

## INNLEDNING

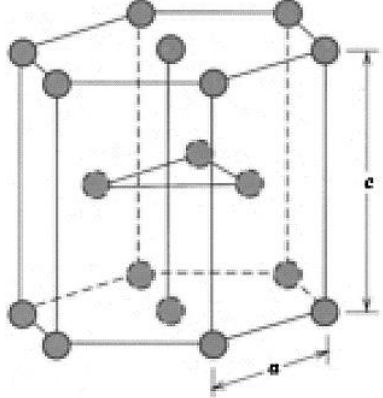
Metallet magnesium, Mg, er sølvhvitt og glinsende.

Magnesium det letteste metallet som anvendes i dag, tetthet på  $1,74 \text{ g/cm}^3$ .

Magnesium er omtrent like lett som de armerte plastmaterialene.

Magnesium finnes i kjemiske forbindelser i mange mineraler i jordskorpa og i havvann (inneholder ca. 0,12% Mg).

Noen viktige egenskaper / data:

Egenskap	Data	Egenskap	Data
Symbol	Mg	Enhetscelle/ gitterstruktur	Heksagonal
Atomvekt	24,31	Gitterparametre: $a = 3,20\text{\AA}$ $c = 5,21\text{\AA}$	
Atom diameter	$\sim 3,20\text{\AA}$		
Atomvekt	$1,74\text{g/cm}^3$	$1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$ $= 0,1\text{nm}$ (nanometer)	
Egenvekt	$650^\circ\text{C}$		
Smeltepunkt	$1110^\circ\text{C}$		
Kokepunkt	$45000\text{N/m}^2$		
Elastisitetsmodul E	$22,4\text{MS/m}$		
Elektrisk ledningsevne	$2,8\%$		
I jordskorpen	$1,3\text{g/liter}$		
I havet	$19\text{g}$		
I mennesket	$32,53\text{ppm}$		
På solen			

*Noen viktige egenskaper til magnesium.*

Mg først fremstilt i 1808.

Først industrielt anvendt av tyskerne umiddelbart før første verdenskrig.

Total produksjon av primær magnesium ca. 726.000 tonn (2006, International Magnesium Association).

Mg anvendes:

- mye til katodisk korrosjonsbeskyttelse av stålkonstruksjoner
- en stor del som legeringselement og som desoksydasjonsmiddel

Mg har stor affinitet til oksygen.

- Forårsaker en del vanskeligheter ved behandling og bearbeidning av Mg og Mg-legeringer.
- Varmebehandling, sveising og støping må skje under gassbeskyttelse.

Varmebestandigheten av magnesium er begrenset til 150°C.

Siging er aktuelt allerede ved litt over 100°C.

**Fordeler med Mg:**

- Har en normal fasthet og veldig gode forhold mellom fasthet/vekt og stivhet/vekt.
- Har en god dempningsevne
- Kan brukes til korrosjonsbeskyttelse av bl.a. stål.
- God støpbarhet og ekstruderbarhet.  
Mulig å lage kompliserte komponenter hvor flere funksjoner kan integreres i komponenten.
- Veldig lett å maskinere. Et eksempel:

Tid (sekunder)	Materiale	Relativt effektbehov
8	Magnesium	1,0
14	Aluminium	1,8
86	Stål	6,3

*Tid og relativt effektbehov ( $Mg = 1,0$ ) for å bore et 1/4'' hull i en 1'' tykk plate.*

**Ulemper med Mg:**

- Er lett antennelig i spon- og pulverform, men store produkter/deler vanskelig å antenne. Mg har god varmeledningsevne.
- Har en relativt lav elastisitetsmodul.
- Er kjervfølsomt. Bør derfor unngå brå dimensjonsendringer /-overganger som fører til at spenningskonsentrasjoner oppstår.  
Utmattingsegenskapene blir også redusert av kjerver.
- Fint pulver og spon må håndteres forsiktig. Det bør ikke få anledning til å samle seg opp rundt arbeidsområdet.

## Legeringselementer

De viktigste legeringselementene: Aluminium (Al), sink (Zn) og mangan (Mn).

Spesielle legeringselementer : Zirkonium (Zr), thorium (Th), litium (Li) og sølv (Ag).

De vanligste støpelegeringer er basert på 9% Al og 2% Zn.

Det er mulig å oppnå betydelig bedre mekaniske egenskaper gjennom hurtigstørkning.

- Al bidrar til å økt strekkfasthet
- Zn letter bearbeidingen og maskineringen
- Mn bedrer korrosjonsbestandigheten

Legering	Flytegrense (N/mm <sup>2</sup> )	Strekkfasthet (N/mm <sup>2</sup> )	Bruddforlengelse (%)
AZ91-T6 (Sand / kokillestøpt)	130	165	4.0
RS-A291 (Hurtigstørknet)	409	500	6.2

*Sammenligning av mekaniske egenskaper for hurtigstørknet sand- / kokillestøpt legering.*

Produkter av Mg-legeringer produseres ved:

- Støping (sand-, kokille- og presstøping)
- Smiing.

Legeringene brukes hovedsakelig i støpt tilstand.

Legeringene leveres som vanlig halvfabrikata, plater eller som ekstruderte profiler.

## MAGNESIUMLEGERINGER

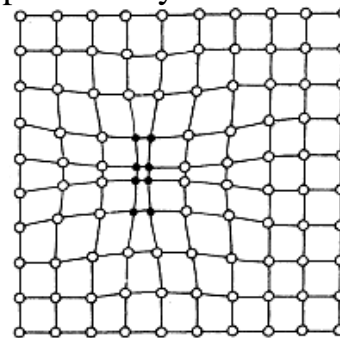
Ulegert Mg anvendes ikke som konstruksjonsmateriale på grunn av den lave strekkstyrken og lave flytegrensen.

De viktigste legeringselementer er Al, Zn og zirkonium (Zr) som kornforfiner.

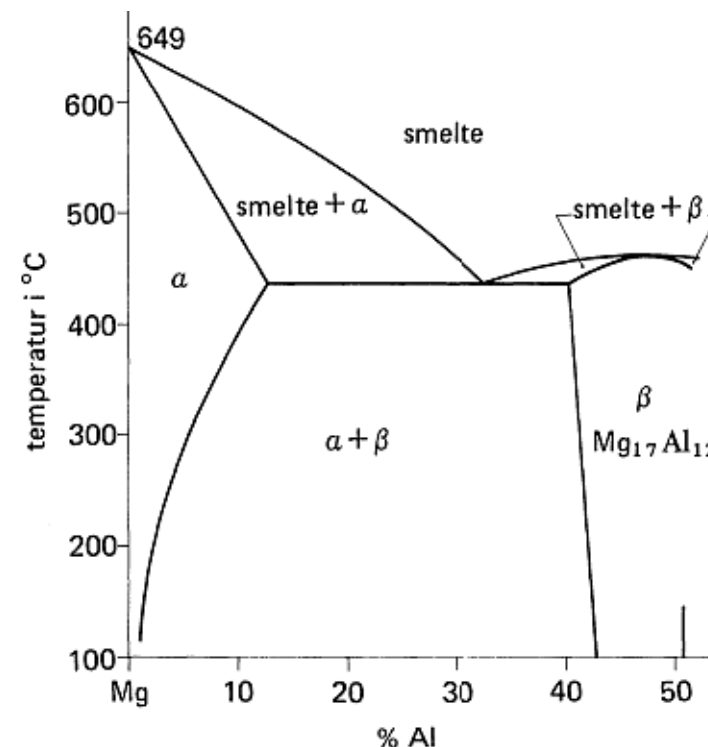
### Magnesium - aluminium - sink (Mg-Al-Zn) -legeringer

- Maksimalt oppløse Al i Mg er 12,8%
- Større innhold av Al gir eutektiske strukturelementer bestående av  $Mg_{17}Al_{12}$ -fase og  $\alpha$ -fase.
- $Mg_{17}Al_{12}$ -fasen er sprø og som regel uønsket bestanddel.
- Ved oppløsningsglødning og etterfølgende avkjøling vil  $Mg_{17}Al_{12}$ -fasen ( $\beta$ -fasen) utskilles av  $\alpha$ -fasen og danne korngrenseutskilling.
- Legeringens innhold av Zn og evt. Mn finnes i oppløsning i  $\alpha$ -krystallene og er således med på å gi disse en større styrke.
- Legeringene kan herdes ved utfelling, partikkelstyrkes.

- Eksempel på legering  $MgAl_9Zn_1$   
Analyse: Al = 9%, Zn = 0,6%.  
Strekkfasthet etter utfellingsherding  $R_m = 270\text{N/mm}^2$ .



En koherent sone



Magnesiumsiden av tilstandsdiagrammet Mg-Al. Løseligheten i fast tilstand er begrenset til 12,6%, men på grunn av krystallseigring opptrer et sprøtt  $\alpha$ - $\beta$  eutektikum på

*dannet ved utfelling.*

*korngrensene ved veldig lavt Al-innhold.*

## Magnesium - sink - zirkonium (Mg-Zn-Zr) -legeringer

Legeringer av denne typen uten zirkonium blir grovkornet.

Zr virker kornforfinende og anvendes både i legeringer til støpning, pressing og smiing.

Eksempel på legering:

ASTM-ZK61A (amerikansk standard)

Analyse : Zn=6% og Zr=0,7%.

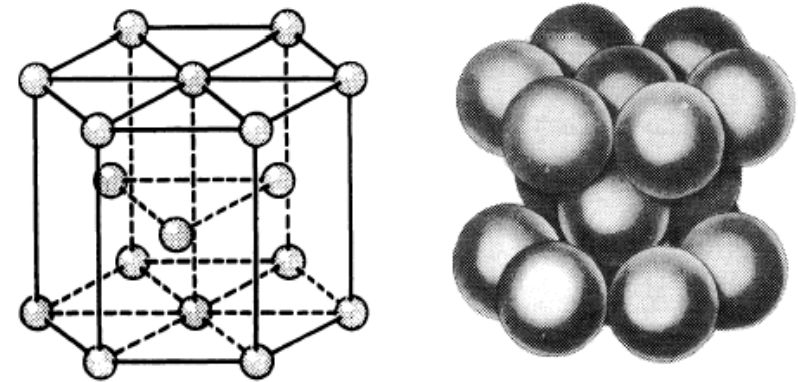
Strekkfasthet :  $R_m = 300\text{N/mm}^2$  som støpt og varmutherdet

$R_m = 360\text{N/mm}^2$  som stangpresset og varmutherdet

## PLASTISK FORMING

Mg har tettpakket heksagonal gitterstruktur med kun basisplanene som glideplan.

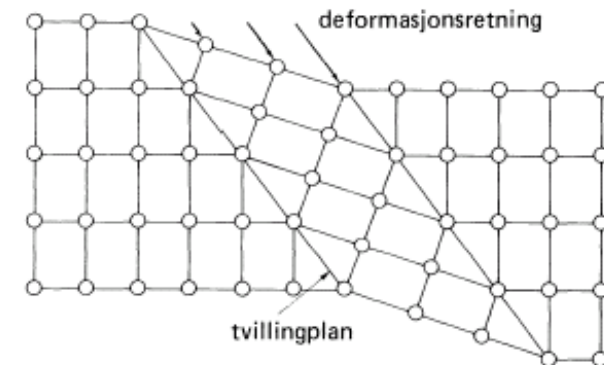
Dette medfører vanskeligheter ved plastisk deformasjon.



*Enhetscellen i heksagonal tettpakket struktur.*

Ved 225<sup>0</sup>C kommer andre glideplan i funksjon, og såkalt tvilling dannelse finner sted.

Magnesium lar seg lett deformere over denne temperaturgrensen.



*Plastisk deformasjon ved tvillingdannelse.  
Deformasjonen skjer på en slik måte at strukturene på  
begge sider av tvillingplanet er speilbilde av  
hverandre.*

## STØPING

Mg-legeringene brukes mye som støpelegeringer.

Spesielt til pressestøping i permanente stålformer.

God varmeledningsevne og et lite varmeinnhold pr. volumenhet gir lang levetid for støpeformene.

Mg-legeringer kan ikke uten videre støpes ut i vanlige sandformer.

Sand inneholder eller består av  $\text{SiO}_2$  som reagerer med Mg. Det må anvendes spesielt formpudder eller magnesittsand.

## SVEISING

Under visse forhold, og egentlig i unntakstilfeller kan Mg sveises med både TIG og MIG.

Det benyttes da spesielle metoder.



## KORROSIJONSBESTANDIGHET OG OVERFLATEBEHANDLING

Mg overtrekkes ved påvirkning av luft og vann et oksidlag på overflaten som pasifiserer materialet.

- Oksidlaget er ikke bestandig.
- Mg overflatebehandles for anvendelse i vått og fuktig miljø.  
F.eks. kromatering (som gir en gul, brun eller grå beskyttende film), anodisering eller organiske belegg.

- Mg: - Bestandig overfor påvirkning av baser, men oppløses lett av de fleste syrer.
- Er følsomt for spenningskorrosjon.
  - Vil korrodere kraftig når i kontakt med andre metaller i et vått miljø.
  - Kan gi problemer med hensyn til lagring av spon og skrap da korrosjonsprosessen kan avgi hydrogengass.

## ANVENDELSESOMRÅDER

Mg-legeringene anvendelse på områder der vektbesparelse er viktige.

- Eksempler:
- Maskindeler som kraver stor styrke i forhold til masse, f.eks. deler i fly- og romfartsvirksomheten.
  - Presstøpte deler til biler, maskin- og elektronikkindustrien, verktøy, instrumenter, kontor- og husholdningsmaskiner og apparatdeler.
  - Maskindeler som er utsatt for stor akselerasjon - f.eks. deler i tekstil- og trykkemaskiner.

Ulegert Mg blir brukt i bl.a.: Fyrverkeri, blitslamper, lysbomber og lyssignaler.

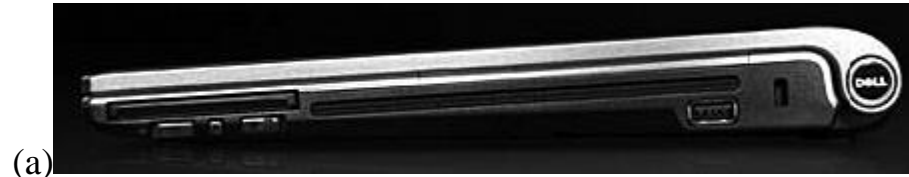
- Mg brukes som:
- Legeringselement i Al
  - Reduksjonsmiddel ved fremstilling av andre metaller.
  - Ulegert Mg for katodisk beskyttelse av skip, plattformer og olje/gassledninger (stålkonstruksjoner).

Mg-forbindelser brukes kommersielt ved fremstilling av stål, sement, keramer, glass, maling og ildfaste materialer.

På grunn av lav vekt er det ofte mulig å lage komponenter mer massive enn det som kan aksepteres for andre metaller.

Kan være en fordel på produkter når utformingen kan forenkles.

Eksempel: Avstivende ribber med tilhørende mellomrom kan erstattes med et massivt metall.



(a)



(b)



(c)

*Eksempler på produkter i magnesium.*

*(a) Dell Computer, (b) stoler og (c) BMW-motorblokk i Mg-Al legering*

## MAGNESIUM SOM DESIGNMATERIALE

Mg har gode støpeegenskaper og lav vekt.

Det er mulig å støpe kompliserte deler som spesielt anvendes i bilindustrien:

- Gearbokser, clutchhus, vifter, ventildeksler og felger.
- Hele bilseter og dashbord.

Dette er kompliserte deler med mange utsparinger og skruefester.

Støpingen skjer raskt, f.eks. 100 stk. pr. time.

Ved å redusere vekten med bruk av Mg i biler vil forbruket av drivstoff gå ned.

En vektreduksjon på 10 % tilsvarer en reduksjon av drivstofforbruket på anslagsvis 4 - 5%.

Andre produkter hvor behov for lav vekt:

- Motorsager,
- Sportsutstyr
- Rammer og deksler for datamaskiner, robotdeler osv.

Mg anvendes mest i støpegods.

Har fått økende anvendelse for ekstruderte og smidde produkter.

Ved hurtigstørkning og fiberforsterkning får vi bedre styrkeegenskaper og nye bruksegenskaper.

Mg kan overflatebehandles med hensyn til korrosjon, slitasje og dekorative formål.

Ved valg av riktig legering og overflatebehandling er ikke korrosjon noe problem.

Flere fordeler som designmateriale:

- god dimensjonsstabilitet og gode krympeegenskaper
- gode dempningsegenskaper overfor vibrasjoner
- godt stivhet- / vektforhold
- hardhet (Brinell) som aluminium
- god motstandsevne mot utmattingsbrudd
- god varmeledningsevne
- ikke magnetisk
- gir høy levetid for støpeformer da magnesium ikke reagerer med stål
- lav egenvarme pr. volumenhet gir mulighet for høy støpehastighet
- særlig gode maskineringssegenskaper.



*Merida sykkelramme i Mg (6)*



*Bilfelg i Mg*



*Leica kamera hus i Mg*

*Noen eksempler på Mg som designmateriale.*

## Noen Mg støpelegeringer etter Norsk Standard

Materiale Grade	Grunnstoff Element			Mg
	Al	Mn	Zn	
A6 (MgAl6)	6	0,2	-	Rest Remainder
AZ81 (MgAl8Zn1)	8	0,2	0,7	
AZ91 (MgAl9Zn1)	9	0,2	0,7	

<sup>1)</sup> Presstøpegods kan om ønskelig leveres med små mengder beryllium (Be).

*Magnesium støpelegeringer. Kjemisk sammensetning. Chemical composition.  
Etter NS 17701 (1988).*

Standard	Produkttkorm Type of product	Tilstand Temper	Flytegrense Proof stress $R_{p0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	Strekfasthet Tensile strength $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Utmattingsfasthet Fatigue strength N/mm <sup>2</sup> <sub>2</sub>	Forlengelse Elongation A <sub>5,65</sub> %	Hardhet Hardness HB
A6	Sandstøpt Sand cast	F	80–110 (80)	180–240 (140)	70–90	8–12 (4)	50–65 (50)
		T4	90–110 (90)	190–250 (150)	70–90	8–15 (6)	50–65 (50)
	Presstøpt Die cast	F	120–150	190–230	50–70	4–8	55–70
AZ 81	Sand- og kokillestøpt Sand and chill cast	F	90–110 (80)	160–220 (130)	70–90	2–6 (1)	50–65
		T4	90–120 (80)	240–280 (170)	80–100	8–12 (4)	50–65
	Presstøpt Die cast	F	140–160	200–240	50–70	1–3	60–85
AZ 91	Sandstøpt Sand cast	F	90–120 (80)	160–220 (130)	70–90	2–5 (1)	50–65
		T4	110–140 (90)	240–280 (170)	80–100	6–12 (3)	55–70
		T6	150–190 (140)	240–300 (170)	80–100	2–7 (1,5)	60–90
	Kokillestøpt Chill cast	F	110–130 (90)	160–220 (120)	70–90	2–5 (1)	55–70
		T4	120–160 (100)	240–280 (170)	80–100	6–10 (3)	55–70
		T6	150–190 (130)	240–300 (170)	80–100	2–7 (1,5)	60–90
Presstøpt Die cast	F	150–170	200–250	50–70	0,5–3,0	65–85	

<sup>1)</sup> Materialegenskaper gjelder bare for separatstøpte prøvestaver. Verdier i parentes er minste tillatte verdier for støpestykker med veggtykkelse til og med 15 mm.

<sup>2)</sup> Antall spenningsvekslinger:  $N = 50 \cdot 10^6$

<sup>1)</sup> Mechanical properties apply to separately cast test pieces only. Values in brackets are minimum values for castings up to and including 15 mm section thickness.

<sup>2)</sup> Number of stress cycles:  $N = 50 \cdot 10^6$

*Magnesium støpelegeringer. Mekaniske egenskaper. Mechanical properties.*

*Etter NS 17701 (1988).*