennek meg az anyagban, így az ilyen anyagok terhelésre adott reakciója nagymértékben eltér az egykristályokétól. Minden krisztallit egykristályként kezelhető, ezért a polikristályos anyagokban az alakváltozás az egykristályok alakváltozása során megismert mechanizmusokkal zajlik. A jelentős különbséget a polikristályos anyagok szemcséinek határai hozzák. A határok két oldalán ugyanis ugrásszerű változás mutatkozik a krisztallitok viselkedésében. Két szomszédos szemcse Schmid-tényezője más lesz, így az anyagot adott irányban érő terhelés a két szemcsében eltérő csúsztató feszültséget eredményez. Ez ahhoz vezet, hogy az egyik krisztallit nagyobb mértékben szenved

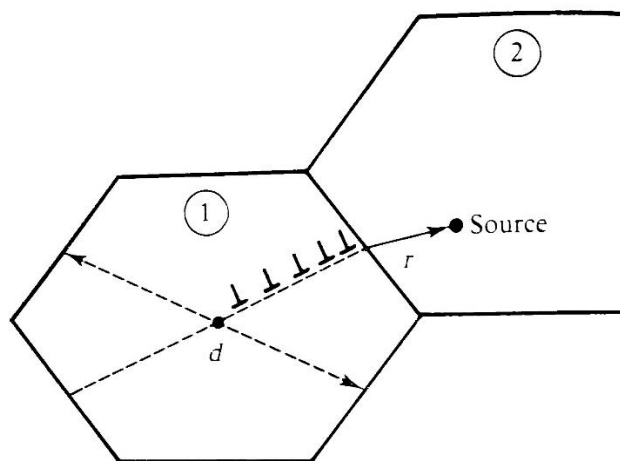
alakváltozást, a másikkal pedig a folytonosság fenntartása érdekében igazodnia kell hozzá. A szomszédos kristallitok így befolyásolják egymás alakváltozását (Prohászka, 2001).

Kellően sok kristallitból álló polikristályos anyagot homogénnek, a kristallitok közel egyező mérete és statisztikusan rendezetlen orientációja esetén, pedig izotrópnak is tekintünk. Az izotrópia lényege, hogy az anyag igénybevételre adott reakciója a terhelés irányától független, csak annak mértéke befolyásolja azt. Ez az állapot azonban csak addig áll fenn, amíg a terhelés hatására nem következik be deformáció. Alakváltozás hatására ugyanis a szemcsék is torzulnak, mégpedig úgy, hogy a terhelés iránya szempontjából kedvező orientációt vegyenek fel, ezáltal az anyag anizotróp lesz (Artinger, 1971).

Az alakításhoz szükséges feszültség mértéke erősen összefügg a szemcsék méretével. Ezt a Hall-Petch egyenlet írja le (Hall, 1951)(Petch, 1953):

$$\sigma_0 = \sigma_i + \frac{k}{\sqrt{d}} \quad (3.2.5.)$$

Ahol σ_0 az alsó folyáshatárt, σ_i a kristályrács diszlokációk mozgásával szembeni ellenállását, k az akadályozási paramétert, d pedig a szemcseméretet jelenti. A Frank-Read-forrásokból keletkező új diszlokációk a szemcsehatárra érve megakadnak, ugyanis az orientáció különbségből adódóan nem tudnak átjutni a szomszédos kristallitba, ezáltal ott feltorlódnak (Ashby, 2005). A torlódo n darab diszlokáció feszültségteréből adódóan azonban a határon lévő diszlokációt érő feszültség a csúszást előidéző τ_0 feszültség helyett $n \cdot \tau_0$ lesz (feltételezve, hogy a források a szemcse közepén vannak, és erősségük megegyezik). Ez a feszültség a szomszédos szemcsében akkor eredményez alakváltozást, ha a benne levő, a határtól r távolságra található Frank-Read-forrást működtetni képes. A többletfeszültség azonban a másik szemcsében a szemcsehatártól távolodva csökken $\sqrt{\frac{d}{r}}$ értékkel arányosan (d itt változatlanul a szemcseméretet jelöli). A Hall-Petch-egyenlet ezen jelenség felhasználásával adja meg a szemcseméret befolyását az alakváltozásra (Prohászka, 2001).



3.2.3. ábra. A szomszédos szemcsék hatása egymás alakváltozására.

Megfigyelhető, hogy a képlékeny alakváltozás hatására, az anyag folyáshatára egyre nagyobb értéket vesz föl, vagyis az anyag keményedik az alakítás miatt. Ezáltal lesz egy lágy állapotú az alakítás megkezdése előtt és egy kemény állapotú darabunk az alakítás befejeztével. Azonos kémiai összetétel esetén kemény állapotú anyagot mindig kevésbé lehet alakítani, mint a lágy állapotú anyagot. Egytengelyű feszültségi állapotban a képlékeny alakváltozás elindításához, majd fenntartásához szükséges feszültséget alakítási szilárdságnak nevezzük. Az alakítási szilárdságot a logaritmikus alakváltozás függvényében ábrázolva megkapjuk a folyásgörbét. (Artinger, 1971) (Osman, 1965)

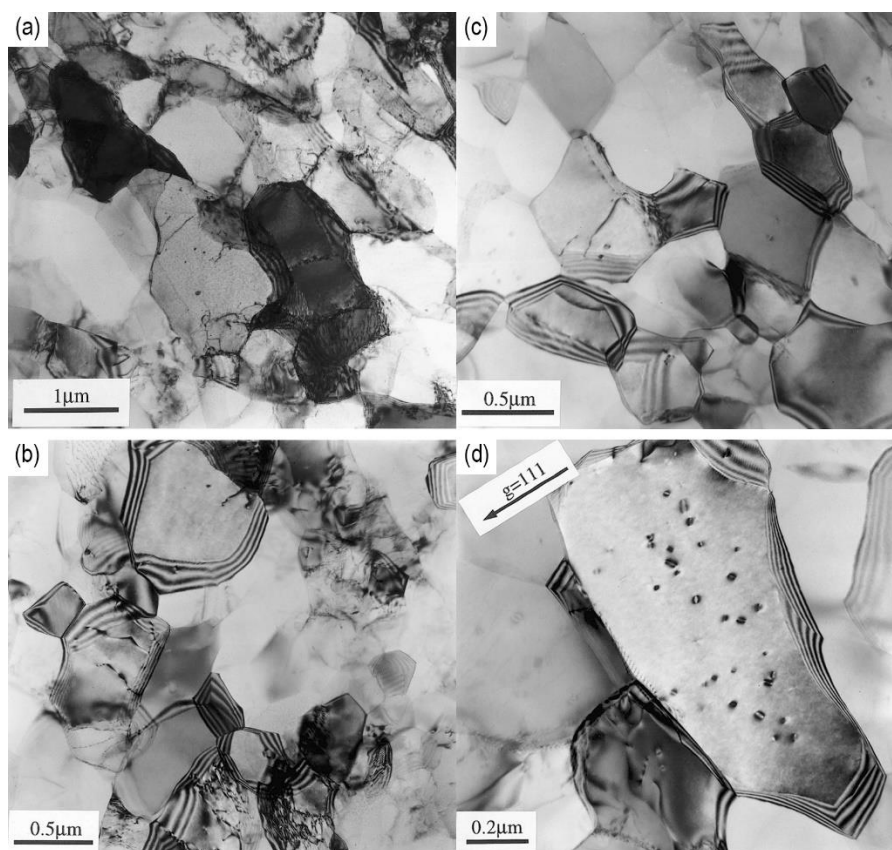
Ha az anyagot húzással vesszük igénybe, így elérve valamekkora alakváltozást, majd összenyomjuk azt, arra lehetünk figyelmesek, hogy a második alakítás során az erőszükséglet kisebb volt. Ezt a jelenséget Bauschinger-effektusnak nevezik és minden olyan esetben előfordul, amikor a terhelés ellentétes irányú lesz. A Bauschinger-effektust az idézi elő, hogy az alakítás során jobban eltorzult szemcséket a szomszédos szemcsék az alaphelyzetükbe kényszerítik, ezzel hozzáadva az ellentétes irányú terheléshez, valamint a létrejött, majd feltorlódott diszlokációk úthossza meghosszabbodik a terhelés megfordításával, így lehetővé téve egy kisebb energiaszükségletű alakváltozást (Verő, 1977).

3.3. Ultrafinomszemcsés és nanoszerkezetű anyagok

Nanoszerkezetű (NS) anyagoknak nevezzük azokat az anyagokat, melyek tartalmaznak olyan, jól elkülöníthető 10-100 nm nagyságrendű szerkezeti elemeket. Tömbi anyagok esetén kiemelendő, a kiválások nem tartoznak az ilyen elemek közé, ezeknél a definíció az alapanyagra értendő (Siegel 1994). Az ott megtalálható, előbb leírt tartományba eső szerkezeti elemeket celláknak nevezik. Ezek határai lehetnek egyensúlyiak, vagy nem egyensúlyiak. Utóbbi esetben

a cellafalat diszlokációk képzik. Az ilyen cellák jellemzően nagymértékű képlékeny alakítás hatására jönnek létre. Ekkor a diszlokációk feltorlódnak a cellafalakon, így a diszlokációsűrűség itt nagyságrendekkel nagyobb lesz, mint a cella belsejében. A feltorlódott diszlokációk hatására a cellák orientációja között néhányfokos eltérés jelentkezik (Mughrabi, 1983).

Az ultrafinomszemcsés (UFG) anyagok eltérnek az NS anyagoktól abban, hogy ezek határai már nem cellafalak, hanem egyensúlyi szemcsehatárok lesznek, melyeket szemcsehatár-diszlokációk építenek fel. Ez bizonyos mértékű alakváltozás által előidézett diszlokációsűrűség elérését követően következik be, amikor a diszlokációk egy része kioltja egymást a szemcsehatáron (3.3.1. a-c ábra) (Essmann, 1979). Előfordulhat, hogy a szemcsékben apró diszlokációs körök maradnak. (3.3.1. d ábra) Ez is a diszlokációk tömeges megsemmisülésére utal. Az ábrán az is jól megfigyelhető, hogy a kialakult szemcsék határai nagyszögű szemcsehatárok lesznek. (Chang, 2000)



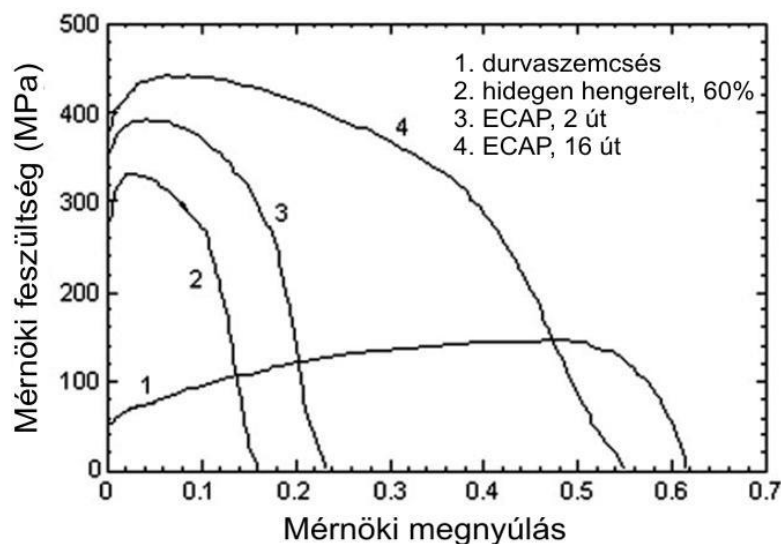
3.3.1. ábra. Transzmissziós elektronmikroszkóppal (TEM) készült képek $\epsilon=2$ (a), $\epsilon=4$ (b) és $\epsilon=8$ (c) egyenértékű képlékeny alakváltozás mellett. Diszlokációmaradványok $\epsilon=8$ alakváltozás után (d).

Méretbeli eltérés is mutatkozik a kettő anyag között, az UFG anyagok ugyanis párszáz nm nagyságtól egészen $1\mu\text{m}$ nagyságig terjednek. UFG szerkezet elérhető képlékeny alakítással,

de akár a kijelölt mérettartományba eső szemcsékből például porkohászati úton is előállítható (Kai, 2013). Előbbi elvet alkalmazzák az intenzív képlékeny alakító (SPD) módszer eljárásai.

3.4. Az intenzív képlékenyalakítás

Fémek szilárdságának növelése mellett általában cél a jó alakíthatóság megtartása is. Szilárdságnöveléskor a diszlokációk mozgását akarjuk gátolni, hiszen az alakváltozást ez akadályozza (3.2. fejezet). Erre több módszer is ismert (ötvözés, hőkezelés, szemcseméret csökkentése), ide tartozik a képlékeny alakítás és az SPD is. A korábbiakban megállapítottuk, hogy az SPD a szemcsék méretének csökkenéséhez vezet. Az SPD-vel elért szemcsefinomodás nagy szilárdságnövekedést okoz, ahogy azt a 3.2.5. egyenlet is mutatja, egészen addig a pontig, amíg az alakváltozás fő mechanizmusát a diszlokációk mozgása képezi. Ez nagyjából 15-20 nm méretű szemcséknél változik meg, és a folyáshatár csökkenésével jár. Ezt a jelenséget inverz Hall-Petch viselkedésnek nevezik (Kozlov, 2008) (Verő, 2004) (Masumura, 1998). Általában az SPD-vel előállított anyagok alakíthatósága is nagyobb, mint az egyszerű hidegalakításon átesett anyagoké. A 3.4.1. ábrán különböző módon keményített mintákat hasonlíthatunk össze egy durvaszemcsés mintával. Jól megfigyelhető, hogy az SPD eljárások közé tartozó könyöksajtolás (angolul equal channel angular pressing, ECAP) nemcsak nagyobb szilárdságot eredményez, hanem sokkal nagyobb szakadási nyúlást is. A több lépésben alakított minta pedig még jobb eredményeket mutat. (Valiev, 2000) (Furukawa, 2001)



3.4.1. ábra. A mérnöki feszültség a mérnöki alakváltozás függvényében különböző módszerrel alakított rézminták esetén

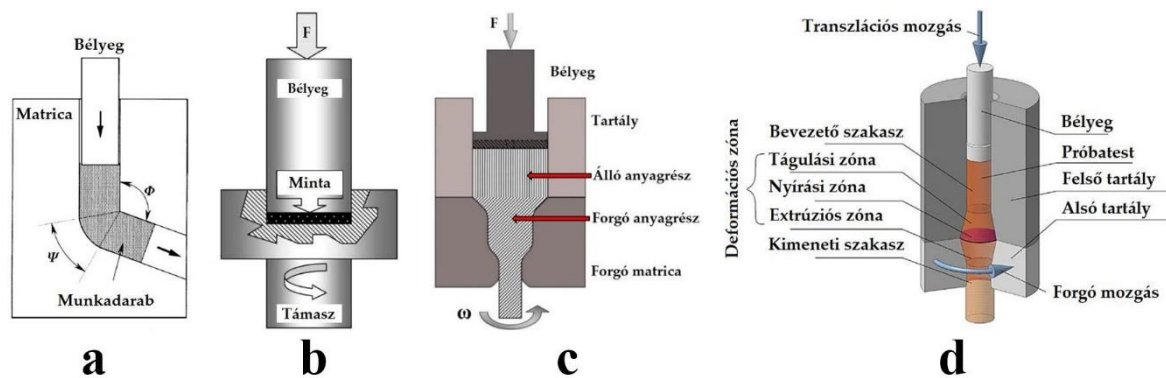
3.4.1. Az intenzív képlékenyalakítás néhány eljárása

Az alábbiakban az intenzív képlékeny alakítás néhány ciklikus és nem ciklikus eljárása olvasható, kezdve a sort a nagynyomású csavarással (angolul high pressure torsion, HPT). Az eljárás lényege, hogy egy kör alapú vékony munkadarabot az eljárás nevéhez hűen nagy erővel a matricába nyomnak, majd az így kialakult GPa nagyságrendű nyomáson csavaró igénybevételnek teszik ki a munkadarabot. Az alakítás hatására a nagy nyírás miatt a szemcseszerkezet erőteljesen finomodik. A szerszám kialakítása miatt korong alakú munkadarabok készíthetők így. Az eljárás a méreteket tekintve erősen korlátozott (Valiev, 2000). A módszer elvi vázlatát a 3.4.2. b ábra mutatja.

A korábban már szóba került könyöksajtolás (ECAP) az SPD egy kedvelt és sokat kutatott ága. Az eljárás során egy rudat sajtolunk át egy olyan matricán, amibe egy ϕ és ψ szögekkel jellemezhető hajlással rendelkező csatornát munkáltak bele. Az alakváltozás mértékét egyértelműen befolyásolják a csatornát jellemző szögek, amik így hatással vannak a kialakuló szemcsék méretére is (Fodor, 2008). Az ECAP sematikus rajza a 3.4.2. a ábrán látható.

Az előre folytatást vegyítve az SPD-vel megkapjuk a csavaró extrudálást (angolul torsion extrusion, TE). Ez az eljárás lényegében egy előre folytatás azzal a hozzáadással, hogy itt a matrica szétosztható egy álló és egy forgó részre. A forgó rész miatt a matricába préselt anyag a csavarás hatására nagymértékű nyírásnak lesz kitéve, ezáltal jelentős szemcsefinomodás érhető el, amit szabályozni lehet az alapanyag adagolásának sebességével, illetve a szögsebességgel (Segal, 2006) (Jahedi, 2010). Az eljárás elvét a 3.4.2. c ábra szemlélteti

A TE továbbfejlesztéseként, az ECAP és a HPT ötvöztetésével jelent meg a nagynyomású csavaró extrudálás (angolul high pressure torsion extrusion, HPTE). Szinte megegyezik a TE-vel, de jelentős változás mutatkozik az üreg alakja miatt. Ez lényegében olyan forgó és álló matricát jelent, melyben a befelé vezető csatorna (az álló matricában) egy táguló csonkakúppal végződik, s a kifelé vezető csatorna (a forgó matricában) egy szűkülő csonkakúppal kezdődik. A szerszámgeometriának köszönhetően a munkadarabokat folyamatosan lehet tölteni a szerszámba, a végeredmény egy folytonos rúd lesz, így tehát (teoretikusan) végtelen hosszú munkadarab állítható elő (Ivanisenko, 2016). Az eljárás értelmezését segíti a 3.4.2. d ábra.



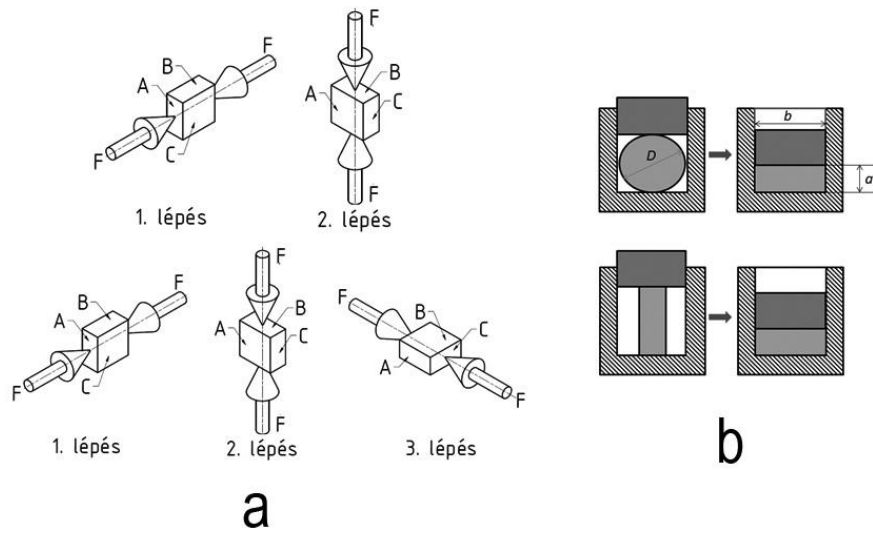
3.4.2. ábra. Négy SPD eljárás: HPT (a), ECAP (b), TE (c), HPTE (d)

Az SPD kutatásom tárgyát képező eljárás a többtengelyű kovácsolás (MF). Ezen eljárás előnye, hogy könnyen szerszámozható, egyes típusainak letisztultsága miatt a szerszám akár a legegyszerűbb présekre is felszerelhető, megfelelő típusát használva így növelt hőmérsékleten is végrehajtható az alakítás. Másik nagy előnye, hogy megfelelő méretű szerszámmal akár 100 mm nagyságrendű tömbi munkadarabot is meg lehet munkálni, így az eljárás ipari alkalmazásra is alkalmas lehet. (Trivedi, 2016)

Az MF eljárások háromféleképpen csoportosíthatók. Csoportosíthatunk ahhoz mérten, hogy mit forgatunk az eljárás során: a munkadarabot, vagy a szerszámot. Előbbi esetén minden alakítási lépés végén a munkadarabot a megfelelő irányba kell fordítani. Ez megtörténhet manuálisan, vagy automatizált úton. Erre az eljárásváltozatra példa a Gleeble 3800 termofizikai szimulátorral megvalósítható többtengelyű kovácsolás. A másik altípusnál a szerszámot kell elforgatni minden lépés után, az általam használt szerszám is ilyen elven működik.

Másik lehetőség a csoportosításra az alakítási utak szerinti felosztás. Ez lényegében azt jelenti, hogy hány egymásra merőleges tengely mentén zajlik az alakítás. Ilyen módon megkülönböztetünk két-, és háromutas altípust. Eljárásváltozattól függetlenül a tengelyek mentén nem egyidejűleg történik a zömítés, egyszerre mindig csak egy tengelyen alakítunk (3.4.3. a ábra). (Sakai, 2014)

A harmadik lehetőség a szerszám geometriája szerinti csoportosítás. Eszerint van síklapok közti szabad alakítás, illetve zárt szerszámüregű altípus. Előbbi esetén előszeretettel alkalmaznak henger alakú munkadarabot (3.4.3. b ábra), míg utóbbinál a hasáb alakú a jellemző. (Kapoor, 2013)



3.4.3. ábra. A két- és háromutas eljárásváltozat (a), illetve síklapok közti alakítás hengeres munkadarabon (b).

4. FŐBB LÉPÉSEK ÉS FELÉPÍTÉSÜK

4.1. Vizsgált anyag

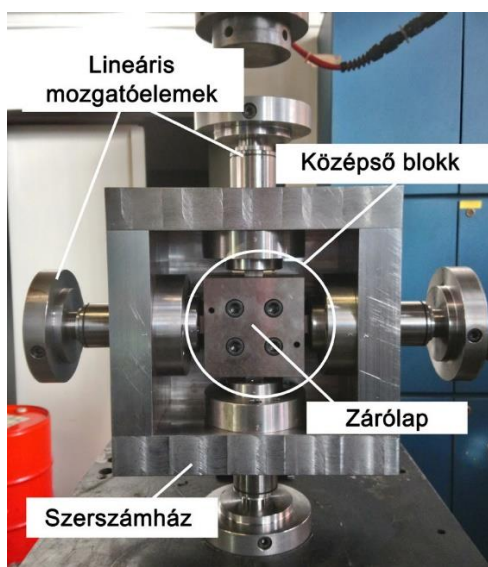
Vizsgálataim során a próbatestek anyaga Cu99.9 ipari tisztaságú réz volt. Azért ezt az anyagot választottam, mert erre az anyagra történt a szerszám eredeti méretezése, így az anyag alakítása biztonságosan, a megengedett feszültségi korlátok között biztosan elvégezhető.

Az anyagból először $10 \times 10 \times 20$ mm-es névleges méretű próbatestek kerültek kimunkálásra. Ezt követően a hőkezelés következett. Ez $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra történő hevítést követő 30 perc hőntartást, majd vízben történő edzést jelentett.

4.2. Többtengelyű kovácsolás

4.2.1. Többtengelyű kovácsszerszám bemutatása (Juhász, 2021) nyomán

Kutatásom során egy zárt üregű többtengelyű kovácsszerszámot használtam. A konstrukció megértését segíti a 13-15. melléklet, ehhez a leírt elemek mögött zárójelben található az adott elem tételszáma is, amikor azok először jelennek meg a szövegben. A szerszám alapvetően három szerkezeti egységre osztható (4.1. ábra). Ezek a középső blokk, a szerszámház, illetve a lineáris mozgatóelemek. A szerszám közepén található középső blokk feladata a zárt szerszámüreg biztosítása, illetve hogy a bélyegeket pozícionálja. Ezt a részt a közdarab (4) rögzíti a szerszámházhoz, így a szerszámház elmozdulása esetén a középső blokk is elmozdul. A szerszámház stabil keretet ad a szerszámnak, továbbá az alakításhoz elengedhetetlen szerszámmozgás során képez kapcsolatot a lineáris mozgatóelemek és a középső blokk között. A harmadik csoport feladata nevéből adódóan a bélyeg, illetve a szerszám mozgatása.

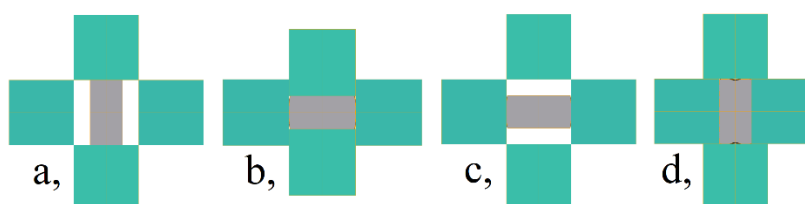


4.1. ábra. A szerszám felépítése.

A szerszám egyik fontos tulajdonsága, hogy az alakítást éppen nem végző bélyegek (8) reteszelve lehetnek. Ehhez a kiemelőket (14) a szerszámház hátsó fedelén (5) kialakított résen keresztül a szerszámba nyomjuk, így az inaktív bélyegpár nem tud a szerszám belseje fele elmozogni. A zárt szerszámüreg biztosításához azonban szükséges, hogy a bélyegek kifelé se tudjanak mozgást végezni. A nem kívánatos elmozdulást ebben az irányban az ütközőtárcsák (11) gátolják. A próbatest behelyezése során a szerszám nem állhat egyik alaptárcsán (13) sem, ugyanis így az azon az oldalon található bélyeg benyomódna a középső blokkba, ellehetetlenítve így a próbatest elhelyezését. Ez azzal oldható meg, hogy a szerszámot a felülettől egy alátámasztással elemeljük. Az alátámasztás természetesen nem érintkezik az alaptárcsával. A szerszám forgatására külön szerkezet még nem létezik. Munkám során erre a célra egy acélrudat használtam, melyet egy V alakú bevágással rendelkező elemmel támasztottam meg. Az alátámasztás közel volt a szerszámhoz, így a szerszámot könnyűszerrel meg lehetett emelni és el lehetett fordítani.

A szerszám kialakításából adódóan a próbatestek behelyezéséhez a felső zárólapot (3) le kell szerelni a szerszámról. Ekkor következhet a bélyegek, az alsó zárólap (1), illetve behelyezés előtt a próbatest kenése. A próbatest behelyezése után a felső zárólap próbatesttel érintkező részét is meg kell kenni. A zárólapot visszahelyezése után csavarokkal rögzítjük. Ezt követően a szerszámot leemeljük az alátámasztásról. Ezután következhet az alakítás.

Egy alakítási ciklus következőképpen zajlik, ha feltételezzük, hogy a próbatest alakváltozása úgy zajlik, hogy először az egyik, majd a másik oldalról zömöl 5-5 mm-t (4.2. ábra). Először a felső oldali bélyeg mozdul el 5 mm-t. Ekkor a bélyegtartó (9) pereme érintkezik a határológyűrű (10) peremével. Ezt követően a bélyeg további (változatlan irányban történő) mozgásakor már a szerszámház is vele mozog, hiszen a határológyűrű rögzítve van hozzá, azt pedig húzza a bélyegtartó. Ezáltal a következő 5 mm-en a szerszám „ráhúzódik” az ellenkező oldali bélyegre. Ezzel zárul az első alakítási lépés. Ekkor a szerszámot el kell forgatni 90°-kal, majd a bélyeg kiemelőit a már ismert módon beütjük és az előbb leírt folyamat lejátszódik újra. A második alakítási lépés lezárásával ér véget az első alakítási ciklus.



4.2. ábra. Egy alakítási ciklus.

Alaphelyzet (a), első alakítási lépés vége (b), kilökök beütése (c),
a 90°-os elfordulást követő második alakítási lépés vége (d).

4.2.2. Fizikai szimuláció

A próbatestek többtengelyű kovácsolása Miskolcon zajlott a Miskolci Egyetem Szerszámgépészeti és Mechatronikai intézetének műhelyében. Ennek során összesen 11 próbatest képlékeny alakítása történt meg. Ezek rendre 0,5, 1, 1,5, 2 és 4 alakítási cikluson estek át. A 0,5, 1 és 1,5 ciklusú alakítást 3-3 próbatesten végeztem. A szerszám működtetése egy MTS 810 típusú univerzális anyagvizsgáló berendezés segítségével történt.

Egy alakítási lépés során a szerszám a próbatest 20 mm hosszú oldalát nyomja össze 10 mm hosszúságúra. A folyamat síkalakváltozásnak tekinthető, amíg a próbatest el nem éri az álló bélyegeket. Az egy félciklus során megvalósított logaritmikus képlékeny alakváltozás következő képpen számítható:

$$\varphi = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \ln\left(\frac{H}{h}\right) = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \ln\left(\frac{20}{10}\right) = 0,80 \quad (4.1.)$$

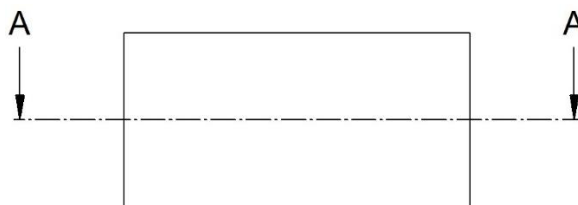
Ahol φ az alakváltozást, H a hosszú oldal hosszát, h pedig a rövid oldal hosszát jelöli. Az alakítási lépések közötti különbség mindössze a 90° -os elforgatásban áll, az alakváltozás számítása minden lépésnél azonos, így n alakítási lépés kumulált alakváltozásának számításához egy alakváltozás logaritmikus alakváltozását kell felszoroznunk az alakítási lépések számával:

$$\varphi_{kumulált} = n \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \ln\left(\frac{20}{10}\right) \quad (4.2.)$$

Az alakítási lépések száma természetesen pozitív egésznek tekintendő. Az egyes próbatestek esetén bekövetkező alakváltozás így növekvő sorrendben 0,8, 1,6, 2,4, 3,2, 6,4 lesz.

4.3. Mintaelőkészítés

A többtengelyű kovácsolást követően a zárólapokkal (magyarázat a 4.2.1. fejezetben) érintkező oldalukra párhuzamosan, a próbatestek közepén elvágva daraboltam őket (4.3. ábra.) egy Stuers Discotom 10 típusú vágógéppel.



4.3. ábra. A minták darabolásának vázlata

A minták előkészítését folytatva a bakelitbe történő beágyazást egy Buehler SimpliMet 1000 típusú készülékkel végeztem. A minták polírozásához a tanszéki kollégák segítségével egy Stuers Tegramin-30 típusú automata polírozógépet használtam.

A beágyazott minták jelölésének rendszere Ac_B, ahol „A” azt jelöli, hogy a minta hány alakítási cikluson esett át, az ezt követő „c” a ciklus rövidítése, végezetül pedig „B” mutatja, hogy hányadik minta ez az „A” ciklusú alakításon átesett minták közül. Egy példán keresztül szemléltetve tehát: 1,5c_2 azt jelenti, hogy a mintánk 1,5 alakítási ciklust szenvedett el és az összes ilyen minta közül ez a második.

4.4. Mikroszkópia

A minták előkészítését követően azok maratása következett. Ehhez a mintákat egy üvegedénybe helyeztem a 4.4. ábrán látható módon, majd 100 ml Beraha–I típusú széleskörben alkalmazott, ismert színesmarószerrel öntöttem rájuk. A mintákat azért marattam ugyanabban az edényben, mert 25 perces a maratási idő és a teljesen azonos maratási körülmények csak így voltak biztosítottak minden mintára. A Beraha–I marószer vegyi összetétele a 4.2. táblázatban olvasható.



4.4. ábra. A minták elhelyezése a maratás során.

Alapanyag	Nátrium-tioszulfát	Kálium-metabiszulfid	Deszt. víz
Mennyiség	10 g	3 g	100 ml

4.1. táblázat. A Beraha–I színesmarószer összetevői

A maratás befejeztével a mintákat mikroszkóppal vizsgáltam az Anyagtudomány és Technológia Tanszék metallográfia laborjában. Ehhez egy Olympus PMG-3 típusú fémmikroszkópot használtam.

4.5. Keménységmérés

A mikroszkópia után a mikrokeménység mérés következhetett. Ezt a BME Közlekedés és Járműmérnöki Kar Gépjárműtechnológia Tanszékének laborjában végeztem egy Micro-Combi Tester (MCT) típusú programozható keménységmérőn. Ez a műszer a keménység számításához az Oliver and Pharr (O&P) módszert használja. Egy mérés lefuttatása következőképpen néz ki. A mintát a mintatartóba helyezzük, majd a beépített mikroszkóp segítségével megkeressük az $n \cdot m$ mátrix szerint lehelyezendő mérési pontok közül az elsőnek a helyét. Ha ezt megtaláltuk, a mintát átmozgatjuk a keménységmérő alá. Itt ismét el kell mozdulni valamennyit (célravezetően a várható lenyomat 2,5-szeresét) valamely irányba, ugyanis a mérés megkezdése előtt kalibrálni kell a z irányú elmozdulást mérő szenzort, ez pedig nyomot hagy a mintán. A kalibráció után visszatérhetünk a kiindulási pontra. Ezt követően a mátrix beállítása, a megközelítés, illetve a fel-és leterhelés sebessége, valamint a terhelés szinten tartásának ideje állítandó be. Ha ez is kész van, elkezdődhet a mérés.

4.5.1. O&P módszer leírása (Oliver, 2003) alapján

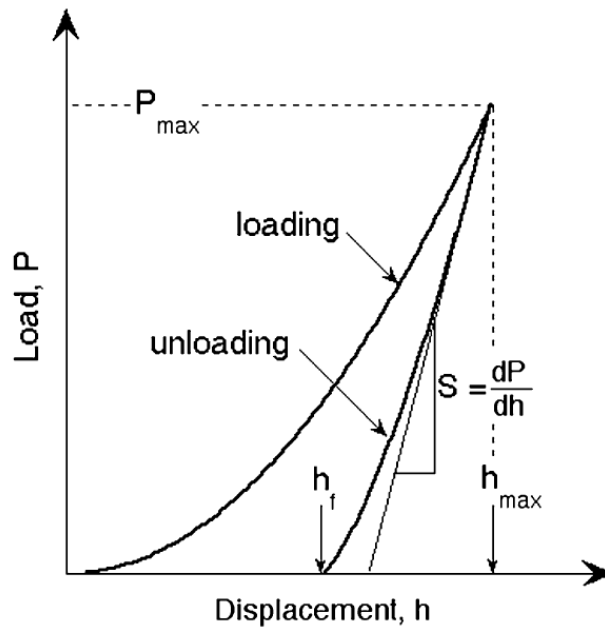
A módszer a mérések során egy, a 4.5. ábrán látható erő-elmozdulás (P-h) görbét ad eredményül. Három olyan fontos adat van, amit ki kell nyerni a P-h görbékből. Ezek P_{max} , a maximális nyomás, h_{max} , a maximális elmozdulás és S , a rugalmas leterhelési merevség (vagy érintési merevség), amit a leterhelési görbe felső szakaszának meredekségeként definiálunk:

$$S = \frac{dP}{dh} \quad (4.3.)$$

A módszer a keménységet a terhelőerő és a felület hányadosaként számolja ki. Ehhez a felületet egy $A = F(h_c)$ függvényként ír le. Itt A értelemszerűen a felület, h_c pedig az a hossz, ami mentén a szűrőszerszám a mintával érintkezik. Meghatározása a következő képlettel lehetséges:

$$h_c = h_{max} - \epsilon \cdot \frac{P_{max}}{S} \quad (4.4.)$$

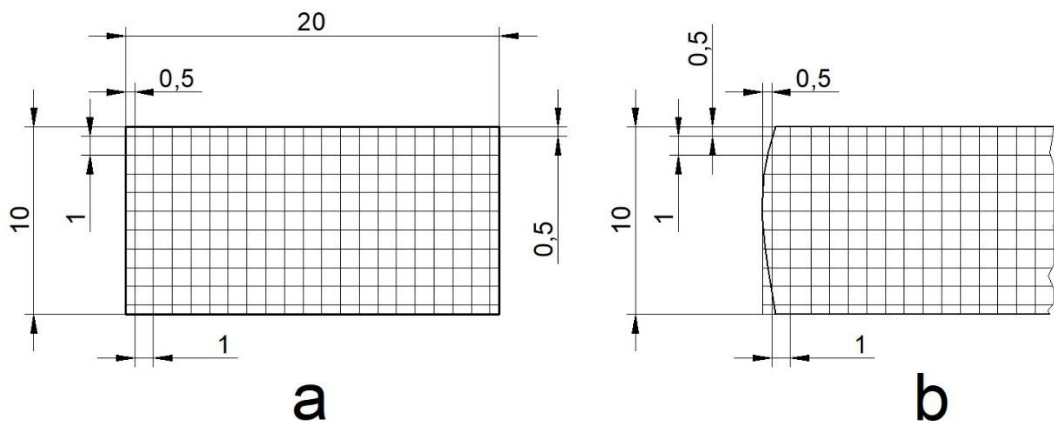
Ahol ϵ a szűrőszerszám geometriájától függő alaktényező.



4.5. ábra. Egy mérés P-h görbéje.

4.5.2. A keménységmérés menete

A keménységmérés során egy 10×20 mérési pontból álló mátrixot helyeztem el a mintákon. Ehhez az első mérési pontot a teoretikusan téglalap alakú minta két, egymásra merőleges oldalától számított $0,5$ mm-re helyeztem el. A pontok közötti távolságot 1 mm-re választottam meg. Mivel a minták a valóságban nem téglalap alakúak, a mátrix első pontját a minta két oldalát egyenként érintő két, egymásra merőleges egyenestől mért $0,5$ mm-re vettem fel. A mérési eredmények éppen ezért sok minta esetén hiányosak, hiszen ezeken a pontokon a gyanta keménységét mérte a műszer. Előfordulnak ugyanezen okból kifolyólag olyan esetek is, amikor a minta és a gyanta közti határrétegbe szűr be a szűrőszerszám. Szerencsére ez a hiba is jól látszik az eredményeken, így az eredményeket nem befolyásolja. A mérési pontok elhelyezésének megértését segíti a 4.6. ábra.



4.6. ábra. A mérési pontok elhelyezése téglalap alakú (a), és attól eltérő (b) mintákon.

5. EREDMÉNYEK

A vizsgálatok során a 11 darab kovácsolt minta kiegészült egy alakítatlan referenciamintával. Ennek jelölése a rendszernek megfelelően 0c_1.

5.1. Keménységmérés

A mérések során minden mintán 200 pontban mértem keménységet. Ez alól a referenciaminta képez kivételt, ugyanis ennél összesen negyven mérési pont került a mintára. A mért keménységértékeket keménységtérképeken keresztül szemléltetem a továbbiakban. Ezek skálázása minden mintán azonos a könnyű összehasonlíthatóság érdekében. A skálák bal oldalán jelöltem az adott mintán található legnagyobb, illetve legkisebb keménységértéket. Előfordult, hogy a mérési mátrixot csak úgy lehetett elhelyezni, hogy néhány mérési pont a gyantába kerüljön, ezeken a pontokon feltűnően eltér a mért keménység. A mérőműszer néhány pontban nem tudta meghatározni a keménységet, vagy hibásan adta meg azt. Ezekben az esetekben a mérési pontok helyén hiányosak a keménységtérképek. Fontos megjegyezni, hogy a keménységtérképek megjelenítése nem aszerint történt, ahogy a minták a szerszámban elhelyezkedtek alakításuk végén, a könnyebb szemléltetés céljából ugyanis minden mintát „rövidebb oldalára állítva” ábrázoltam.

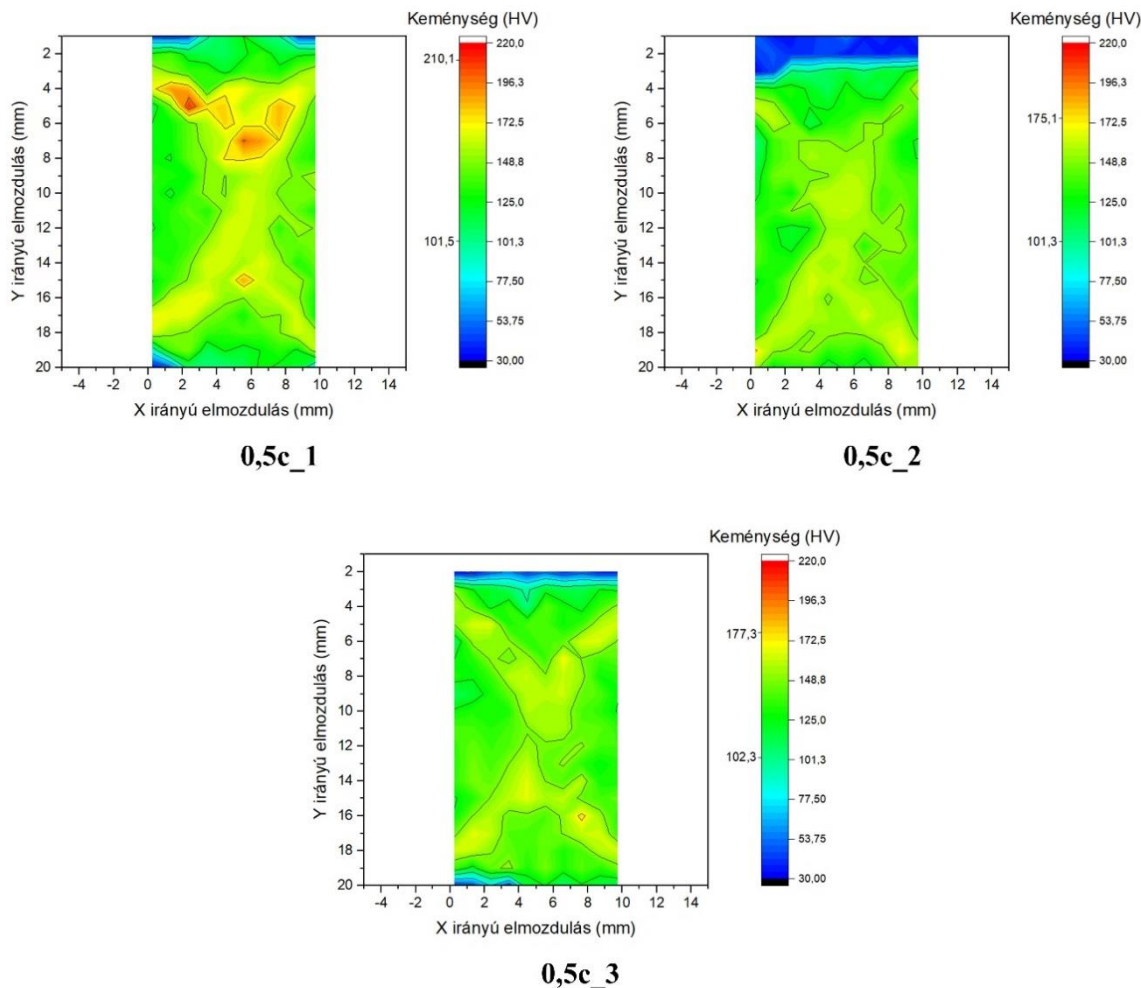
Összességében megfigyelhető minden alakított minta esetén, hogy a keménység az átlók mentén, illetve a minták közepén („X alakban”) nagyobb értéket vesz fel, mint a minta oldalai mentén. Ez a súrlódással magyarázható. A kisebb keménységű oldalak a zárólapokkal, illetve a bélyegekkkel érintkeztek az alakítás során és habár a szerszám kenése megtörtént minden minta esetén, ezeken a helyeken súrlódás lépett fel, ezáltal pedig letapadás alakult ki az anyagban, kisebb alakváltozást, így kisebb keménységet eredményezve a próbatest letapadt zónáiban.

5.1.1. Azonos alakítási lépésben bekövetkező keményedés

A korábbiakban leírtak szerint 0,5, 1 és 1,5 ciklusú alakítás három próbatesten is megvalósult az azonos alakváltozás hatására kialakuló keménység, illetve szemcseszerkezet mintánként történő összevetésére. Az összevetések alapjául szolgáló minimum és maximum értékek, illetve átlagok a 5.1. táblázatban láthatók.

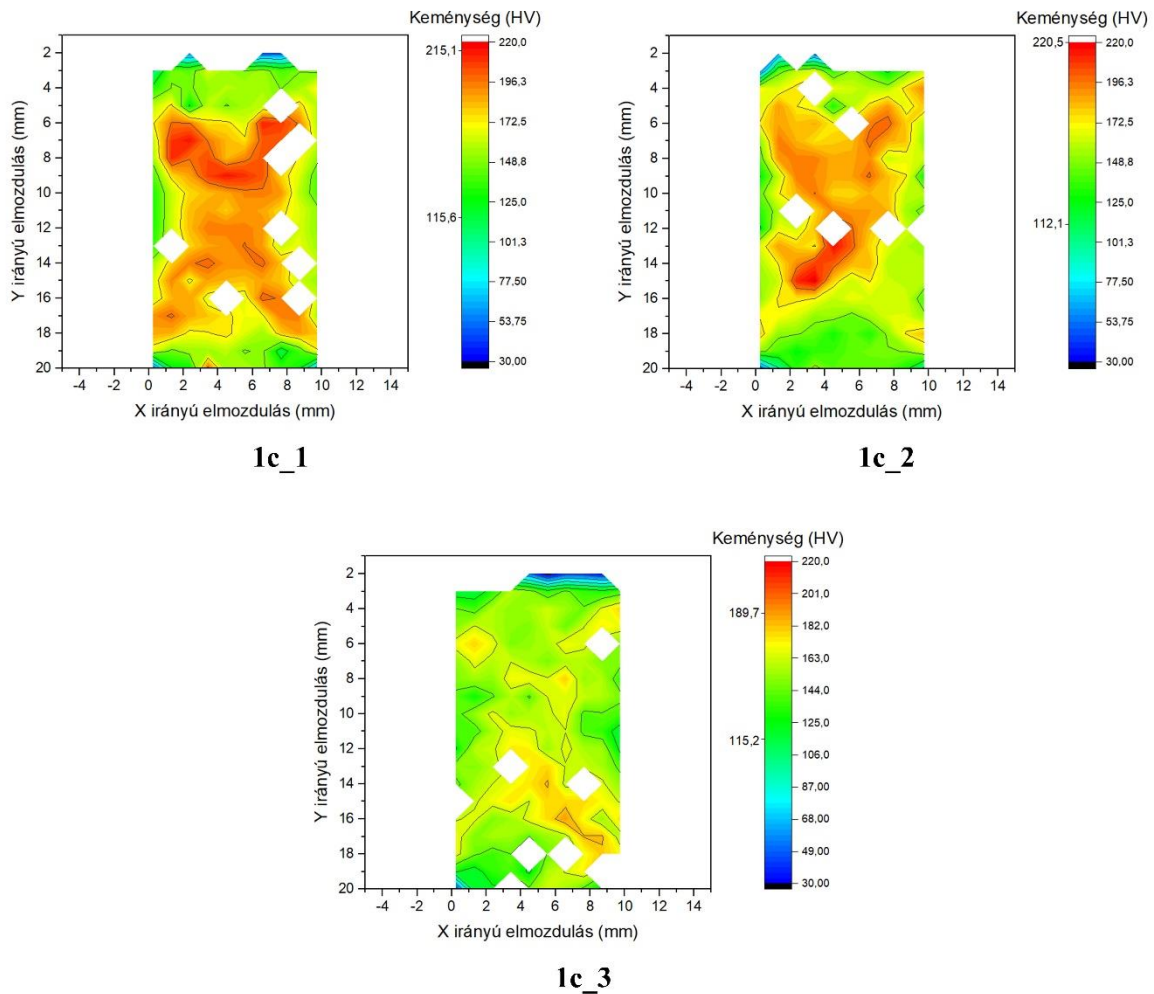
Vizsgáljuk meg először a 0,5 alakítási cikluson átesett mintákat! A 5.1. ábrán jól látható az előbb leírt szerkezet. Erről elmondható, hogy mind a három keménységtérkép esetén közel azonos a kirajzolódott kép. A minta közepén, illetve a sarkok felé haladva átlagosan nagyjából 50 HV nagyságú különbség jelentkezik mindhárom esetben. A mintákat összevetve láthatjuk, hogy a keménységértékek minimuma és maximuma közel azonos mindegyiknél, az egyedüli

eltérés az első minta maximumában jelenik meg. Itt az ugrásszerű eltérést jelentő öt mérési ponttól eltekintve a legnagyobb keménység körülbelül 183 HV-ra adódik. A minták átlagos keménységeit nézve (5.1. táblázat) a második és harmadik minta szinte megegyezik, de az első minta is mindössze 5 HV különbséget mutat.



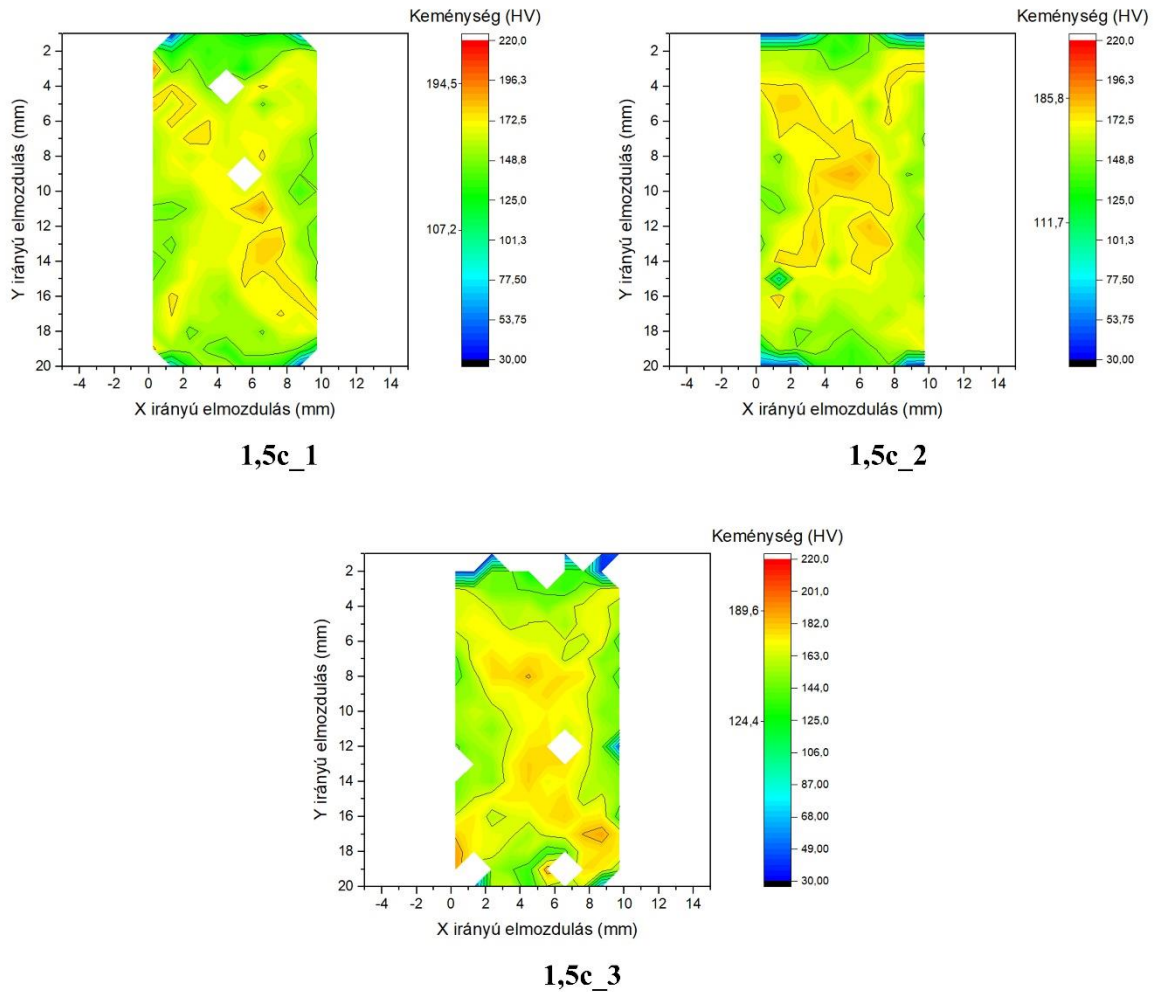
5.1. ábra. A 0,5 alakítási cikluson átesett minták keménységtérképe.

Az 1c jelölésű mintákkal folytatva a sort, növekmény figyelhető meg az átlagos keménységben, de a minimumban és a maximumban is. A jellegzetes alakzat itt is látható, de jóval szélesebben jelentkeznek a nagyobb alakváltozást elszenvedett tartomány. Ha elvonatkoztatunk a keménységértékek közötti különbségektől, a kirajzolódott alakzatok a három minta esetében egybevágnak. Jelen esetben a harmadik minta képez kivételt, itt ugyanis a maximum (5.1. táblázat) a másik két mintáétól 40 HV-val kisebb értékű, illetve –az első és második mintától eltérően– jóval nagyobb letapadt zóna jelentkezik. A minták keménységtérképei a 5.2. ábrán láthatók. Ezen minták esetén az átlagos keménységben is nagyobb eltérés mutatkozik, mint az előző csoportban. A legnagyobb eltérés itt körülbelül 15 HV, ami a másik két csoporthoz mérten jóval nagyobb különbség.



5.2. ábra. Az 1 alakítási cikluson átesett minták keménységtérképe.

Az 1,5 ciklussal alakított minták keménységértékeit a 5.3. ábra mutatja. Az előzőektől eltérően ez a mintahármas mintánkét nagyobb eltérést mutat, de összességében közelebb van a mért minimum és maximum a különböző minták esetében (5.1. táblázat) mint a korábbiaknál az eltérő első és harmadik mintáknál. Itt ugyanis a minimumok közötti legnagyobb eltérés nagyjából 17 HV, míg ugyanez a maximumok esetén a 10 HV-t sem éri el. A keménységértékek átlaga itt a második és harmadik minta esetén megegyezik, az első mintánál pedig kevesebb, mint 4 HV az eltérés. A keménységtérképen kirajzolódott minták megegyeznek egymással, a letapadási zónák nagyságában említésre méltó eltérés csak a harmadik minta esetén mutatkozik.



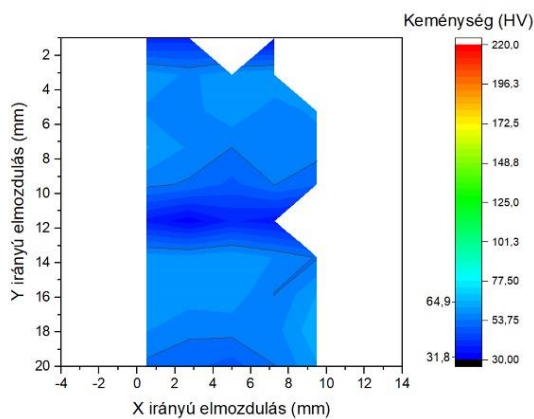
5.3. ábra. Az 1 alakítási cikluson átesett minták keménységtérképe.

Minta	0,5c_1	0,5c_2	0,5c_3	1c_1	1c_2	1c_3	1,5c_1	1,5c_2	1,5c_3
Min.	101,5	101,3	102,5	115,6	122,1	115,2	107,2	111,7	124,4
Max.	210,1	175,1	177,3	215,1	220,5	189,7	194,5	185,8	189,6
\overline{HV}	146,0	141,3	141,4	171,4	166,8	155,0	158,7	162,6	162,6

5.1. táblázat a minimális, maximális és átlagos keménységek mintánként.

5.1.2. Alakítási ciklusok előrehaladásával bekövetkező keményedés megfigyelése

Az alakítatlan minták keménységtérképe alapján kijelenthetjük, hogy a lágyított állapotú minta közel homogén keménységet mutat, ezért a továbbiakban izotrópnak tekinthető. A mintán a keménység átlagos értéke 52,1 HV, minden próbatest ebből indult ki.



0c_1

5.4. ábra. Az alakítatlan minta keménységtérképe.

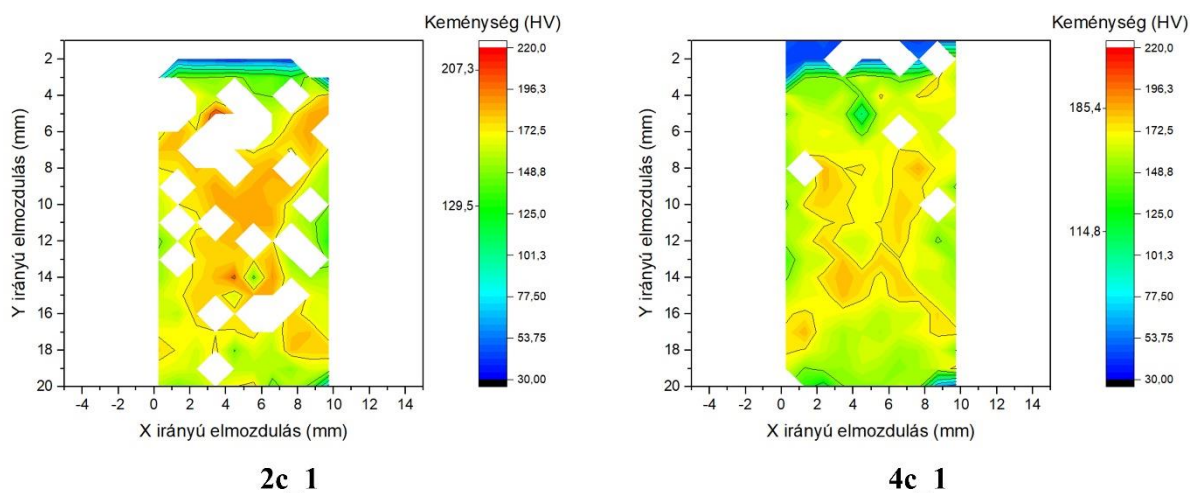
A ciklusszám növelésével keményedést figyelhetünk meg. Ezt hivatott szemléltetni a 5.2. táblázat az átlagos keménységek bemutatásával. A táblázatban a 0,5, 1 és 1,5 ciklusú alakításon átesett minták esetén a mintaszámot elhagyva a három minta összesített átlagkeménysége szerepel.

Minta	0c_1	0,5c	1c	1,5c	2c_1	4c_1
\overline{HV}	53,6	143,0	164,4	161,2	169,2	164,3

5.2. táblázat. A különböző minták átlagos keménysége.

Az első alakítási lépés hatására csaknem háromszoros nagyságúra növekszik az átlagos keménység a mintákban a kiinduláshoz képest. Az izotróp szerkezet is megszűnik az alakítás hatására, illetve megjelenik a jellegzetes „X” alakú mintázat is (5.1. ábra). Az első alakítási ciklus végére újabb nagy ugrás figyelhető meg az átlagos keménységben. A mintázatot tekintve láthatjuk, ahogy a nagyobb alakváltozást szenvedett területek kiszélesednek (5.2. ábra). A harmadik alakítási lépéssel az átlagos keménység visszaesik a másodikhoz képest. A keménység eloszlása ellenben sokkal homogénebb lesz, mint az egyciklusú minták esetén. A jellegzetes minta itt is megfigyelhető, azonban a határai elmosódottabbak a korábbiaknál (5.3. ábra). A 2c_1 minta átlagos keménysége nem sokkal nagyobb a korábbiakhoz képest, a 4c_1 minta esetén pedig újabb csökkenés jelentkezik az átlagkeménységben. Az első alakítási ciklust elhagyva alig változik az átlagos keménység, ezért kijelenthető, hogy közel állandó értékre áll be az első alakítási ciklust követően. Az 5.5. ábrán látható, hogy kétciklusú alakításkor a minta nagyobb keménységű részei kiszélesednek. Ebből a negyedik ciklusra csak a minta közepén

kialakult szélesedés marad meg. Az is elmondható, hogy a 4c_1 mintánál a keménységterkép jóval homogénebb bármelyik előző mintánál.



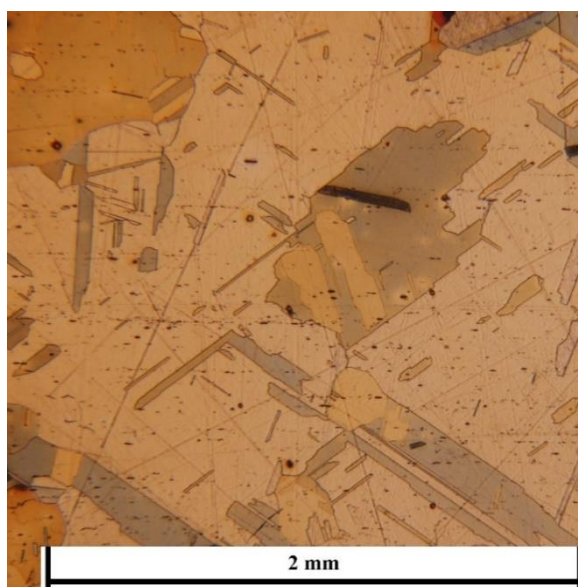
5.5. ábra. A 2 és 4 alakítási cikluson átesett minta keménységterképe.

5.2. Mikroszkópia

A mikroszkópos képek alapján –lévén, hogy kis területre fókuszálnak– nagyon körülményes lenne az előző fejezetben látott módon összehasonlítani az egyes mintákat. Ezért ebben a fejezetben a már bemutatott mintázat, illetve az ultrafinomszemcsés szerkezet kialakulása kerül bemutatásra.

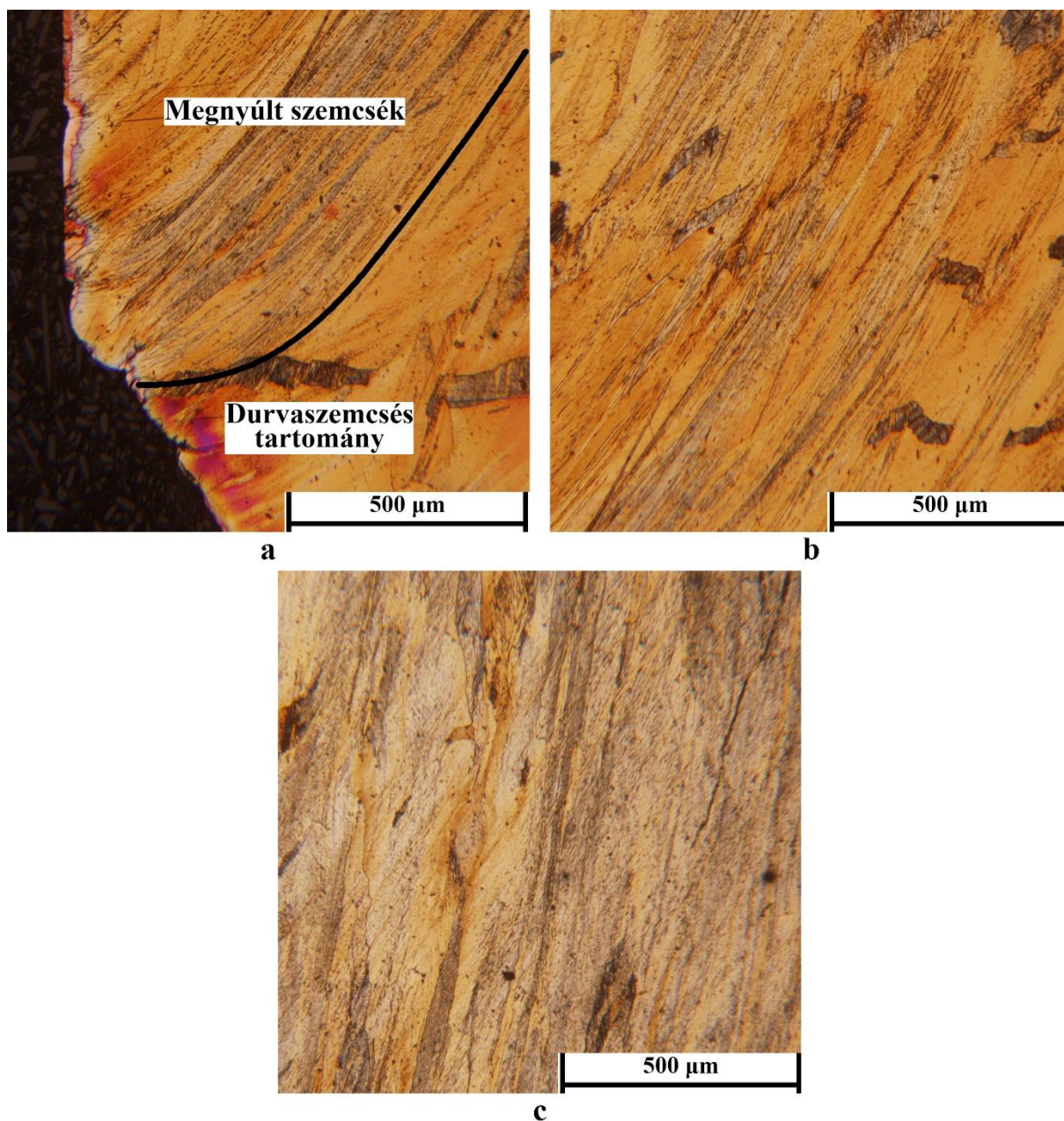
5.2.1. Mintázat vizsgálata

Az alakítatlan próbatestből készített mintán a –vártaknak megfelelően– nagy szemcsék, illetve változó nagyságú ikerkristályok figyelhetők meg (5.6. ábra).



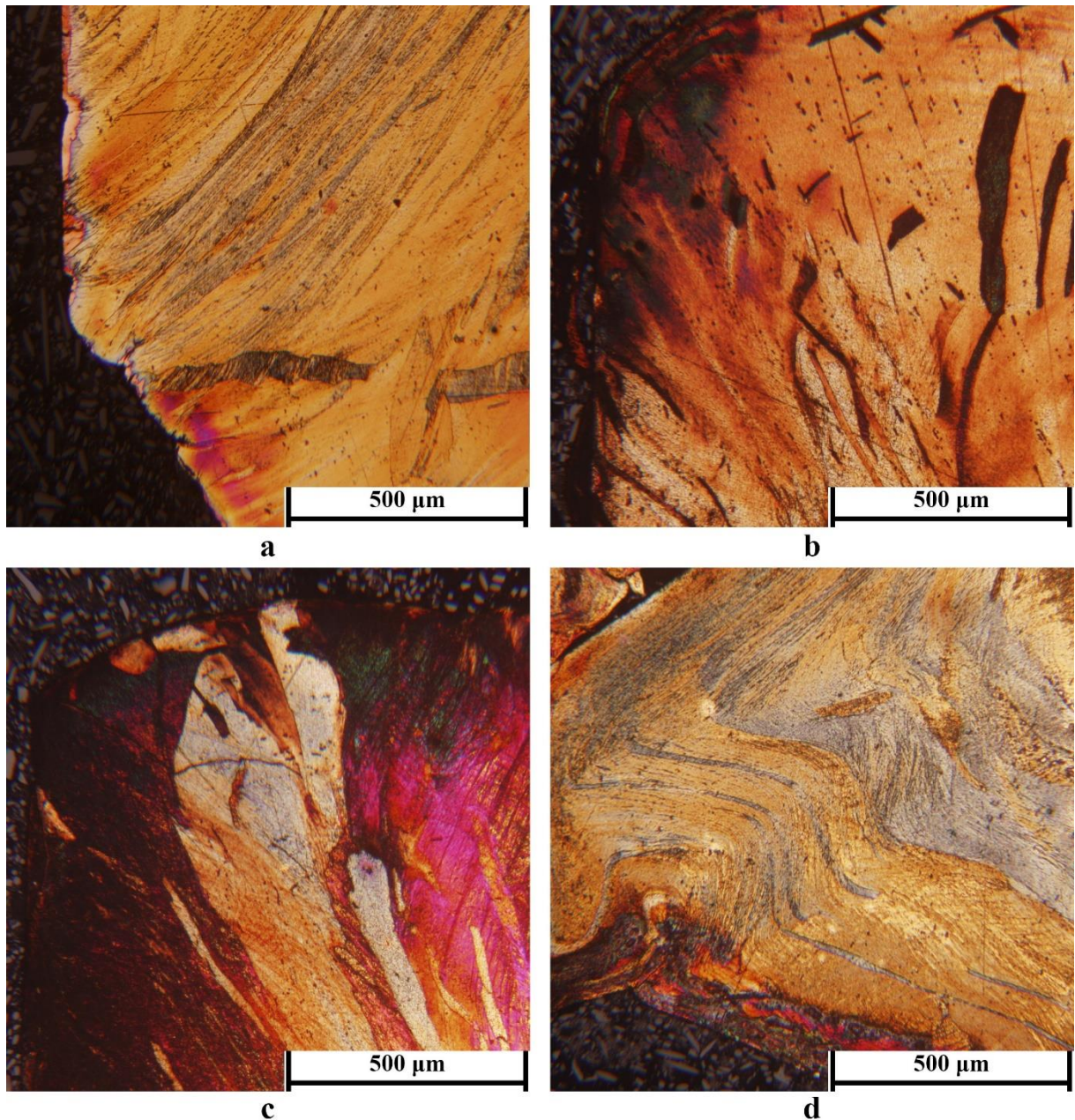
5.6. ábra. Az alakítatlan minta mikroszkópi képe.

Alakítás hatására a már ismert mintázat jelenik meg. Az alakítatlan állapothoz képest a nagyméretű szemcséket az alakítás hatására megnyúlt kristallitok váltják fel. Az ikerkristályok habár el nem tűnnek, számuk jelentősen redukálódik, jelenlétük pedig a durvaszemcsés tartományra korlátozódik. A 5.7. ábrán jól látható, hogy a minta sarkából az elnyúlt szemcsék meggörbülnek (5.7. a-b ábra), majd később a minta közepén a görbület szinte megszűnik. A görbületben található szemcsék határain durvaszemcsés tartomány látható (5.7. a ábra).



5.7. ábra. A 0,5c_1 minta szemcséi által mutatott jellegzetes mintázat.

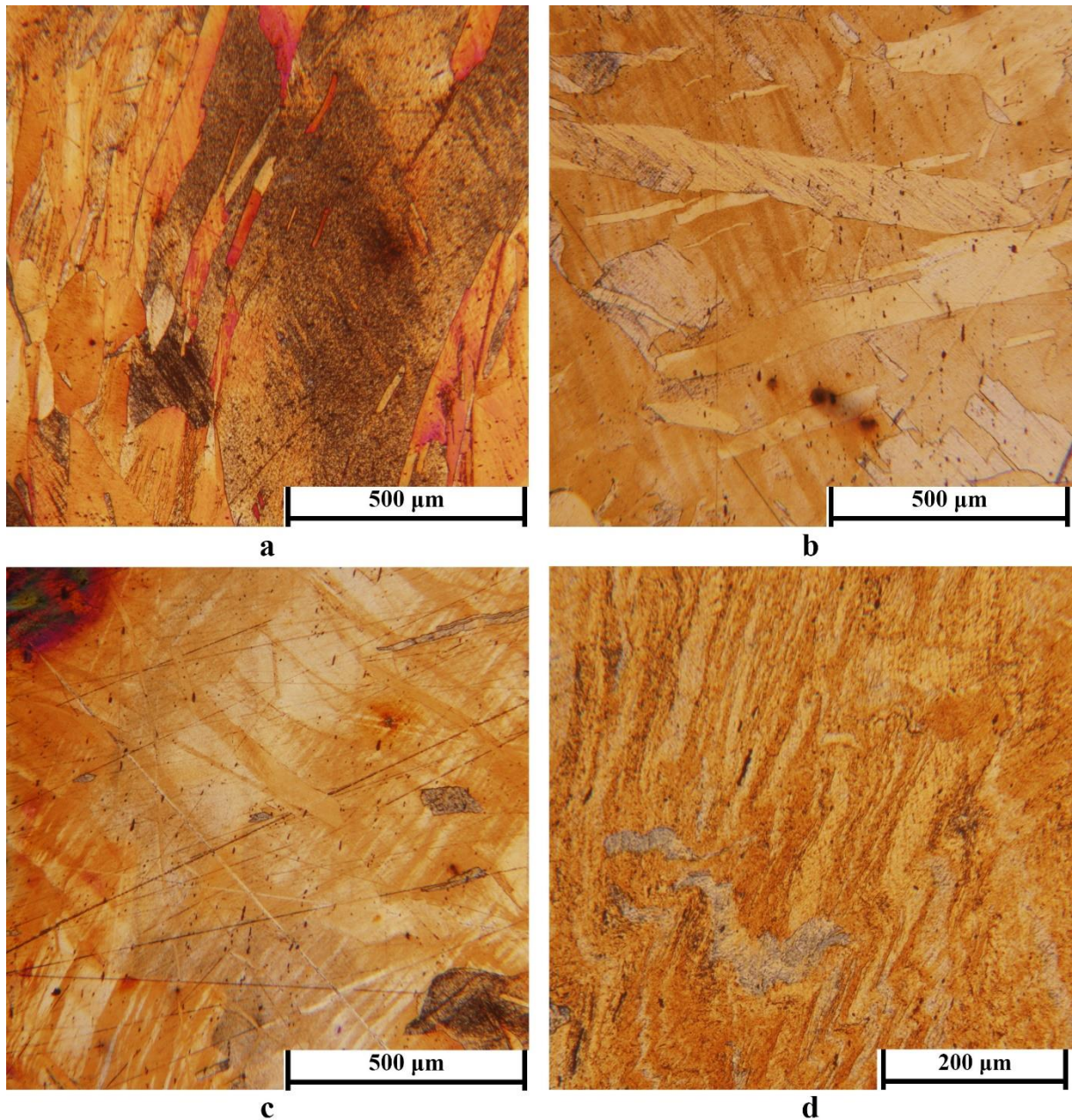
Ez a mintázat minden minta esetén jelentkezik. Ezt a folytonosságot a 5.8. ábra szemlélteti az 0,5c_1, 1c_2, 1,5c_2 és 4c_1 mintákon keresztül. A mintákon a sarokból kiinduló megnyúlt, meggörbült szemcséket láthatjuk.



5.8. ábra. A mintázat ismételt megjelenése a 0,5c_1 (a), az 1c_2 (b), az 1,5c_2 (c) és a 4c_1 (d) mintákban.

Az alakítási ciklusok előrehaladtával jól látható, ahogy a nagy szemcsék deformálódnak az alakváltozás hatására, elmosódódnak, majd megjelennek bennük a szubszemcsék. Az 5.9. ábrán a 0,5c_2, az 1c_2, a 2c_1 és 4c_1 minták mikroszkópos képei láthatók. Ezek a képek a minták letapadt zónáiban készültek. Az első alakítási lépéssel még csak megnyúlnak a szemcsék. Színesmarószert alkalmazásakor a mart felület színeltérései orientációkülönbséget jelentenek. Ebből kiindulva, az 1c_2 mintán (5.9. b ábra) látható árnyalatnyi különbségek a szubszemcsék megjelenésére engednek következtetni. A második alakítási ciklus végére (5.9. c ábra) a szemcsék mérete lecsökkent és egyre több szubszemcse látható. A negyedik ciklussal a

megnyúlt szemcsék nagyon eldeformálódnak, már alig megkülönböztethetők, ezért kellett nagyobb nagyítással vizsgálni őket.

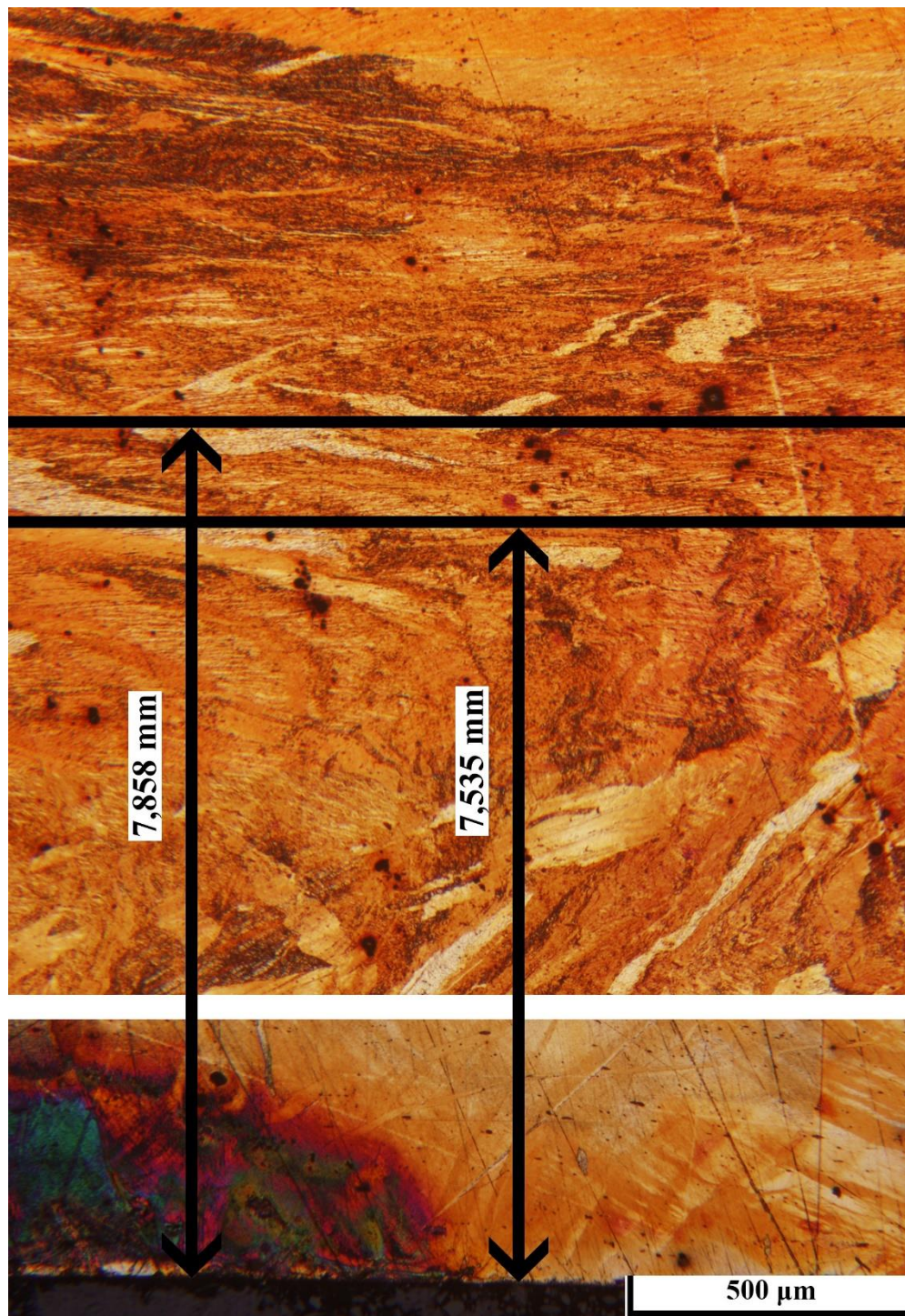


5.9. ábra. A szemcsék deformációja az alakváltozás növekedésével a 0,5c_2 (a), az 1c_2 (b), a 2c_1 (c) és a 4c_1 (d) mintákban.

Az alakváltozás azonban a próbatesten belül a letapadt zónában a legkisebb. A nagyobb alakváltozást szenvedő területeken („X alakban”) a második alakítási ciklusra már megjelenik az ultrafinomszemcsés szerkezet.

5.2.2. Ultrafinomszemcsés szerkezet megjelenése az alakítás hatására

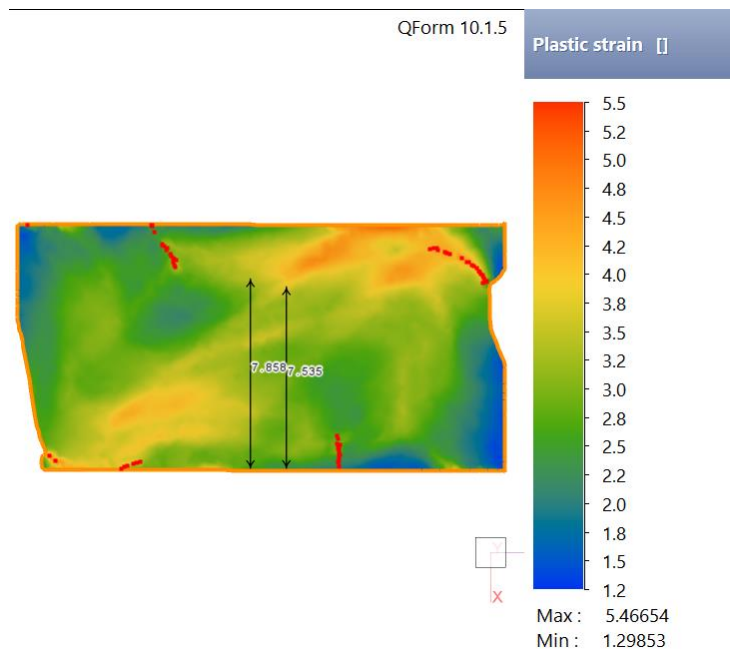
A 2c_1 minta esetén az 5.10. ábra mutatja a minta keresztmetszetét a hosszú oldalainak felező egyenese mentén. Itt annak érdekében, hogy az ábra kiferjen egy oldalra és könnyen értelmezhető legyen, kivágtam a durvaszemcsés tartományt.



5.10. ábra. Az UFG szemcsék kialakulása a minta szélétől mérten.

Az ábrán jól kivehető, hogy az UFG szerkezet a minta szélétől számítva egy 7,535 mm és 7,585 mm közötti tartományon alakult ki. A távolságot felvéve a korábbi mérések során

használt (Juhász, 2022³) QForm végeleemes szoftverben készített szimulációban, látható, hogy az UFG szerkezet kialakulásához ennél a mintánál körülbelül 3,2 és 4,0 közötti alakváltozás szükséges (5.11. ábra).



5.11. ábra. A QForm végeleemes szoftver segítségével megvalósított szimuláció.

6. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Munkám során elvégeztem 11 darab ipari tisztaságú rézből készült próbatest többtengelyű kovácsolását. Ezen próbatesteket ezután az alakítószerszám zárólapjaival érintkező hosszú oldalukra párhuzamosan, középvonaluk mentén elvágtam, majd a megfelelő előkészületek után az így kapott mintákon mikroszkópos vizsgálatokat, majd mikrokeménység mérést végeztem. Utóbbi mintánként 200 mérési pontban valósítottam meg, így összesen 2200 mérési pont került le a 11 darab minta vizsgálata alatt. A metallográfiai vizsgálatokat a többtengelyűen kovácsolt próbatestek mellé referenciaként egy alakítatlan próbatestből készített mintán is elvégeztem. Erre azonban mivel homogén és izotróp szerkezetet lehetett feltételezni, a mikrokeménység mérésekor összesen 50 mérési pont került.

A mérések kiértékelésével minden mintához készült egy keménységtérkép. Ezek mindegyikén (a referencia mintát leszámítva) jól megfigyelhető volt egy minták átlói és közepe mentén húzódó, karakterisztikus alakzat, amiben a keménységértékek nagyobbak voltak a környező pontokon mértéknél. Az azonos ciklusszámú alakításon átesett minták vizsgálatával igazolható, hogy a mérések reprodukálhatók és közel azonos eredményeket adnak. Az alakváltozás mértékét növelve az „X” alakzat szélesedését, illetve a keménység homogenizálódását figyeltem meg.

A keménységtérképek által mutatott képet alátámasztják a mikroszkópos vizsgálatok. Az így készült képeken az elnyúlt, szemcsék a minta középvonala irányába való görbülését láttam. Megfigyeltem továbbá a minták közepén is a szemcsék alakulását. Itt egy összefűzött mikroszkópos képsorozat és egy végeselemes modell segítségével megállapítottam a kétciklusú alakításon átesett minta alakváltozását az UFG szerkezetű tartományának határán.

6.1. Jövőbeli tervek

A későbbiekben szeretném komolyabban megvizsgálni a félciklusú alakítások hatását, így félciklusonként öt alakítási ciklusig eljutni, majd az így kapott mintákat vizsgálni. Ezen túl célom az alakítási lépések közötti alakváltozás vizsgálata is, amelynek a keresztfej 10 mm-es elmozdulása 2 mm-enként valósulna meg. Távoli céljaim a mérések más anyagon (pl. alumínium), illetve ha a körülmények adottak lesznek, növelt hőmérsékleten való elvégzése is.

7. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

7.1. Irodalomjegyzék

- (Artinger, 1971) Dr. ARTINGER ISTVÁN, DR KATOR LAJOS, DR ROMVÁRI PÁL (1971): *Fémek Technológiája*. Műszaki Könyvkiadó Budapest
- (Ashby, 2005) MICHAEL F. ASHBY, DAVID R. H. JONES (2005): *Engineering Materials 1*. Harmadik kiadás. Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford
ISBN: 0 7506 63804
- (Bárczy, 1998) DR. BÁRCZY PÁL (1998): *Anyagszerkezettan*. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc-Egyetemváros
ISBN: 963 661 308 7
- (Bereczki, 2015) BERECZKI PÉTER (2015): *Ultrafinom- és nanoszemcsés tömbi fémötvözetek többtengelyű kovácsolással történő előállításának fizikai és mechanikai modellezése*. Doktori értekezés. BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék
- (Chang, 2000) C. P. CHANG, P. L. SUN, P. W. KAO (2000): Deformation induced grain boundaries in commercially pure aluminium, *Acta Materialia* 48(13): 3377–3385
[https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(00\)00138-5](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(00)00138-5)
- (Courtney, 1990) THOMAS H. COURTNEY (1990): *Mechanical Behavior of Materials*. McGraw-Hill Publishing Company, Szingapúr
ISBN: 0 07 100680 X
- (Domke, 1986) WILHELM DOMKE (1986): *Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung, 10., jav. kiadás*. Cornelsen Verlag Schwann-Girardet, Düsseldorf
ISBN: 3-590-81220-6
- (Essmann, 1979) U. ESSMANN, H. MUGHRABI (1979): *Annihilation of dislocations during tensile and cyclic deformation and limits of dislocation densities*. *Philosophical Magazine A* 40(6): 731–756
<https://doi.org/10.1080/01418617908234871>
- (Fodor, 2008) FODOR ÁRPÁD (2008): *AlMgSi1 ötvözet intenzív képlékenyalakítása*. Doktori értekezés. BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék
- (Furukawa, 2001) M. FURUKAWA et. al. (2001): *Influence of magnesium on grain refinement and ductility in a dilute Al–Sc alloy*. *Acta Materialia* 49(18): 3829–3838
[https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(01\)00262-2](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(01)00262-2)

- (Gillemot, 1967) DR. GILLEMOT LÁSZLÓ (1967): *Anyagszerkezettan és Anyagvizsgálat*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- (Guy, 1978) A. G. GUY, M. E. BEVER, L. L. HENCH (1978): *Fémfizika*. McGraw-Hill Book Company, New York
ISBN: 963 10 2123 8
- (Hall, 1951) E. O. HALL (1951): *The Deformation and Ageing of Mild Steel: III Discussion of Results*. Proceedings of the Physical Society Section B, 64(9): 747–753
DOI: 10.1088/0370-1301/64/9/303
- (Ivanisenko, 2016) Y. IVANISENKO, R. KULAGIN, V. FEDOROV, A. MAZILKIN, T. SCHERER, B. BARETZKY, H. HAHN (2016): *High Pressure Torsion Extrusion as a new severe plastic deformation process*. Material Science Engineering: A, 2016/664, pp. 247.–256.
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.04.008>
- (Jahedi, 2010) MOHAMMAD JAHEDI, MOHAMMAD HOSSEIN PAYDAR (2010): *Study on the feasibility of the torsion extrusion (TE) process as a severe plastic deformation method for consolidation of Al powder*. Materials Science and Engineering: A 527(20): 5273–5279
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.04.088>
- (Jahedi, 2011) MOHAMMAD JAHEDI, MOHAMMAD HOSSEIN PAYDAR (2011): *Three-dimensional finite element analysis of torsion extrusion (TE) as an SPD process*. Materials Science and Engineering: A 528(29-30): 8742–8749
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.08.055>
- (Juhász, 2021) JUHÁSZ ZSOMBOR, BÍRÓ TAMÁS (2021): *Alakváltozási folyamatok vizsgálata zárt üregű többtengelyű kovácsolás során*. TDK dolgozat. BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék
- (Juhász, 2022¹) JUHÁSZ ZSOMBOR, BÍRÓ TAMÁS (2022): *Design and Manufacture of closed die multiaxial forging tool*. . Proceedings of conference „13th Hungarian Conference on Materials Science” Balatonkenese, October 10–12. 2021.: 1–5
DOI: 10.1088/1757-899X/1246/1/012009
- (Juhász, 2022²) JUHÁSZ ZSOMBOR (2022): *Zárt üregű többtengelyű kovácsolással alakított réz próbatestek mikroszerkezeti vizsgálata*. Szakdolgozat. BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék

- (Juhász, 2022³) JUHÁSZ ZSOMBOR, BÍRÓ TAMÁS (2022): *CuE réz többtengelyű kovácsolásának szimulációja*. Proceedings of conference „XXVII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka” Kolozsvár, March 17,2022.: 1–5
<https://doi.org/10.33923/amt-2022-01-01>
- (Kai, 2013) XIZHOU KAI, et. al. (2013): Strong and ductile particulate reinforced ultrafine-grained metallic composites fabricated by flake powder metallurgy. *Scripta Materialia*, 68(8). 555–558
<https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2012.11.024>
- (Kapoor, 2013) KAPOOR, A. SARKAR, R. YOGI, S. K. SHEKHAWAT, I. SAMAJDAR, J. K. CHAKRAVARTTY (2013): *Softening of Al during multi-axial forging in a channel die*. *Materials Science and Engineering: A* 2013/560, pp. 404.-412.
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.09.085>
- (Kozlov, 2008) E. V. KOZLOV, A. N. ZHDANOV, N. A. KONEVA (2008): *Deformation mechanisms and mechanical properties of nanocrystalline materials*. *Physical Mesomechanics* 11(1-2): 42–50
<https://doi.org/10.1016/j.physme.2008.03.005>
- (Krállics, 2014) KRÁLLICS GYÖRGY (2014): *Ultra-finomszemcsés fémek tömbi anyagok előállítása intenzív képlékenyalakítással*. Habilitációs füzet. BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék
- (Masumura, 1998) R. A. MASUMURA, P. M. HAZZLEDINE, C. S. PANDE (1998): *Yield stress of fine grained materials*. *Acta Metallurgica* 46(13): 4527–4534
[https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(98\)00150-5](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(98)00150-5)
- (Meyers, 1999) MARC ANDRÉ MEYERS, RONALD W. ARMSTRONG, HELMU O. K. KIRCHNER (1999): *Mechanics and Materials*. John Wiley & Sons, new York
- (Mughrabi, 1983) H. MUGHRABI (1983): *Dislocation wall and cell structures and long-range internal stresses in deformed metal crystals*
- (Oliver, 2003) W. C. OLIVER, G. M. PHARR (2003): *Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology*. *Journal of Materials Research* 19: 3-20
<https://doi.org/10.1557/jmr.2004.19.1.3>

- (Osman, 1965) OSMAN MIKLÓS (1965): *Képlékeny hidegalakítás*. Műszaki könyvkiadó, Budapest
pp.: 9-36
- (Pék, 2000) DR. PÉK LAJOS, DR. PELLÉNYI LAJOS, DR. PÁLINKÁS ISTVÁN (2000): *Anyagszerkezettan és Anyagismeret*. Dinasztia Kiadó, Budapest
ISBN: 963 657 326 3
- (Petch, 1953) N. J. PETCH (1953): *The cleavage strength of polycrystals*. Journal of the Iron and Steel Institute 174: 25–28
DOI: 10.1088/0370-1301/64/9/303
- (Prohászka, 2001) PROHÁSZKA JÁNOS (2001): *A fémek és ötvözetek mechanikai tulajdonságai*. Műegyetemi Kiadó, Budapest
ISBN: 963 420 671 9
- (Renkó, 2018) RENKÓ JÓZSEF BÁLINT, KÓTI DÁNIEL (2018): *Melegen hengerelt 5182 alumíniumötvözet mechanikai tulajdonságainak változtatása többirányú kovácsolás alkalmazásával*. TDK dolgozat. BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék
- (Sakai, 2014) T. SAKAI, A. BELYAKOV, R. KAIBYSHEV, H. MIURA, J. J. JONAS (2014): *Dynamic and post-dynamic recrystallization under hot, cold and severe plastic deformation conditions*. Progress in Materials Science 2014/60 pp. 130.-207.
<https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.09.002>
- (Segal, 2006) V.M. SEGAL, *Shear-extrusion method*, USA, US7096705B2, 27.Aug. 2004
- (Siegel 1994) R. W. SIEGEL (1994): *Nanophase Materials*. Encyclopedia of Applied Physics Vol. 11, VCH Publishers)
- (Szabó, 2014) DR. SZABÓ PÉTER JÁNOS (2014): *Intenzív alakítási és hőkezelési folyamatok mikroszerkezetre gyakorolt hatásának értelmezése visszaszórtelektron-diffrakcióval*. MTA doktori értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar
- (Tóth, 2003) DR. TÓTH TAMÁS (2003): *Anyagtan*. Dunaújvárosi Főiskola Kiadói Hivatala, Dunaújváros
ISBN 963 210 838 8
pp.: 121-171
- (Trivedi, 2016) P. TRIVEDI, K.C. NUNE, R.D.K. MISRA, S. GOEL, R. JAYGANTHAN, A. SRINIVASAN (2016): *Grain refinement to*

- submicron regime in multi-axial forged Mg-2Zn2Gd alloy and relationship to mechanical properties*. Material Science and Engineering: A, 2016/668, pp. 59.-65.
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.05.050>
- (Valiev, 2000) R.Z. VALIEV, R.K. ISLAMGALIEV, I.V. ALEXANDROV (2000): *Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation*. Progress in Materials Science 45(2): 103–189
 DOI:10.1016/S0079-6425(99)00007-9
- (Verő, 1977) VERŐ JÓZSEF, KÁLDOR MIHÁLY (1977): *Fémtan*. Tankönyvkiadó, Budapest
 ISBN: 963 17 1798 4
- (Verő, 2004) VERŐ JÓZSEF, KÁLDOR MIHÁLY (1977): *Fémtan*. Tankönyvkiadó, Budapest
 ISBN: 963 17 1798 4
- (Zhilyaev, 2008) ALEXANDER P. ZHILYAEV, TERENCE G. LANGDON (2008): *Using high-pressure torsion for metal processing: Fundamentals and applications*. Progress in Material Science 53(6): 893–979
<https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2008.03.002>

7.2. Ábrajegyzék

- 3.1.1. ábra. A nulldimenziós rácshibák: (Bárczy, 1998)
- 3.1.2. ábra. Az egymás fölé rendeződött diszlokációk szubszemcsehatárt alkotnak: (Domke, 1986)
- 3.1.3. ábra. Ikerhatárok: Saját ábra.
- 3.1.4. ábra. Diszlokáció és Burgers-vektor: (Pék, 2000)
- 3.1.5. ábra. Él- és csavardiszlokációk: (Bárczy, 1998)
- 3.1.6. ábra. Frank-Read-forrás értelmezése: (Gillemot, 1967)
- 3.1.7. ábra. Éldiszlokációk csúszósík menti mozgása: (Courtney, 1990)
- 3.1.8. ábra. Csavardiszlokációk csúszósík menti mozgása: (Prohászka, 2001)
- 3.1.9. ábra. . Ellentétes előjelű diszlokációk találkozása a diszlokációk megsemmisülésével és vakancia keletkezésével: (Pék, 2000)
- 3.1.10. ábra. Éldiszlokáció ütközése: éldiszlokációval, csavardiszlokációval; csavardiszlokáció ütközése csavardiszlokációval: (Prohászka, 2001)

- 3.2.1. ábra. Csúsztató feszültség a csúszási rendszerben: (Prohászka, 2001)
- 3.2.2. ábra. Egykristály alakváltozása: (Gillemot, 1996)
- 3.2.3. ábra. A szomszédos szemcsék hatása egymás alakváltozására: (Courtney, 1990)
- 3.3.1. ábra. Transzmissziós elektronmikroszkóppal (TEM) készült képek $\epsilon=2$, $\epsilon=4$ és $\epsilon=8$ egyenértékű képlékeny alakváltozás mellett. Diszlokációmaradványok $\epsilon=8$ alakváltozás után: (Chang, 2000)
- 3.4.1. ábra. A mérnöki feszültség a mérnöki alakváltozás függvényében különböző módszerrel alakított rézminták esetén: (Szabó, 2014)
- 3.4.2. ábra. Négy SPD eljárás: HPT (Fodor, 2008), ECAP (Zhilyaev, 2008), TE (Jahedi, 2011), HPTE (Ivanisenko, 2016):
- 3.4.3. ábra. A két- és háromutas eljárásváltozat (Saját ábra), illetve síklapok közti alakítás hengeres munkadarabon: (Krállics, 2014)
- 4.1. ábra. A szerszám felépítése: (Juhász, 2022²)
- 4.2. ábra. Egy alakítási ciklus: (Juhász, 2021)
- 4.3. ábra. A minták darabolásának vázlatja: Saját ábra
- 4.4. ábra. A minták elhelyezése a maradás során: Saját ábra
- 4.5. ábra. Egy mérés P-h görbéje: (Oliver, 2003)
- 4.6. ábra. A mérési pontok elhelyezése téglalap alakú, és attól eltérő mintákon: Saját ábra
- 5.1. ábra. A 0,5 alakítási cikluson átesett minták keménységtérképe: Saját ábra
- 5.2. ábra. Az 1 alakítási cikluson átesett minták keménységtérképe: Saját ábra
- 5.3. ábra. Az 1 alakítási cikluson átesett minták keménységtérképe: Saját ábra
- 5.4. ábra. Az alakítatlan minta keménységtérképe Saját ábra
- 5.5. ábra. A 2 és 4 alakítási cikluson átesett minta keménységtérképe: Saját ábra
- 5.6. ábra. Az alakítatlan minta mikroszkópi képe: Saját ábra
- 5.7. ábra. A 0,5c₁ minta szemcséi által mutatott jellegzetes mintázat: Saját ábra
- 5.8. ábra. A mintázat ismételt megjelenése a 0,5c₁, az 1c₂, az 1,5c₂ és a 4c₁ mintákban: Saját ábra
- 5.9. ábra. A szemcsék deformációja az alakváltozás növekedésével a 0,5c₂, az 1c₂, a 2c₁ és a 4c₁ mintákban: Saját ábra
- 5.10. ábra. Az UFG szemcsék kialakulása a minta szélétől mérten: Saját ábra
- 5.11. ábra. A QForm végeeselemes szoftver segítségével megvalósított szimuláció: Saját ábra

8. MELLÉKLET

8.1. A mikrokeménység mérés jegyzőkönyveinek listája

- 1. melléklet: a 0c_1 minta jegyzőkönyve
- 2. melléklet: a 0.5c_1 minta jegyzőkönyve
- 3. melléklet: a 0.5c_2 minta jegyzőkönyve
- 4. melléklet: a 0.5c_3 minta jegyzőkönyve
- 5. melléklet: az 1c_1 minta jegyzőkönyve
- 6. melléklet: az 1c_2 minta jegyzőkönyve
- 7. melléklet: az 1c_3 minta jegyzőkönyve
- 8. melléklet: az 1.5c_1 minta jegyzőkönyve
- 9. melléklet: az 1.5c_2 minta jegyzőkönyve
- 10. melléklet: az 1.5c_3 minta jegyzőkönyve
- 11. melléklet: a 2c_1 minta jegyzőkönyve
- 12. melléklet: a 4c_1 minta jegyzőkönyve

8.2. A többtengelyű kovácsszerszám megértését segítő műszaki rajzok

- 13. melléklet: darabjegyzék (Juhász, 2021)
- 14. melléklet: a középső blokk robbantott ábrája (Juhász, 2021)
- 15. melléklet: a szerszám robbantott ábrája (Juhász, 2021)

Mérési Jegyzőkönyv

Adatok

Minta jele:	0c_1	Legkisebb érték:	31,8 (HV)
Terhelés:	500 (g)	Legnagyobb érték:	64,9 (HV)
Nyomási idő:	5 (s)	Átlagos keménység:	53,6 (HV)

A mért értékek a fehér mezőbe kerülnek és HV-ben értendők.

		X irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)				
		9,5	7,25	5	2,75	0,5
Y irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)	19,5	39,2	39,3	27,8	33,4	22,7
	17,4	60,0	57,1	59,7	61,3	0,0
	15,3	57,0	56,1	60,7	55,5	58,7
	13,2	62,1	57,1	53,7	57,0	55,6
	11,1	55,1	53,1	48,7	53,9	50,4
	8,9	36,9	31,8	38,4	36,0	0,0
	6,8	59,7	59,4	61,0	57,5	53,3
	4,7	58,1	60,0	60,5	53,6	61,8
	2,6	58,0	54,7	55,3	56,2	64,9
	0,5	52,5	50,9	47,7	53,6	61,2

Mérési Jegyzőkönyv

Adatok

Minta jele:	0.5c_1	Legkisebb érték:	101,5 (HV)
Terhelés:	500 (g)	Legnagyobb érték:	210,1 (HV)
Nyomási idő:	5 (s)	Átlagos keménység:	146,0 (HV)

A mért értékek a fehér mezőbe kerülnek és HV-ben értendők.

		X irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)									
		9,5	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5	2,5	1,5	0,5
Y irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)	19,5	46,5	42,0	49,0	99,7	111,7	125,1	106,7	101,5	48,5	45,1
	18,5	130,1	138,1	118,1	114,0	111,1	121,5	136,0	117,6	122,7	123,3
	17,5	157,4	146,9	135,8	135,6	120,5	135,9	134,8	129,3	147,5	159,6
	16,5	169,1	188,8	183,2	135,0	169,1	170,3	157,4	157,8	169,2	157,6
	15,5	114,5	147,7	210,1	175,5	177,5	156,9	166,0	183,1	170,8	135,0
	14,5	126,0	127,0	143,1	156,2	177,8	167,8	169,4	183,2	154,1	139,3
	13,5	127,1	127,5	142,4	154,2	161,1	197,7	189,2	171,7	146,4	132,6
	12,5	127,2	124,0	143,5	149,0	174,5	174,4	171,0	155,8	138,0	129,7
	11,5	133,9	131,0	126,5	152,2	148,5	153,3	160,1	152,2	147,2	154,1
	10,5	131,8	121,9	136,9	152,5	147,8	164,5	159,4	146,8	147,8	147,4
	9,5	127,2	133,4	142,9	132,2	152,6	163,5	157,9	153,8	143,5	129,6
	8,5	123,8	133,3	136,2	141,4	163,2	161,3	159,2	134,3	154,2	147,6
	7,5	130,2	129,7	137,7	154,4	163,7	160,2	159,2	145,5	142,5	147,0
	6,5	135,4	132,3	145,7	164,8	164,3	153,5	166,6	154,4	131,8	143,4
	5,5	124,8	137,0	150,4	161,7	154,4	186,1	163,0	152,5	154,7	136,0
	4,5	131,8	159,8	167,9	167,3	151,8	148,8	154,3	163,5	151,2	128,5
	3,5	169,3	168,1	166,6	149,5	143,3	128,8	150,3	147,6	163,9	127,0
2,5	164,4	150,9	147,4	137,8	133,8	138,9	137,6	148,0	164,8	154,9	
1,5	88,0	138,7	148,5	111,8	126,3	119,4	125,5	133,8	122,2	157,2	
0,5	30,8	48,5	109,9	105,0	103,2	112,5	129,2	121,3	120,6	77,2	

Mérési Jegyzőkönyv

Adatok

Minta jele:	0.5c_2	Legkisebb érték:	101,3 (HV)
Terhelés:	500 (g)	Legnagyobb érték:	175,1 (HV)
Nyomási idő:	5 (s)	Átlagos keménység:	141,3 (HV)

A mért értékek a fehér mezőbe kerülnek és HV-ben értendők.

X irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)											
	9,5	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5	2,5	1,5	0,5	
Y irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)	19,5	48,9	37,5	36,3	41,7	42,2	54,7	37,1	40,1	35,0	42,4
	18,5	42,1	47,5	38,6	41,3	44,3	36,1	41,5	35,8	41,9	35,0
	17,5	32,2	45,4	105,4	101,3	111,8	119,1	106,2	119,7	120,1	137,2
	16,5	135,1	127,7	131,0	122,9	109,9	129,3	118,7	113,1	135,6	160,7
	15,5	162,2	154,4	127,7	125,6	123,1	129,4	131,2	132,5	150,0	141,6
	14,5	126,8	158,9	147,7	113,3	130,8	134,6	149,4	149,0	144,1	129,8
	13,5	103,5	136,8	146,6	151,8	149,0	144,5	148,9	148,6	127,5	124,0
	12,5	109,5	136,8	145,1	154,2	152,1	151,4	152,9	145,8	129,4	124,4
	11,5	116,6	145,5	145,9	145,5	148,3	158,1	156,0	144,2	140,1	136,4
	10,5	121,5	136,6	125,8	156,8	159,3	156,9	157,0	136,7	143,8	136,9
	9,5	129,9	134,5	149,3	142,4	159,3	161,6	155,5	139,2	152,2	132,8
	8,5	137,3	126,1	120,3	124,8	152,4	152,7	153,2	152,0	147,5	132,4
	7,5	142,8	128,2	121,0	139,2	159,4	160,9	132,9	150,0	153,3	139,7
	6,5	139,6	130,4	131,7	159,8	152,2	158,1	149,3	143,7	143,0	137,7
	5,5	123,6	132,4	148,6	162,2	159,3	155,7	146,3	149,4	136,7	147,0
	4,5	129,9	130,2	156,5	161,1	145,6	158,4	156,8	156,2	146,8	133,3
3,5	128,3	147,2	158,4	158,1	152,8	150,6	165,1	153,8	155,5	131,9	
2,5	131,8	159,4	158,3	147,3	152,6	148,7	152,1	160,0	164,4	142,2	
1,5	175,1	151,8	147,1	150,9	134,6	138,8	130,2	144,1	170,1	156,2	
0,5	155,1	122,7	132,5	134,7	116,4	127,9	118,2	131,3	151,2	152,7	

Mérési Jegyzőkönyv

Adatok

Minta jele:	0.5c_3	Legkisebb érték:	102,5 (HV)
Terhelés:	500 (g)	Legnagyobb érték:	177,3 (HV)
Nyomási idő:	5 (s)	Átlagos keménység:	141,4 (HV)

A mért értékek a fehér mezőbe kerülnek és HV-ben értendők.

		X irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)									
		9,5	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5	2,5	1,5	0,5
Y irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)	19,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	18,5	31,2	29,2	46,3	57,0	40,3	51,9	37,6	47,7	33,7	32,8
	17,5	147,0	125,1	120,5	109,6	98,1	120,3	113,5	113,9	125,2	122,5
	16,5	156,4	143,5	121,1	136,2	102,5	143,0	129,3	120,8	136,3	152,3
	15,5	148,9	163,9	165,8	130,7	138,1	139,6	127,7	136,1	158,7	162,9
	14,5	109,0	152,4	149,6	150,6	133,9	139,5	142,7	164,3	165,7	147,0
	13,5	125,0	133,1	151,1	145,4	154,0	136,1	170,6	147,8	137,5	140,7
	12,5	131,1	126,4	136,2	158,8	161,4	150,6	160,9	153,3	128,5	131,6
	11,5	111,7	118,1	129,7	143,3	158,8	158,5	162,3	144,8	140,2	126,1
	10,5	127,5	132,1	129,2	131,6	157,6	153,6	154,1	140,2	134,4	124,1
	9,5	138,4	138,2	133,0	138,5	147,5	156,4	155,2	141,5	142,1	134,9
	8,5	135,3	143,6	136,2	140,7	151,8	146,3	144,5	150,7	137,2	136,9
	7,5	132,3	146,9	138,4	148,8	159,9	142,1	150,6	134,1	126,1	131,0
	6,5	134,8	147,0	143,0	154,0	165,7	148,5	140,0	158,3	130,1	129,2
	5,5	123,6	133,4	149,6	158,6	166,2	155,9	159,1	145,0	138,2	143,4
	4,5	126,1	148,9	156,9	144,3	145,9	140,3	150,8	177,3	153,1	133,7
	3,5	145,0	166,6	160,7	140,5	139,2	142,0	149,6	160,5	163,1	135,8
2,5	163,0	160,6	149,8	143,5	136,5	143,8	131,1	140,4	157,0	162,9	
1,5	136,1	119,4	143,9	153,1	131,8	146,9	131,4	142,1	133,1	144,8	
0,5	38,7	46,2	76,8	39,2	116,1	125,4	105,9	122,6	114,9	110,4	

Mérési Jegyzőkönyv

Adatok

Minta jele:	1c_1	Legkisebb érték:	115,6 (HV)
Terhelés:	500 (g)	Legnagyobb érték:	215,1 (HV)
Nyomási idő:	5 (s)	Átlagos keménység:	171,4 (HV)

A mért értékek a fehér mezőbe kerülnek és HV-ben értendők.

		X irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)										
		9,5	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5	2,5	1,5	0,5	
Y irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)	19,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,5
	18,5	0,0	0,0	50,7	0,0	0,0	0,0	43,0	46,7	0,0	0,0	0,0
	17,5	99,2	146,7	143,2	163,9	153,5	148,5	155,5	139,4	148,2	145,9	145,9
	16,5	132,5	149,5	148,0	152,0	157,7	156,2	156,0	148,2	154,0	172,7	172,7
	15,5	159,4	175,1	123,4	159,8	147,6	154,8	160,0	0,0	177,9	157,7	157,7
	14,5	171,7	196,7	196,6	174,9	175,8	164,0	211,9	207,2	194,8	156,8	156,8
	13,5	159,9	208,1	214,9	195,9	183,7	175,2	201,6	201,4	0,0	161,6	161,6
	12,5	154,3	211,0	197,0	204,0	183,7	193,3	202,5	0,0	171,4	151,8	151,8
	11,5	138,8	176,1	187,1	206,3	215,1	209,9	202,2	178,2	164,8	140,4	140,4
	10,5	131,0	160,3	177,2	182,7	186,5	193,1	194,4	190,5	159,0	140,3	140,3
	9,5	128,9	161,5	182,7	188,2	179,3	190,2	187,2	175,8	165,7	152,3	152,3
	8,5	130,7	162,3	182,8	195,4	195,0	193,3	191,1	0,0	163,5	151,5	151,5
	7,5	134,2	0,0	177,6	187,1	188,9	197,0	187,9	160,7	167,4	153,9	153,9
	6,5	155,9	179,0	194,9	199,4	191,0	191,5	198,8	182,0	0,0	160,8	160,8
	5,5	164,7	193,4	169,2	188,0	183,6	181,1	187,1	180,7	161,9	153,3	153,3
	4,5	163,5	183,2	188,3	166,5	0,0	165,7	200,8	194,2	0,0	162,3	162,3
	3,5	191,1	198,0	186,2	180,9	174,5	168,5	170,7	194,6	193,8	155,0	155,0
2,5	186,6	184,2	169,6	172,0	175,9	165,0	153,6	179,2	189,1	180,9	180,9	
1,5	165,3	145,9	154,2	153,7	158,9	147,5	151,5	115,6	139,5	171,7	171,7	
0,5	43,6	124,5	124,4	200,8	152,6	156,4	150,6	135,5	126,7	64,0	64,0	

Mérési Jegyzőkönyv

Adatok

Minta jele:	1c_2	Legkisebb érték:	122,1 (HV)
Terhelés:	500 (g)	Legnagyobb érték:	220,5 (HV)
Nyomási idő:	5 (s)	Átlagos keménység:	166,8 (HV)

A mért értékek a fehér mezőbe kerülnek és HV-ben értendők.

		X irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)									
		9,5	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5	2,5	1,5	0,5
Y irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)	19,5	62,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,1	0,0	0,0
	18,5	0,0	59,4	0,0	47,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	17,5	53,8	144,2	159,0	166,4	134,2	151,9	141,5	122,1	145,2	161,7
	16,5	170,8	165,5	176,3	0,0	169,3	162,5	158,2	156,6	176,7	193,4
	15,5	162,7	189,3	172,7	167,4	130,5	156,9	175,7	190,4	166,5	180,6
	14,5	174,1	187,8	181,3	185,4	173,4	0,0	194,5	200,5	179,0	156,7
	13,5	151,2	195,3	184,3	175,5	179,0	181,4	198,8	186,2	181,4	149,7
	12,5	143,0	189,6	194,3	194,7	185,8	187,1	191,8	161,3	167,1	160,8
	11,5	124,9	160,0	195,1	192,0	186,2	187,7	197,7	181,8	173,0	127,4
	10,5	144,3	171,6	183,2	196,5	178,0	176,7	184,3	181,0	160,1	157,3
	9,5	133,5	156,4	0,0	175,9	194,4	189,8	188,8	184,5	154,3	144,6
	8,5	123,4	168,4	162,7	182,5	0,0	197,9	182,4	0,0	163,4	0,0
	7,5	165,4	188,0	178,7	171,6	216,9	201,0	177,3	165,7	157,1	152,4
	6,5	156,3	173,2	192,0	206,9	200,9	184,1	183,9	157,6	157,4	158,3
	5,5	152,5	161,3	210,8	220,5	178,7	161,5	173,1	162,3	158,1	156,9
	4,5	150,7	174,5	174,3	172,1	160,2	168,1	163,8	160,9	163,6	138,9
	3,5	170,9	170,2	164,8	151,6	153,4	144,1	154,7	164,7	164,8	152,5
2,5	178,7	151,5	150,1	143,9	129,8	142,7	131,7	151,3	173,8	182,0	
1,5	152,3	140,0	126,2	134,7	136,3	143,0	146,9	147,8	149,2	161,9	
0,5	42,4	98,1	134,3	152,5	141,2	143,7	140,3	140,6	129,2	94,7	

Mérési Jegyzőkönyv

Adatok

Minta jele:	1c_3	Legkisebb érték:	115,2 (HV)
Terhelés:	500 (g)	Legnagyobb érték:	189,7 (HV)
Nyomási idő:	5 (s)	Átlagos keménység:	155,0 (HV)

A mért értékek a fehér mezőbe kerülnek és HV-ben értendők.

		X irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)									
		9,5	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5	2,5	1,5	0,5
Y irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)	19,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	52,7	23,4	43,8	43,1	33,7	0,0
	17,5	115,8	115,2	131,8	158,3	151,5	132,8	146,8	135,2	130,2	136,0
	16,5	144,7	137,9	157,7	151,6	154,2	162,9	154,3	145,4	165,7	178,4
	15,5	149,7	164,1	157,0	151,4	148,8	160,5	145,4	162,8	173,3	168,8
	14,5	168,9	178,1	168,1	148,8	152,4	156,4	169,8	165,5	0,0	149,0
	13,5	151,1	167,7	158,5	162,5	155,4	148,4	157,6	157,7	148,3	148,3
	12,5	148,6	154,8	151,2	170,1	169,0	164,4	180,0	152,5	157,2	135,1
	11,5	141,3	128,3	142,7	157,7	142,3	163,1	165,9	161,2	157,2	147,6
	10,5	140,7	152,5	166,6	152,0	157,1	160,8	167,5	140,2	142,8	137,8
	9,5	138,4	137,8	156,6	168,0	164,6	159,7	162,7	140,6	135,3	116,1
	8,5	123,2	158,8	161,2	173,9	173,1	153,0	166,0	156,5	155,6	121,4
	7,5	150,6	149,4	158,2	0,0	171,8	178,1	162,1	162,0	156,0	140,1
	6,5	141,0	155,3	163,0	168,0	174,7	183,1	159,7	0,0	165,2	151,7
	5,5	0,0	161,4	168,3	176,6	162,7	178,1	178,1	177,4	171,4	161,6
	4,5	162,2	165,1	148,8	154,1	167,2	176,5	189,7	169,2	152,5	177,0
	3,5	169,2	148,2	155,9	153,5	143,6	152,9	158,4	182,5	183,4	156,8
2,5	167,5	146,4	137,3	143,8	0,0	145,0	0,0	169,1	180,4	170,7	
1,5	125,7	117,5	134,7	140,1	121,9	157,4	163,6	172,8	0,0	0,0	
0,5	39,9	120,1	121,7	0,0	147,1	162,6	155,6	140,9	120,6	64,1	

Mérési Jegyzőkönyv

Adatok

Minta jele:	1.5c_1	Legkisebb érték:	107,2 (HV)
Terhelés:	500 (g)	Legnagyobb érték:	194,5 (HV)
Nyomási idő:	5 (s)	Átlagos keménység:	158,7 (HV)

A mért értékek a fehér mezőbe kerülnek és HV-ben értendők.

		X irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)									
		9,5	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5	2,5	1,5	0,5
Y irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)	19,5	0,0	34,4	118,2	140,0	130,3	123,4	123,2	129,5	67,8	0,0
	18,5	150,5	124,4	144,7	135,7	140,1	137,3	148,7	148,0	164,7	153,4
	17,5	194,5	142,9	154,6	139,8	143,7	125,7	148,2	171,7	168,5	165,9
	16,5	156,4	175,7	164,5	146,9	0,0	163,3	175,0	165,0	159,4	170,1
	15,5	181,0	162,4	177,5	163,6	155,5	168,9	146,6	162,5	165,7	161,0
	14,5	161,4	176,2	165,2	173,3	164,1	166,2	164,5	171,6	167,3	158,3
	13,5	157,1	164,9	176,6	174,0	162,6	171,3	169,6	165,6	156,1	143,4
	12,5	154,1	169,6	161,5	168,8	165,9	165,6	174,3	159,9	158,5	145,4
	11,5	157,5	166,0	168,6	168,8	169,8	0,0	166,6	152,7	149,2	144,9
	10,5	160,8	157,4	155,3	170,9	170,6	164,8	172,4	157,6	136,8	149,3
	9,5	145,2	142,8	150,1	164,6	171,2	176,4	187,4	160,2	152,5	153,4
	8,5	150,7	153,1	160,9	166,5	166,9	168,7	169,2	172,4	156,3	140,4
	7,5	152,6	145,3	162,2	168,2	166,3	170,8	179,6	179,3	149,2	148,4
	6,5	143,0	151,8	169,8	167,3	168,6	172,6	179,4	169,4	162,6	148,6
	5,5	148,6	155,4	170,5	159,5	157,8	175,6	166,1	176,3	167,8	146,9
	4,5	150,3	176,8	164,1	157,6	148,9	168,9	172,0	168,6	176,4	164,0
	3,5	157,8	172,9	161,6	159,8	155,2	154,4	168,9	173,7	167,2	174,5
2,5	154,4	169,7	144,3	153,9	155,9	156,4	147,1	165,0	170,0	167,7	
1,5	175,5	154,3	154,3	146,6	131,6	155,8	156,2	154,6	146,7	107,2	
0,5	0,0	79,7	126,7	155,8	161,2	135,4	135,9	128,8	38,0	0,0	

Mérési Jegyzőkönyv

Adatok

Minta jele:	2c_1	Legkisebb érték:	129,5 (HV)
Terhelés:	500 (g)	Legnagyobb érték:	207,3 (HV)
Nyomási idő:	5 (s)	Átlagos keménység:	169,2 (HV)

A mért értékek a fehér mezőbe kerülnek és HV-ben értendők.

		X irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)									
		9,5	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5	2,5	1,5	0,5
Y irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)	19,5	0,0	368,6	415,0	402,2	359,0	389,0	334,5	314,7	301,4	445,1
	18,5	0,0	50,3	41,6	42,7	34,8	45,4	42,9	37,8	0,0	0,0
	17,5	76,8	150,9	148,3	150,2	155,1	141,5	145,3	131,5	156,1	40,3
	16,5	0,0	0,0	172,3	155,8	0,0	150,0	148,1	0,0	165,6	181,8
	15,5	0,0	0,0	164,4	207,3	185,5	0,0	161,3	170,2	185,6	186,6
	14,5	166,6	185,0	173,4	0,0	0,0	0,0	162,6	179,9	186,9	0,0
	13,5	180,7	180,7	0,0	0,0	175,3	170,8	177,2	171,3	184,0	171,7
	12,5	172,4	173,9	181,5	177,3	236,2	182,0	185,0	0,0	175,5	153,3
	11,5	167,3	0,0	177,5	186,9	178,3	184,9	183,7	184,2	161,0	154,2
	10,5	161,1	172,3	174,3	184,2	187,0	185,6	184,0	167,0	0,0	149,1
	9,5	160,1	0,0	169,6	0,0	183,5	186,6	186,2	163,8	152,9	138,3
	8,5	145,9	162,4	177,7	179,8	182,4	0,0	174,2	0,0	160,2	129,5
	7,5	153,5	0,0	173,9	178,7	178,2	174,7	184,2	151,0	0,0	143,6
	6,5	152,9	167,6	174,0	182,3	198,8	145,8	190,9	162,8	154,7	157,1
	5,5	163,5	169,6	179,7	176,9	163,1	185,5	183,7	0,0	170,3	162,7
	4,5	163,0	159,0	177,4	0,0	176,4	0,0	0,0	179,1	166,2	167,5
	3,5	170,5	171,5	169,8	172,0	171,8	176,0	163,4	180,0	181,1	165,9
2,5	177,5	171,5	163,2	174,6	148,0	165,7	158,0	181,3	178,6	179,5	
1,5	169,0	166,0	163,0	0,0	158,7	158,1	157,8	150,8	166,0	164,2	
0,5	158,0	147,6	154,9	167,3	172,0	177,4	141,1	160,5	144,8	67,6	

Mérési Jegyzőkönyv

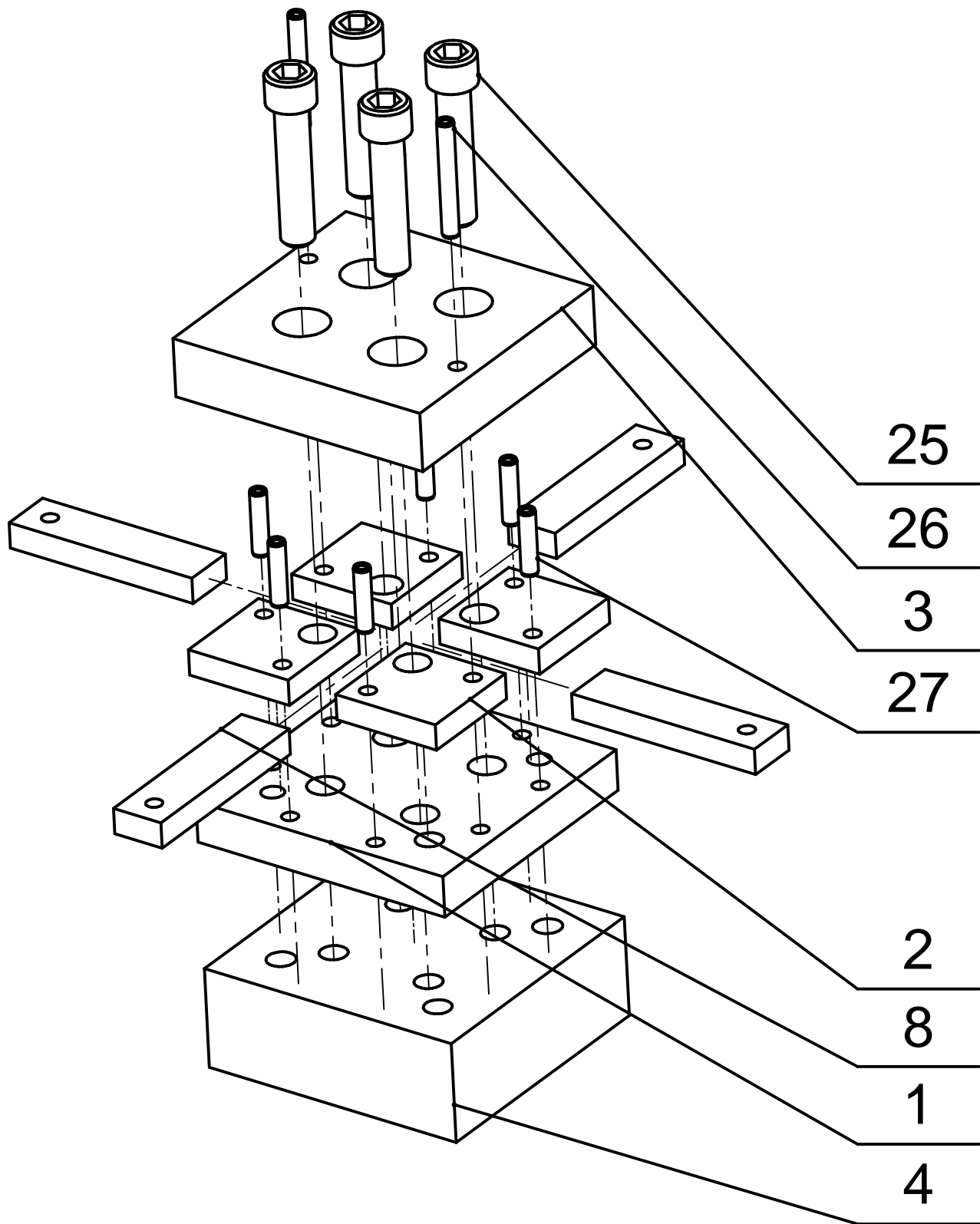
Adatok

Minta jele:	4c_1	Legkisebb érték:	114,8 (HV)
Terhelés:	500 (g)	Legnagyobb érték:	185,4 (HV)
Nyomási idő:	5 (s)	Átlagos keménység:	164,3 (HV)

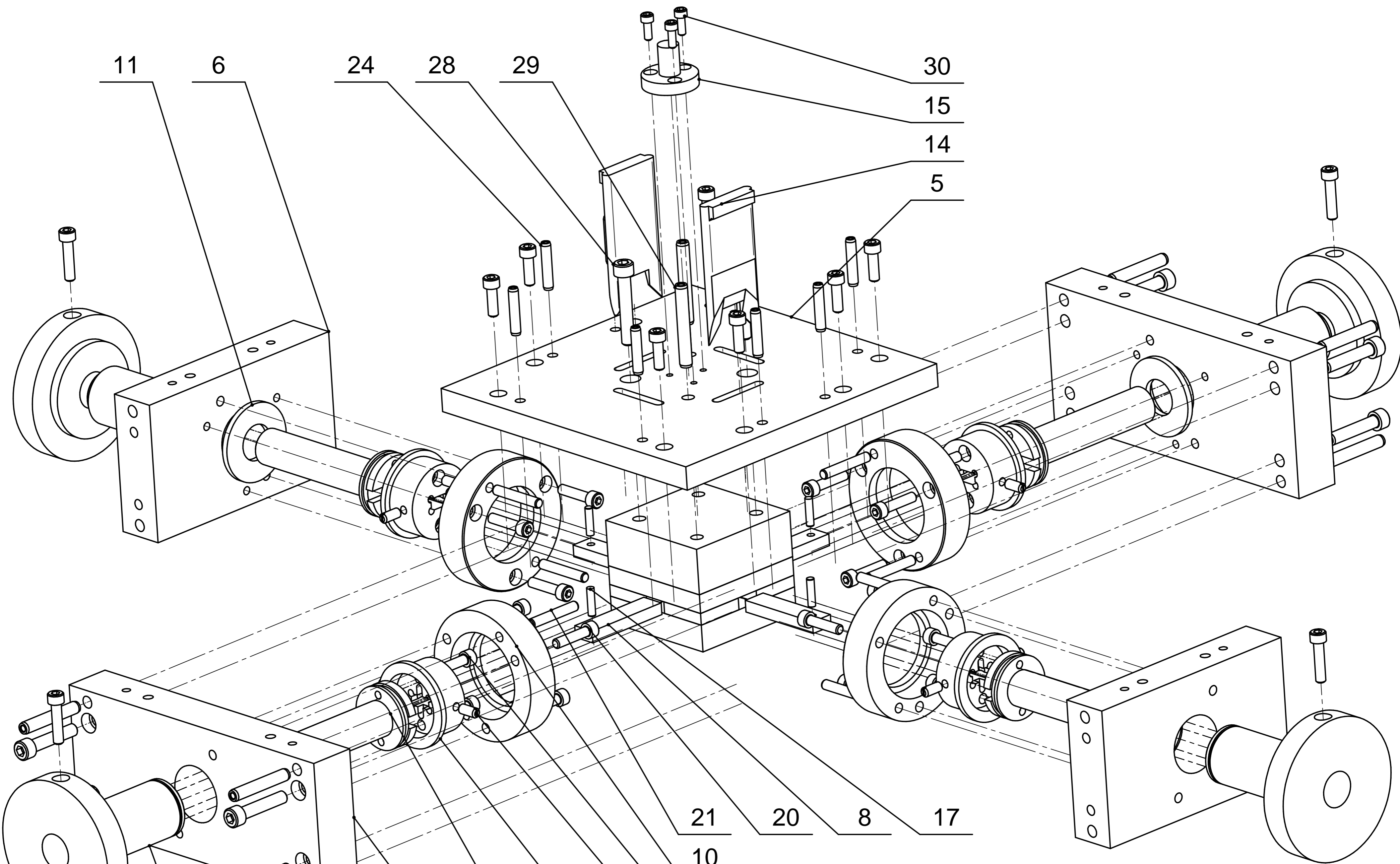
A mért értékek a fehér mezőbe kerülnek és HV-ben értendők.

		X irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)									
		9,5	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5	2,5	1,5	0,5
Y irányú elhelyezkedés az origótól mérve (mm)	19,5	50,0	43,5	47,4	41,7	0,0	0,0	46,9	44,3	48,1	47,5
	18,5	42,6	43,2	43,9	0,0	43,3	48,1	0,0	52,6	0,0	167,6
	17,5	51,5	149,0	153,4	145,8	166,5	153,5	145,1	147,9	174,1	158,0
	16,5	168,3	152,7	148,8	162,4	146,3	174,4	159,7	173,9	171,2	168,5
	15,5	147,6	166,5	163,0	157,5	99,7	162,0	168,6	163,1	164,4	166,9
	14,5	160,9	167,2	169,6	167,7	142,5	164,9	0,0	167,8	162,2	569,5
	13,5	149,8	169,0	166,8	167,7	169,5	168,0	172,7	171,4	164,1	170,0
	12,5	149,9	0,0	183,4	172,4	173,4	168,5	174,7	185,4	171,2	172,3
	11,5	157,3	159,8	181,7	176,5	170,9	166,6	176,2	174,0	167,2	145,7
	10,5	145,4	175,3	178,0	172,9	171,2	167,6	179,5	175,1	460,2	167,0
	9,5	159,0	157,5	170,9	173,8	171,7	172,8	177,9	168,8	157,1	155,5
	8,5	153,5	167,9	179,5	163,7	160,6	171,8	177,3	166,4	146,0	157,9
	7,5	137,8	160,5	161,2	181,2	165,5	178,8	172,0	168,2	168,7	149,5
	6,5	146,9	165,7	176,4	183,1	178,3	169,8	179,4	160,8	162,3	154,7
	5,5	159,3	167,8	168,8	182,3	174,6	169,2	177,0	176,4	161,5	162,0
	4,5	171,7	173,8	170,3	168,3	166,9	158,3	163,7	163,0	177,9	161,5
	3,5	173,4	183,6	164,1	155,7	160,5	156,2	163,7	169,9	174,2	176,0
2,5	174,4	171,4	161,8	155,0	162,4	162,9	154,4	156,8	166,7	148,0	
1,5	165,5	147,3	153,1	152,5	160,2	155,4	150,3	156,0	162,5	176,7	
0,5	0,0	131,7	114,8	148,4	150,5	152,0	159,3	154,9	59,6	39,6	

BME ATT		Darabjegyzék			MF-2.4	
		Zömítőszerszám			2. lap	
Tsz	D	Megnevezés	Méret	Rajzszám	Anyag	Tömeg
1	1	Alsó zárólap	104x104x16	MF-2.4-01	K100	1,227 kg
2	4	Bélyegvezető	42x42x10	MF-2.4-02	42CrMo4	0,123 kg
3	1	Felső zárólap	104x104x23	MF-2.4-03	K100	1,770 kg
4	1	Közdarab	104x104x39	MF-2.4-04	E355	3,133 kg
5	1	Hátsó fedél	280x280x20	MF-2.4-05	C45U	11,765
6	2	Alsó-felső szerszámlap	280x118x40	MF-2.4-06	C45U	9,458 kg
7	2	Ház oldallap	200x118x40	MF-2.4-07	C45U	6,634 kg
8	4	Bélyeg	77x20x10	MF-2.4-08	K100	0,118 kg
9	4	Bélyegtartó	31xØ72	MF-2.4-09	42CrMo4	0,489 kg
10	4	Határológyűrű	28xØ110	MF-2.4-10	42CrMo4	1,156 kg
11	4	Ütközőtárcsa	5xØ66	MF-2.4-11	42CrMo4	0,106 kg
12	4	Vezetőoszlop	147xØ53,7	MF-2.4-12	16MnCr5	0,944 kg
13	4	Alaptárcsa	30xØ120	MF-2.4-13	E355	2,071 kg
14	4	Bélyeg kiemelő	120x54x8	MF-2.4-14	E355	0,330 kg
15	1	Emelőcsap	35xØ46	MF-2.4-15	E355	0,158 kg
16	4	Lin. golyós persely	85xØ48	MF-2.4-16		0,653 kg
17	4	H. illesztőszeg	Ø6x25	EN 22338		0,005 kg
18	8	Hernyócsavar	M8x20	DIN 914		0,007 kg
19	16	Bkny. h. fejű csavar	M8x25	DIN 912	12.9	0,017 kg
20	16	Bkny. h. fejű csavar	M8x35	DIN 912	12.9	0,021 kg
21	8	H. illesztőszeg	Ø8x40	EN 22338		0,020 kg
22	8	Bkny. h. fejű csavar	M10x50	DIN 912	12.9	0,044 kg
23	8	B. menetes illesztőszeg	Ø10x60xM6	DIN 7979		0,034 kg
24	8	B. menetes illesztőszeg	Ø8x40xM5	DIN 7979		0,014 kg
25	4	Bkny. h. fejű csavar	M12x55	DIN 912	12.9	0,067 kg
26	2	B. menetes illesztőszeg	Ø6x45xM4	DIN 7979		0,009 kg
27	2	Bkny. h. fejű csavar	M10x65	DIN 912	12.9	0,050 kg
28	2	B. menetes illesztőszeg	Ø10x70xM6	DIN 7979		0,040 kg
29	3	Bkny. h. fejű csavar	M6x16	DIN 912	12.9	0,006 kg



Tervező: Juhász Zsombor	Gyártmány:	Méretarány 1:1	BME ATT
Dátum 2021.06.21	Megnevezés Zömítőszerszám	Vet. mód.:	
Ellenőrizte: Renkó József	Anyag	Tömeg 7,38 kg	Rajzszám MF-2.4-2/1



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Tervező: Juhász Zsombor	Gyártmány:	Méretarány:	BME ATT
Dátum 2021.06.21	Megnevezés Zömítőszerszám	Vet. mód.:	Rajzszám
Ellenőrizte: Renkó József	Anyag	Tömeg 76,26 kg	MF-2.4-2/2