

Kompendium / Høgskolen i Gjøvik, 2012 nr. 6

Magnesium

Henning Johansen



Gjøvik 2012

ISSN: 1503-3708

Magnesium



	side:
INNHOLD	2
FORORD	3
1 INNLEDNING	3
2 MAGNESIUMLEGERINGER	5
2.1 Magnesium - aluminium - sink (Mg-Al-Zn) -legeringer	5
2.2 Magnesium - sink - zirkonium (Mg-Zn-Zr) -legeringer	7
3 PLASTISK FORMING	7
4 STØPING	8
5 SVEISING	8
6 KORROSIJONSBESTANDIGHET OG OVERFLATEBEHANDLING	8
7 ANVENDELSESOMRÅDER	8
8 MAGNESIUM SOM DESIGNMATERIALE	9
9 REFERANSER	11
10 VEDLEGG	12

FORORD

Dette kompendium er beregnet på personer som er fortrolig med grunnleggende materiallære og som ønsker å få en grunnleggende innføring i magnesium Mg, og Mg-legeringer som er den de letteste i gruppen av lettmetaller. Det er skrevet ut i fra en serie med forelesninger for bachelorstudenter i Materiallære ved Høgskolen i Gjøvik. Det er lagt stor vekt på gode illustrasjoner og kortfattet tekst.

Som mål har dette kompendium å gi en kort innføring om magnesium og magnesium-legeringer. Hvilke egenskaper magnesium har og de vanligste typer legeringer. Hvordan former, støper og sveiser vi Mg og Mg-legeringer. Litt om korrosjonsbestandighet og overflatebehandling og til slutt eksempler på anvendelsesområder og magnesium som designmateriale.

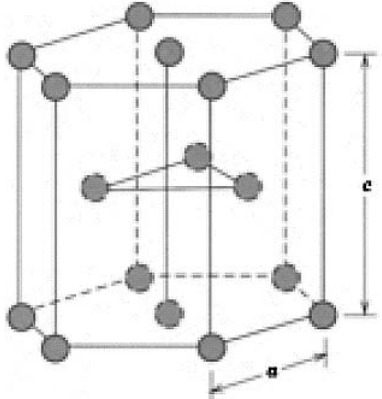
Forfattereren var tidligere ansatt som bl.a. seksjonsleder ved Teknologisk Institutt, avd. for materialteknologi i Oslo, og er nå førsteamanuensis i materialteknologi ved Høgskolen i Gjøvik.

1 INNLEDNING

Metallet magnesium er sølvhvitt og glinsende og betegnes Mg. Med en tetthet på $1,74 \text{ g/cm}^3$ er magnesium det letteste metallet som anvendes i dag. Magnesium er omtrent like lett som de armerte plastmaterialene.

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

Tabellen under viser noen viktige egenskaper / data til magnesium.

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

Tabell 1.1
Noen viktige egenskaper til magnesium. (1), (2)

Metallet ble først fremstilt i 1808, men ble industrielt anvendt først av tyskerne umiddelbart før første verdenskrig.

I følge International Magnesium Association, var total produksjon av primær magnesium ca. 726.000 tonn i 2006.

En veldig stor del magnesium brukes i dag til katodisk korrosjonsbeskyttelse av stålkonstruksjoner, og en stor del anvendes til legeringsmaterialer og desoksydasjonsmidler.

Metallet har veldig stor affinitet til oksygen. Dette forårsaker en del vanskeligheter ved behandling og bearbeidning av magnesium og magnesiumlegeringer, idet både 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.

Noen fordeler med magnesium er at det har en normal fasthet og veldig gode forhold mellom fasthet/vekt og stivhet/vekt.

Magnesium har en god dempningsevne og kan brukes til korrosjonsbeskyttelse av bl.a. stål. Støpbarheten og ekstruderbarheten gjør det mulig å lage kompliserte komponenter, slik at flere funksjoner kan integreres i samme komponent.

Magnesium er også veldig lett å maskinere. Et eksempel er vist i tabellen under.

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

Figur 1.1

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

I spon- og pulverform er magnesium antenkelig, men store produkter og deler lar seg vanskelig antenne, da magnesium har god varmeledningsevne.

Ulemper med metallet magnesium er at det har en relativt lav elastisitetsmodul og er kjervfølsomt. Vi bør derfor unngå brå dimensjonsendringer /-overganger som fører til at spenningskonsentrasjoner oppstår. Utmattingssegenskapene blir også redusert av kjerver. Fint pulver og spon må håndteres forsiktig. Det bør ikke få anledning til å samle seg opp rundt arbeidsområdet.

Magnesium blir legert med aluminium (Al), sink (Zn) og mangan (Mn). Disse er de viktigste legeringselementene. Til spesielle formål brukes også zirkonium (Zr), thorium (Th), litium (Li) og sølv (Ag). De vanligste støpelegeringer er basert på 9% Al og 2% Zn.

Tabellen under viser at det er mulig å oppnå betydelig bedre mekaniske egenskaper gjennom hurtigstørkning. Generelt bidrar tilsetning av Al til å øke strekkfastheten, Zn letter bearbeidingen og maskineringen, mens Mn bedrer korrosjonsbestandigheten.

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

Tabell 1.2

Sammenligning av mekaniske egenskaper for hurtigstørknet sand- / kokillestøpt legering. (3)

Produkter av magnesiumlegeringene produseres både ved støping (sand-, kokille- og presstøping) og ved smiing. Legeringene brukes hovedsakelig i støpt tilstand. De leveres enten som vanlig halvfabrikata, plater eller som ekstruderte profiler.

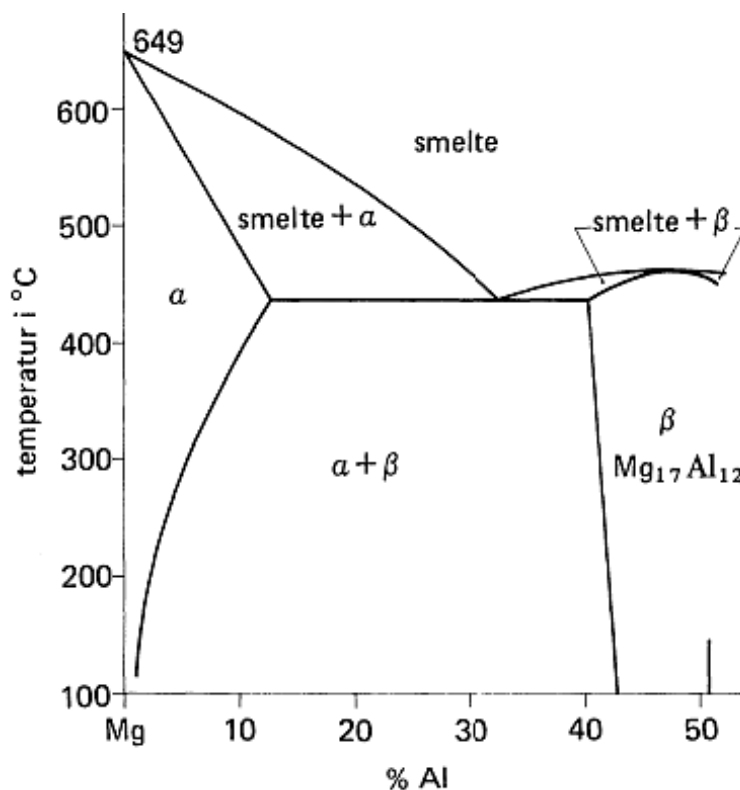
2 MAGNESIUMLEGERINGER

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

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

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

Magnesium kan maksimalt oppløse 12,8% Al i de heksagonale α -krystallene. Ved større innhold av Al får vi eutektiske strukturelementer bestående av Mg₁₇Al₁₂-fase og α -fase. Mg₁₇Al₁₂-fasen gjør eutektiktiet til en sprø og som regel uønsket bestanddel. Denne eutektiske bestanddelen kan også forekomme i legeringer med mindre Al-innhold på grunn av krystallseigring. Ved en oppløsningsglødning og etterfølgende avkjøling vil Mg₁₇Al₁₂-fasen (β -fasen) utskilles av α -fasen og danne korngrenseutskilling.

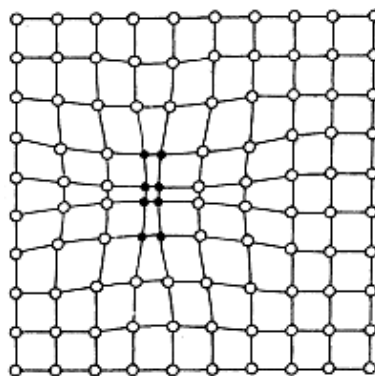


Figur 2.1

Magnesiumsiden av tilstandsdiagrammet Mg-Al. Løseligheten i fast tilstand er begrenset til 12,6%, men på grunn av krystallseigring opptrer et sprøtt α - β eutektikum på korn grensene ved veldig lavt Al-innhold (4)

Legeringens innhold av Zn og evt. Mn finnes i oppløsning i α -krystallene og er således med på å gi disse en større styrke.

Legeringene kan herdes ved utfelling, partikkelstyrkes, ved at det utfelles koherente partikler (partikler som henger sammen med atomgitteret rundt seg, se figuren under). Styrkeøkningen er moderat.



Figur 2.2

En koherent sone dannet ved utfelling. (4)

MgAl9Zn1 er et eksempel på en legering av denne typen med analyse Al= 9% og Zn = 0,6%. Strekkfasthet etter utfellingsherding er $R_m = 270N/mm^2$.

2.2 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.

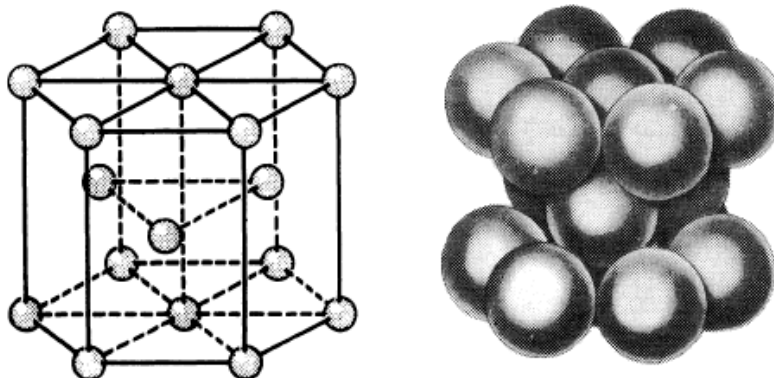
ASTM-ZK61A er en legering etter amerikansk standard av denne typen med analyse Zn=6% og Zr=0,7%. Strekkfasthet $R_m=300\text{N/mm}^2$ som støpt og varmtherdet $R_m=360\text{N/mm}^2$ som stangpresset og varmtherdet

De utfelte partiklene etter utfellingsherding består av finkornet MgZn, som ved overherding blir til MgZn-fase.

Tilsetning av sjeldne metaller som cerium (Ce) og thorium (Th) gir intermetalliske faser som motvirker korn grenseglidning. Materialet blir således mer stabilt mot kreping.

3 PLASTISK FORMING

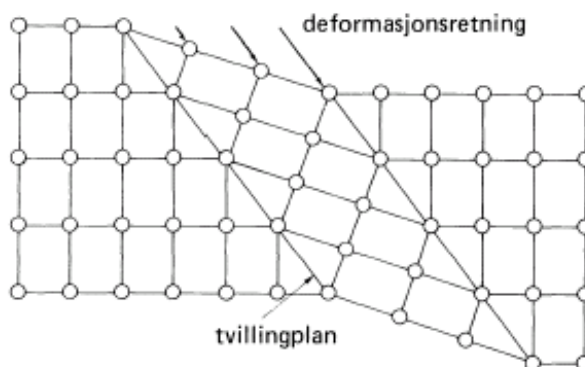
Magnesium har tettpakket heksagonal gitterstruktur med kun basisplanene som glideplan. Dette medfører vanskeligheter ved plastisk deformasjon.



Figur 3.1

Enhetscellen i heksagonal tettpakket struktur. (4)

Ved 225°C kommer det imidlertid andre glideplan i funksjon, og såkalt tvilling dannelse finner sted. Magnesium lar seg lett deformere over denne temperaturgrensen.



Figur 3.2

Plastisk deformasjon ved tvillingdannelse. Deformasjonen skjer på en slik måte at strukturene på begge sider av tvillingplanet er speilbilde av hverandre. (4)

4 STØPING

Magnesiumlegeringene brukes mye som støpelegeringer, spesielt til pressestøping i permanente stålformer.

God varmeledningsevne og et lite varmeinnhold pr. volumenhet gir lang levetid for støpeformene. Magnesiumlegeringer lar seg ikke uten videre støpe ut i vanlige sandformer. Sand, som inneholder, eller nærmest består av SiO_2 reagerer sterkt med Mg. Det må anvendes spesielt formpulver eller magnesittsand.

5 SVEISING

Under visse forhold, og egentlig i unntakstilfeller kan magnesium sveises med både TIG og MIG. Det benyttes da spesielle metoder.

6 KORROSJONSBESTANDIGHET OG OVERFLATEBEHANDLING

Magnesium overtrekkes ved påvirkning av både luft og vann hurtig av et oksydlag på overflaten som pasifiserer materialet. Dette laget er imidlertid ikke særlig bestandig, og overflatebehandling er påkrevd for anvendelse i vått og fuktig miljø. Metallet må derfor beskyttes ved f.eks. kromatering (som gir en gul, brun eller grå beskyttende film), anodisering eller organiske belegg.

Magnesium er i motsetning til aluminium bestandig overfor påvirkning av baser, men oppløses lett av de fleste syrer.

Magnesiumlegeringer er følsomme for spenningskorrosjon.

Når magnesium er i kontakt med andre metaller i et vått miljø, vil det korrodere kraftig. Magnesium kan gi problemer med hensyn til lagring av spon og skrap, da korrosjonsprosessen kan avgi hydrogengass.

7 ANVENDELSESOMRÅDER

Magnesium, magnesiumlegering og -forbindelser har mange anvendelser.

Magnesiumlegeringene får anvendelse på områder der vektbesparelse er viktige. Eksempler er Maskindeler som kraver stor styrke i forhold til masse, f.eks. deler i fly- og romfartsvirksomheten.

Videre presstøpte deler til biler, maskin- og elektronikkindustrien, verktøy, instrumenter, kontor- og husholdningsmaskiner og apparatdeler.

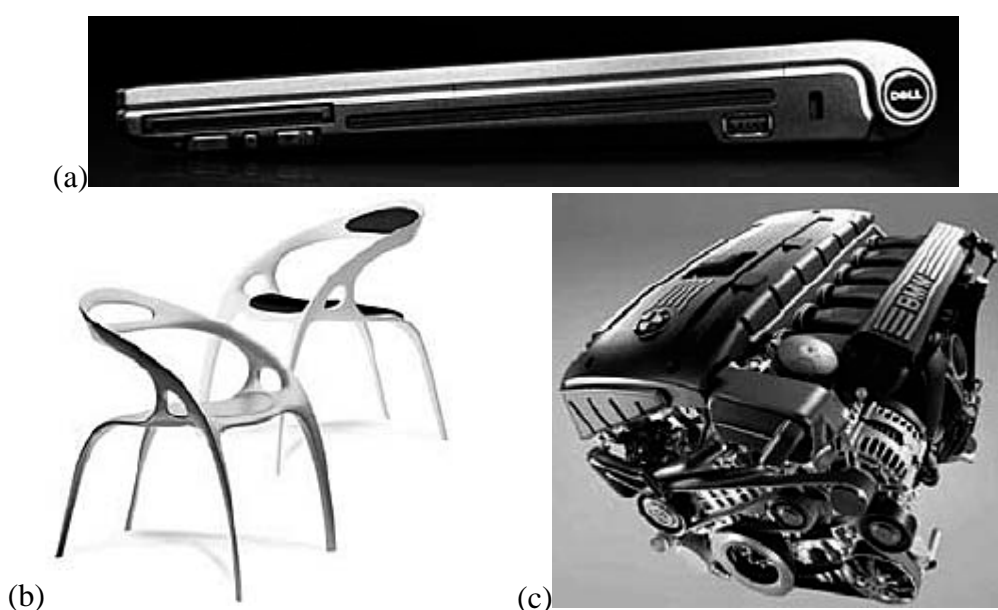
Maskindeler som er utsatt for stor akselerasjon - f.eks. deler i tekstil- og trykkemaskiner.

Som ulegert metall blir det brukt i bl.a. fyrverkeri, blitslamper, lysbomber og lyssignaler. Det brukes også som legeringselement i aluminium og som reduksjonsmiddel ved fremstilling av andre metaller. Sist men ikke minst brukes ulegert magnesium for katodisk beskyttelse av skip, plattformer og olje/gassledninger (stålkonstruksjoner).

Magnesiumforbindelser brukes kommersielt ved fremstilling av stål, sement, keramer, glass, maling og ildfaste materialer.

På grunn av den lave vekten er det ofte mulig å lage komponentene mer massive enn det som kan aksepteres for de andre metallene. Dette kan være en fordel på produkter når utformingen kan forenkles. Eksempelvis kan avstivende ribber med tilhørende mellomrom erstattes med et massivt metall.

Figurene under viser noen eksempler på produkter i magnesium.



Figur 7.1

Eksempler på produkter i magnesium. (5)

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

8 MAGNESIUM SOM DESIGNMATERIALE

Som designmateriale er bruken av magnesium inne i en spennende utvikling. De gode støpeegenskapene sammen med lav vekt gjør det mulig å støpe kompliserte deler som spesielt anvendes i bilindustrien. Det kan nevnes deler som gearbokser, clutchhus, vifter, ventildeksler og felger. Det lages også hele bilseter og dashbord støpt i magnesium. Dette er kompliserte deler med mange utsparinger og skruefester, og de kan ikke på samme måte støpes i andre materialer som f.eks. aluminium. Støpingen av slike deler skjer raskt, f.eks. 100 stk. pr. time, og selve fremstillingen blir derfor effektiv i forhold til de metoder som må anvendes for andre materialer.

Det er særlig behovet for å redusere vekten og derved forbruket av drivstoff som fremmer bruken av magnesium i bilindustrien. En vektreduksjon på 10 % tilsvarer en reduksjon av drivstofforbruket på anslagsvis 4 - 5%.

Også på andre områder hvor det er behov for lav vekt, vinner magnesium frem. Det kan nevnes motorsager, sportsutstyr, rammer og deksler for datamaskiner, robotdeler osv. Igjen er det kombinasjonen av lav vekt, gode styrkeegenskaper og lave fremstillingskostnader som gjør at mange tror dette kan bli vekstområder.

Magnesium har hittil hatt sitt tyngdepunkt i støpegods, men det er også ventet en økende anvendelse av ekstruderte og smidde produkter. Ved hurtigstørkning og fiberforsterkning kan styrkeegenskapene bedres og nye bruksegenskaper kan utvikles.

Prisforhold er viktig i konkurransen med andre konstruksjonsmaterialer. Kostnaden for det ferdige produktet blir avgjørende, og mange forhold spiller inn:

- metallprisen
- utnyttelse av metallens egenskaper ved design av produktet
- mengde metall som medgår
- fremstillingsprosessen for produktet
- maskinering og overflatebehandling
- arbeidsmiljø
- montasje av produktet (f.eks. krav til robot)
- håndtering av vrak og mulighet for resirkulering
- holdbarhet og vedlikehold.

Det finnes gode metoder for overflatebehandling av magnesium både med hensyn til korrosjon, slitasje og dekorative formål. Erfaring har vist at når riktig legering og overflatebehandling anvendes, er ikke korrosjon noe problem.

Bilfelger har vært i kontinuerlig bruk på saltede vinterveier i Nord-Amerika i mange år uten korrosjonsproblemer.

Magnesium har flere andre 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 maskineringsegenskaper.

Det er flere firmaer i USA og i Europa som støper magnesium. Noen firmaer spesialiserer seg på magnesium, mens andre støper magnesium, aluminium og sink om hverandre.



Merida sykkelramme i Mg
(6)



Bilfelg i Mg
(7)



Leica kamera hus i Mg
(8)

Figur 8.1

Noen eksempler på Mg som designmateriale.

9 REFERANSER

- 1 Borris Pedersen, "Stål og andre metaller", 1987, Svejsesentralen Jysk Teknologisk
- 2 Kjemisk Institutt, Universitetet i Oslo. Periodesystemet.no - Magnesium.
URL: <http://www.kjemi.uio.no/periodesystemet/vis.php?e=Mg&vis=alt> (08.04.08)
- 3 Teknologibedriftenes Landsforening, TBL (1991). *Materialteknisk håndbok for verkstedindustrien*. ISBN 82-9 1073-00-7.
- 4 Næss, Almar A. (2003). *Metalliske Materialer*. Tapir akademisk forlag. ISBN 82-519-1786-7.
- 5 International Magnesium Association.
URL: <http://www.intlmag.org/mgshow.html> (03.04.08)
- 6 Merida, Magnesium Elite.
URL: <http://www.merida.no/index.php?cat=21111> (04.04.08)
- 7 Starcycle, USA.
URL: <http://www.starcycle.com/street/marchesini.html> (04.04.08)
- 8 Eight Elm Photo & Video
URL: <http://www.eightelmphoto.com/digital.htm> (04.04.08)
- 9 Næss, Almar A. (1993). *Metalliske Materialer, tillegg II Hydro Magnesium*. Tapir akademisk forlag. ISBN 82-519-1118-4.

10 VEDLEGG

Noen magnesium støpelegeringer etter Norsk Standard.

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

¹⁾ Prestøpegoods kan om ønskelig leveres med små mengder beryllium (Be).

Tabell 10.1

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

Standard	Produktform Type of product	Tilstand Temper	Flytegrense Proof stress $R_{p0.2}$ N/mm ²	Strekfasthet Tensile strength R_m N/mm ²	Utmattingsfasthet Fatigue strength N/mm ² ₂	Forlengelse Elongation A _{5,65} %	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	

¹⁾ Materialeegenskaper gjelder bare for separatstøpte prøvestaver. Verdier i parentes er minste tillatte verdier for støpestykker med veggtykkelse til og med 15 mm.

²⁾ Antall spenningsvekslinger: $N = 50 \cdot 10^6$

¹⁾ 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.

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

Tabell 10.2

Magnesium støpelegeringer. Mekaniske egenskaper. Mechanical properties.
Etter NS 17701 (1988).