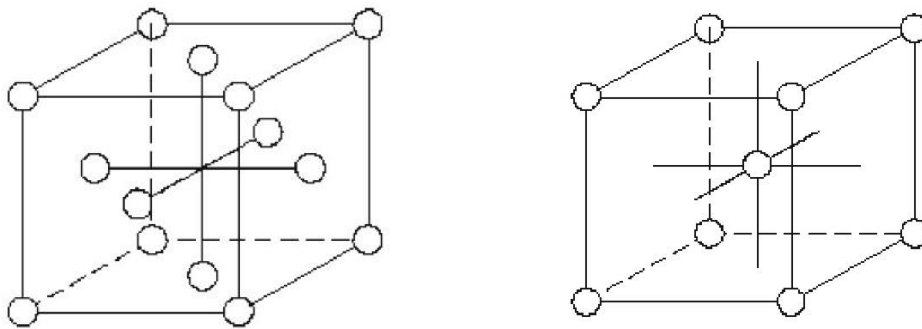


Hideg és melegalakítás

Képlékeny alakváltozás és mechanizmusa a fémekben

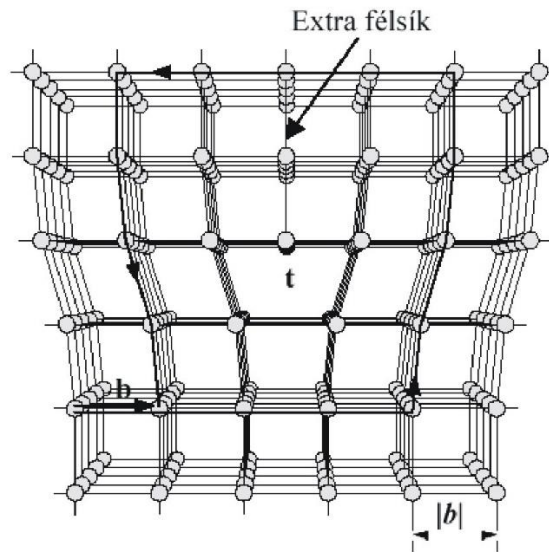
Képlékeny alakváltozásról beszélünk, amikor a testre akkora terhelés hat, hogy az az anyag mikroszerkezetében vissza nem fordítható változásokat okoz, a test a leterhelés után nem tér vissza az eredeti alakjára, hanem maradó alakváltozást szenved. Ennek a mikroszerkezeti oka, hogy alkotó atomok a terhelés hatására átrendeződnek.



1. ábra. Felületen (bal) és térben (jobb) középpontos köbös elemi cella

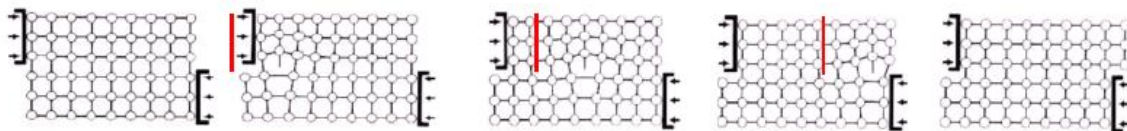
A mérnöki gyakorlatban alkalmazott fémek és ötvözetek kristályos szerkezetűek. Ez azt jelenti, hogy a kristályszerkezetre jellemző térrács ideális esetben a tér mindhárom irányában szabályosan ismétlődik: a kristályszerkezet rácspontjaiban minden egyes helyen megtalálható az adott anyagot felépítő atom.

A valódi kristályokban az ideális rácsfelépítést különböző rendezetlenségek, rácshibák zavarják meg. Ezek közül a képlékeny alakváltozás szempontjából a diszlokációk szerepe kiemelkedően fontos.



2. ábra. Éldiszlokáció sematikus ábrája primitív köbös rácsban.

A képlékeny alakváltozás jellemzően úgy megy végbe, hogy egy bizonyos atom réteg a szomszédos atomréteghez képest elcsúszik. Ez az elcsúszás nem egy lépésben történik, hanem a diszlokációknak a kristálysíkon történő csúszása által, amit az alábbi ábra szemléltet:



3. ábra. Diszlokációs elcsúszás - A képlékeny alakváltozás mechanizmusa.

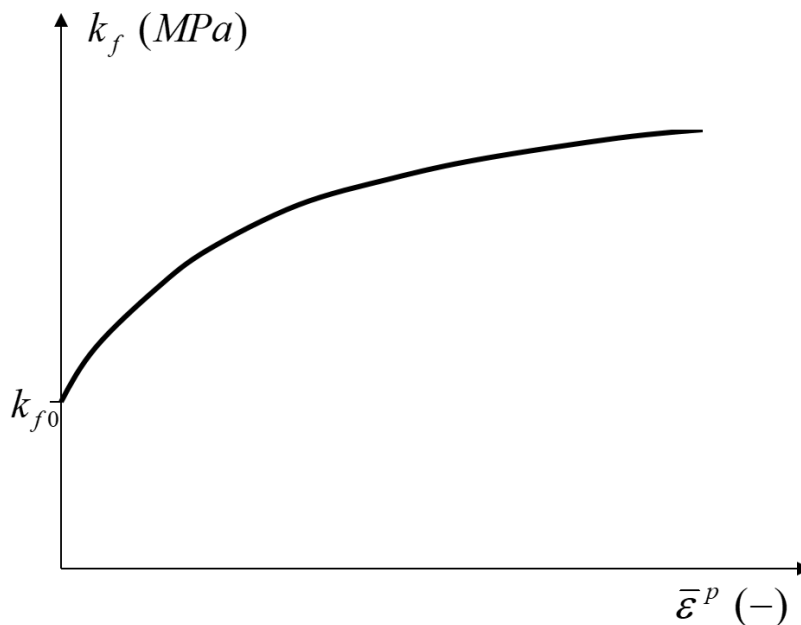
Ha a feszültség eléri az anyag folyáshatárát, akkor megindul a diszlokációk elcsúszása és ezáltal a képlékeny alakváltozás. Egy diszlokáció az atomi síkoknak csupán kismértékű elmozdulását okozza. Ahogy a képlékeny alakváltozás egyre nagyobb mértékű, egyre több és több diszlokáció keletkezik.

A hidegalakítás szilárdságnövelő hatása

Abban az esetben, ha nem zajlik le semmilyen lágyulási folyamat (pl újrakristályosodás, ld: melegalakítás), a képlékeny alakváltozás mértékének növekedésével az anyag szilárdsága nő.

Ennek az oka az, hogy az egyre nagyobb mértékű makroszkopikus alakváltozáshoz egyre több és több diszlokáció szükséges, sűrűségük nő az alakváltozási folyamat során és mozgásuk egyre inkább gátolt a többi diszlokáció miatt. Ebből következően a képlékeny alakváltozás megindításához vagy fenntartásához egyre nagyobb feszültség szükséges, ezért az anyag szilárdsága és keménysége nő. A 4. ábrán egy hidegalakításra jellemző folyásgörbe látható: az alakítási szilárdság növekedését mutatja a képlékeny alakváltozás függvényében.

A hidegalakítási folyamattal együtt csökken a szívósság és a további alakíthatóság mértéke. Túlzott mértékű alakítás az anyag károsodásához vezet (pl.: törés).



4. ábra. Hidegalakításra jellemző folyásgörbe: Az alakításhoz szükséges egyenértékű feszültség a képlékeny alakváltozás függvényében

Melegalakítás, újrakristályosodás

Képlékeny alakításkor a végzett munka egy része hővé alakul másik része az alakváltozásra, azaz diszlokációk létrehozására és azok mozgására fordítódik, ezáltal növeli a kristályrác energiáját. Ha az alakított fémet megfelelően nagy hőmérsékletre hevítjük, akkor lágyulási folyamat fog beindulni, aminek hatására az anyag szilárdsága és keménysége csökken, szívóssága és alakíthatósága nő. Melegalakítás esetében ez a folyamat jellemzően az újrakristályosodás.

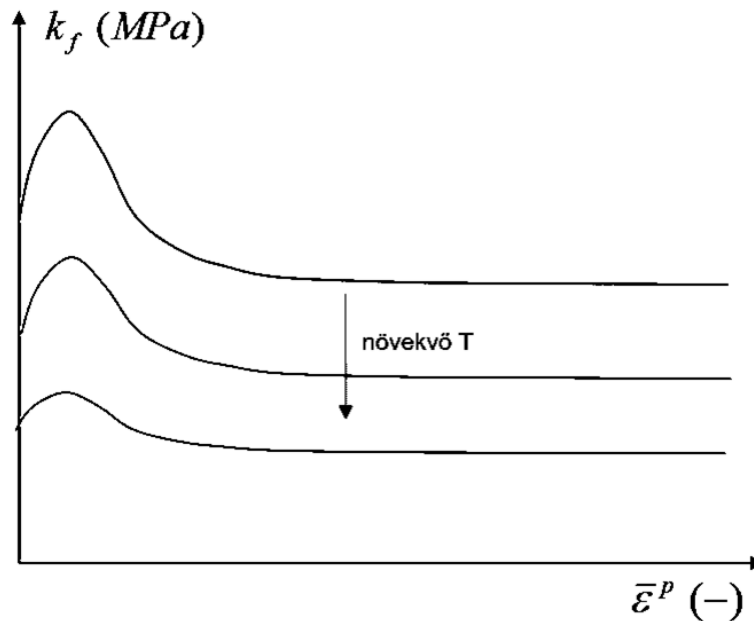
Az újrakristályosodás hajtóereje hogy a rács energiája – ami a képlékeny alakítással, azaz a diszlokációsűrűség növelésével megnőtt – csökkenjen. A folyamat során új kristálycsírák keletkeznek, majd nőnek. A folyamat végére a régi szemcsék eltűnnek, helyettük új, kis diszlokáció sűrűségű szemcsékből álló mikroszerkezet alakul ki.

Az újrakristályosodás hőmérséklete az anyagtól, illetve az alakíthatóság mértékétől függ. Egy erősen alakított ötvözetben kisebb hőmérsékletek megindul az újrakristályosodás mint egy közepes mértékben alakítottban. Ezért az újrakristályosodás nem egy kifejezett hőmérséklet értékhez, hanem egy hőmérsékleti tartományhoz köthető. E szerint beszélünk hidegalakításról, ahol nincs lágyulási folyamat, melegalakításról, ahol jellemzően újrakristályosodás történik, illetve a kettő között a félmeleg alakítás tartományáról, ahol a lágyulási folyamatok csak részben mennek végbe. A hideg, félmeleg és melegalakítás hőmérséklet tartományát az alábbiak szerint szoktuk definiálni:

$$T_{hideg} < 0,3 \cdot T_{olv} \quad 0,3 \cdot T_{olv} < T_{félmeleg} < 0,5 \cdot T_{olv} \quad T_{meleg} > 0,5 \cdot T_{olv}$$

ahol T_{olv} az olvadáspont K-ban.

Melegalakítás közben a keményedés (diszlokációk keletkezése) és az újrakristályosodás egymással párhuzamosan megy végbe. A két folyamat között – egy kezdeti szakasz után – egyensúly áll be, ami a meleg folyásgörbéken megfigyelhető (4. ábra). Ennek köszönhetően az anyagot nagymértékben lehet alakítani annak károsodása nélkül. A folyásgörbét a hőmérséklet növelése lefele tolja el, egyre kisebb erőkkel lehet ugyanazt az alakítási műveletet végrehajtani.



4. ábra. Melegalakításra jellemző folyásgörbe: Az alakításhoz szükséges egyenértékű feszültség a képlékeny alakváltozás függvényében, és a hőmérséklet növelésének hatása.

A hideg alakítási eljárások előnyei és hátrányai

- *Jó felületi minőség.* Mivel az alakítás szoba- vagy kis hőmérsékleten történik, ezért a munkadarab felülete nem oxidálódik, jó felületi minőség érhető el.
- *Alakító erők.* meleg alakításhoz képesen nagyobb alakító erők szükségesek.
- *Nagy pontosság.* Hidegalakító technikákkal nagyobb pontosságú darabokat lehet készíteni, mint melegalakítással.
- *Alakíthatóság.* Az alakváltozás mértékének növekedésével csökken a szívósság és a további alakíthatóság, túlzott mértékű alakítás az anyag károsodásához vezet.
- *Szilárdságnövelés.* Hidegalakítással növelhető az anyag szilárdsága.

A meleg alakítási eljárások előnyei és hátrányai

- *Felületi minőség.* Ha az alakítás hőmérsékletén a munkadarab anyaga oxidálódik, akkor az rontja a felület minőségét. Példa: acél kovácsolásakor a darab felületén reve (vas-oxid) képződik

- *Alakító erők.* Mivel az alakítás során az anyag újrakristályosodik, szilárdsága nem, vagy csak kis mértékben nő a hidegalakításhoz képest, ezért az alakító erők fajlagosan kisebbek a hidegalakításhoz képest.
- *Kisebb pontosság.* Melegalakító technikákkal a hidegalakítókhöz képes pontatlanabbak. Ennek oka az, hogy az alakítás hőmérsékletéről lehűlve a darab változtatja a térfogatát, alakját, illetve a hűlés során deformáció is felléphet.
- *Alakíthatóság.* Mivel melegalakításkor az anyag újrakristályosodik, ezért az alakíthatósága elméletileg nem korlátolt.

Hideg és melegalakító technológiák

Hideg alakítás	Melegalakítás
Hideghengerlés	Meleghengerlés
Előre és hátrafolyatás	Szabadalakító kovácsolás
Fejezés	Süllyesztékes kovácsolás
Mélyhúzás	

Mérés: hidegalakítás

Mérés ismertetése

A mérés célja, hogy kimérjük, hogy az anyag keménysége hogyan változik a hidegalakítás hatására. Az alakítás hideghengerléssel történik, amelynek során folyamatosan mérjük az anyag keménységét. A mérés eredményeként a keménységet ábrázoljuk az lemezvastagság relatív csökkenésének függvényében.

A mérés eszközei: duó hengermű, Rockwell keménységmérő, tolómérő

Mérés menete

A lágyított alumínium hasáb kezdeti méreteit és keménységét lemérjük. Ezt követően több lépésben, az elején kis, majd nagyobb fogyásokkal hengereljük, miközben lépésenként mérjük a darab keménységét és vastagságát. A keménységméréshez Rockwell berendezést használunk, az anyagnak keménységének megfelelő nyomótesttel és skálán (B, E, F, vagy szabványtól eltérő, tetszőleges beállításokkal).

Mérés kiértékelése

A mért vastagság értékekből kiszámoljuk a lépésenkénti redukciót az alábbi képlet szerint, majd ezek függvényében ábrázoljuk a mért keménységértékeket. A mérési pontokra görbét illesztünk.

$$q = \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100\%$$

Mérés: melegalakítás

Mérés ismertetése

A mérés célja, hogy megismerjük az anyag viselkedését különböző hőmérsékletű alakítás során, valamint hogy meghatározzuk a melegalakítás hőmérséklettartományának. Az alakítás zömítéssel történik több különböző hőmérsékleten. A darab keménységét és magasságát mérjük az alakítás előtt és után. A mérés eredményeként a keménységet, valamint a darab magasságát ábrázoljuk az alakítás hőmérsékletének függvényében, és meghatározzuk a melegalakítás tartományát.

A mérés eszközei: zömítőszerszámmal felszerelt excenter prés,
Rockwell keménységmérő, tolómérő, kemence

Mérés menete

A lágyított alumínium henger kezdeti méreteit és keménységét lemérjük. Ezt követően több 4 különböző hőmérsékleten (20⁰C, 200⁰C, 300⁰C és 400⁰C) zömítjük. A zömítés után mérjük a darab keménységét és magasságát. A keménységméréshez Rockwell berendezést használunk, az anyagnak keménységének megfelelő nyomótesttel és skálán (B, E, F, vagy szabványtól eltérő, tetszőleges beállításokkal).

Mérés kiértékelése

A mért keménység és magasság adatok diagramon ábrázoljuk a hőmérséklet függvényében. Meghatározzuk a melegalakítás tartományának a kezdetének (ahol az alakítás hatására már nem vagy csak kis mértékben keményedik a darab).

Felhasznált és ajánlott irodalom:

- W.D Calister: Materials Science and Engineering – An Introduction. 7th edition
John Wiley & Sons, 2006, 2007
- Tisza Miklós: Anyagvizsgálat. Miskolci Egyetemi Kiadó, 2001
- Prohászka János: Bevezetés az anyagtudományba. Nemzeti Tankönyvkiadó,
Budapest, 1997
- Dr. Gillemot László: Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat. Tankönyvkiadó, 1972