

Tantárgy neve: Korszerű anyagok és technológiák

Modul címe: Korszerű szerkezeti anyagok

Lecke címe: Különleges autóiipari acélötvözetek

Szerző: Zsoldos Ibolya

KÜLÖNLEGES AUTÓIPARI ACÉL ÖTVÖZETEK, KAROSSZÉRIA ELEMÉK LEMEZANYAGAI

Cél

Az új, legkorszerűbb acélfajták szerkezetének, tulajdonságainak, fejlesztési technológiáinak, a szilárdságnövelés és könnyű megmunkálhatóság elvi alapjainak megismerése a cél.

Követelmények

Ön akkor sajátította el a tananyagot, ha képes:

- felsorolni az acélokkal szemben támasztott követelményeket, a nagy szilárdságú acélok jelentőségét a járműkarosszériákban,
- ismertetni a szilárdságnövelés elvi lehetőségeit az acélok esetében,
- ismertetni a szilárdságnövelés hatását más anyagjellemzőkre, elsősorban a képlékenységre,
- felvázolni a DP, TRIP és TWIP acélok szerkezetét,
- felsorolni a DP, TRIP és TWIP acélok tulajdonságait,
- megfogalmazni a DP, TRIP és TWIP acélok különleges, egyedi viselkedésének technológiai hátterét, a terhelés és alakítás hatására a szerkezetben lejátszódó jelenségek mechanizmusát.

Időszükséglet:

A tananyag elsajátításához körülbelül 180 percre lesz szüksége.

Kulcsfogalmak

- acélok szövetelemei: ferrit, ausztenit, bainit, martenzit
- acélok szilárdságnövelése
- oldódási keményedés
- kiválásos keményedés
- diszperziós keményedés
- szemcsefinomító mechanizmusok
- átmeneti hőmérséklet
- AHSS: fejlett, nagy szilárdságú acél
- DP: duál fázisú acél
- TRIP: fázisátalakulással kiváltott képlékenységgel rendelkező acél
- TWIP: ikresedéssel kiváltott képlékenységgel rendelkező acél

1. BEVEZETÉS

Tevékenység: saját szavaival fogalmazza meg az acélokkal szemben támasztott követelményeket, a nagy szilárdságú acélok jelentőségét a járműkarosszériákban.

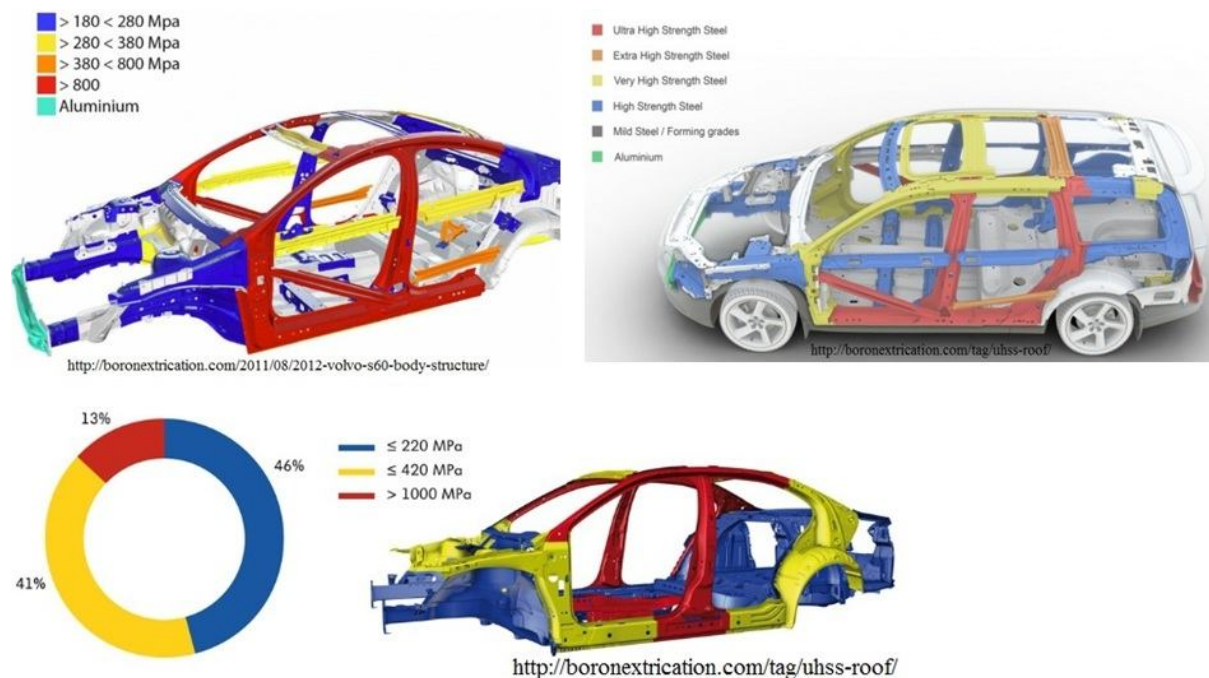
A 90-es évek második felében 35 nemzetközileg ismert acélgyártó cég, így a Salzgitter, ThyssenKrupp Stahl, Usinor, Voest-Alpine stb. megbízásából álló konzorcium vállalkozott

arra, hogy közös projekt keretében megtervezzék, megépítsék és teszteljék az ún. ultrakönnyű acél autókarosszériát (lásd: Ultra Light Steel Auto Body: ULSAB). Az új karosszériára vonatkozó követelmények a következők voltak: *nagy szilárdság, nagy merevség, biztonság, megbízhatóság, könnyű kivitelezhetőség és megfizethető ár.* A megoldást a legújabb fejlesztésű, nagy szilárdságú acéltípusokból álló anyagcsalád, az ún. Advanced High Strength Steels (AHSS) felhasználásával alakították ki. Ezzel az volt a céljuk az acélműveknek, hogy bizonyítsák, a növelt szilárdságú, mikroötvözött szerkezeti acélok nagy lehetőséget biztosítanak a könnyűszerkezetes karosszériagyártásban. A karosszéria merevsége 80%-kal növekedett, és 25%-os tömegcsökkentést értek el. Ennek a technológiának az alkalmazásával a nyers karosszériagyártásban felhasznált, növelt szilárdságú acélok aránya az utóbbi években már elérte a 91%-ot.

A mai korszerű autókarosszériák szerkezete összetett. A különböző terhelések elviselésére képes elemeket különböző szilárdságú, korszerű acélokból építik. Így adódik összességében a korábbi fejlesztésekhez képest elért tetemes tömegcsökkenés (ennek következményeként fogyasztáscsökkenés) és a megfizethető ár.

Az 1. ábrán a Volvo S60 2012 évi, a Volvo V70 2011 évi és a VW Jetta 2011 évi karosszériák szerkezete látható. A különböző szilárdságú elemeket különböző színnel mutatjuk. Figyeljük meg a következőket:

- Piros színnel mutatjuk a legnagyobb szilárdsággal rendelkező acél elemeket. Ezek általában a vázák oldalsó elemei. A nagy szilárdság itt elsősorban a biztonsági követelmények miatt fontos: ezek az elemek a jármű vezetője és utasai számára nyújtanak védelmet egy-egy esetleges ütközés esetén.



1. ábra: Korszerű karosszériák különböző szilárdságú elemekből épített szerkezete (Fig_1_1.jpg)

- Sárga, narancssárga színnel mutatjuk a közepes szilárdsággal rendelkező acél elemeket. Ezek általában a vázak oldalsó elemeihez csatlakozó részek. A nagyobb szilárdság itt is a biztonsági követelmények miatt fontos. Az egyes márkák között kisebb különbségek fordulnak elő abban, hogy az emberek biztonsága miatt legfontosabb oldalsó vázelemek mennyire jó minőségű acélból készülnek, de a tendencia, hogy az oldalsó vázelemek a legerősebb részei a karosszéria váznak, ma már általában minden esetben igaz.
- Kék színnel mutatjuk a kisebb szilárdságú vázelemeket, amelyek többnyire a váz első és hátsó részei. Esetleges ütközésnél ezeknek az elemeknek inkább energiaelnyelő szerepük van. Itt nem a nagy szilárdság az elsődleges szempont, hanem inkább az, hogy ezek a részek az ütközés energiáját az alakváltozásuk során képesek legyenek felvenni.

Ahhoz, hogy az autók tömegének jelentős részét kitevő karosszéria tömegcsökkentését a biztonsági követelmények fokozódásának egyidejű teljesítése mellett megvalósíthassuk, egyre nagyobb szilárdságú anyagok alkalmazására van szükség. Ismert tény azonban, hogy a szilárdság növelésével az anyagok alakíthatósága jellemzően csökken, ugyanakkor az alakíthatóság a karosszéria elemek gyártásának egyik kulcskérdése, tehát igen ellentmondásos követelmények között kell megfelelő egyensúlyt teremtenünk. A következőkben ennek az ellentmondásos fejlesztési követelménynek a feloldását célzó anyagtudományi fejlesztéseket tekintjük át röviden.

2. A KORSZERŰ ACÉLOK FEJLESZTÉSÉNEK ELMÉLETI ALAPJAI

Szilárdságnövelő módszerek ötvözetlen acéloknál

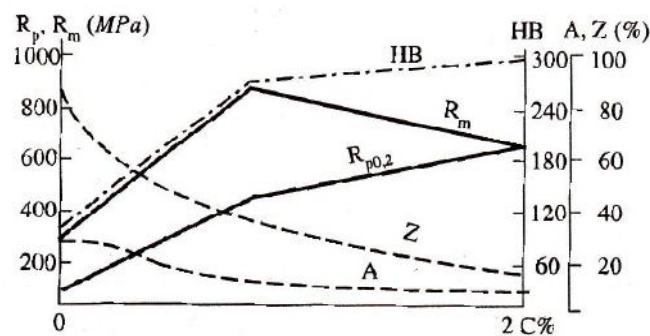
Az acélok szilárdságnövelése alapvetően a *kémiai összetétel*, a *diszlokációs szerkezet* és a *szövetszerkezet* célszerű változtatásával érhető el.

Tevékenység:

- saját szavaival fogalmazza meg az ötvözetlen acéloknál a szilárdsági és a képlékenységi jellemzők tendenciáit a karbontartalomtól függően,
- saját szavaival fogalmazza meg, mit mond ki a Nádai-féle hatványtörvény, jegyezze fel a formulát,
- saját szavaival fogalmazza meg, hogyan befolyásolja a szilárdságot a diszlokációsűrűség, jegyezze fel az idevonatkozó formulát.

Kémiai összetétel és diszlokációs szerkezet hatása

Ötvözetlen acélokban a kémiai összetétel változtatása a karbon-tartalom változtatását jelenti. A karbon-tartalomnak a mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatását a 2. ábrán mutatjuk.



2. ábra: Ötvözetlen acélok szilárdsági és alakváltozási jellemzőinek változása a karbon-tartalom függvényében

Fig_1_2.jpg

Figyeljük meg a diagramon, hogyan alakulnak a karbon-tartalom növekedésével a szilárdsági, keménységi tulajdonságok ($R_{p0.2}$, R_m , HB) és az alakváltozási jellemzők (A, Z) trendjei (növekedés, csökkenés).

Képlékeny hidegalakítással a diszlokációk számának növekedése, az alakított kristályok energiaszintjének növekedése következik be, képlékeny hidegalakítással tehát az alakított fém szilárdsági jellemzői a lágy állapothoz képest jelentősen növelhetők, ezt a jelenséget a Nádai-féle hatványtörvény írja le:

$$\sigma' = K \varphi^n$$

ahol σ' a valódi feszültség, φ a valódi nyúlás, K az ún. *felkeményedési együttható* (az egységnyi valódi nyúlást eredményező valódi feszültség értéke), n pedig az ún. *keményedési kitevő* (jó közelítéssel az egytengelyű szakítóvizsgálat során meghatározható valódi egyenletes nyúlás értékével egyezik meg, azaz $n = \varphi_m$).

Szokás a képlékeny alakváltozás hatására bekövetkező szilárdságnövekedést a *diszlokáció-sűrűség* függvényében is megadni:

$$\Delta\sigma = k\sqrt{\rho}$$

ahol ρ a diszlokáció-sűrűség, k pedig a diszlokáció típusától függő anyagállandó.

Szövetszerkezet hatása

Tevékenység:

- saját szavaival fogalmazza meg hűlési sebesség hatását az acélok szövetszerkezetére,
- saját szavaival fogalmazza meg, milyen jelenségek okozzák a nagyobb szilárdságot a martenzites fázisban.

Szilárdságnövelés céljából az előzőeknél nagyobb lehetőség rejlik a szövetszerkezet változtatásában. Már a hőkezelés elméleténél is láttuk korábbi tanulmányaink során, hogy ugyanolyan összetételű acél mechanikai tulajdonságai tág határok között változnak a szövetszerkezet megváltozását eredményező különböző hűlési sebességek alkalmazása esetén: az acélok hőkezelésének elméleténél, az auszteni-perlit átalakulásnál azt tanultuk, hogy a hűlési sebesség növelésével először a perlit lemezeinek a finomodása, később a bainites,

végül a legnagyobb hűlési sebesség esetén a legnagyobb szilárdságú martenzites szövetszerkezet adódik. A martenzites átalakulás során többféle szilárdságnövelő mechanizmus játszik szerepet. Az ausztenit és a martenzit fajtérfogat különbsége és a kristálytani kötöttségek miatt nagymértékű alakváltozás megy végbe, amely a lágy állapotú ausztenit $\rho=10^6 \text{ cm}^{-2}$ diszlokáció-sűrűségét az ausztenitben $\rho=10^{12} \text{ cm}^{-2}$ nagyságrendre növeli. Ez olyan mértékű szilárdságnövekedést eredményez, mint amelyet kb. $\varphi=0,6-0,8$ értékű valódi nyúlást okozó képlékeny alakítással érhetünk el. Ennél jelentősen nagyobb szilárdságnövelő hatást okoznak a karbon atomok környezetében a diffúzió nélküli átalakulás következtében a martenzit rácsban való bentrekedés miatti rácstorzulások. Ez a hatás azonos az oldott ötvözőatomok által kiváltott oldódási szilárdságnövelő mechanizmussal, amelyet a következő bekezdésben, az ötvözött acélok szilárdságnövelő mechanizmusainak ismertetésénél tárgyalunk.

Szilárdságnövelő módszerek ötvözött acéloknál

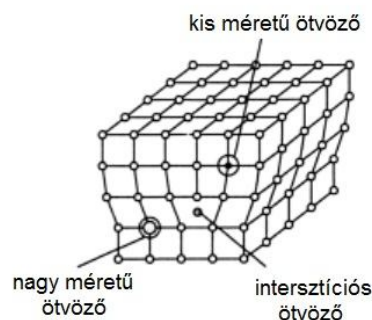
Az ötvözetlen acélok esetében bemutatott szilárdságnövelő módszerek mellett az ötvözéssel további szilárdságnövelő hatások érhetők el. Az ötvözéssel kiváltott szilárdságnövelő hatás függ attól, hogy az ötvöző elem az alapanyaggal *szilárd oldatot*, vagy külön fázisként *kiválásokat*, vagy *diszperz részecskéket* képez. Ennek megfelelően beszélhetünk *oldódási*, *kiválásos*, vagy *diszperziós keményedési mechanizmus* által okozott szilárdságnövelő hatásokról.

Oldódási keményedés hatása

Tevékenység:

- saját szavaival fogalmazza meg mi váltja ki az oldódási keményedést,
- jegyezze fel az oldott atomok szilárdságnövelő hatására vonatkozó összefüggést.

Amennyiben az ötvöző az alapfémekkel szilárd oldatot képez, akkor a szilárdságnövelő hatást az ún. *oldódási keményedési* mechanizmuson keresztül fejti ki. A 3. ábrán azt figyelhetjük meg, hogy az ötvöző atomok egy része a diszlokációk környezetében helyezkedik el. Az alapfém atomjánál kisebb atomok jellemzően az éldiszlokáció csúszósíkja felett (az ún. nyomott zónában), míg a nagyobb ötvöző atomok a csúszósík alatt (az ún. húzott zónában) helyezkednek el, ahogyan a 3. ábrán látható.



3. ábra: Oldott atomok az éldiszlokáció környezetében

Fig_1_3.jpg

Tantárgy neve: Korszerű anyagok és technológiák

Modul címe: Korszerű szerkezeti anyagok

Lecke címe: Különleges autóiipari acélötvözetek

Szerző: Zsoldos Ibolya

A diszlokációknak az idegen atomokkal dús környezetét Cottrell-atmoszférának nevezzük. A szilárdságnövelő hatás abban nyilvánul meg, hogy az oldott atomok gátolják a diszlokációk mozgását, ezen kívül az oldott atomok által okozott rácsstorzulások további szilárdságnövelő hatással bírnak.

Az oldott atomok szilárdságnövelő hatását, amennyiben az ötvöző tartalom néhány százaléknál nem nagyobb, a

$$\Delta\sigma = G\varepsilon^2c$$

összefüggéssel határozhatjuk meg, ahol $\Delta\sigma$ az ötvözés hatására bekövetkező folyáshatár növekmény, G az alapanyag csúsztató rugalmassági modulusa, c az oldott ötvöző koncentrációja, ε pedig az ún. fajlagos ionátmérő különbség:

$$\varepsilon = \frac{d_0 - d}{d_0},$$

ahol d_0 az alapfém ionjainak, d pedig az ötvöző ionoknak az átmérője.

Kiválásos keményedés hatása

Tevékenység:

- saját szavaival fogalmazza meg, mikor léphet fel kiválásos keményedés,
- jegyezze fel a kiválásos keményedés hatására bekövetkező szilárdságnövekedésre vonatkozó összefüggést.

Az oldódási keményedés által okozott szilárdságnövelésnél lényegesen nagyobb hatás érhető el az ún. **kiválásos keményedési** mechanizmussal, amely akkor jellemző, amikor az ötvöző az alapfémmel (vagy az ötvözők egymással) vegyületet képez(nek). Az alapfémmel alkotott vegyületre példa a vaskarbid, Fe_3C , illetve a vasnitrid, Fe_2N , vagy Fe_4N . Az ötvözők egymással alkotott vegyületeire példa a krómkarbid, Cr_2C_3 , az alumíniumnitrid, AlN és a titánnitrid, TiN , továbbá az ún. kettős karbidok is szerepet játszhatnak: $(\text{Fe,Me})_x\text{C}_y$ (Me tetszőleges fém vegyjelét helyettesíti).

A kiválásos keményedés hatására elérhető szilárdságnövekedést, amennyiben a kiválás és az alapkristály közötti határ még összefüggő (koherens fázishatár), a

$$\Delta\sigma = 2G\varepsilon c$$

kifejezéssel határozhatjuk meg. A kiválásos keményedés jóval hatásosabb az oldódási keményedésnél, egyrészt, mivel az összefüggésben a 2-es szorzó szerepel, másrészt, mivel az 1-nél mindig kisebb ε csak az első hatványon szerepel. A kiválásos keményedésnél a szilárdságnövelő hatást az okozza, hogy a fázishatárok akadályozzák a diszlokációk mozgását.

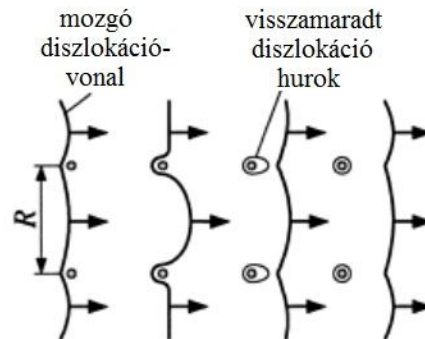
Diszperz keményedés hatása

Tevékenység:

- saját szavaival fogalmazza meg, miért léphet fel a diszperziós keményedés,
- jegyezze fel a diszperziós keményedés hatására bekövetkező szilárdságnövekedésre vonatkozó összefüggést

A kicsiny méretekben, diszperz módon szétszóródott, nem oldódó kiválások által okozott szilárdságnövekedést *diszperziós keményedésnek* nevezzük. A diszperz kiválásokat tartalmazó anyagban a mozgó diszlokációk nem tudnak áthatolni a kiválásokon, hanem megkerülik

azokat. Ezt szemlélteti a 4. ábra, ahol a kiválások körül keletkező diszlokációgyűrűk is láthatók. Ennek a mechanizmusnak az első elméleti értelmezése Orowan magyar kutató nevéhez fűződik.



4. ábra: Kiválások körül keletkező diszlokációgyűrűk

Fig_1_4.jpg

A diszlokációk mozgása annál nagyobb feszültséget igényel, minél közelebb vannak egymáshoz a diszperz, kivált részecskék. Hatásukat a szilárdságnövekedésre a

$$\Delta\sigma = \frac{Gb}{R}$$

összefüggéssel jellemezhetjük, amelyben R a diszperz részecskék közötti távolság, b pedig a diszlokációk Burgers-vektorának abszolút értéke.

A diszperziós keményedéssel elérhető szilárdságnövekedés nagysága összemérhető az oldódási keményedés hatásával, de alatta marad a kiválások keményedéssel megvalósítható szilárdságnövekedésnek. A diszperziós keményedéssel elérhető szilárdságnövekedés stabilitása attól függ, hogy a diszperz részecskék aránya a hőmérséklettel hogyan változik. Az Fe_3C , Fe_2N , Fe_4N vegyületek mennyisége egy adott ötvözetben a hőmérséklet növekedésével csökken, azaz a vegyületek magasabb hőmérsékleten felbomlanak. Ez számos anyagnál túlóregedéshez és ennek következtében szilárdságcsökkenéshez vezet. Lényegesen stabilabb a diszperziós keményedés okozta szilárdságnövekedés az olyan ötvözők esetében, amelyeknél a diszperz részecskék aránya a hőmérséklet függvényében nem változik. Ilyen diszperz kiválások a SiO_2 és az Al_2O_3 , amelyek bizonyos fémekben oldhatatlanok.

Szemcseméret hatása

Tevékenység:

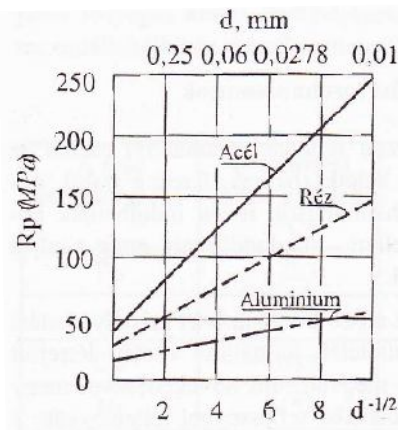
- saját szavaival fogalmazza meg, milyen ötvözők, milyen módon segítik elő a szemcsefinomodást,
- jegyezze fel a Hall-Petch összefüggést.

Az ötvözők számos esetben szemcsefinomító hatásukkal eredményezik a szilárdságnövekedést. Ez azzal magyarázható, hogy a diszlokációk a szemcsehatárokat nem tudják átszelni, következésképpen, minél finomabb a szemcseszerkezet, annál nagyobb a szilárdság.

A szemcseméretnek a szilárdságra gyakorolt hatását a Hall-Petch összefüggés írja le:

$$R_p = R_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

ahol R_p a polikristályos anyag folyáshatára, R_0 az egy szemcséből álló anyag folyáshatára, d a szemcseátmérő, k pedig anyagtól függő állandó. Az 5. ábra a folyáshatár változását mutatja a szemcseméret függvényében, különböző anyagokra. Az ábrán megfigyelhető, hogy az acélok esetében van a legerősebb hatása a szemcseméretnek: az acélhoz tartozó egyenesnek a legnagyobb a meredeksége, azaz a legnagyobb változások itt léphetnek fel.



5. ábra: Folyáshatár változása a szemcseátmérő függvényében

Fig_1_5.jpg

A finomszemcsés szerkezet nemcsak a szilárdsági jellemzők növekedése, hanem sokkal inkább az anyagok dinamikus igénybevételekkel szembeni ellenállását jellemző szívóssági tulajdonságai szempontjából is meghatározó, ezért a finomszemcsés kristályosodás biztosítása alapvető cél.

Mivel a kristályosodási sebesség a hűtés sebességétől gyakorlatilag független, a kristályosodási képesség viszont jelentősen függ a hűtési sebességtől, ezért általában igaz, hogy a gyors hűtésnek és a túlhűtésnek köszönhetően sok növekedésre képes kristálycsíra keletkezik az ömledékben, ez az alapja a finomszemcsés kristályos szerkezet előállításának.

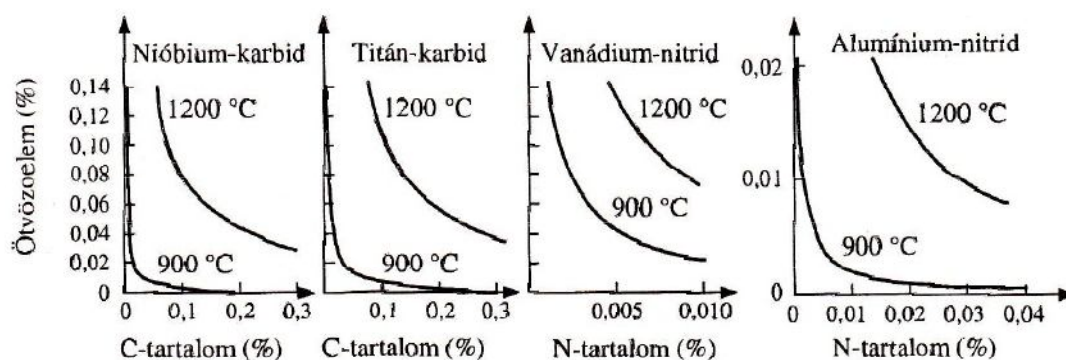
A szemcsefinomítás mikroötvözéssel is elősegíthető. Acélok esetében a Nb, V, Ti és Al ötvözőknek van jelentős szemcsefinomító hatása. A szemcsefinomítás szempontjából kedvező, ha az ötvöző oldhatósága az ausztenitben csekély. Ebben az esetben ugyanis a szemcsehatárra kiválva akadályozzák elsősorban a kristallitok növekedését. (Az ausztenit szemcsék méretének csökkenése azért fontos, mert az átalakulási termék mérete mindig kisebb az ausztenit szemcse méreténél.)

A ferritszemcsék méretét a kiinduló ausztenit szemcse mérete mellett az is befolyásolja, hogy melegalakítást követően újrakristályosodott ausztenitből keletkeztek-e. A kritikus csíraméret az alakított ausztenit, mint kiinduló fázis esetén kisebb, ezért a melegalakítás a finomabb szemcseszerkezet szempontjából kedvező.

A mikroötvözőknek az ausztenit újrakristályosodását akadályozó hatása annak tulajdonítható, hogy a melegalakítás kezdetén a mikroötvözők, valamint a C és a N is oldatban vannak. A hőmérséklet csökkenésével megkezdődik a kiválás. A kiválások jelenléte akadályozza az újrakristályosodást, minél több a kiválás, annál nehezebben indul meg az újrakristályosodás. A 6. ábra mutatja a négy leggyakoribb ötvöző esetében, hogy a mikroötvözők karbidjai, nitridjei milyen hőmérsékleteken kezdenek kiválni. A diagramok függőleges tengelyén a

mikroötvöző koncentrációja van feltüntetve. A diagramok használatát gondoljuk át a nióbbium mikroötvöző példáján (baloldali diagram):

- A vízszintes tengelyen a karbon-tartalomnak kell lennie, hiszen nióbbium-karbid kiválások fognak keletkezni.
- A függőleges tengelyen a nióbbium mint mikroötvöző koncentrációja van feltüntetve.
- Adott nióbbium és karbon-tartalom a diagram egy pontját jelöli ki. Ha pl. a 0,1% karbon-tartalomhoz és a 0,04% nióbbium-tartalomhoz tartozó pontot megkeressük, akkor azt találjuk, hogy kb. a 900^oC és az 1200^oC hőmérsékleteket jelölő görbék közti sáv közepére esik. Ennek megfelelően a nióbbium-karbid kiválások keletkezése 900^oC és 1200^oC között, kb. közepén, azaz kb. 1050^oC-on indul meg.



6. ábra: Mikroötvözők kiválásának kezdeti hőmérsékletei

Fig_1_6.jpg

Dinamikus igénybevétel, átmeneti hőmérséklet

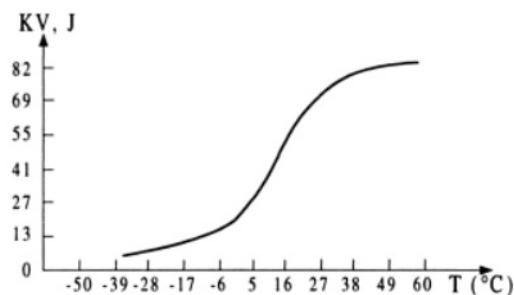
Tevékenység:

- saját szavaival fogalmazza meg, mit jelent az átmeneti hőmérséklet, hogyan határozzák meg,
- saját szavaival fogalmazza meg, milyen hatása van a különböző ötvözőknek az átmeneti hőmérséklet alakulására.

Az acélok szilárdsági jellemzői a hőmérséklet csökkenésével javulnak, míg a képlékenységi jellemzők romlanak. A felületen középpontos kristályrendszerű fémek (pl. Cu, Ni, Al) alakíthatóságukat bizonyos mértékig még a 0 K közelében is megtartják, míg a térben középpontos rendszerű fémek képlékenységüket a hőmérséklet csökkenésével gyakorlatilag teljesen elvesztik. Ezt a jelenséget elridegedésnek nevezzük. Az elridegedés nemcsak a hőmérséklettől, hanem a terhelés sebességétől és a feszültségállapottól is függ.

Az *elridegedési hajlamot* az ún. *ütve-hajlító vizsgálat*tal lehet elemezni. Erről a jelenséggel és a rá vonatkozó vizsgálatról korábbi tanulmányaink során már találkoztunk. Itt most röviden átismétljük a tudnivalókat. A vizsgálatnál 10x10 mm keresztmetszetű, bemetszett próbatestet az erre a célra szolgáló ütőművön (a Charpy-ingán) egyetlen ütéssel eltörjük. Különböző hőmérsékleteken elvégezve az ütve-hajlító vizsgálatot, a 7. ábrán látható jelleggörbe adódik. A jelleggörbén megfigyelhető, hogy magasabb hőmérsékleten a szívós viselkedésnek

megfelelően a törési munka nagy, míg alacsonyabb hőmérsékleten a rideg viselkedésnek megfelelően a törési munka kicsi.

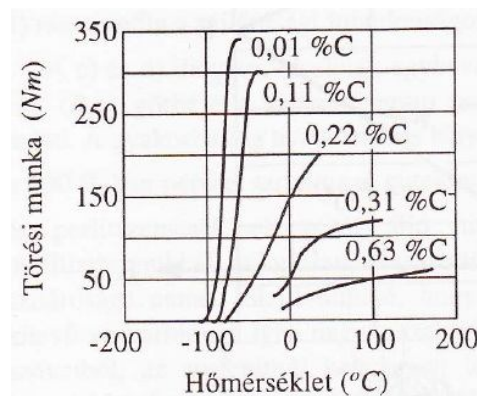


7. ábra: Törési munka változása a hőmérséklet függvényében acél esetében

Fig_1_7.jpg

A ridegedési hajlamot az ún. átmeneti hőmérséklettel, egyezményes jelöléssel a „TTKV”-vel jellemezzük, amelynek tartalmi jelentése: a képlékeny állapotból a rideg állapotba való átmenet hőmérséklete. A TTKV-t vagy a 7. ábrán mutatott jelleggörbe inflexiós pontjaként határozzuk meg, vagy szabvány szerint azt a hőmérsékletet keressük, ahol a törési munka: $KV=40J$.

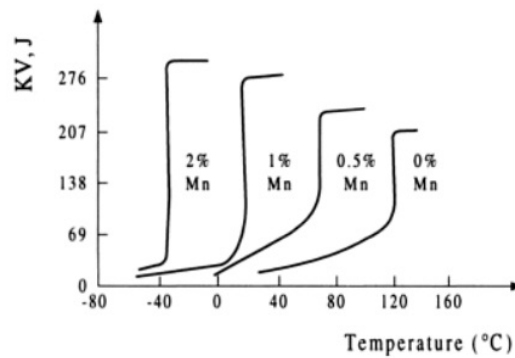
Az acélok átmeneti hőmérsékletét jelentősen befolyásolja a kémiai összetétel. A karbon-tartalomnak az átmeneti hőmérsékletre gyakorolt hatását mutatjuk a 8. ábrán. Figyeljük meg a különböző karbon-tartalomhoz tartozó jelleggörbákat: jól látható, hogy 0,6%-os növekedés az átmeneti hőmérsékletet mintegy $180^{\circ}C$ -kal emeli, azaz a karbon-tartalom intenzíven ridegítő hatású.



8. ábra: Átmeneti hőmérséklet változása a karbontartalom függvényében

Fig_1_8.jpg

Az acélok ötvözőinek jelentős része a karbonhoz hasonlóan befolyásolja az átmeneti hőmérsékletet. Alapvetően ellentétes hatása van azonban a Mn ötvözőnek. A mangán-tartalomnak az átmeneti hőmérsékletre gyakorolt hatását mutatjuk a 9. ábrán. Figyeljük meg a különböző mangán-tartalomhoz tartozó jelleggörbákat: jól látható, hogy 2%-os mangán-tartalom növekedés az átmeneti hőmérsékletet mintegy $180^{\circ}C$ -kal emeli, azaz a Mn a ridegedési hajlamot erősen mérsékli.



9. ábra: Átmeneti hőmérséklet változása a Mn-tartalom függvényében, acélok esetében
Fig_1_9.jpg

Alakíthatóság, hegeszthetőség

Tevékenység:

- saját szavaival fogalmazza meg az alakíthatóság és a szilárdság tendenciáit az acéloknak,
- saját szavaival fogalmazza meg a hegeszthetőség feltételét.

Ismét hangsúlyozzuk, hogy az alakíthatóságot minden olyan változás rontja, amely a szilárdságot növeli. A karbontartalom növelése az alakíthatóságot a perlit mennyiségének növekedése miatt rontja. A többi ötvözőről általánosságban elmondhatjuk, hogy azok az ötvözők, amelyek az alapfémmel szilárd oldatot képeznek, kevésbé rontják az alakíthatóságot, mint amelyek kiválásos keményedésre növelik a szilárdságot.

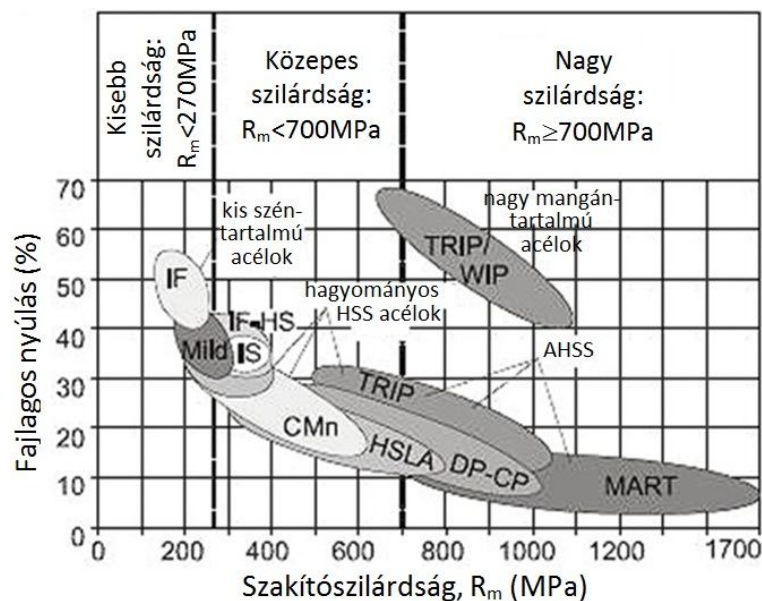
A jó hegeszthetőség feltétele a martenzites átalakulás kezdeti hőmérsékletének értéke. A martenzit nagy keménysége ugyanis rontja a hegeszthetőséget. A növekvő karbontartalmú acélok egyre romló hegeszthetőségének egyik alapvető oka a karbontartalom növekedése miatt a martenzites átalakulás kezdeti hőmérsékletének a csökkenése. A növekvő C-tartalommal növekvő keménység és az ebből következő ridegség ugyancsak a hegeszthetőség romlását eredményezi.

3. KORSZERŰ, ÚJ FEJLESZTÉSŰ ACÉLOK

Tevékenység:

- gyűjtse ki, jegyezze meg, milyen acélfajták azok, amelyek különösen nagy szilárdsággal és jó alakíthatósággal rendelkeznek.

Az acélfajtákat, különösen a karosszériákban felhasznált lemezanyagokat, szokás a 10. ábrán látható diagramban összehasonlítani.



10. ábra: Korszerű acélok csoportosítása

Fig_1_10.jpg

Figyelje meg a diagramon a következőket:

- A diagram vízszintes tengelyén a szakítószilárdság szerepel, amely az egyik alapvető, fontos mechanikai jellemző. A függőleges tengelyen a legmeghatározóbb képlékenységi mutató, a fajlagos nyúlás van feltüntetve, amely a megmunkálhatóságra utaló fontos tulajdonság. A korszerű karosszéria anyagok esetén mindkét jellemzőnek minél nagyobbak kell lenniük.
- Már többször kihangsúlyoztuk, hogy minden olyan módszer, amellyel a szilárdságot növelni tudjuk, rontja a képlékenységet. Ezért a legtöbb acélfajta a 10. ábra diagramjában egy hiperbola ívéen helyezkedik el: IF, IS, Mild, CMn, HSLA és MART acélok.
- A legújabb fejlesztésű acélok esetében sikerült mégis olyan hőkezelési és technológiai megoldásokat találni, amelynek eredményeként mind a szilárdsági, mind pedig a képlékenységi mutatók egyaránt nagy értékűek. Ezek az acélfajták a DP (Dual Phase: duál fázisú), TRIP (Transformation-Induced Plasticity: fázisátalakulással kiváltott képlékenységgel rendelkező) és a TWIP (Twinning-Induced Plasticity: ikresedéssel előidézett képlékenységgel rendelkező) acélok. A tananyag további részében ezzel a három legújabb acélfajttal foglalkozunk. Áttekintjük, hogyan sikerült megoldani ezeknél a lemezanyagoknál, hogy a nagy szilárdság mellett a könnyű megmunkálhatóság is teljesüljön.

DP (Dual Phase: duál fázisú) acélok

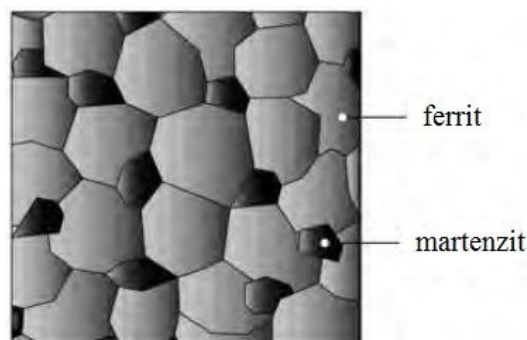
Tevékenység:

- saját szavaival jellemezze a DP acélok szerkezetét és tulajdonságait,
- saját szavaival fogalmazza meg, milyen speciális hőkezeléssel alakítják ki a DP acélokra jellemző szövetszerkezetet.

A duál fázisú acélok a nevükből is következően kettős fázisú acélok: szövetszerkezetük lágy, jól alakítható ferritbe ágyazott, diszperz eloszlású martenzit-szigetektől áll.

A duál fázisú acélok családját a HSLA (High Strength Low Alloyed: nagy szilárdságú, gyengén ötvözött) acéloknak a továbbfejlesztésével alakították ki. A kis széntartalmú HSLA acéloknál a viszonylag már jól kézben tartható megmunkálhatóságot (képlékenységet) a ferrites szövetszerkezet adja. Az ötvözők közül egyedül a Mn mennyisége számottevő: 1-1,7% között változik. Nyilvánvalóan szilárdságnövelés és az átmeneti hőmérséklet csökkentése céljából alkalmazzák. A többi ötvöző, a V, Nb, Ti és Al együttes mennyisége is 0,12% alatt van. Ezek az ötvözők segítik a HSLA acéloknak a finomszemcsés kialakítását, amely, mint láttuk, szilárdságnövelő tényező.

A duál fázisú acélokat a HSLA acélok továbbfejlesztésével alakították ki. A szilárdságnövelést jellegzetes hőkezelési technológiával tovább fokozzák, amelyet áthúzókemencében, vagy sófürdőben, vagy a melegehengerlés utáni szabályozott hűtéssel végeznek. Mind a három esetben az a lényeg, hogy az $\alpha+\gamma$ mezőben előre meghatározott ferrit/ausztenit arányt alakítanak ki: a kb. 10-20% finomszemcsés ausztenitet a jól alakítható ferrit szemcsék zárják körül. Ennek az aránynak a kialakításához tartozó hőmérsékletet interkritikus hőmérsékletnek nevezik. Az interkritikus hőmérséklet és a hőtartás helyes megválasztásával létrehozható a ferrit szemcsék közötti 10-20% ausztenit arány. Az interkritikus hőmérsékletre edzik az acélt, az edzés során az ausztenit szemcsékből martenzit keletkezik. A duál fázisú acélok szövetszerkezete tehát lágy, jól alakítható ferritbe ágyazott, diszperz eloszlású martenzit-szigetektől áll, amelyek mennyisége 10-20%, lásd 11. ábra. Figyeljük meg az ábrán, hogy a ferrit szemcseszerkezet (szürke szemcsék) összefüggő mátrixot alkot, ez a mátrix a jó alakíthatóságért felel. A mátrixba ékelődött kisebb martenzit szemcsék (fekete szemcsék) a szerkezet szilárdságát növelik.



11. ábra: DP acélok sematikus szövetszerkezete
Fig_1_11.jpg

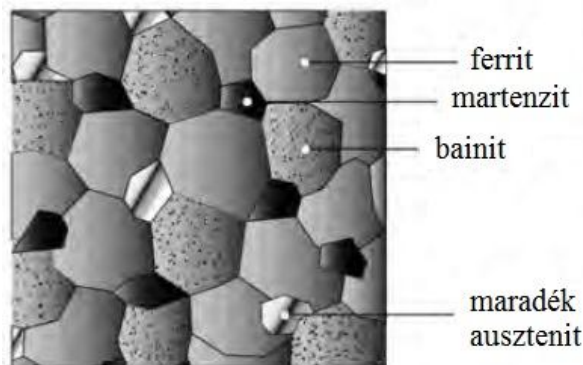
TRIP (Transformation-Induced Plasticity: fázisátalakulással kiváltott képlékenységgel rendelkező) acélok

Tevékenység:

- saját szavaival jellemezze a TRIP acélok szerkezetét és tulajdonságait,

- saját szavaival fogalmazza meg, milyen jelenségek idézik elő a TRIP acéloknál képlékeny alakítás során a szilárdság növekedést.

A TRIP acélok szövetszerkezetében az elsődleges ferrit mátrixba beágyazva maradék ausztenit szemcsék találhatóak. A minimálisan 5%-ot kitevő maradék ausztenit mellett a nagy szilárdságot adó martenzit és bainit szemcsék is jelen vannak. Hőkezelés folyamán egy közbelső hőmérsékleten való hűntartással biztosítják, hogy valamennyi bainit is keletkezzen a szerkezetben. A TRIP acélok nagyobb Si és C tartalma miatt adódik a maradék ausztenit. A 12. ábrán látható a szemiatikus szövetszerkezet, amelyben megfigyelhetők a ferrit, bainit, martenzit és maradék ausztenit szemcsék.



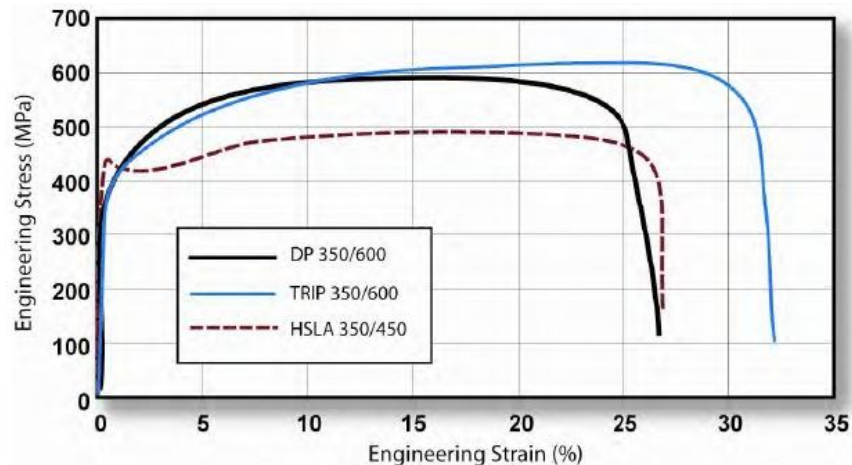
12. ábra: TRIP acélok szemiatikus szövetszerkezet

Fig_1_12.jpg

Képlékeny alakítás során a diszperz módon szétszóródott nagy szilárdságú martenzit szigetek kiválásos keményedési mechanizmuson keresztül fejtik ki szilárdságnövelő hatásukat, ahogyan ez a DP acéloknál is megfigyelhető volt. A TRIP acélokban azonban, ezen túlmenően, a maradék ausztenit terhelésnövekedés hatására fokozatosan átalakul martenzitté, ezzel még tovább fokozza a szilárdságnövelő tendenciát. Emiatt a fázisátalakulás miatt kapta az acélsalád a nevét.

A karbon tartalom változtatásával szabályozható a maradék ausztenit martenzitté való átalakulásának az ideje. Ha kisebb a karbon tartalom, akkor a maradék ausztenit a képlékeny alakításnál azonnal átalakul, ezzel gyorsítja és könnyíti a képlékeny alakítást. Nagyobb karbon tartalom esetén a maradék ausztenit stabilabb, még a képlékeny alakítás után is megmaradhat valamennyi ausztenit hányad, amely nagyobb terheléseknél, esetleg ütközésnél fejtheti ki hasznos hatását.

A 13. ábrán HSLA, DP és TRIP acélok összehasonlító szakítódiagramját látjuk. Egyértelműen megfigyelhető a szilárdságnövekedés a DP acél és a TRIP acél esetében a HSLA acélhoz képest. Ezen kívül megfigyelhetjük még azt is, hogy a DP acél és a TRIP acél görbéjén nincs folyási szakasz, valamint lényegesen egyenletesebb a nyúlás folyamata, mint a HSLA acél görbéjén. A nyúlás mértéke a három görbe közül a TRIP acélnál a legnagyobb. A TRIP acélok a legjobban alakítható és legnagyobb szilárdságú acélok a három acélsalád közül.



13. ábra: DP acélok, HSLA acélok, TRIP acélok jellemző szakítódíagramja
Fig_1_13.jpg

A TRIP acélok különösen alkalmasak karosszériák szerkezeti elemeihez. Ütközés során az anyag deformálódik, energiát képes elnyelni, miközben a szilárdság a fázisátalakulások (azaz a maradék ausztenit szemcséknek martenzitté váló alakulása) miatt megnövekszik. Különösen az oldalsó karosszéria elemek számára rendkívül előnyösek ezek az anyagok, mivel kellő védelmet nyújtanak ütközés során a járműben ülő utasok számára.

TWIP (Twinning-Induced Plasticity: ikresedéssel előidézett képlékenységgel rendelkező) acélok

Tevékenység:

- saját szavaival jellemezze a TWIP acélok szerkezetét és tulajdonságait,
- saját szavaival fogalmazza meg, milyen jelenségek idézik elő a TWIP acéloknál képlékeny alakítás során a szilárdság növekedést.

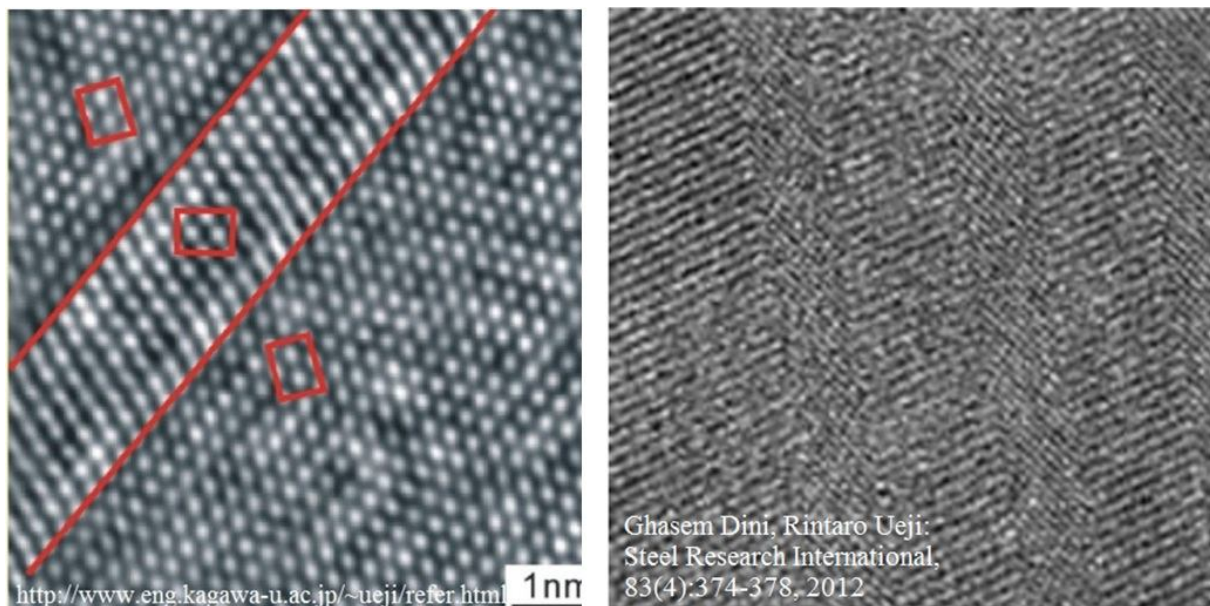
A TWIP acélok tekintélyes mennyiségű (17-24%) Mn ötvöző tartalmuk miatt szobahőmérsékleten is tisztán ausztenites szerkezetűek. Nagymértékű deformációra képesek, amely részben az ausztenites szerkezet miatt, részben pedig deformáció hatására a kristályszerkezetben az ún. ikerkristályok megjelenése miatt adódik. Az ikerkristályok határfelületei szilárdságnövelés szempontjából a szemcsehatárral azonos módon viselkednek. Az ikerkristályok határfelületeit is figyelembe véve a TWIP acélok szövetszerkezete rendkívül finomszemcséssé, esetenként már nanoszemcséssé is alakulhat, ahol a jellemző szemcseméret 100 nm-nél kisebbek, és az ilyen szerkezet a szilárdság szempontjából a legkedvezőbb szövetszerkezet. Ezen túlmenően a TWIP acélok esetében kb. kétszer olyan hatékony szerepet játszik a terhelés hatására lejátszódó martenzites fázisátalakulás, mint a TRIP acélok esetében, és ez természetesen itt is erős szilárdságnövelő tényező. A szakítószilárdság a TWIP acéloknál az 1000 MPa értéket is meghaladhatja.

A Mn ötvöző mellett a TWIP acélok még 3% Al+Si ötvözőt is tartalmaznak. A tekintélyes mennyiségű ötvözők miatt a TWIP acélok fajsúlya is kisebb, mint a hagyományos acéloké, amely újabb járulékos haszon a járművek tömegcsökkentése szempontjából.

Az ikresedésre való hajlamnak a TWIP acélok kristályszerkezetében az alábbi okai vannak:

- A felületen középpontos köbös és a hexagonális kristályszerkezeteknél elméleti és kísérleti úton is kimutatták az ikerkristályok megjelenésére való hajlamot. Mivel a TWIP acélok ausztenites acélok, felületen középpontos köbös kristályszerkezetük van, tehát jellemző a szerkezetükre az ikerkristályok megjelenésére való hajlam.
- A Mn mellett az Al és Si ötvözők miatt kétféle martenzites átalakulásra van lehetőség a TWIP acéloknál. Az ausztenit először hexagonális martenzitté (ún. ϵ -martenzitté) alakul, csak későbbi fázisátalakulás során jön létre a végleges, jól ismert, térben középpontos köbös kristályszerkezetű martenzit. Az első, γ - ϵ fázisátalakulás után a hexagonális martenzitnél még mindig jellemző az ikresedésre való hajlam.

A 14. ábrán transzmissziós elektronmikroszkópos felvételeket látunk TWIP acélokban kimutatott ikerkristályokról. Figyelje meg, hogy a kristályorientáció az ikerkristályokat elválasztó határvonalak (a bal oldali ábrán piros vonalak) mentén megváltozik. A kristályszerkezet orientációja a határvonalra tükörszimmetrikus.



14. ábra: Ikerkristályok TWIP acélok szerkezetében

Fig_1_14.jpg

A TWIP acélok előnyei kiválóan hasznosíthatók a járműkarosszériákban. Az ütközésteztek ezen anyagok esetében a legsikeresebbek, ezen kívül az alkalmazásukkal a tömegcsökkentés is számottevő. Ez az anyagcsalád jó példa a humán jólét és biztonság számára kifejlesztett új anyagokra.

Felhasznált irodalom

- Tisza Miklós: Metallográfia, Miskolci Egyetem, 2002
- Advanced High Strength Steel (AHSS), 2009, online: www.worldautosteel.org
- Multi Phase Twinning-Induced Plasticity (TWIP) Steel, 2011, online: <http://www.keytometals.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=207>
- Ghasem Dini, Rintaro Ueji: Effect of Grain Size and Grain Orientation on Dislocations Structure in Tensile Strained TWIP Steel During Initial Stages of Deformation, Steel Research International, 83(4):374-378, 2012

Önellenőrző kérdések

1. Az alábbi felsorolásból válassza ki a korszerű karosszériák anyagai számára előírt követelményeket:
 - nagy merevség
 - erős hősokkállóság
 - nagy szilárdság
 - jól önthetőség
 - kúszásállóság
 - biztonság, megbízhatóság
 - jól alakíthatóság
 - ridegtörésre való hajlam
 - nagy mágneses permeabilitás
 - megfizethető ár
2. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel, hogy a korszerű karosszériák szerkezetét helyesen jellemezze:
A mai korszerű autókarosszériák szerkezete **összetett**. A különböző **terhelések** elviselésére képes elemeket különböző **szilárdságú**, korszerű **acélokból** építik.
3. Válassza ki, hogy az alábbi felsorolásból melyik írja le helyesen a Nádai-féle hatványtörvényt?
 - $\sigma' = K \varphi^n$, ahol σ' a feszültség, φ a fajlagos nyúlás, K az ún. felkeményedési együttható, n pedig az ún. keményedési kitevő
 - $\sigma' = K \varphi^{-n}$, ahol σ' a valódi feszültség, φ a valódi nyúlás, K az ún. felkeményedési együttható, n pedig az ún. keményedési kitevő
 - $\sigma' = K \varphi^n$, ahol σ' a valódi feszültség, φ a valódi nyúlás, K az ún. felkeményedési együttható, n pedig az ún. keményedési kitevő
 - $\sigma' = K \varphi^{-n}$, ahol σ' a valódi feszültség, φ a valódi nyúlás, K az ún. felkeményedési együttható, n pedig az ún. keményedési kitevő
4. Az alábbi felsorolásból válassza ki a helyes összefüggést a diszlokációknak a szilárdságra vonatkozó hatására:

- Képlékeny hidegalakítással a diszlokációk számának növekedése, az alakított kristályok energiaszintjének növekedése következik be, képlékeny hidegalakítással tehát az alakított fém szilárdsági jellemzői a lágy állapothoz képest jelentősen növelhetők.
 - Képlékeny hidegalakítással a diszlokációk számának növekedése, az alakított kristályok energiaszintjének csökkenése következik be, képlékeny hidegalakítással tehát az alakított fém szilárdsági jellemzői a lágy állapothoz képest jelentősen növelhetők.
 - Képlékeny hidegalakítással a diszlokációk számának növekedése, az alakított kristályok energiaszintjének növekedése következik be, képlékeny hidegalakítással tehát az alakított fém képlékenységi jellemzői a lágy állapothoz képest jelentősen növelhetők.
 - Képlékeny hidegalakítással a diszlokációk számának növekedése, az alakított kristályok energiaszintjének növekedése következik be, képlékeny hidegalakítással tehát az alakított fém szilárdsági jellemzői a lágy állapothoz képest jelentősen csökkenthetők.
5. Az alábbi felsorolásból válassza ki, milyen jelenségek okozzák a martenzit fázis nagy szilárdságát:
- Ikerkristályok határainak a fázishatárokkal azonos szerepe van a szilárdságnövekedésben.
 - Az ausztenit és a martenzit fajterfogát különbsége és a kristálytani kötöttségek miatt nagymértékű alakváltozás megy végbe, amely a lágy állapotú ausztenit $\rho=10^6 \text{ cm}^{-2}$ diszlokáció-sűrűségét az ausztenitben $\rho=10^{12} \text{ cm}^{-2}$ nagyságrendre növeli.
 - Nb, V, Al mikrorötvözők szemcsefinomító hatása.
 - A karbon atomok környezetében a diffúzió nélküli átalakulás következtében a martenzit rácsban való bentrekedés miatti rácstorzulások.
 - Az oldott karbonatomok által kiváltott oldódási szilárdságnövelő mechanizmus.
6. Az alábbi felsorolásból válassza ki a helyes választ: mi az oka az oldódási keményedésnek?
- Az oldott atomok elősegítik a diszlokációk mozgását, az oldott atomok által okozott rácstorzulások további szilárdságnövelő hatással bírnak.
 - A Cottrell-atmoszféra környezetében feldúsulnak a diszlokációk.
 - Intersztíciósan oldott atomok diffúziója okozza az oldódási keményedést.
 - Az oldott atomok gátolják a diszlokációk mozgását, az oldott atomok által okozott rácstorzulások további szilárdságnövelő hatással bírnak.
7. Az alábbi felsorolásból válassza ki az oldódási keményedést leíró helyes összefüggést:

- $\Delta\sigma = G\varepsilon^2 c$, ahol $\Delta\sigma$ az ötvözés hatására bekövetkező folyáshatár növekmény, G a súly, c az oldott ötvöző koncentrációja, ε pedig az ún. fajlagos ionátmérő különbség.
 - $\Delta\sigma = G\varepsilon^2 c$, ahol $\Delta\sigma$ az ötvözés hatására bekövetkező folyáshatár növekmény, G az alapanyag csúsztató rugalmassági modulusa, c az oldott ötvöző koncentrációja, ε pedig az ún. fajlagos ionátmérő különbség.
 - $\Delta\sigma = G\varepsilon^2 c$, ahol $\Delta\sigma$ az ötvözés hatására bekövetkező folyáshatár növekmény, G az alapanyag csúsztató rugalmassági modulusa, c az oldott ötvöző koncentrációja, ε az ε -martenzit mennyisége.
 - $\Delta\sigma = G\varepsilon^3 c$, ahol $\Delta\sigma$ az ötvözés hatására bekövetkező folyáshatár növekmény, G az alapanyag csúsztató rugalmassági modulusa, c az oldott ötvöző koncentrációja, ε pedig az ún. fajlagos ionátmérő különbség.
8. Az alábbi felsorolásból válassza ki, milyen esetben állhat elő kiválásos keményedés:
- amikor az ötvöző az alapfémmel (vagy az ötvözők egymással) szilárd oldatot képez(nek)
 - amikor az ötvöző az alapfémmel (vagy az ötvözők egymással) eutektikumot képez(nek)
 - amikor az ötvöző az alapfémmel (vagy az ötvözők egymással) vegyületet képez(nek)
 - amikor az ötvöző az alapfémmel (vagy az ötvözők egymással) eutektoidot képez(nek)
9. Az alábbi felsorolásból válassza ki a kiválásos keményedést leíró helyes összefüggést:
- $\Delta\sigma = G\varepsilon^2 c$, ahol $\Delta\sigma$ az ötvözés hatására bekövetkező folyáshatár növekmény G az alapanyag csúsztató rugalmassági modulusa, c az oldott ötvöző koncentrációja, ε pedig az ún. fajlagos ionátmérő különbség.
 - $\Delta\sigma = 2G\varepsilon c$, ahol $\Delta\sigma$ az ötvözés hatására bekövetkező folyáshatár növekmény, G az alapanyag csúsztató rugalmassági modulusa, c az oldott ötvöző koncentrációja, ε pedig az ún. fajlagos ionátmérő különbség.
 - $\Delta\sigma = G\varepsilon^2 c$, ahol $\Delta\sigma$ az ötvözés hatására bekövetkező folyáshatár növekmény, G az alapanyag csúsztató rugalmassági modulusa, c az oldott ötvöző koncentrációja, ε az ε -martenzit mennyisége.
 - $\Delta\sigma = 2G\varepsilon^2 c$, ahol $\Delta\sigma$ az ötvözés hatására bekövetkező folyáshatár növekmény, G az alapanyag csúsztató rugalmassági modulusa, c az oldott ötvöző koncentrációja, ε pedig az ún. fajlagos ionátmérő különbség.
10. Az alábbi felsorolásból válassza ki, melyik tényezőnek van erősebb szilárdságnövelő hatása:
- A legerősebb szilárdságnövelő hatása van a kiválásos keményedésnek, azután a diszperziós keményedésnek, végül a leggyengébb szilárdságnövelő hatása van az oldódási keményedésnek.

- A legerősebb szilárdságnövelő hatása van a diszperziós keményedésnek, azután a kiválásos keményedésnek, végül a leggyengébb szilárdságnövelő hatása van az oldódási keményedésnek.
- A legerősebb szilárdságnövelő hatása van az oldódási keményedésnek, azután a diszperziós keményedésnek, végül a leggyengébb szilárdságnövelő hatása van a kiválásos keményedésnek.
- **A diszperziós keményedéssel elérhető szilárdságnövekedés nagysága összemérhető az oldódási keményedés hatásával, de mindkettő jóval alatta marad a kiválásos keményedéssel megvalósítható szilárdságnövelésnek.**

11. Az alábbi felsorolásból válassza ki, mi az oka a diszperz keményedésnek:

- A második fázist tartalmazó anyagban az oldott atomok akadályozzák a diszlokációk mozgását.
- A diszperz második fázist tartalmazó anyagban az oldott atomok elősegítik a diszlokációk mozgását.
- A diszperz második fázist tartalmazó anyagban a mozgó diszlokációk könnyen áthatolnak a második fázison.
- **A diszperz második fázist tartalmazó anyagban a mozgó diszlokációk nem tudnak áthatolni a második fázison.**

12. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel, hogy a különböző kiválások tulajdonságait az acélok esetében helyesen jellemezze:

A diszperziós keményedéssel elérhető szilárdságnövekedés stabilitása attól függ, hogy a diszperz részecskék aránya a **hőmérséklettel** hogyan változik.

Az Fe_3C , Fe_2N , Fe_4N vegyületek mennyisége egy adott ötvözetben a **hőmérséklet** növekedésével **csökken**, azaz a vegyületek magasabb **hőmérsékleten** felbomlanak. Ez számos anyagnál **túlöregedéshez** és ennek következtében **szilárdságcsökkenéshez** vezet.

Lényegesen stabilabb a diszperziós keményedés okozta szilárdságnövekedés az olyan ötvözők esetében, amelyeknél a diszperz részecskék aránya a **hőmérséklet** függvényében nem változik. Ilyen diszperz kiválások a SiO_2 és az Al_2O_3 , amelyek bizonyos fémekben **oldhatatlanok**.

13. Az alábbi felsorolásból válassza ki a Hall-Petch összefüggés helyes leírását:

- $R_p = R_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$ ahol R_p a polikristályos anyag folyáshatára, R_0 az egy szemcséből álló anyag folyáshatára, d a szemcseátmérő, k pedig anyagtól függő állandó.
- $R_p = R_0 - \frac{k}{\sqrt{d}}$ ahol R_p az egy szemcséből álló anyag folyáshatára, R_0 a polikristályos anyag folyáshatára, d a szemcseátmérő, k pedig anyagtól függő állandó.

Tantárgy neve: Korszerű anyagok és technológiák

Modul címe: Korszerű szerkezeti anyagok

Lecke címe: Különleges autóiipari acélötvözetek

Szerző: Zsoldos Ibolya

- $R_p = R_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$ ahol R_p az egy szemcséből álló anyag folyáshatára, R_0 a polikristályos anyag folyáshatára, d a szemcseátmérő, k pedig anyagtól függő állandó.
- $R_p = R_0 - \frac{k}{\sqrt{d}}$ ahol R_p a polikristályos anyag folyáshatára, R_0 az egy szemcséből álló anyag folyáshatára, d a szemcseátmérő, k pedig anyagtól függő állandó.

14. Az alábbi felsorolásból válassza ki azokat az ötvözőket, amelyeknek erős szemcsefinomító hatása van:

- Nb, Si,
- Nb, V,
- Ni, Ti,
- Ti, V
- Al, Nb
- Al, Si

15. Az alábbi felsorolásból válassza ki, mely megfogalmazások jellemzik helyesen az acélokban az ötvözőknek az átmeneti hőmérsékletre való hatását:

- 0,6%-os korbontartalom növekedés az átmeneti hőmérsékletet mintegy 180°C-kal csökkenti.
- 2%-os Mn-tartalom az átmeneti hőmérsékletet 120°C-ról -40°C-ra növeli.
- Az acélok ötvözőinek jelentős része a mangánhoz hasonlóan befolyásolja az átmeneti hőmérsékletet.
- 0,6%-os korbontartalom növekedés az átmeneti hőmérsékletet mintegy 180°C-kal emeli.
- 2%-os Mn-tartalom az átmeneti hőmérsékletet 120°C-ról -40°C-ra csökkenti.
- Az acélok ötvözőinek jelentős része a karbonhoz hasonlóan befolyásolja az átmeneti hőmérsékletet.

16. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel, hogy az alakíthatóság és a szilárdság viszonyát az acélok esetében helyesen jellemezze:

Az **alakíthatóságot** minden olyan változás rontja, amely a **szilárdságot** növeli. A **karbontartalom** növelése az alakíthatóságot a **perlit** mennyiségének növekedése miatt rontja. A többi ötvözőről általánosságban elmondhatjuk, hogy azok az ötvözők, amelyek az alapfémmel **szilárd oldatot** képeznek, kevésbé rontják az alakíthatóságot, mint amelyek **kiválásos keményedéssel**, tehát **második fázis** jelenlétével növelik a szilárdságot.

17. Az alábbi felsorolásnál „igaz”, „hamis” jelzésekkel jelölje

18. , mely megfogalmazások jellemzik helyesen a DP acélok szerkezetét és tulajdonságait:

- A DP acélok szövetszerkezete lágy, jól alakítható ferritbe ágyazott, diszperz eloszlású maradék ausztenit-szigetkből áll, amelyek mennyisége 10-20%.

- A martenzit szemcsék javítják a szilárdságot, az összefüggő ferrit szemcseszerkezet pedig a jó alakíthatóságért felel.
- A DP acélok szövetszerkezete lágy, jól alakítható ferritbe ágyazott, diszperz eloszlású martenzit-szigeteből áll, amelyek mennyisége 10-20%.
- A maradék ausztenit szemcsék javítják a szilárdságot, az összefüggő ferrit szemcseszerkezet pedig a jó alakíthatóságért felel.

19. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel, hogy a DP acélok speciális hőkezelését helyesen jellemezze:

Az $\alpha+\gamma$ mezőben előre meghatározott ferrit/ausztenit arányt alakítanak ki: a kb. 10-20% finomszemcsés ausztenitet a jól alakítható ferrit szemcsék zárják körül. Az interkritikus hőmérséklet és a hőntartás helyes megválasztásával létrehozható a ferrit szemcsék közötti 10-20% ausztenit arány. Az interkritikus hőmérsékletről edzik az acélt, az edzés során az ausztenit szemcsékből martenzit keletkezik.

20. Az alábbi felsorolásból válassza ki, mely megfogalmazások jellemzik helyesen a TRIP acélok szerkezetét és tulajdonságait:

- A TRIP acélok szövetszerkezetében az elsődleges ferrit mátrixba beágyazva maradék ausztenit szemcsék találhatóak. A minimálisan 5%-ot kitevő maradék ausztenit mellett a nagy szilárdságot adó martenzit és bainit szemcsék is jelen vannak.
- Képlékeny alakítás során a diszperz módon szétszóródott nagy szilárdságú martenzit szigetek oldódási keményedési mechanizmuson keresztül fejtik ki szilárdságnövelő hatásukat.
- A TRIP acélok szövetszerkezetében az elsődleges ferrit mátrixba beágyazva perlit szemcsék találhatóak. A minimálisan 5%-ot kitevő perlit mellett a nagy szilárdságot adó martenzit és bainit szemcsék is jelen vannak.
- Képlékeny alakítás során a diszperz módon szétszóródott nagy szilárdságú martenzit szigetek kiválásos keményedési mechanizmuson keresztül fejtik ki szilárdságnövelő hatásukat.

21. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel, hogy a TRIP acélokban képlékeny alakítás hatására végbemenő szilárdságnövelő jelenséget helyesen jellemezze:

A TRIP acélokban a maradék ausztenit terhelésnövekedés hatására fokozatosan átalakul martenzitté, ezzel még tovább fokozza a szilárdságnövelő tendenciát. Ha kisebb a karbontartalom, akkor a maradék ausztenit a képlékeny alakításnál azonnal átalakul, ezzel gyorsítja és könnyíti a képlékeny alakítást. Nagyobb karbontartalom esetén a maradék ausztenit stabilabb, még a képlékeny alakítás után is megmaradhat valamennyi ausztenit hányad, amely nagyobb terheléseknél, esetleg ütközésnél fejtheti ki hasznos hatását.

22. Az alábbi felsorolásból válassza ki, milyen szövetszerkezet jellemző a TWIP acélokra:

- A TWIP acélok tekintélyes mennyiségű (7-15%) Mn ötvöző tartalmuk miatt szobahőmérsékleten is tisztán ausztenites szerkezetűek.
- **A TWIP acélok tekintélyes mennyiségű (17-24%) Mn ötvöző tartalmuk miatt szobahőmérsékleten is tisztán ausztenites szerkezetűek.**
- A TWIP acélok tekintélyes mennyiségű (17-24%) Al ötvöző tartalmuk miatt szobahőmérsékleten is tisztán ausztenites szerkezetűek.
- A TWIP acélok tekintélyes mennyiségű (17-24%) Mn ötvöző tartalmuk miatt szobahőmérsékleten is tisztán ferrites szerkezetűek.

23. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel, hogy a TWIP acélok rendkívüli szilárdságát és képlékenységét helyesen jellemezze:

Az **ikerkristályok** határfelületei szilárdságnövelés szempontjából a **szemcsehatárral** azonos módon viselkednek. Az **ikerkristályok** határfelületeit is figyelembe véve a TWIP acélok szövetszerkezete rendkívül **finomszemcséssé** alakulhat, amely a szilárdság szempontjából a legkedvezőbb szövetszerkezet. Ezen túlmenően a TWIP acélok esetében kb. **kétszer** olyan hatékony szerepet játszik a terhelés hatására lejátszódó **martenzites** fázisátalakulás, mint a TRIP acélok esetében, és ez természetesen itt is erős szilárdságnövelő tényező.

24. Az alábbi felsorolásból válassza ki, mik az okai a TWIP acélok szerkezetében az ikresedésre való hajlamnak:

- Mivel a TWIP acélok ferrites acélok, térben középpontos köbös kristályszerkezetük van, tehát jellemző a szerkezetükre az ikerkristályok megjelenésére való hajlam.
- γ - α fázisátalakulás után a ferritnél jellemző az ikresedésre való hajlam.
- **Mivel a TWIP acélok ausztenites acélok, felületen középpontos köbös kristályszerkezetük van, tehát jellemző a szerkezetükre az ikerkristályok megjelenésére való hajlam.**
- γ - ϵ fázisátalakulás után a hexagonális martenzitnél jellemző az ikresedésre való hajlam.