

Tantárgy neve: Korszerű anyagok és technológiák

Modul címe: Korszerű szerkezeti anyagok

Lecke címe: Alumínium és ötvözetek

Szerző: Zsoldos Ibolya

## MAGNÉZIUM ÉS ÖTVÖZETEI

### Cél

A magnézium és ötvözeteinek szerkezete, tulajdonságai, a hőkezelés, szilárdságnövelés és korrózióállóság javítás elvi alapjainak, valamint autóiipari alkalmazásainak elsajátítása a cél.

### Követelmények

Ön akkor sajátította el a tananyagot, ha képes:

- ismertetni általánosságban a magnézium ötvözetek szerkezetét, tulajdonságait, alkalmazási lehetőségeket,
- megfogalmazni a szilárdságnövelés és korrózióval szemben való ellenállás javításának elvi lehetőségeit a magnézium ötvözetek esetében,
- megfogalmazni az autó szerkezetekben hasznosított korszerű magnézium ötvözetek fajtáit, tulajdonságait, alkalmazásának előnyeit.

### Időszükséglet:

A tananyag elsajátításához körülbelül 90 percre lesz szüksége.

### Kulcsfogalmak

- magnézium ötvözetek szilárdságnövelése
- magnézium ötvözetek korrózióállóságának javítása
- alakítható magnézium ötvözetek
- öntészeti magnézium ötvözetek

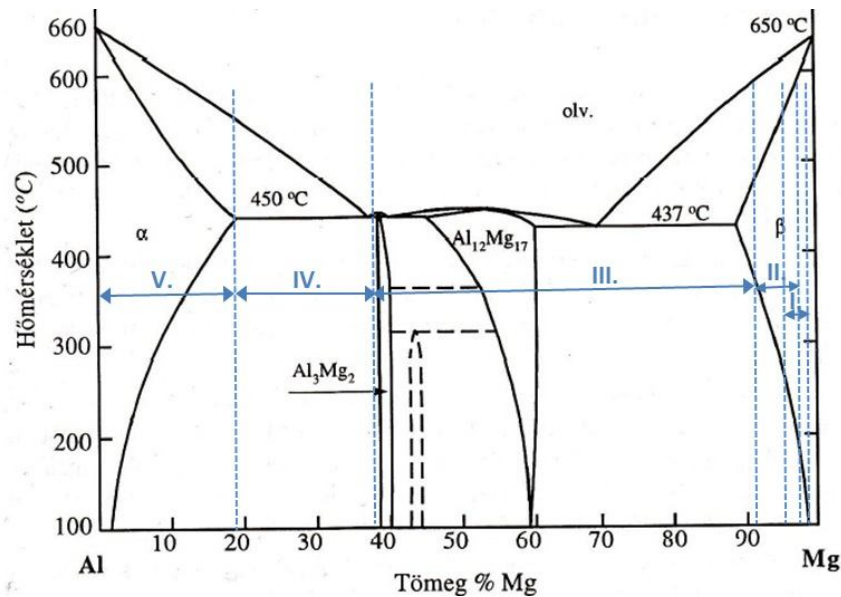
## MAGNÉZIUM ÉS ÖTVÖZETEI

**Tevékenység: saját szavaival ismertesse a magnézium tulajdonságait, szerkezetét, a magnézium ötvözetek fajtáit, fejlesztési irányait.**

A magnézium a gyakorlatban alkalmazott fémek közül a legkönnyebb, sűrűsége  $1,7 \text{ kg/dm}^3$ . Olvadáspontja az alumíniuméval majdnem azonos:  $650 \text{ }^\circ\text{C}$ . Kristályszerkezete tömött hexagonális, tehát a képlékeny alakítás szempontjából egyetlen kedvező síkja van, a (0001) alapsík. Hidegen nehezen alakítható, az alakíthatóság magasabb hőmérsékleten némileg javul. A magnézium korrózióállósága az alumíniuménál gyengébb. Az oxigénhez nagy a vegyrokonsága, de a felületén képződött oxidhártya nem olyan tömör, mint az alumíniumnál, ezért a korróziós közegek könnyen áthatolnak rajta. Különösen érzékeny a nedvesség, sós víz, szerves savak és sók iránt. A magnéziumból és ötvözeteiből készült alkatrészeket ezért korrózió elleni védőbevonattal kell ellátni.

A szilárdságát magnézium szilárdsága kicsi. Folyáshatára csak 70 MPa. Szilárdságát ötvözéssel növelik. Fő ötvözője az alumínium. Szokásos járulékos ötvözői a Zn és a Mn. Bár szilárdsága még ötvözött állapotban is kisebb, mint a nemesíthető alumínium ötvözeteké, fajlagos szilárdsága jelentős, ezért a repülőgépipar és az űrtechnika egyik fontos anyaga.

Éppúgy, mint az alumínium a magnéziummal, a magnézium az alumíniummal szilárd oldatot alkot, amint azt az 1. ábrán mutatjuk.



1. ábra: Al-Mg teljes ötvözetrendszer állapotábrája  
(Fig\_3\_1.jpg)

Az 1. ábrán a következőkre figyeljünk:

- A magnéziumban az alumínium oldhatóságának felső határa az eutektikum hőmérsékletén (437 °C-on) 12,7% (az ábrán  $100-12,7=87,3\%$ -nál). Az oldhatóság szobahőmérsékleten kb. 3%-ra csökken.
- A 3-12% alumínium-tartalmú magnézium ötvözetekben lehülés közben az  $Al_{12}Mg_{17}$  fémes vegyület válik ki, amely fokozza az ötvözet keménységét.
- A gyakorlati Mg-Al ötvözetek 3-9% Al-tartalmúak. A 3-6% Al-tartalmú ötvözeteket (az ábrán az I. jelű szakasz) alakított állapotban, a 4-9% Al-tartalmúakat (az ábrán a II. jelű szakasz) jellemzően öntvényként használják.
- A diagram baloldali részéről az alumínium ötvözeteknél már tanultunk. A IV. jelű szakasz az öntészeti, míg a V. jelű szakasz az alakítható alumínium ötvözeteknek felel meg.
- Végül a középső, III. jelű szakasznak megfelelő ötvözeteket a műszaki gyakorlatban nem hasznosítjuk a kedvezőtlen tulajdonságok miatt.

A magnézium ötvözetek keménységét 0,5-1% Zn és 0,1-0,5% Mn ötvözéssel javítják.

A magnézium gyúlékonysága miatt az öntés körülményes. A tégelyben megolvasztott ötvözetet sötakaróval védik. A homokformába ként kevernek, és felületét öntés előtt kénporral szórják be. Az öntvények tulajdonságai:  $R_m=100-100\text{MPa}$ ,  $A=2-10\%$ ,  $HB=50-70$ . Az alakítható magnézium ötvözeteket 300-400 °C-on sajtolják vagy hengerlik. Melegalakításhoz való felhevítését légmentesen zárható kemencékben, vagy sófürdőben végzik. A sajtoló ötvözetek szakítószilárdsága:  $R_m=200-300\text{MPa}$ , nyúlása:  $A=10-20\%$ , a keménység azonos az öntött ötvözetekével.

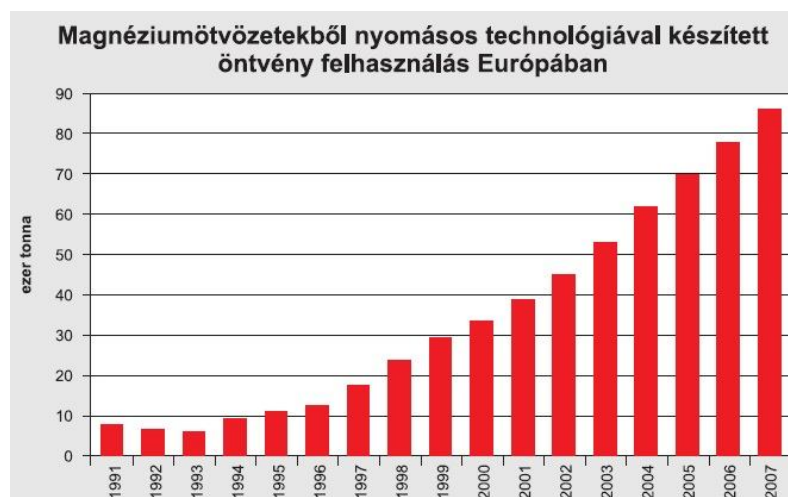
A korszerű magnézium ötvözetek fejlesztésének két iránya figyelhető meg. Az egyik irány a szélsőségesen kis mennyiségű szennyezőt tartalmazó ötvözetek jelentik. A másik csoporthoz tartoznak azok az ötvözetek, amelyek ritka földfémekből (pl. cérium) 5%-nál nagyobb mennyiséget tartalmaznak. Mindkét típusnál a korrózióállóságot jelentősen fokozó, védő

MgO film keletkezik a felületen. További érdekes fejlesztési irányzat, amelynek eredményeként a magnézium ötvözetek szilárdságát keramikus anyaggal, pl. SiC erősítéssel növelik. Ez különösen a magasabb hőmérsékleten üzemelő szerkezetek esetén lehet kedvező.

## MAGNÉZIUM ÖTVÖZETEK FELHASZNÁLÁSA GÉPJÁRMŰ SZERKEZETEKBEN

**Tevékenység: saját szavaival ismertesse a magnézium tulajdonságait, szerkezetét, a magnézium ötvözetek fajtáit, fejlesztési irányait.**

Az acélok és alumínium ötvözetek mellett a gépkocsialkatrész-gyártásban jelentős szerepet játszanak a magnéziumötvözetekből, nyomásos technológiával öntött, valamint a képlékenyen alakított (kovácsolt, sajtolt és hengerelt) félgyártmányok. A felhasználást korlátozza a nem kedvező hidegalakíthatóságuk. Az utóbbi évtized jelentős eredménye az eddig elhanyagolt gyártástechnológiai fejlesztés fellendülése, ennek következtében a gépkocsigyártásban felhasznált magnéziumötvözetek mennyisége jelentősen növekedett. A nagy érdeklődést elsősorban az váltotta ki, hogy a gépkocsik tömegét és ezzel a felhasznált üzemanyag mennyiségét a szigorú környezetvédelmi előírások érdekében feltétlenül csökkenteni kellett. A magnéziumnak az összes fémes szerkezeti anyagok között a legkisebb a sűrűsége, 40%-kal kisebb, mint a szintén könnyűfém alumíniumé. A gépkocsi gyáraknak a magnézium ötvözetek felhasználásával kapcsolatban korábban nem volt megfelelő ismeretük és tapasztalatuk, az utóbbi időkben azonban ezeket fokozatosan megszerzik, fejlesztik, ennek megfelelően a kedvezőtlen helyzet az egyre több Mg-ötvözet felhasználásának irányában változik. A 2. ábrán az Európában 1991 és 2007 közötti időszakban magnéziumötvözetekből nyomásos technológiával készített öntvényfelhasználást mutatjuk.



2. ábra: Mg-ötvözetből nyomásos technológiával készített öntvények felhasználás Európában  
(Fig\_3\_2.jpg)

A magnéziumötvözetek előnye, hogy az újrahasznosításuk sokkal egyszerűbb és gazdaságosabb, mint a szintén könnyű szerkezeti anyagoknak, a műanyagoknak. Az új és a korábban keletkezett magnéziumhulladékok újrahasznosítása csak ismert minőségek esetén lehetséges. A legkedvezőbb a HP- (HP, High Purity, nagy tisztaság) ötvözetek felhasználása,

Tantárgy neve: Korszerű anyagok és technológiák

Modul címe: Korszerű szerkezeti anyagok

Lecke címe: Alumínium és ötvözetek

Szerző: Zsoldos Ibolya

mert a réz- és nikkell szennyezése az újrahasznosítást megnehezíti. Az újrahasznosítás növelésének fontos feltétele a darabok minőséget tanúsító jellel való megjelölése, amellyel az elhasznált elemek leszereléskor a válogatást lényegesen megkönnyítenek.

A magnéziumötvözetek átlagos szakítószilárdsága 100-200 N/mm<sup>2</sup> között van. Nagyon kedvezőtlen a szívósságuk, a nyúlásuk, ezt a darabok méretezésénél figyelembe kell venni. A terhelés koncentrációját, különösen erősen igénybe vett daraboknál kerülni kell.

Különböző ötvözőelemek adagolásával, ötvözésével a tulajdonságaikat változtatni tudjuk: alumíniummal a szilárdság, mangánnal a hegeszthetőség és ónnal a képlékenyalakíthatóság növekszik.

Az acélok két versenytársának, az alumínium- és a magnéziumötvözeteknek a fejlesztése régebben háttérbe szorult, mégis ezeknek a könnyűfémeknek a gépkocsigyártásban való felhasználása régi hagyományra tekinthet vissza. A 30-as években tervezett és gyártott VW Bogár gépkocsi gyártásához már gépkocsinként 20 kg magnéziumot használtak fel. A Bogár gyártásának a befejezésével a magnézium, mint szerkezeti anyag, feledésbe merült, az utóbbi években látszik csak az újjászületése. Ma gépkocsinként kb. 3 kg-ot használnak fel, elsősorban a belső térben lévő elemeknek a készítéséhez.

A felhasználásnál kedvezőtlen tényező az ötvözetek magas ára és a nem kedvező korrózióállóság. Az ötvözetek korrózióállóságának a növelésével a felhasznált mennyiséget lényegesen növelni lehet. Új fejlesztésekkel a szennyezők, mint a vas, a réz és a nikkell mennyiségének a csökkentésével az ötvözetek korrózióállóságát jelentősen növelni tudták, ezzel a magnéziumötvözetek egyik kedvezőtlen tulajdonságát szüntették meg.

A 80-as évek elején fejlesztették ki, és azóta használják a jó korrózióálló AZ91 D jelű ötvözetet, amely a ma felhasznált teljes mennyiség 80%-át teszi ki. Néhány éve gyártják a nagyobb szívósságú AM20, AM50 és AM60 jelű ötvözeteket, különösen, ha a gyártott elemről nagyobb biztonságot követelnek meg.

A magnéziumötvözeteket a korlátozott képlékeny alakíthatóság miatt elsősorban nyomásos öntvényként használják fel. A magnéziumötvözetek kiváló öntési tulajdonsága, önthetősége, valamint a nyomásos öntéstechnológia kielégítő gazdaságossága miatt, a szériában gyártott gépkocsik elemeit a jövőben is főleg öntéstechnológiával készítik.

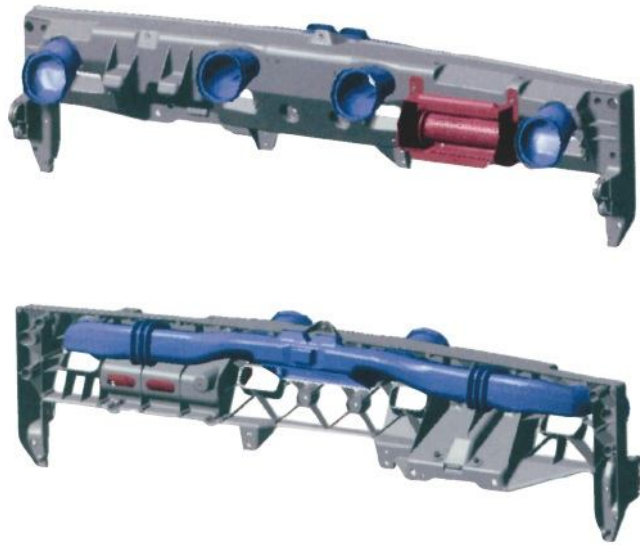
A magnéziumötvözeteket elsősorban az ajtók és fedelek belső elemeinek a gyártásához használják. Ezek lehetnek lapos szelvényű termékből készített, hengerelt termékek, vagyis héjszerkezetek. A magnézium ajtót a BMW-nél AM50 A jelű ötvözetből készítik, külső alumíniumburkolattal. Ez a kivitel bizonyította, hogy a magnézium belső résszel készített ajtókonstrukciónál a termelékenység növekszik, a hozzáférhetőség javult és az ajtó gyártásánál egyszerű előszerelést tudnak megvalósítani. Ennek ellenére a felhasznált korrózióvédő anyagokkal együtt a gyártási költség viszonylag nagy, 60%-kal nagyobb, mint a hagyományos szerkezeti acélból készített ajtó. A tömegcsökkenés gépkocsinként, két ajtónál 14 kg, az acélból készített kivittel szemben.

A műszertábla tartó gyártásánál a könnyűszerkezetes anyagok közül több megoldás van versenyben:

- alumíniumötvözetekből sajtolt szelvény (szériában alkalmazzák a BMW Z8 típusú gépkocsinál),
- acélcső, ráhegesztett tartóval (szériában alkalmazzák a BMW 3-as és 5-ös sorozatnál),
- magnéziumötvözetből nyomásos öntéssel készített kivitel.

A választott gyártástechnológiával magnéziumötvözetből készített egységesített tartónál 35%-os tömegcsökkentést értek el.

A 3. ábrán mutatott, AM60 B jelű magnéziumötvözetből készített műszertábla tartó tömege 3,7 kg-mal kisebb, mint amelyet eddig (acélból és alumíniumból) a BMW szériában gyártott (a BMW Z8-as, valamint a 3-as és 5-ös sorozatú) gépkocsinál használtak.



3. ábra: Mg-ötvözetből készült műszertábla tartó  
(Fig\_3\_3.jpg)

Jellegzetes felhasználási példa a belső térbe szerelt gépkocsi elemként a kormánykerék és a kormányoszlop, amelyeket szériában gyártott gépkocsikhoz régóta magnéziumötvözetekből, nyomásos öntési technológiával készítenek. A 4. ábrán mutatjuk a Mini típusú gépkocsi kormánykerékvázát, amelyet AM60 B jelű, és a felső kormányoszlopot, amelyet AZ91 D jelű magnéziumötvözetből készítenek.



4. ábra: Mg-ötvözetből készült kormánykerék és kormányoszlop  
(Fig\_3\_4.jpg)

A magnéziumötvözeteket sok pozitív tulajdonságuk ellenére jelenleg a gépkocsi elemeknek csak szűk körében használják. A magnéziumötvözetek az alkatrészgyártásban versenyben állnak a többi, könnyűszerkezetes gépkocsik gyártásához felhasználható szerkezeti anyaggal: a növelt szilárdságú, mikroötvözött acélokkal, az alumíniumötvözetekkel és a műanyagokkal. A magnéziumötvözetek felhasznált mennyisége viszonylag kevés, kb. 0,5% körül van.

Tantárgy neve: Korszerű anyagok és technológiák

Modul címe: Korszerű szerkezeti anyagok

Lecke címe: Alumínium és ötvözetei

Szerző: Zsoldos Ibolya

Egyéb iparágakban, mint tv kamerák, fényképezőgépek, mobiltelefonok, laptopok, számítógépházak, speciális szerszámok, pl. fűró- és fűrészgépek házainak a gyártásához egyelőre még több magnézium ötvözetet használnak fel, mint az autó iparban.

## KORSZERŰ ÖTVÖZETEK, MINT GÉPJÁRMŰ SZERKEZETI ANYAGOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

**Tevékenység: saját szavaival hasonlítsa össze a korszerű acélok, alumínium és magnézium ötvözetek tulajdonságait, környezetvédelemmel való kapcsolódásait, gyártásuk gazdaságosságát és mennyiségét.**

Miután megismertük a korszerű acélok, alumínium és magnézium ötvözetek jellemző tulajdonságait és gépjármű szerkezetekben előforduló alkalmazásait, az eddig tanultak alapján össze tudjuk hasonlítani ezeket. Összességében: a szilárdsági tulajdonságok egyértelműen az acéloknál a legjobbak. A megmunkálhatóság ma már mindhárom ötvözetrendszer esetében nagyon fejlett. Korrózióállóság szerint is találunk jó példákat mindhárom családból. Az alumínium és a magnézium ötvözetek a kis sűrűségükkel és alacsonyabb olvadáspontjukkal kínálnak jóval előnyösebb lehetőségeket az acéloknál.

A járműgyártóknak a mai fejlett technikai körülmények között nemcsak az anyagjellemzőket és a megmunkálhatóságot, hanem a gazdaságpolitika és a fejlesztés feltételeit, a gyártási költségeket, a gyártott gépkocsik darabszámát, a darab tömegét, nem utolsósorban a környezetre vonatkozó terhelő hatásokat is figyelembe kell vennie. A teljesség kedvéért további két tényezőt nézünk meg mi is, hogy a különböző alkalmazásokhoz az anyagválasztásokat jobban megértsük.

Az 1. táblázatban a könnyűfémekről mutatunk néhány adatot, a vas megfelelő adataival összehasonlítva.

### 1. táblázat: Könnyűfémek tulajdonságainak összehasonlítása a vas tulajdonságaival

Forrás: Polmear (3<sup>rd</sup> edition) Journal of Metals 54. (2002) 42-48.

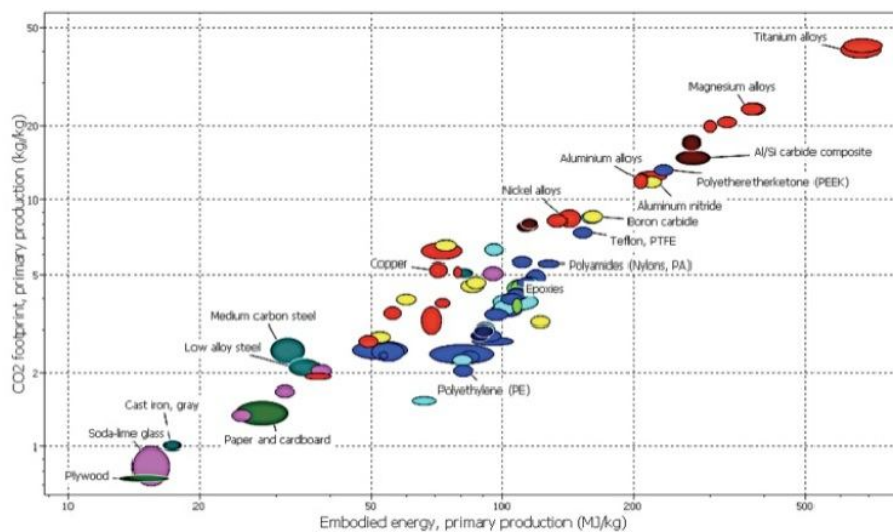
	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>Ti</b>	<b>Fe</b>
Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	1,74	2,7	4,51	7,87
Olvadáspont (°C)	650	660	1670	1535
Rugalmassági modulus (GPa)	45	70	120	210
Kristályszerkezet (300 K)	h.c.p.	c.c.p.	c.p.h.	b.c.c.
Éves termelés (tonna)	5x10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>7</sup>	5x10 <sup>5</sup>	8x10 <sup>8</sup>
Befektetett energia (MWh/t)	112	70	130	15
Relatív költség	7,5	3,7	9	1

A korábban említett összehasonlítások mellett meg kell említeni, hogy egy tonna nagytisztaságú fém előállításához befektetett energia (1. táblázat utolsó előtti sora) a vas esetében a legkevesebb, az alumínium és a magnézium esetében lényegesen több energiát használnak a gyártáshoz. Ezzel párhuzamosan az előállítási költség (1. táblázat utolsó sora) az alumínium esetében 3,7-szer, a magnézium esetében 7,5-szer annyi, mint a vas esetében. Tehát láthatjuk a számszerű adatokból is, hogy a könnyűfémek lényegesen drágábbak a vasnál. Ez az egyik alapvető oka annak, hogy a világ éves termelése lényegesen kevesebb a könnyűfémeknél, mint az acéloknál (táblázat 5.sora).

Az 5. ábrán látható diagram vízszintes tengelyén a különböző szerkezeti anyagok 1 kg tömegének előállításához befektetett energia értékei vannak feltüntetve. A függőleges tengelyen 1 kg tömeg előállítása folyamán kibocsátott széndioxid mennyisége van feltüntetve,

amely közismerten a környezetkárosítás egyik legfontosabb tényezője, hiszen tudjuk, hogy az üvegházhatás miatt kialakuló globális felmelegedés egyik legfontosabb oka a túlzott széndioxid termelés.

Az eddig tanult három anyagcsoport esetében a gyártás során kibocsátott széndioxid tekintetében rendkívül nagy különbségeket látunk. Az acélok a diagram bal alsó részén helyezkednek el (low alloy steel, medium Carbon steel). Ötszörös, tízszeres kibocsátott széndioxid mennyiségeket olvashatunk le a diagramról az alumínium ötvözetek (Aluminium alloys) és a magnézium ötvözetek (Magnesium alloys) esetében. Tehát környezetterhelés szempontjából az acélok ismét jóval kedvezőbbnek bizonyulnak a könnyűfém ötvözeteknél.



5. ábra: CO<sub>2</sub> kibocsátás különböző anyagok előállításakor  
(Fig\_3\_5.jpg)

Összességében azt mondhatjuk, hogy a korszerű könnyűszerkezetes gépkocsik szerkezeti anyagai között az acélok ma is meghatározó szerepet játszanak, azonban az alumínium ötvözetek és a magnézium ötvözetek felhasználásai is sok esetben indokoltak. A korszerű könnyűszerkezetes gépjárművekben a három anyagcsoport jól kiegészíti egymást, ezen anyagcsoportoknak az alkalmasan választott kombinációival oldják meg a korszerű könnyűszerkezetes gépkocsik, a karosszériák anyagválasztását.

### 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: Magnézium a gépkocsiban, Autótechnika 39-43., 2003/9.

## Önellenőrző kérdések

1. Az alábbi felsorolásból válassza ki a magnézium tulajdonságait:
  - jó elektromos vezető
  - nagy hőszilárdság
  - jó korrózióállóság
  - ferromágneses
  - nagy szilárdság
  - **kis fajsúly**
  - jó alakíthatóság
  - **acélokhöz képest alacsony olvadáspont**
  - rossz hővezető
  - felületen középpontos köbös kristályszerkezet
  - **gyúlékony anyag**
  
2. Az alábbi megfogalmazást egészítse ki a hiányzó kifejezésekkel, hogy a Mg-ötvözetek esetében alkalmazott szilárdságnövelő módszereket, a korrózióállóság javításának módjait, a gyúlékonyság kezelését helyesen jellemezze:

A **3-12%** alumínium-tartalmú magnézium ötvözetekben lehülés közben az  **$Al_{12}Mg_{17}$**  fémes vegyület válik ki, amely fokozza az ötvözet **keménységét**. A keménységet **0,5-1% Zn** és **0,1-0,5% Mn** ötvözéssel javítják. A magnézium **gyúlékonysága** miatt az öntés körülményes. A tégelyben megolvasztott ötvözetet **sótakaróval** védik. A homokformába **ként** kevernek, és felületét öntés előtt **kénporral** szórják be.

A korszerű magnézium ötvözetek fejlesztésének két iránya figyelhető meg. Az egyik irány a szélsőségesen **kis** mennyiségű **szennyezőt** tartalmazó ötvözetek jelentik. A másik csoporthoz tartoznak azok az ötvözetek, amelyek **ritka földfémekből** (pl. cérium) **5%-nál nagyobb** mennyiséget tartalmaznak. Mindkét típusnál a **korrózióállóságot** jelentősen fokozó, **védő MgO film** keletkezik a felületen.
  
3. Az alábbi felsorolásból válassza ki, mely tényezők indokolják a magnézium ötvözeteknek a gépjármű szerkezetekben való egyre népszerűbb alkalmazásait:
  - jó alakíthatóság miatt karosszéria elemek készítéséhez a legalkalmasabbak
  - kedvező a szívósságuk
  - **az eddig elhanyagolt gyártástechnológiai fejlesztés fellendült**
  - **40%-kal kisebb a Mg sűrűsége, mint a szintén könnyűfém alumíniumé**
  - erősen igénybevett daraboknál terhelés koncentrációját jól bírják
  - **vas, réz, nikkel szennyezők csökkentésével korrózióval szemben való viselkedésük kedvezővé vált**
  - vas, cink, mangán szennyezők csökkentésével korrózióval szemben való viselkedésük kedvezővé vált



4. Az alábbi felsorolásból válassza ki, milyen jellemzők érvényesek a magnézium ötvözetekből készített gépjármű szerkezetekre:
- a leggyakrabban alkalmazott technológia a Mg lemezanyagok képlékeny alakítása karosszéria elemek esetében
  - jellemzően használatosak a hegesztett magnézium szerkezetek a gépjármű futóműveknél
  - **A magnéziumötvözeteket a korlátozott képlékeny alakíthatóság miatt elsősorban nyomásos öntvényként használják fel.**
  - **gépjármű ajtó belső elemek, kormányoszlop, műszertartó elemek esetében gyakran használnak Mg-ötvözeteket**
  - gépjármű ajtó külső lemezek, kormányoszlop, műszertartó elemek esetében gyakran használnak Mg-ötvözeteket
  - motorblokkok, hengerfejek számára a legkedvezőbb tulajdonságú anyagok a Mg-ötvözetek
5. Az alábbi felsorolásban szereplő tulajdonságok sorszámait írja a felsorolás alatti anyagcsoportok mellé, amennyiben az adott tulajdonság jellemző az adott ötvözetcsaládra.
1. szilárdsági tulajdonságok a legjobbak
  2. fejlett alakítási, megmunkálási technológiák
  3. korrózióálló ötvözet
  4. kis sűrűség
  5. alacsony olvadáspont
  6. legkevesebb energiát igényel az előállítása
  7. legtöbb energiát igényel az előállítása
  8. legkisebb az előállítás költsége
  9. legnagyobb az előállítás költsége
  10. gyártás során kibocsátott széndioxid mennyisége a legkisebb
  11. gyártás során kibocsátott széndioxid mennyisége a legkisebb
- korszerű acélok: 1, 2, 3, 6, 8, 10  
Al-ötvözetek: 2, 3, 4, 5  
Mg-ötvözetek: 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11