

JÁRMŰIPARI ACÉLOK SZILÁRDSÁGNÖVELÉSI LEHETŐSÉGEI

OPPORTUNITIES OF STRENGTH-INCREASING OF AUTOMOTIVE STEELS

Bitay Enikő¹, Bagyinszki Gyula²

¹Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, 540485 Târgu-Mureș, O.p. 9, C.p. 4.,
ebitay@ms.sapientia.ro

²Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Magyarorszá-
g, 1081 Budapest, Népszínház u. 8, bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

The heaviest parts of the vehicle are the chassis, the engine and the undercarriage. These are momentarily manufactured of steel alloys and cast iron. This will probably keep their dominancy in the near future. The material qualities applied in the construction of the parts mentioned above are increased strength or high resistance steel alloys. This paper presents those strength increasing mechanisms that applied with appropriate forming and bonding technologies lead to the increasing of quality and mass efficiency of the lightweight structures.

Keywords: net weight reduction, strength-increasing, micro alloying, grain size, phases of microstructure.

Összefoglalás

Egy jármű részegységei közül a karosszériának, a futóműnek és a motornak a legnagyobb a tömege. Ezek gyártásához nagy mennyiségben vasalapú ötvözeteket – acélokat és öntöttvasakat – használnak fel és ezek várhatóan még hosszú távon meghatározóak maradnak. A felhasznált szerkezeti acélok nagyobb része növelt és nagy szilárdságú acél. Jelen dolgozat az acélok szilárdságnövelési mechanizmusait mutatja be, amelyek megfelelő alakadó és kötő technológiák alkalmazásával a könnyűszerkezetes konstrukciók tömeghatékonyságának és minőségének növelését eredményezik.

Kulcsszavak: önsúlycsökkentés, szilárdságnövelés, mikroötvözés, szemcseméret, mikroszerkezeti fázisok.

1. Bevezetés

A járműfejlesztések egyik célkitűzése a tömegredukálás, a „könnyűsúlyú” konstrukciók megvalósítása. Bár ezen törekvés és az autók tömege között bizonyos ellentmondás van, hiszen a régebbiekek képest a mai típusok nehezebbek is lehetnek. Az ok a fejlett technika, a nagyobb kényelem megjelenítése: szervokormány, elektromos ablakemelő, a klíma, a légszák stb. beépítése.

A tervezésnél, ill. anyagkiválasztásnál ellentétes követelmények is felmerülnek: pl. önsúly (így a fogyasztás) csökkentése ↔ utasok biztonságának növelése, nagy energiaelnyelő képességű karosszéria kialakítása; egyes szerkezeti elemek nagy szilárdsága ↔ kis ridegtörési hajlama, stb.

2. Acélok jelentősége

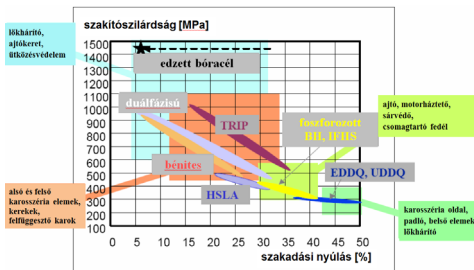
A tömegcsökkentést anyagtudományi szempontból a növelt- ($R_{p0,2} = 275 \dots 500$

MPa), nagy- ($R_{p0,2} = 500 \dots 1000$ MPa) és ultra nagy- ($R_{p0,2} \geq 1000$ MPa) szilárdságú acélok, a könnyűfémek (Al, Mg) és ötvöze- teik, a fémhabok, a műszaki polimerek, a szálerősítésű polimer mátrixú kompozitok alkalmazása jelenti (1. táblázat) [1].

1. táblázat. Autókarosszériák tömegének alakulása a költségekkel összefüggésben

Anyagok	Hagyományos acélok	Nagyszilárdságú acélok	Al és ötvözetei	C-szálas kompozitok
tömeg [kg]	300	195	214	150
anyagár [€/kg]	0,50	1,00	4,50	10,00
összköltség [€]	150	195	963	1500

Az acélok hidegen és melegen jól alakíthatók, többféle módon (hegesztéssel, forrasztással, ragasztással, mechanikusan) köthetők és igény szerint felületkezelhetők. Ezért egy korszerű gépkocsi jelentős részben acélokból készül (1. ábra).



1. ábra. Növelt-, nagy- és ultra nagyszilárdságú acélok és járműipari alkalmazásai

3. Acélok szilárdságnövelő mechanizmusai

A szilárdságot és a szívósságot a mikroszerkezetet alkotó fázisok egyedi tulajdonságai, aránya, (szemcse)mérete, alakja (morfológiája), eloszlása (diszperzitása) határozza meg. Az acélok szilárdságnövelése többféle módon érhető el [2-6]:

Szilárdoldatképző ötvözéssel: Minél nagyobb mértékben tér el az oldott elem ion-

sugara a vasétól, annál nagyobb rácstorzulást és folyáshatárt eredményez:

$$R_e = R_0 + k \cdot G \cdot \varepsilon^p \cdot C_\delta^q \quad (1)$$

ahol R_e a folyáshatár, R_0 a szilárdsági konstans, k az anyagra jellemző állandó, G a csúsztató rugalmassági modulus, $\varepsilon = (d_a - d_\delta)/d_a$ a rácstorzulás mértéke, d_a az alapanyag atomátmérője, d_δ az ötvözőanyag atomátmérője, C_δ az ötvözőanyag koncentrációja. A p és q kisebb ötvözőkoncentrációknál 2 ill. 1, míg nagyobbaknál 1,5 ill. 0,5. A szilárdságnövelésének ezen módját leginkább mangánötvözéssel érik el. A foszfor általában az acélok nem kívánatos szennyező eleme. Kis mértékben ($\leq 0,1$ %) a foszfor a ferrit rácsában oldódva, rácstorzítás révén növeli a szilárdságot, továbbá a vassal olyan foszfidot képez, ami szintén szilárdságnövelő hatású. Az újrafoszforozott (rephosphorized) vagy P-acélok ezeket a lehetőségeket használják ki.

Hidegalakítási keményedéssel: Nem alakított (kilagyított) fém szerkezetében a diszlokációsűrűség akár 3 nagyságrenddel nagyobbá válhat hidegalakítás következtében. Az így megnövelt sűrűségük miatt a diszlokációk már nem az alakváltozást (kristálytani csúszósíkok relatív elmozdulását) segítik, hanem – egymás mozgását gátolva – ellentétes hatást váltanak ki. Az alakítás akadályozottá válik, vagyis szilárdság növekedés tapasztalható, amint a Taylor-egyenlet - ill. módosított alakja - leírja:

$$R_e = R_0 + k \cdot G \cdot |b| \cdot \sqrt{\rho} =$$

$$R_0 + k \cdot G \cdot |b| \cdot \sqrt{\rho_0 + C \cdot \varphi^n} \quad (2)$$

ahol $|b|$ a már említetteken kívül - $|b|$ a Burgers-vektor abszolút értéke, ρ a diszlokációsűrűség, ρ_0 a diszlokációsűrűség kilagyított (kiinduló) állapotra vonatkozó értéke, C az egységnyi alakváltozáshoz tartozó alakítási szilárdság, φ a logaritmikus alakváltozás, n a keményedési kitevő.

Szemcsefinomítással: A szemcseméret és a szilárdság kapcsolatát a Hall-Petch képlet írja le:

$$R_e = R_0 + \frac{k}{\sqrt{a}} \quad (3)$$

ahol új adat a d átlagos szemcseméret.

A ferritszemcsék mérete csökken a kiinduló ausztenitszemcsék méretének csökkentésével, ami mikroötvözéssel elősegíthető. A mikroötvözők (Al, Ti, V, Zr) nagy stabilitású nitridet ill. karbonitridet alkotnak és diszperz eloszlásuk révén akadályozzák a szemcsedurulást, amíg oldatba nem mennek. E vegyületek képződése szabályozott mértékű nitrogénötvözéssel érhető el.

Ikerkristály-képződéssel: A TWIP- (Twinning-Induced Plasticity, azaz ikresedéssel előidézett képlékenységgel rendelkező) acélok jelentős Mn-tartalmuk miatt szobahőmérsékleten is ausztenitesek. Az ikerkristályok határfelületei - a szilárdságnövelés szempontjából - a szemcsehatárral azonos módon viselkednek, így a szövetszerkezet rendkívül finomszemcsés lehet, ahol a jellemző szemcseméret 100 nm-nél kisebb.

Az IS- (Isotropic) acélok Ti-nal, és N-nel mikroötvözött, izotróp tulajdonságú, jól alakítható szerkezeti acélok. Az IF- (Interstitial Free, azaz interstíciós elemektől mentes) ill. az IFHS- (Interstitial Free High Strength) acélokat Ti-nal, Nb-mal és bórral ötvözik, és ezek kivált vegyületei, karbidjai és nitridjei finomszemcsés szövet szerkezetet, ill. szilárdságnövekedést eredményeznek. A szilárdságra a szilárd oldatba menő Mn és P tartalom is hatással van.

A SULC- (Super Ultra Low Carbon) acélok nagyon kis C-tartalmú (0,002 %), Mn-nal, Si-mal és Ti-nal ötvözött acélok, amelyek az IF-acélok továbbfejlesztései. A szövetszerkezetükben kivált karbidok és nitridek, ill. a Ti mikroötvözéssel elért finom szemcsézet eredményezik a szilárdságnövekedést. Az EDDQ- (Extra Deep Drawing Quality, extra mélyhúzóerősítésű) és UDDQ (Ultra Deep Drawing Quality,

ultra mélyhúzóerősítésű) acélok olyan Ti ill. Nb ötvözésű IF-acélok, amelyekben a C-tartalmat 10 ppm körüli értékre csökkentik az alakíthatóság fokozása érdekében.

A szemcseméret csökkentésében a szabályozott hengerlés, a gyorsított hűtés is alkalmazható. Az így termomechanikusan kezelt acélok nagyobb szilárdságúak és szívósságúak. A szemcsefinomítás a nagyobb mértékű túlhűtés miatt megsokszorozódó átalakulási csíráknak köszönhető.

Nemesítéssel: Ez a hőkezelés is a ferritszemcse ill. a karbidok méretének befolyásolási lehetősége, pl. bórral mikroötvözött és a ferritet szubsztitúciós ötvözéssel szilárdító, kis C-tartalmú acéloknál.

Kiválásos keményedéssel: Melegalakítás hőmérsékletéről, szabályozott sebességgel történő lehűlés közben kiválnak az ötvözők vegyületei, karbidja és nitridjei. E szegregációs nemesítéssel elérhető szilárdságnövekmény szempontjából kedvező, ha minél kisebb a kiválások l_{kiv} átlagos távolsága:

$$R_e = R_0 + k \cdot G \cdot \left| \frac{b}{l_{kiv}} \right| \cdot \frac{1}{l_{kiv}} \quad (4)$$

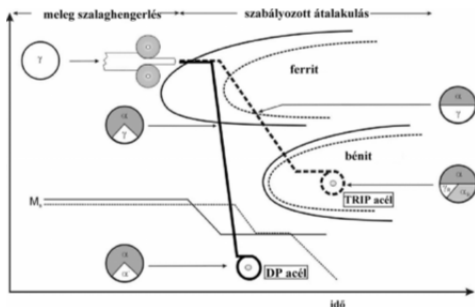
A BH- (Bake Hardenable, vagyis „sütve” keményíthető) acélok kiválásosan keményedő mikroötvözött acélok. A karosszériaelemek festését követő lakkbeégetéskor a lemez felmelegszik, s ezen „megeresztés” hatására kiválnak az ötvözők vegyületei (karbidok, nitridek, foszfidok).

Az acél szövetszerkezetében két, vagy több fázis kialakításával: Hőkezeléssel érik el, hogy a szilárdságot növelő szövetelemekkel (martenzittel, bénittel) együtt a közepes szilárdságú, de szívósabb elemek (perlit, ferrit) is keletkezzenek. Ilyenek a DP- (Dual Phase) és ezek továbbfejlesztett változatai, a TRIP- (Transformation Induced Plasticity, azaz átalakulással előidézett képlékenységgel rendelkező) acélok.

A DP-acélok szövetszerkezete kétfázisú (dual-fázisú): lágy α szilárd oldatba (ferritbe) kemény α' -fázis (martenzit) szigeteket ágyazódnak be. Ezáltal jól alakíthatóak és

kellően nagy szilárdságúak. A szilárdság-növekedés a martenzit-tartalomtól (5...30 %) függ. További szilárdság-növekmény Nb-mikroötvozzéssel, meleghengerréssel (NbC kiválással) - irányított hőciklus (munkarend) mellett - érhető el.

A 2. ábra folytonos vonalú munkarendje szerint a meleghengerréls hőmérsékletén az acél γ szilárd oldat fázisú (ausztenites szövétü), a hengerréls után hõntartva a ferritmezõbe lép a hőmérséklet-lefutás vonala, így a szövetszerkezet egy része átalakul ferrit. A ferritmezõbõl lehûtve az M_s -vonal (a martenzit szövetelem keletkezésének hőmérséklete) alá kerül, így a még átalakulatlan ausztenit martenzitté alakul. Ezáltal a csévélõre kerülõ acéllemez α fázisú ferritbõl és α' -fázisú martenzitbõl áll.



2. ábra. A TRIP-acélok meleghengerréls a DP acélokkal összehasonlításban

A háromfázisú TRIP-acélok szövetszerkezetét interkritikus lágyítás hőmérsékletéről végzett lépcsős lehûtéssel érik el. A nagy szilárdság mellett nagy nyúlásúak, amit szemcsefinomító mikroötvozzók okoznak. A meleghengerréls során (2. ábra szaggatott vonalú munkarendje szerint) a γ szilárd oldat fázis (ausztenit) a hõntartás során részben α szilárd oldat fázissá (ferrit) alakul, amíg a hőmérséklet-lefutás vonala a C-görbe ferrit mezéjén áthalad. A csévélés hőmérsékletén (kb. 500 °C) béntites átalakulás történik, azaz a még át nem alakult ausztenit béntit (α_B) válik. A folyamat vé-

gén maradék (Retained) ausztenit (γ_R fázis) is lesz a szövetszerkezetben, ennek stabilitását Nb ötvozzéssel érik el. A ferrites mátrix és a martenzitté alakuló maradék ausztenit alkotta szerkezetben az alakváltozás okozza az átalakulást. A TRIP-acélok szilárdság-növelésében AlN fázisok is részt vesznek.

4. Következtetések

Az acélfelhasználók - így a járműipar is - olyan acélokra keresnek, melyek összetételükben, szilárdsági jellemzőikben és geometriájukban megfelelnek a korszerű követelményeknek. Az acéltermékek végső tulajdonságait a gyártástechnológia minden egyes fázisa (acélgyártás, hengerréls módok, hőkezelés stb.) jelentõsen befolyásolja. Az acél célzott mechanikai tulajdonságainak - növelt szilárdságnak, megfelelő alakváltozó képességnek, jó szívósságnak - feltétele a vegyi összetétel egyenletessége és a megfelelő „tisztaság”, a szabályozott zárványalak, a szennyezők és a gáztartalom csökkentése. Ezek megléte esetén hatékonyak a felvázolt szilárdságnövelési mechanizmusok.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Nedschroef Techno Centre: *Materials of Automotive Industry*, Nedschroef Academy, March 2012.
- [2] Technical Editors: Stuart Keele & Menachem Kirachi: *Advanced High-Strength Steels Application Guidelines Version 5.0*, WorldAutoSteel, May 2014.
- [3] Tamarelli, C.M.: *AHSS 101: The Evolving Use of Advanced High-Strength Steels for Automotive Applications*, Steel Market Development Institute, Michigan
- [4] Komócsin, M.: *Nagyszilárdságú acélok és hegeszthetőségük*, Miskolci Egyetem, 2008.
- [5] Bagyinszki, Gy.: *Anyagismeret*, Óbudai Egyetem - BGK, Budapest, 2011.
- [6] Zsoldos, I.: *Különleges autópári acél ötvozzetek, karosszéria elemek lemezanyagai*, Korszerű anyagok és technológiák, Széchenyi István Egyetem, 2013.