

Tantárgy neve: Korszerű anyagok és technológiák

Modul címe: Korszerű szerkezeti anyagok

Lecke címe: Alumínium és ötvözetek

Szerző: Zsoldos Ibolya

ALUMÍNIUM ÉS ÖTVÖZETEI

Cél

Az alumínium és ötvözetek szerkezete, tulajdonságai, a hőkezelés, szilárdságnövelés és könnyű megmunkálhatóság elvi alapjainak, valamint autóiipari alkalmazásainak elsajátítása a cél.

Követelmények

Ön akkor sajátította el a tananyagot, ha képes:

- ismertetni általánosságban az alumínium ötvözetek szerkezetét, tulajdonságait, alkalmazási lehetőségeket,
- megfogalmazni a szilárdságnövelés elvi lehetőségeit az alumínium ötvözetek esetében,
- megfogalmazni az autói szerkezetekben használt korszerű alumínium ötvözetek fajtáit, tulajdonságait, alkalmazásának előnyeit.

Időszükséglet:

A tananyag elsajátításához körülbelül 120 percre lesz szüksége.

Kulcsfogalmak

- alumínium ötvözetek szilárdságnövelése
- alakítható alumínium ötvözetek
- öntészeti alumínium ötvözetek
- alumínium ötvözetek nemesítése

1. SZÍNALUMÍNIUM

Tevékenység: saját szavaival ismertesse a színalumínium tulajdonságait, előállítását, szerkezetét.

Az alumínium a könnyűfémek csoportjába tartozik, felhasználás szempontjából a legfontosabb könnyűfém. A magyar ipar szempontjából különösen nagy jelentőségű, mivel érce, a bauxit az egyetlen fémérc, amely ma is jelentős mennyiségben fordul elő.

Két lépésben történik az előállítás: a bauxitból vegyi tisztítással nyerik a timföldet (Al_2O_3), amelyből ezután $1000\text{ }^\circ\text{C}$ -on végzett elektrolízissel állítják elő a kohóalumíniumot, amelynek a tisztasága 99...99,7%.

Az iparban felhasznált legtisztább alumínium az ún. „négy kilences Al”, amelynek Al tartalma 99,99%. Ezt a kohóalumíniumból ismételt elektrolízissel nyerik. Kétszer annyi energia szükséges az előállításához, mint a kohóalumínium esetében, ezért csak olyan esetekben használják, amikor a nagy tisztaság fontos követelmény. A nagytisztaságú alumíniumnak az arany és az ezüst után a legjobb a villamos vezetőképessége, ezért

Tantárgy neve: Korszerű anyagok és technológiák

Modul címe: Korszerű szerkezeti anyagok

Lecke címe: Alumínium és ötvözetek

Szerző: Zsoldos Ibolya

elektromos vezetékek anyagaként általánosan használják. A vezetőképesség az ötvöző tartalom arányával, az ötvöző anyagától függően lineárisan vagy négyzetesen romlik, ezért van szükség elektromosságban a nagy tisztaságú alumíniumra.

A tulajdonságok közül kiemelkedik a korrózióállósága, amelyet a felületen képződő, magas olvadáspontú, jól tapadó és kémiai hatásoknak jól ellenálló oxidhártya (Al_2O_3) indokol. A korrózióállóság egyes ötvözők hatására (Cu) romlik, mert a felületét érő elektrolit hatására helyi galvánelem alakul ki.

Az alumínium felületen középpontos, köbös rendszerben kristályosodik, ezért képlékeny alakíthatósága jó, mivel több csúszásra alkalmas (nagy atomsűrűségű) kristálytani síkja van. Nyúlása közel 50%-kal nagyobb, mint a lágyacélé. Sűrűsége az acélokhoz képest kicsi: $2,7 \text{ kg/dm}^3$. Alacsony az olvadáspontja (660°C), amely az öntészeti technológiáknál előnyös. Jó hővezető. Szilárdsága ugyanakkor rendkívül kicsi: folyáshatára, szakítószilárdsága és keménysége a lágyacélénak alig egynegyede, emiatt (valamint a magasabb ár miatt is) a szerkezeti anyagok között csak akkor lehet versenyképes, ha szilárdságát ötvözéssel javítjuk.

2. ALUMÍNIMUM ÖTVÖZETEK

Tevékenység: saját szavaival fogalmazza meg az alumínium ötvözetekben a különböző ötvözési célokat, nevezze meg az ezekhez tartozó ötvözőket. Rajzolja fel a jellegzetes kétalkotós állapotábrákat, mondjon példákat, mely ötvözetcsaládokra jellemzők a felrajzolt állapotábrák

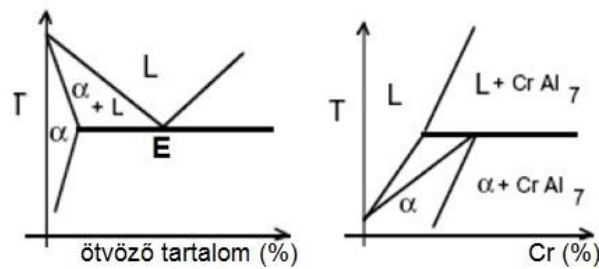
Hatásuk szerint az alumínium ötvözőket az alábbi fő csoportokba soroljuk:

- Szilárdságnövelő ötvözők: Cu, Mg, Si.
- Korrózióállóságot fokozó ötvözők: Mn, Sb.
- Szemcsefinomító ötvözők: Ti, Cr.
- Hőszilárdságot növelő ötvöző: Ni.
- Forgácsolhatóságot javító ötvözők: Co, Fe, Bi.

Az ötvözőelemekkel az alumínium a Si, Bi, Cd és Zn kivételével kemény, rideg fémes vegyületet alkot, pl. Al_2Cu , Al_3Mg_2 , Al_3Fe . Az ötvözők egymással is képezhetnek vegyületet. Egyes ötvözők bizonyos esetekben gondosan kerülendő szennyezők is lehetnek. Legjobb példa erre a Cu, amely a legnagyobb szilárdságra nemesíthető Al-Cu-Mg ötvözetek fő ötvözője, a korrózióálló Al-Mg ötvözeteknek pedig a legveszedelmesebb szennyezője. Mindig szennyező az alumínium-oxidban kötött O és az olvasztás közben elnyelt H.

Az alumínium a legtöbb ötvözővel szilárd oldatot képez, az oldás mindig korlátos. A legjellemzőbb szilárd oldatok oldhatósági korlátjai: a Zn esetében 70% (eutektikum olvadáspontján: 400°C -on), a Mg esetében 17% (450°C -on), a Cu esetében 5,7% (az eutektikum olvadáspontján), a Si esetében 1,65% (az eutektikum olvadáspontján).

A kétalkotós állapotábrákra legtöbb esetben, így a fő ötvözők esetében is, jellemző az 1. ábra baloldalán látható eutektikum képződés (pl. Al-Cu, Al-Mg, Al-Si), de előfordul az 1. ábra jobboldalán látható, vegyület peritektikus képződésével jellemezhető állapotábra is (pl. Al-Cr).



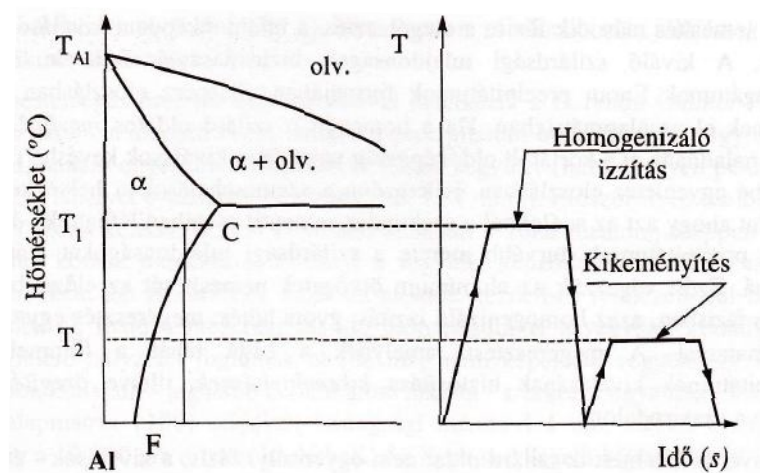
1. ábra: Al-ötvözetek jellemző kétalkotós állapotábrái
 (Fig_2_1.jpg)

3. ALUMÍNÍUM ÖTVÖZETEK HŐKEZELÉSÉNEK FÉMTANI ALAPJAI

Tevékenység: saját szavaival fogalmazza meg az alumínium ötvözetek nemesítésének lépéseit, az egyes lépésekre jellemző állapotokat, hőmérsékleteket, hűlési sebességeket, szövetszerkezeteket és tulajdonságokat.

Az alumínium ötvözetek jellegzetes hőkezelése a nemesítés, amelynek célja az alumínium ötvözet szilárdságának növelése finom eloszlású kiválások biztosításával. A nemesítés tehát olyan kiválások keményítő hőkezelés, amelynek eredményeként a jól alakítható α -szilárd oldatos mátrixban diszperzen eloszlások keletkeznek. Ezen kiválások az acéloknál tanult módon, a diszlokációk mozgásának akadályozásával, a kiválások keményedési mechanizmussal növelik a szilárdságot.

A kiválások keményítés első lépése a homogén α -szilárd oldatot biztosító izzítás. Ennek célja a kiválások teljes feloldása annak érdekében, hogy a hőkezelés későbbi fázisában a legkedvezőbb szilárdsági tulajdonságot eredményező finom eloszlású kiválásokat biztosítani tudjunk. A homogén α -szilárd oldat biztosítása céljából ezért az ötvözetet a 2. ábrán T_1 -gyel jelölt hőmérsékletre (a korlátolt oldóképességet jelölő FC vonal fölé) hevítjük, és ott a homogén szilárd oldat kialakulásáig állandó hőmérsékleten hevítjük. A T_1 hőmérsékletet a gyakorlatban az FC korlátolt oldhatósági vonal felett, de az eutektikus hőmérséklet alatt szokás megválasztani.



2. ábra: Al ötvözetek nemesítésének menete
 (Fig_2_2.jpg)

A homogenizáló izzítást követően az ötvözetet gyorsan (pl. vízzel) szobahőmérsékletre hűtjük. A gyors hűtés célja a kiválások keletkezésének ebben a szakaszban való megakadályozása, a túltelített α -szilárd oldat létrehozása. A jelenség hasonlít az acélok edzésénél a túltelített ferrit kialakulásához. A következmény azonban az alumínium ötvözetek esetében alapvetően más: míg az acéloknál az α -szilárd oldatban bent rekedt karbon atomok fesztítő hatása miatt a keletkező martenzit az acélok legkeményebb, legnagyobb szilárdságú szöveteleme, az alumínium ötvözeteknél a gyors hűtéssel előállított túltelített α -szilárd oldat keménysége és szilárdsága a lágyított és a nemesített állapot közötti értéknek felel meg.

A nemesítés második fázisa a megeresztés, a tulajdonképpeni kiválások keményítés. A jó szilárdsági tulajdonságok biztosításának feltétele, hogy minél finomabb, diszperz eloszlásban keletkezzenek a kiválások az alapmátrixban. Ha a homogén α -szilárd oldatos mezőből lassan hűtve haladnánk át a korlátolt oldhatósági vonalon, a kiválások kevésbé finom és kevésbé egyenletes eloszlásban, jellemzően a szemcsehatároknál helyezkednének el. A durvább méretű kiválások a szilárdsági tulajdonságokat rontanák. Tehát a megeresztés utáni hűtést is gyorsan kell végezni. A megeresztést kikeményítésnek, vagy öregítésnek is nevezi a szakirodalom.

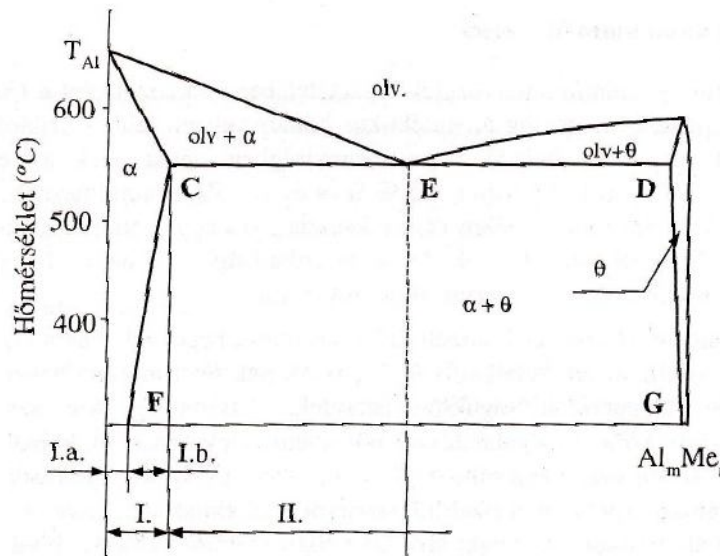
Mivel a túltelített α -szilárd oldat nem egyensúlyi fázis, a kiválások keletkezése (ennek eredményeképpen a szilárdságnövekedés) egyes ötvözetekben hosszú idő alatt szobahőmérsékleten is bizonyos mértékben végbemegy, ezt a folyamatot természetes öregedésnek nevezzük. A természetes öregedéssel bekövetkező szilárdságnövekedés azonban rendkívül lassú, hónapokat, esetleg éveket igénylő folyamat, ezért a gyakorlatban a kikeményítést rendszerint a mesterséges öregítésnek nevezett, magasabb hőmérsékletű megeresztéssel végezzük. A megeresztés hőmérséklete a homogenizáló izzítás hőmérsékletének egynegyede.

4. IPARI ALUMÍNÍUM ÖTVÖZETEK OSZTÁLYOZÁSA

Tevékenység:

- **Saját szavaival fogalmazza meg, hogyan osztályozzuk az alumínium ötvözeteket az állapotábrák alapján, rajzolja fel a jellemző állapotábrát a különböző alumínium ötvözet csoportok megjelölésével.**
- **Saját szavaival fogalmazza meg, milyen módokon, milyen nagyságrendekkel növelhető az alakítható alumínium ötvözetek szilárdsága.**

Az ipari alumínium ötvözetek osztályozását az ötvözeteket jellemző egyensúlyi diagram alapján végezhetjük el. A telített α -szilárd oldat összetételénél kisebb ötvöző mennyiséget tartalmazó ötvözetek (túlnyomórészt α -szilárd oldatot tartalmazó ötvözetek) az ún. alakítható alumínium ötvözetek (a 3. ábrán az I. jelű tartomány), míg az ennél több ötvözőt tartalmazó ötvözetek az ún. öntészeti alumínium ötvözetek (a 3. ábrán a II. jelű tartomány).



3. ábra: Al ötvözetek osztályozása
(Fig_2_3.jpg)

Az alakítható ötvözeteket további két csoportra osztjuk: a szobahőmérsékleten is 100% α -szilárd oldatot tartalmazó ötvözetek nem nemesíthetők (a 3. ábrán az I.a. szakasz), míg a korlátolt oldhatósági vonaltól jobbra eső szakaszba eső ötvözetek az alakítható, nemesíthető ötvözetek (a 3. ábrán az I.b. szakasz).

Láttuk az eddigiek során, hogy az Al-ötvözetek esetében ötvözéssel (Cu, Mg, Si) ötvözők alkalmazásával, valamint nemesítéssel javítható a szilárdság. Az alakítható Al-ötvözeteknél a szilárdság tovább javítható képlékeny alakítással is. A szilárdságnövelés lépéseit példaképpen vizsgáljuk az Al-Cu-Ni ötvözeteken: a kiinduláshoz használt kohóalumínium (Al 99,5) szakítószilárdsága $R_m=100\text{MPa}$. 4% Cu, 2% Ni és 1,5% Mg ötvözésével a szakítószilárdság kétszeresére, nemesítő hőkezelés után háromszorosára, tehát $R_m=300\text{MPa}$ növekszik. Ha ugyanezt az ötvözetet melegen kovácsoljuk és így nemesítjük, akkor a szakítószilárdág még tovább növekszik $R_m=400\text{MPa}$ -ra, azaz a három módszer együttes alkalmazásával a kiinduló, lágy állapotú alumínium szilárdágát négyszeresére növeltük. Az ipari alumínium ötvözetek esetében ezért szokás külön csoportba foglalni az alakítható és az öntészeti ötvözeteket. Az alakítható Al-ötvözeteket jellemzően lemezanyagok, jármű karosszéria elemek esetében, az öntészeti Al-ötvözeteket jellemzően a robbanómotor hengerek és dugattyúk anyagaiként alkalmazzák.

5. ALAKÍTHATÓ AL-ÖTVÖZETEK

Tevékenység:

- Saját szavaival fogalmazza meg, milyen alakítható Al-ötvözet rendszerek ismereteseek, és ezeknek milyen fő tulajdonságaik vannak.
- Saját szavaival fogalmazza meg, mi történik a természetes öregítés folyamán az ilyen jelenséget mutató Al-ötvözetek esetében.

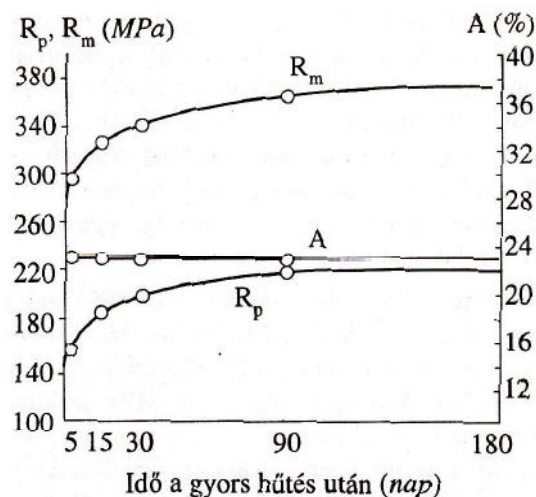
Az alakítható Al-ötvözeteknél fő ötvözőként a Cu, Mg, Si és a Zn szerepelnek, mégpedig az eutektikus hőmérsékleten telített szilárd oldat összetételükénél kisebb mennyiségben, tehát maximum 5% Cu, 10% Mg, 1,5% Si és 4% Zn tartalma lehet az alakítható Al-ötvözeteknek. További járulékos ötvözőket adagolva egyes tulajdonságok tovább javíthatók, pl. 2% Ni a hőszilárdságot fokozza. 1-2% Mn a korrózióállóságot, főleg a tengervíz-állóságot javítja.

A nem nemesíthető Al-ötvözetek közül a kétalkotós, hidronárium elnevezésű Al-Mg ötvözetek elsősorban tengervíz-állóságukról ismertek. Viszonylag kis szilárdságuk hidegalakítással növelhető ($R_m=200-300\text{MPa}$).

Jó korrózióállóság jellemzi az Al-Mn nem nemesíthető ötvözeteket, amelyeket elsősorban élelmiszeripari célokra használnak (pl. tejszállító tartályok). Ezek kis szilárdságú Al-ötvözetek, alakítás nélküli szakítószilárdságuk nem haladja meg az $R_m=150\text{MPa}$ értéket.

Az alakítható, nemesíthető Al-ötvözetek három, vagy többalkotós ötvözetek. Egyik típusuk az Al-Cu-Mg alkotókat tartalmazó Dural ötvözetsor. A 4% Cu és 2% Mg tartalmú ötvözet a legnagyobb szilárdságra ($R_m=500\text{MPa}$ -ra) nemesíthető. Ugyancsak nagy szilárdságra ($R_m=400\text{MPa}$ -ra) nemesíthető a 4% Cu és 2% Ni tartalmú Al-Cu-Ni ún. hőszilárd Al-ötvözet. Mindkét nagy szilárdságú ötvözet fogyatékosága, hogy a szilárdságfokozás céljából alkalmazott Cu ötvöző hajlamossá teszi őket korrózióra.

A természetesen öregíthető Al-ötvözetek jellegzetes képviselője az Al-Zn-Mg-Ti hegeszthető Al-ötvözet. A kb. $400\text{ }^\circ\text{C}$ -ról végzett gyors hűtést követő pihentetés közben végbemenő keményedést a 4. ábra mutatja.



4. ábra: Al-Zn-Mg-Ti ötvözetek keményedési diagramja
(Fig_2_4.jpg)

A hőkezelést követően az ötvözet egy-két napig még lágy, jól alakítható. Végleges szilárdságát 90-180 nap után éri el. Szakítószilárdsága közel 400MPa -ra, folyáshatára 200MPa -ra növekszik, fajlagos nyúlása még így is jelentős, mintegy 20-22%. Jellemzője, hogy a hegesztés hőhatásövezete a hegesztés után ugyancsak természetes öregedéssel keményedik. Hátránya, hogy a Zn tartalom miatt korrózióra hajlamos.

Tantárgy neve: Korszerű anyagok és technológiák

Modul címe: Korszerű szerkezeti anyagok

Lecke címe: Alumínium és ötvözetei

Szerző: Zsoldos Ibolya

Az Al-Si-Mg nemesíthető ötvözet 1,5% Si-ot és 1,5% Mg-ot tartalmaz. Szilárdsága, mivel nem tartalmaz rezet, csak kb. 300MPa-ra növelhető nemesítéssel, ugyanakkor korrózióállósága jó, ugyancsak a réz hiánya miatt. Bányabiztosító berendezések és villamos szabad vezeték készítésére alkalmazzák.

Alakítható alumínium ötvözetek felhasználása autó karosszériákban

Tevékenység:

- **Saját szavaival fogalmazza meg, milyen eljárásokkal érik el az alábbi példákban szereplő karosszéria anyagok esetében a jó mechanikai, korrózióálló stb. tulajdonságokat.**

Az alakítható alumíniumlemezek ötvözeteinek vegyi összetételét az EN 573-3:1995 sz. szabvány tartalmazza. Az 1. táblázatban a szabvány szerinti sorozatokat foglaltuk össze.

1. táblázat: Alakítható alumíniumlemezek szabvány szerinti sorozatai

Ötvözet típusa	Sorozatszáma
Alumínium	1000
Al Cu	2000
Al Mn	3000
Al Si	4000
Al Mg	5000
Al MgSi	6000
Al Zn	7000
Egyebek	8000

Említettük, hogy az alumíniumlemezek tulajdonságaira az ötvözésen kívül jelentős befolyással vannak a hőkezelő és képlékeny alakító technológiák. Ezt néhány korszerű karosszéria lemezanyag példáján nézzük meg.

- Az alumíniumlemez ötvözetek közül az úgynevezett természetesen keményedő 5000-es Al-Mg ötvözetek szilárdságnövekedését képlékenyalakítással, hengerléssel, a kikeményíthető, Al-Mg-Si típusú, 6000-es ötvözetek szilárdságát viszont hőkezeléssel biztosítják. Az utóbbiak szilárdságnövekedése meghatározott gyártási körülmények között speciális szárítási technológiával, mint melléktermék alakul ki. A szárítás hőmérsékletén végbemegy az ötvöző elemek vegyületeinek a kiválása, aminek következtében a szilárdság jelentősen növekszik.
- A jelentősen nagyobb szilárdságot a kikeményíthető, Al-Cu típusú 2000-es és az Al-Zn típusú 7000-es ötvözetekkel lehet biztosítani, a szilárdságuk rendkívüli esetben a 700 MPa értéket is elérheti. Az említett alumíniumötvözeteknél a biztonságos felhasználásához egy ellenőrzött gyártási folyamat lánc (meleghengerlés, hőkezelés) biztosítása szükséges. A következő, más anyagoknál is ismert kísérőjelenségek azonban fennállnak: ha nagy a szerkezeti anyag szilárdsága, korlátozott az alakíthatóság, és az alakíthatás során nagy a visszarugózás.
- Kedvező lehetőséget biztosít a karosszériagyártásnál a 2024 T6 ötvözet felhasználása, amelynek 400 MPa-nál nagyobb a szilárdsága, 20% a nyúlása és kedvező a

mélyhúzási tulajdonsága. A minőségi jelben a T6 az oldó hőkezelésnek alávetett és teljes mértékben mesterségesen öregített (kikeményített) állapotot jelöli. A 2024 T6 és a 7075 T6 ötvözetek mechanikai tulajdonságait a 2. táblázat tartalmazza.

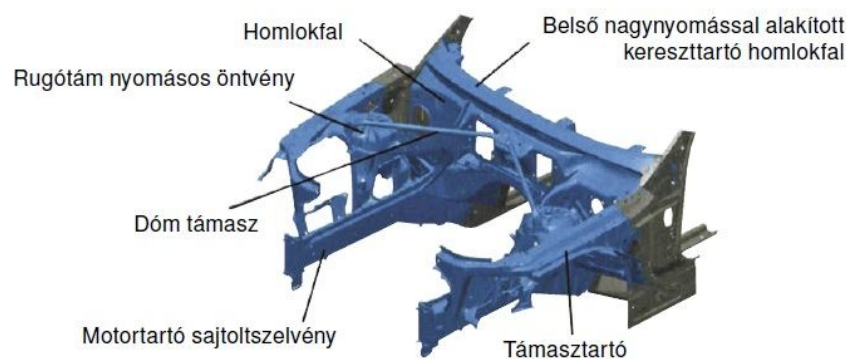
2. táblázat: Példák karosszéria lemezanyagokra

Ötvözet Jele	Névleges vastagság mm	R_m MPa min	$R_{p0,2}$ MPa min	A_{50} % min
2024 Ta	≥ 0,4 1,5-ig	435	290	12
7075 Ta	≥ 0,4 0,8-ig	525	460	6

A 2. táblázatban szereplő alumíniumötvözeteknek nagy a szilárdsága, különösen a lemez vastagsága szerint kedvező a melegalakíthatósága. A szilárdsági tulajdonságok kedvezőek már (200–300) °C hőmérsékleten végzett melegalakításnál is, amely műszakilag biztonságosan megoldható. Megfelelő technológiával a melegalakítás hőjét felhasználják a lemez kikeményítésére.

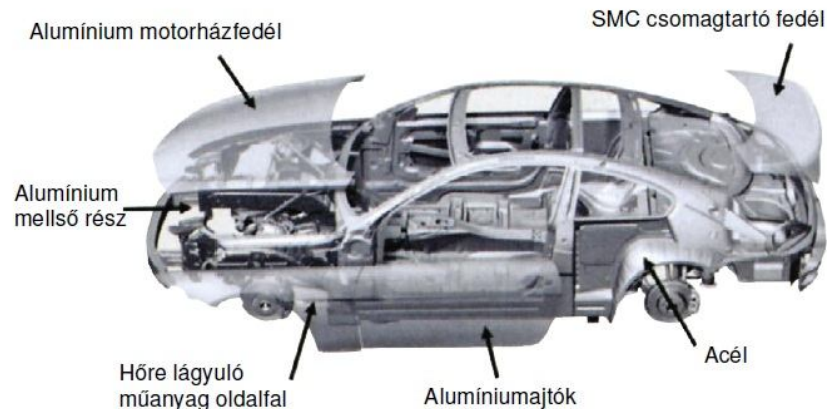
- A növelt szilárdságú alumíniumötvözeteknek nagy az ötvözőfém-tartalma, azonban az 5000-es és a 6000-es ötvözetek korrózióállósága – különösen a nagy (1,2–2,0%) réztartalmuk miatt – nem kedvező. Amennyiben az anyag korrózióvédelmét biztosítani kívánjuk, a korrózióvédelemre megfelelő technológia áll rendelkezésre, a kettőzött, plattírozott lemez gyártása. Ennél a nagy szilárdságú belső lemezt, a maganyagot a hengerléskor egy külső, korrózióálló felületi réteggel látják el. A maganyagot és a felületi réteget képező anyagot hengerléssel egyesítik, és a két anyagminőség között megfelelő kötés alakul ki.

Alakítható alumínium ötvözetekből a könnyűszerkezetes gépkocsiknál különféle karosszéria elemeket készítenek, amely jelentősen hozzájárul a gépkocsik tömegcsökkenéséhez (acél karosszériákkal összehasonlítva). Az 5. ábrán a BMW 5-ös sorozathoz készített alumínium karosszéria mellső részt mutatjuk.



5. ábra: Alumínium ötvözetből (kék) és acélból (szürke) készült mellső rész a BMW 5-ös sorozatnál
(Fig_2_5.jpg)

A 6. ábrán a BMW 6-os sorozatnál felhasznált anyagok választékát (alumínium, SMC, hőre lágyuló műanyag és acél) mutatjuk.



6. ábra: Anyagválaszték a BMW 6-os sorozatnál
(Fig_2_6.jpg)

6. ÖNTÉSZETI ALUMÍNÍUM ÖTVÖZETEK

Tevékenység:

Saját szavaival fogalmazza meg, milyen csoportokba soroljuk az öntészeti Al-ötvözeteket, ezeknek milyen jellegzetességeik vannak.

Az öntészeti Al-ötvözeteket három csoportba soroljuk: az ún. szilumin, a magnéziumos és a rezes csoport.

A legkiválóbb önthető Al-ötvözetek a szilumin csoportba tartoznak. Jellegzetes képviselőik az Al-Si és az Al-Si-Mg ötvözetek. Ezek mindegyikére az Al-Si eutektikus összetétel (Si=12%) jellemző, amelynek határozott olvadáspontja van: $T_0=578\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zsugorodásuk (1-1,15%) kisebb, mint a többi Al-ötvözeté (1,25-1,5%). Kokillaöntésnél még kisebb a zsugorodásuk: 0,5-0,8%, tehát kokillaöntésre kiválóan alkalmasak. Szilárdsági tulajdonságaik jobbak a többi öntészeti Al-ötvözetnél.

A második öntészeti Al csoport, az Al-Mg ötvözetek a hydronárium néven ismert alakítható ötvözetek önthető változatai. Ide tartozik még az Al-Mg-Si és az Al-Mg-Mn ötvözetrendszer is. Valamennyi fajtára a jó korrózióállóság jellemző.

A harmadik öntészeti Al-csoport fő típusai az Al-Cu és az Al-Cu-Ni ötvözetek. Ezek a legkevésbé hajlamosak az öntésnél a fogyási üregek (lunkerek) képződésére, jó hővezető képesség és bizonyos fokig jó hőállóság jellemzi a csoportot. Viszonylag jól megmunkálhatók, de forgácsolásnál kenődnek, a kenődés megszüntetésére 0,2% Si és 0,3% Mg ötvözőt alkalmaznak. A Ni tartalom a hőszilárdság fokozására szolgál. Az Al-Cu-Ni ötvözetekből öntik a motorhengerfejeket és a melegen dolgozó dugattyút.

Az öntészeti ötvözetek szilárdsági tulajdonságai gyengébbek, mint az alakítható ötvözeteké. A szakítószilárdságot az öntés technológiája is befolyásolja: homokformába való öntésnél kisebb, mint kokillába, fémformába való öntésnél. Pl. az Al-Si ötvözetek szilárdsága homoköntésnél 150-200 MPa, kokillaöntésnél 180-260 MPa. A nemesíthető Al-Cu-Ni és Al-Mg-Si szakítószilárdsága nemesítéssel akár 300 MPa-ig növelhető.

Öntészeti alumínium ötvözetek felhasználása motorgyártásban

Tevékenység:

Saját szavaival fogalmazza meg, hogy az öntészeti Al-ötvözeteknek milyen alkalmazásaival találkozunk a motorgyártásnál.

Tömege szerint a motor a gépkocsi legnagyobb egysége. A motor fő részeinél - forgattyús házánál és hengerfejénél - a méretek és a tömeg csökkentése a fejlesztők elsődleges célja. A motor teljesítményének a növekedésével párhuzamosan az alkatrészekkel szemben támasztott szilárdsági követelmények állandóan növekszenek. Ezért a motor legnagyobb igénybevételnek kitett fő részeinek - forgattyús házának és hengerfejének- a gazdaságos gyártása a fejlesztőmérnökök legfontosabb feladata. A korábban a motorblokkok gyártásához felhasznált, lemezgrafitos öntöttvasat jelenleg alumínium ötvözetekkel helyettesítik.

A hengerfejgyártáshoz leggyakrabban felhasznált ötvözeteket az 3. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatban közölt adatok kokillában öntött darabokra érvényesek.

3. táblázat: Hengerfejekben leggyakrabban használt Al-ötvözetek

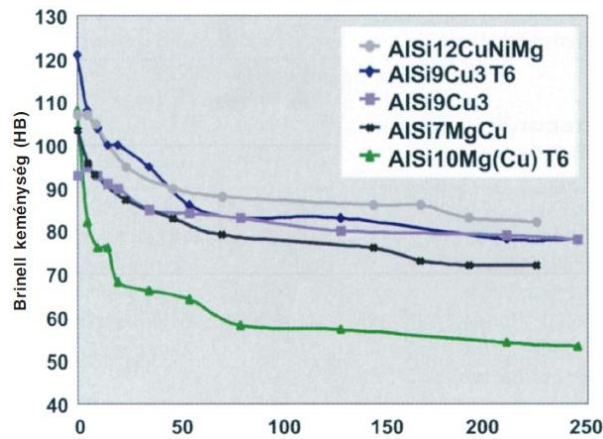
Állapot: T6: hőkezelésnek alávetett és teljes mértékben mesterségesen öregbített, F: öntött állapot

Kémiai jel	AlSiMgCu0,5	AlSi10Mg(Cu)	AlSiCu4	AlSi9Cu3
Állapot	T6	T6	F	F
Folyáshatár $R_{p0,2}$ (Mpa)	210	200	100	100
Szakítószilárdság R_m (Mpa)	290	240	170	170
Nyúlás A_5 (%)	4	1	1	1
Keménység (H)	90	80	75	75
Hőtágulási együttható (20–200) °C (10^{-6} K)	22	21	22	22
Hővezető képesség (W/mK)	143–172	140–170	110–130	100–110

Az európai motorgyárakban felhasznált hengerfejek 90%-át, valamint a nagy sorozatban gyártott, erősen igénybe vett, közvetlen befecskendezésű dízelmotorokhoz felhasznált hengerfejeket elsősorban kokillában öntik. Ezeknél az alak bonyolultsága és a darab nagysága, illetve az üzem közben fellépő feszültségek miatt a vetemedések keletkezésének lehetősége jelentősen növekszik.

Példaként megemlítjük az Audinak a V6- és a V8-TDI dízelmotorok hengerfejgyártásánál elvégzett, jelentős, anyagtechnológiával kapcsolatos fejlesztési munkáit. A hengerfej a motorban központi helyen, az égéstér közelében helyezkedik el. A hőmérséklet üzem közben (180–220) °C között van, sőt, még ennél is nagyobb lehet. Ez azért figyelemre méltó, mert a szokásos technológiával gyártott, melegen kikeményített, öntött ötvözetek ebben a hőmérséklet-tartományban jelentős öregedési, lágyulási folyamaton mennek keresztül. A mechanikai tulajdonságok, mint a szakító szilárdság, a folyáshatár és a keménység jelentősen

csökkennek, és ennek következtében ezeknél a tartós szilárdságra érzékeny övezeteknél repedések keletkezhetnek. A 7. ábra néhány szabványos alumínium ötvözet 225 °C hőmérsékleten, különböző idő után bekövetkező keménységcsökkenését mutatja, amely viszonylag gyorsan, rövid idő (50 óra) alatt bekövetkezik.



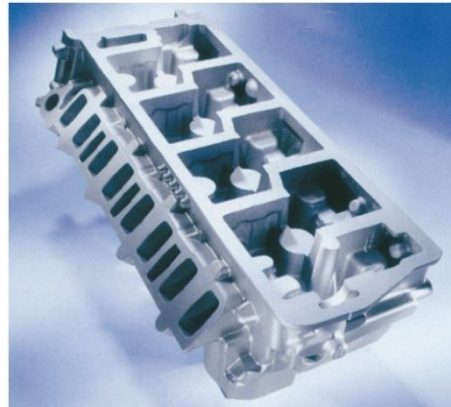
7. ábra: Al-ötvözetek lágyulási görbéi
(Fig_2_7.jpg)

Jellemző, hogy az AlSi10Mg jelű, átolvasztott (szekunder) ötvözetnél a legnagyobb a keménységcsökkenés, a többi ötvözetnél viszonylag kisebb. Ez az ötvözet viszont - többek között - a nagyon jó [(140-170) W/mk] hővezető képesség miatt az Audi V6-TDI háromhengeres meghajtásnál nagyon jól megfelelt. A négyhengeres Audi V8-as motor meghajtásánál a még nagyobb követelmények miatt új ötvözetet kellett kifejleszteni, ezek:

- AlSi12CuNiMg primer ötvözet, a belőle gyártott alkatrészeknek nagyon jó a repedésálló képessége. Hátránya viszont, hogy az öntés során nagyon nagy a meleg repedésre való hajlama, a megdermedés közben kialakuló belső feszültség repedést okoz az öntvényben.
- AlSi7MgCu primer ötvözet jó mechanikai tulajdonságokkal és repedésállósággal, nagyon jó az önthetősége.
- AlSi9Cu3 szekunder (átolvasztott) ötvözet, nagyon jók a mechanikai tulajdonságai és az önthetősége.

A három ötvözetből készített hengerfejek mechanikai tulajdonságait 225 °C hőmérsékleten, (230-245) órás hőntartási időnél vizsgálták. A próbatesteket mindig a hengerfej égéstér felőli részéből vették. A 7. ábra szerint minden ötvözetnél jelentős szilárdságcsökkenést állapítottak meg.

A rendkívülien korlátozott konstrukciós lehetőségek miatt, az anyagtechnológiai fejlesztéssel párhuzamosan a hőelvezetés optimalizálására újfajta hűtési rendszert fejlesztettek ki. A 8. ábrán mutatjuk az AlSi7Cu0,5 jelű ötvözetből gyártott, Audi 4,0.l-V8. TDI meghajtás előnagyt hengerfejét, amelynek a tömege kb. 13 kg.



8. ábra: AlSi7Cu0,5 jelű ötvözetből gyártott, Audi 4,0L-V8.TDI meghajtás előnagylt hengerfej
(Fig_2_8.jpg)

A motorblokkokat általában hipereutektikus alumínium-szilícium ötvözetekből öntik. A 2. táblázat a motorblokkok gyártásához felhasznált alumíniumötvözetek mechanikai tulajdonságait tartalmazza.

4. táblázat: Motorblokkokban használ Al-ötvözetek

Kémiai jelölés	AlSi9Cu3	AlSi6Cu4	AlSi7Cu4
Öntéstechnológia	S/K	D	S/K
Állapot	F	F	T6
Folyáshatár			
$R_{p0,2}$ (Mpa)	90–100	140	90–110
Szakító szilárdság			
R_m (Mpa)	150–170	240	150–170
Nyúlás			
A_5 (%)	1	1	1
Keménység (H)	60-75	80	60-75
Hőtágulási együttható (20–200 °C) (10^{-6} K)	22	22	22
Hővezető képesség (W / mk)	100–110	100–110	110–120
			117–134

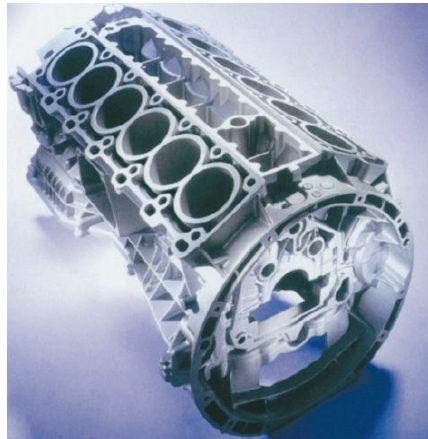
Megjegyzés:

Öntés technológia: S – homoköntés
K – kokillaöntés
D – nyomásos öntés

Állapot: F – öntött,
T6 – oldó hőkezelésnek alávetett és teljes mértékben mesterségesen öregbített állapot.

A táblázat „öntési technológia” sorából láthatjuk, hogy a motorblokkok nagy sorozatú gyártásánál valamennyi öntési eljárást alkalmaznak. A nyomásos öntési eljárásnak – összehasonlítva a homok- és kokillaöntéssel – a legnagyobb a termelékenysége, mivel a teljes öntési folyamatot automatizálták.

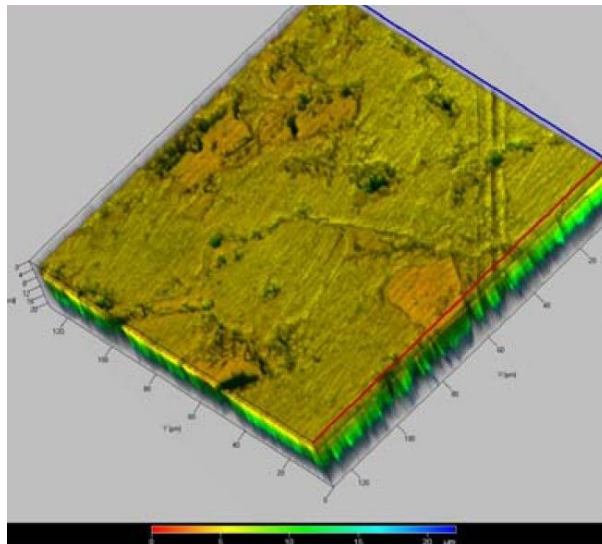
A 9. ábrán mutatjuk a Maybach és a DaimlerChrysler S osztályú gépkocsi motorblokkját, amelyet AlSi9Cu3 jelű ötvözetből készítenek. A blokk tömege az ágyazattal együtt kb. 38 kg.



9. ábra: Maybach és a DaimlerChrysler S.osztályú gépkocsi AlSi9Cu3 jelű ötvözetből gyártott motorblokkja
(Fig_2_9.jpg)

A belsőégésű motorokban tribológiai szempontokból is kedvező, gyakran alkalmazott megoldás a hipereutektikus ($\text{Si} > 12\%$) alumínium-szilícium ötvözetből készített teljes forgattyúház, mellyel szemben vastartalmú réteggel bevont dugattyú fut.

A 10. ábra hipereutektikus alumínium-szilícium ötvözetből készült motorblokkok felületét mutatja megmunkált állapotban. A felület kezelési technológia lényege, hogy hónolás után a primer szilícium kristályok körül elhelyezkedő lágyabb eutektikumot mechanikus vagy vegyi kezeléssel mélyítik, ezáltal a futófelületet a nagy keménységű primer szilícium kristallitok alkotják, a kenőanyag tapadásának kedvező mélyített üregekkel együtt válik tribológiai szempontból optimálissá a futófelület.



10. ábra: Hipereutektikus alumínium-szilícium ötvözetből készült motorblokk felületrészlet konfokális mikroszkóppal nagyított képe
(Fig_2_10.jpg)

Tantárgy neve: Korszerű anyagok és technológiák

Modul címe: Korszerű szerkezeti anyagok

Lecke címe: Alumínium és ötvözetei

Szerző: Zsoldos Ibolya

Felhasznált irodalom

- Tisza Miklós: Metallográfia, Miskolci Egyetem, 2002.
- E.R. Wallach: Materials Science: Alloys, University Lectures, University of Cambridge, Department of Materials Science and Metallurgy, 2011-2012.
- Enyingi Kálmán: Forgattyús házak és hengerfejek gyártása alumínium ötvözetekből, Autótechnika 64-65., 2004/4, 54-55., 2004/6.
- Enyingi Kálmán: Korszerű szerkezeti anyagok a gépkocsigyártásban, Autótechnika 60-62., 2006/1
- Enyingi Kálmán: Növelt szilárdságú alumínium- lemezek a gépkocsigyártásban, Autótechnika 64-65., 2006/7
- Czinege Imre, Csizmazia Ferencné, Kozma István: Új lehetőségek a roncsolásmentes vizsgálati technikában, A jövő járműve, 174-181., 2011/01-02.

Önellenőrző kérdések

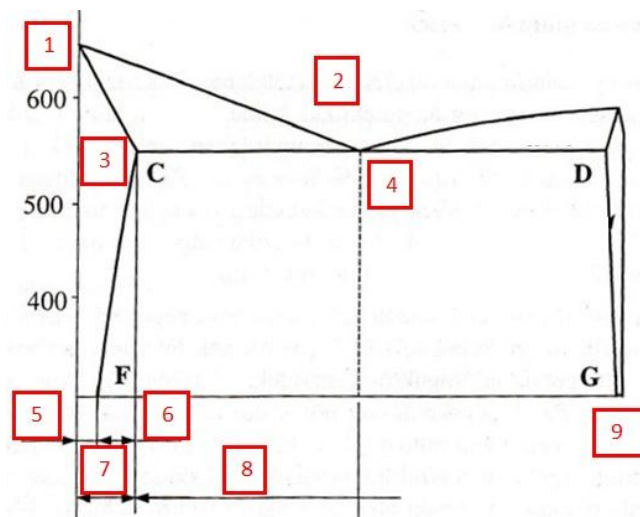
1. Az alábbi felsorolásból válassza ki a szinalumínium tulajdonságait:
 - jó elektromos vezető
 - nagy hőszilárdság
 - korrózióállóság
 - ferromágneses
 - nagy szilárdság
 - acélokhoz képest kis fajsúly
 - jól alakíthatóság
 - acélokhoz képest magas olvadáspont
 - rossz hővezető
 - felületen középpontos köbös kristályszerkezet
2. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel, hogy a nagy tisztaságú alumínium előállítását helyesen jellemezze:
Két lépésben történik az előállítás: a **bauxitból** vegyi tisztítással nyerik a **timföldet** (más néven: Al_2O_3), amelyből ezután **1000 °C**-on végzett **elektrolízissel** állítják elő a **kohó**alumíniumot, amelynek a tisztasága kb. **99...99,7%**.
3. Az alábbi felsorolásnak megfelelő betűjelekkel (A-E) az alul felsorolt elemek mellett jelölje, hogy az alumínium ötvözőinek milyen hatása van az ötvözet tulajdonságaira?
 - A. Szilárdságnövelő ötvöző
 - B. Korrózióállóságot fokozó ötvöző
 - C. Szemcsefinomító ötvöző
 - D. Hőszilárdságot növelő ötvöző
 - E. Forgácsolhatóságot javító ötvöző

Ni: **D**, Mg: **A**, Mn: **B**, Fe: **E**, Cr: **C**, Ti: **C**, Si: **A**, Cu: **A**, Co: **E**

4. Az alábbi felsorolásból válassza ki, melyik ötvözővel nem képez az alumínium eutektikumot:

- Al-Cu
- Al-Mg
- Al-Si
- **Al-Cr**

5. Írja az alábbi ábrán piros színnel jelölt számokat az ábra alatt felsorolt elnevezések mellé úgy, hogy a korlátolt oldást mutató kétalkotós alumínium ötvözetek állapotábrájára jellemző elnevezéseket helyesen mutassák.



- öntészeti Al-ötvözetek: **8**
- alakítható Al-ötvözetek: **7**
- nem nemesíthető, alakítható Al-ötvözetek: **5**
- nemesíthető, alakítható Al-ötvözetek: **6**
- hőmérséklet: **1**
- olvadék: **2**
- alumínium és az ötvöző által alkotott vegyület: **9**
- eutektikum: **4**
- szilárd oldat: **3**

6. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel, hogy az alakítható Al-ötvözetek esetében alkalmazott szilárdságnövelő módszereket és a szilárdságnövelés nagyságrendjét helyesen jellemezze:

Cu, Mg, Si ötvözők, nemesítő hőkezelés, képlékeny alakítás együttes alkalmazásával mintegy négyeszeresére növelhető a szilárdság.

7. Az alábbi felsorolásban szereplő tulajdonságok sorszámait írja a felsorolás alatti alakítható Al-ötvözetfajták mellé, amennyiben az adott tulajdonság jellemző az adott ötvözetfajtára.

1. kis szilárdság
2. nagy szilárdság
3. nem nemesíthető
4. nemesíthető
5. természetes öregedésre való hajlam
6. tengervíz-állóság
7. korrózióra való hajlam
8. korrózió állóság
9. hőszilárd
10. hegeszthető

Al-Mg ötvözetek: 1, 3, 6

Al-Mn ötvözetek: 1, 3, 8

Al-Cu-Mg ötvözetek: 2, 4, 7

Al-Cu-Ni ötvözetek: 2, 4, 7, 9

Al-Zn-Mg-Ti: 2, 5, 7, 10

8. Az alábbi felsorolásból válassza ki, milyen jellemzők érvényesek az alakítható Al-Zn-Mg-Ti-ötvözetek természetes öregítési folyamatára:

- gyors hűtés után azonnal végbemegy a keményedés
- gyors hűtés után csak 9-10 nap után éri el a végleges szilárdságát
- gyors hűtés után csak 90-180 nap után éri el a végleges szilárdságát
- hőkezelés után az ötvözet egy-két napig lágy, jól alakítható
- hőkezelés után az ötvözet megtartja kiváló alakíthatóságát
- gyors hűtés után az ötvözet gyorsan elveszíti kiváló alakíthatóságát

9. Az alábbi felsorolásból válassza ki, milyen eljárásokat alkalmaznak a korszerű Al-ötvözet karosszéria anyagoknál a jó mechanikai és korrózióálló tulajdonságok elérése érdekében:

- Szárítási művelet hőmérsékletén végbemegy az ötvöző elemek vegyületeinek a kiválása, aminek következtében a szilárdság jelentősen növekszik, ezt a jelenséget használják ki megfelelő hőkezelő hatás elérésére.
- Szárítás során az ötvözők az alumíniummal eutektikumot képeznek, amely szilárdságnövelő hatású.
- A melegalakítás hőjét felhasználják a lemez kikeményítésére.
- Melegalakítás hőmérsékletéről való gyors hűtést alkalmaznak a nagy szilárdságú martenzites fázis kialakításához.
- A nagy szilárdságú lemezt hengerléskor egy külső, korrózióálló felületi réteggel látják el. A két anyagot hengerléssel egyesítik, és a két anyagminőség között megfelelő kötés alakul ki.
- A nagy szilárdságú lemezt hengerléskor egy külső, korrózióálló felületi réteggel látják el. A két anyagot hengerléssel egyesítik, és a két anyagminőség között diffúziós ötvözés alakul ki.

10. Az alábbi felsorolásban szereplő tulajdonságok sorszámait írja a felsorolás alatti öntészeti Al-ötvözetfajták mellé, amennyiben az adott tulajdonság jellemző az adott ötvözetfajtára.

1. kis szilárdság
2. nagy szilárdság az öntészeti ötvözetekhez képest
3. nagy zsugorodás
4. kis zsugorodás
5. nemesíthető
6. viszonylag jól forgácsolható
7. korrózióra való hajlam
8. korrózió állóság
9. jó hőállóság
10. lunkerek képződésére legkevésbé hajlamosak

Al-Si ötvözetek: 2, 4, 5

Al-Mg ötvözetek: 1, 4, 8

Al-Cu ötvözetek: 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10

11. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel, hogy a motor hengerfejekben alkalmazott Al-ötvözetek esetében felmerülő problémákat és a megoldásokat helyesen jellemezze:

A hengerfej a motorban központi helyen, az égéstér közelében helyezkedik el. A hőmérséklet üzem közben (180-220) °C között van, sőt, még ennél is nagyobb lehet. Ez azért figyelemre méltó, mert a szokásos technológiával gyártott, melegen kikeményített, öntött ötvözetek ebben a hőmérséklet-tartományban jelentős **öregedési, lágyulási** folyamaton mennek keresztül. A **mechanikai** tulajdonságok, mint a **szakítószilárdság**, a **folyáshatár** és a **keményiség** jelentősen csökkennek, és ennek

következtében ezeknél a **tartós szilárdságra** érzékeny övezeteknél **repedések** keletkezhetnek. A legújabb motorfejlesztéseknél alkalmazott Al-ötvözeteknél a **melegrepedésre** való hajlam csökkentését oldották meg.

12. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel, hogy a motorblokkokban alkalmazott Al-ötvözetek tulajdonságait és a gyártás egyes lépéseit helyesen jellemezze:

A motorblokkok Al-ötvözetből való gyártásánál a **nyomásos** öntési eljárásnak a legnagyobb a termelékenysége, mivel a teljes öntési folyamatot automatizálták.

A belsőégésű motorokban **tribológiai** szempontokból is kedvező, gyakran alkalmazott megoldás a **hipereutektikus** alumínium-**szilícium** ötvözetből készített teljes forgattyúház, mellyel szemben vastartalmú réteggel bevont dugattyú fut.

A felület kezelési technológia lényege, hogy hónolás után a primer **szilícium** kristályok körül elhelyezkedő lágyabb **eutektikumot** **mechanikus** vagy **vegyi** kezeléssel mélyítik, ezáltal a futófelületet a nagy **keménységű** primer **szilícium** kristallitok alkotják, a kenőanyag tapadásának kedvező mélyített üregekkel együtt válik tribológiai szempontból optimálissá a futófelület