

Mg
Magnesium

<i>Densitet</i>	<i>1,74 kg/dm³</i>
<i>Smältpunkt</i>	<i>650°C</i>
<i>Sträckgräns</i>	<i>85-225 MPa</i>
<i>Brottgräns</i>	<i>190-310 MPa</i>
<i>Brottförlängning</i>	<i>6-12%</i>
<i>Hårdhet</i>	<i>35-44 HB</i>
<i>Elasticitetsmodul</i>	<i>45 GPa</i>

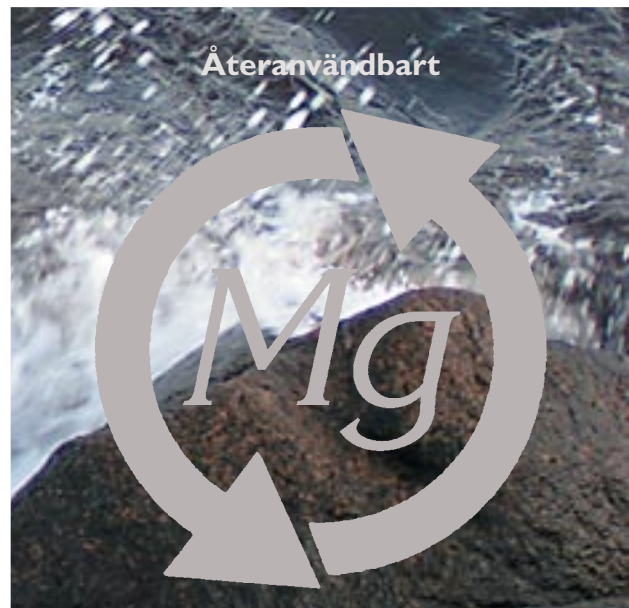
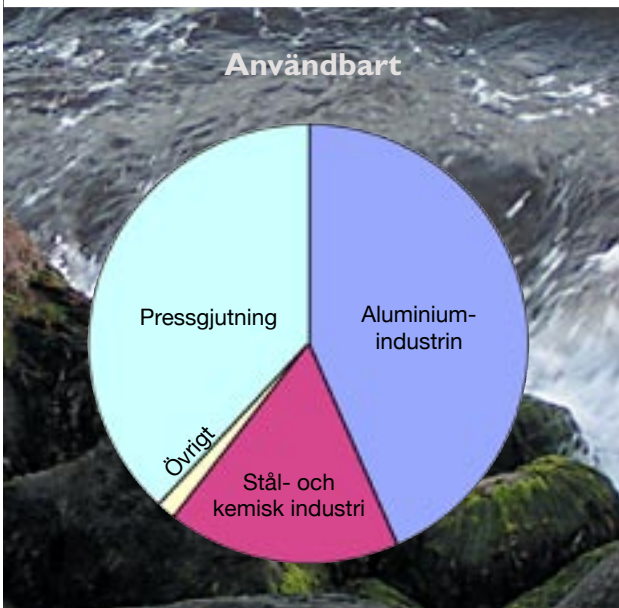
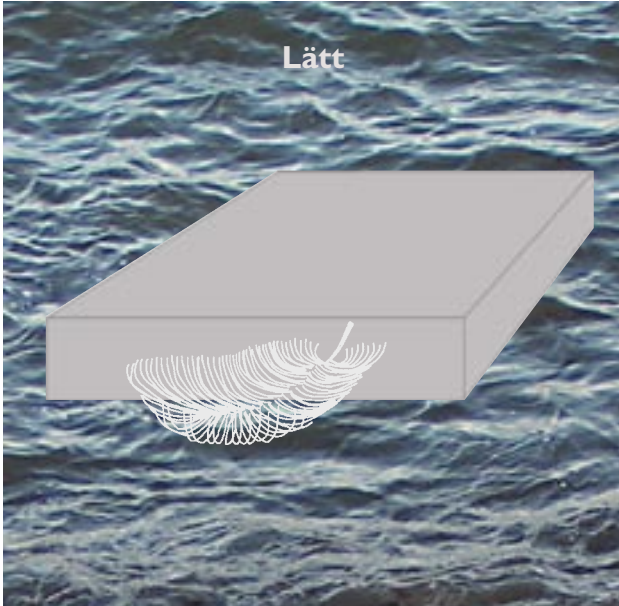
**KG FRIDMANS
LILLA HÄFTE
OM
MAGNESIUM**

Detta häfte är framställt av:
P-G Thunström, KG Fridman AB och
Staffan Mattson, AluminiumFörlaget.
©AluminiumFörlaget, Åseda, 2005
ISBN 91-974218-7-1

Innehållsförteckning

Naturen är rik på magnesium	5
Legeringar	7
Lätt som en fjäder	9
Starkt och tånjbart	11
Miljötåligt	13
Ytbehandlingsmetoder	15
Profiler och smiden	17
Lätt att gjuta	19
Tixogjutning	21
Valsade plattor	23
Plåt och plåtbearbetning	25
Formvaror och sortiment	27
Lätt att använda	29
Lätt att bearbeta och foga.....	30
Återanvändbart	33

Magnesium är:



Naturen är rik på magnesium

Magnesium är den lättaste konstruktionsmetallen. Den är därför mycket viktig vid tillverkning av produkter med krav på låg vikt – produkter som genom sin lätthet spar energi.

Rikliga mängder av råmaterial såsom havsvatten, dolomit, magnesit och carnalit finns för magnesiumproduktionen. Havsvatten innehåller 0,13% magnesium, vilket är tillräckligt mycket för att vara användbart.

Den nuvarande konsumtionen av magnesiummetall i världen är ca 340 000 ton. Cirka 43% används som legeringsämne inom aluminiumindustrin, 17% används vid stålframställning, till kemikalier och som korrosionsskydd för metaller, medan resten används som konstruktionsmaterial i form av pressgjutgods, valsade plattor, smiden och strängpressade profiler. Nuvarande produktionskapacitet överstiger efterfrågan, men en ökad användning väntas. Nya smältverk tas därför i bruk för att möta den ökade efterfrågan. Speciellt många smältverk startas i Kina och i Australien.

Råmaterial och energi

Råvarureserverna är praktiskt taget outtömliga. Gruvbrytningen påverkar bara begränsade områden och ger inga speciella deponerings- eller avdunstningsproblem. Mineralerna transporteras till smältverken sjövägen.

Primärproduktion

Den traditionella tillverkningen av magnesium sker med utgångspunkt från havsvatten och dolomit. Via processtegen utfällning, filtrering, kalcinering, pelletisering och klorgasbehandling erhålls en vattenfri magnesiumklorid. Denna sönderdelas sedan genom elektrolys varvid magnesiummetall utvinns.

En annan process för tillverkning av vattenfri magnesiumklorid har uppstått ur kravet på en miljövänligare process. Som råvara används avfallsprodukter från kaliindustrin.

Vid framställningen ur *magnesit* upplöses denna i saltsyra. Lösningen koncentreras och omvandlas till magnesiumkloridkolor, som torkas i varm väteklordgas.

Elektrolys

Nästa steg i processen är elektrolysen. Därvid sönderdelas magnesiumkloriden i sina beståndsdelar magnesiummetall och klorgas. Processen lämnar stora mängder säljbar klorgas som biprodukt. Ny teknik har lett till förbättringar både med avseende på produktivitet och miljö. Energiförbrukningen har sänkts med 15%, produktionen har femdubblats och livslängden på elektrolyscellerna också femdubblats. Ett avancerat datorsystem används för styrning av produktionen.

Magnesiumlegeringar

Sammansättning och typiska hållfasthetsvärden för magnesiumlegeringar.

Legering	ISO-typ	Sammansättning					Mekaniska egenskaper					Typiska egenskaper Användningsområden	
		EN-nummer	Al	Zn	Mn	Si	Metod (Tillstånd)	$R_{p0,2}$ MPa	R_m MPa	A %	HB 5/150		
<i>Gjutlegeringar</i>													
AM20	MgAl2Mn	MC21210	2	<0,2	0,5	<0,08	D(F)	90	200	20	45	Pressgjutlegering med höga förlängnings- och slagseghetsvärden. Säkerhetsdetaljer i bilar.	
AM50	MgAl5Mn	MC21220	5	<0,3	0,4	<0,08	D(F)	120	220	15	60	Komb hög hållf och förläng med god gjutbarhet och kallformning. Stolramar, paneler, fälgar.	
AM60	MgAl6Mn	MC21230	6	<0,3	0,4	<0,08	D(F)	140	240	13	65		
AZ81	(MgAl8Zn)	MC	8	0,7	>0,17			250	330	10			
AZ91	MgAl9Zn1(A)	MC21120	9	0,7	0,3	<0,08	D(F)	150	250	7	70	Vanligast för sand-, kokill- och pressgjutning. Kåpor, topplock, motorsågar, handverktyg.	
	MgAl9Zn1(B)	MC21121	9	0,7	0,35	<0,3	S(T6)	>150	>240	>2	80		
AZ92	(MgAl8Zn2)	MC	8	2	0,2			95	170	6	65	Obehandlat Härdat, kallåldrat	
								150	275	1	80		
AS21	MgAl2Si	MC21310	2,2	<0,2	0,4	1,0	D(F)	120	220	12	60		
AS41	MgAl4Si	MC21320	4,2	<0,2	0,4	0,8	D(F)	140	240	10	65		
AE42	(MgRE2,5)	MC	4	<0,2	0,3	<0,01		130	230	12	60	+ 2,5% sällsynta jordartsmetaller	
<i>Valsade plattor/plåt</i>													
AZ31	(MgAl3Zn1)	MC	3	1,0	>0,2			(F)	130	240	20	49	
								(H14)	220	290	15		
<i>Strängpressningslegeringar</i>													
AZ31	(MgAl3Zn1)	MC	3	1,0	>0,2			(F)	130	240	20	49	
AZ61	(MgAl6Zn1)	MC	6,5	1,0	0,2				230	310	16		
AZ80	(MgAl8Zn)	MC	8,5	0,5	0,15			(F)	250	340	9	60	
ZK60A	(MgZn5Zr)	MC		5,5		(Zr0,6)	(T5)	300	365	11	82		

Metod

S = sandgjutning, K = kokillgjutning, D = pressgjutning, L = vaxgjutning, V = valsning, E = strängpressning (extrudering)

Tillståndsbeteckningar

F = obehandlat, O = glödgat, T5 = kylt och varmåldrat vid förhöjd temperatur, T6 = upplöst, kylt och varmåldrat vid förhöjd temperatur, H14 = halvhårt valsat tillstånd

Legeringar

Magnesiummaterial framställs i olika renhetsgrader, med eller utan legeringsämnen.

Rent magnesium

Olegerat magnesium med hög renhet framställs framför allt för att användas inom *aluminiumindustrin*. Några procent magnesium, <5%, bidrar verksamt till att höja hållfastheten i en aluminiumlegering.

Produktionen av *segjärn* är ett metallurgiskt exempel på magnesiumanvändning. En liten magnesiumtillsats på 0,05% ger en kontrollerad utskiljning av kolet i segjärnet i form av små grafitkulor.

Det finns ett ökat behov av svavelfattigt stål. Med små tillsatser av magnesium sänks svavelhalten i stålet.

Inom den kemiska industrin används magnesium i många processer. Det används även som reduktionsmedel vid framställning av titan, zirkon, uran och andra metaller.

Magnesiumlegeringar

Små mängder av andra metaller såsom aluminium, zink och mangan kan tillföras magnesium för att förbättra egenskaperna t.ex hållfastheten. De flesta magnesiumlegeringar är härdbara, dvs de kan ges ytterligare förhöjd hållfasthet genom värmebehandling i tre steg

(härdning), upplösning, kylning och åldring.

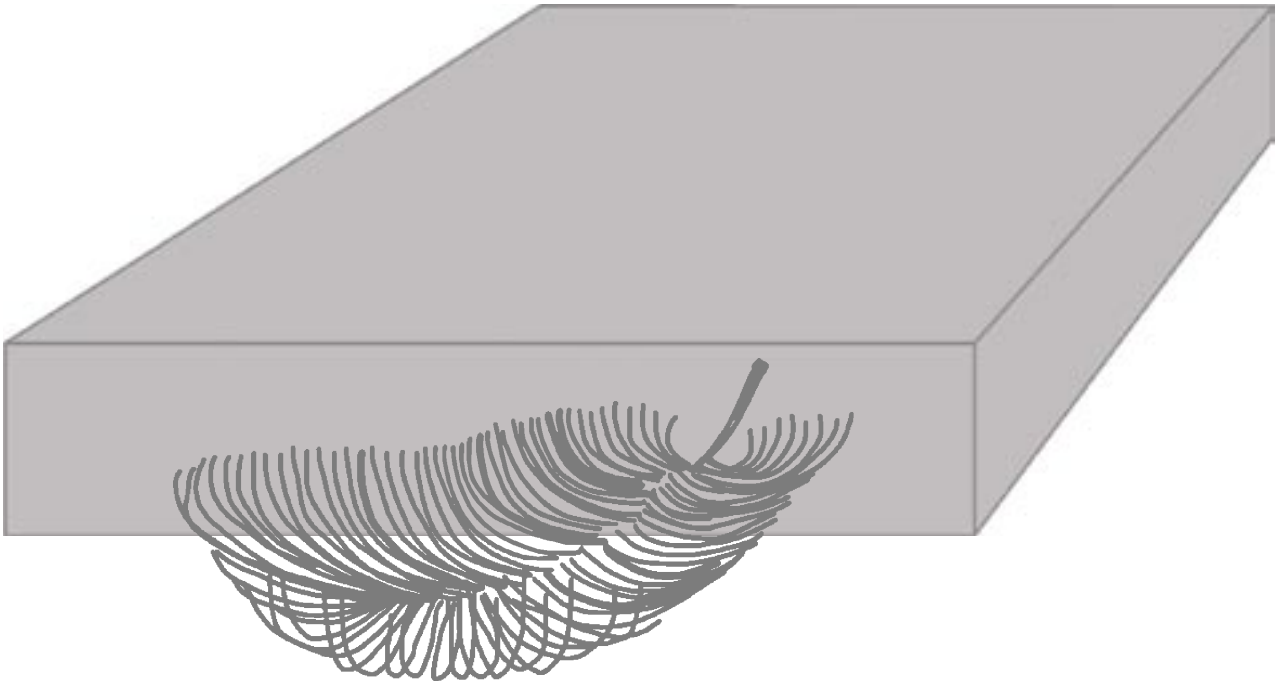
De vanligaste legeringarna som framställs är av typen MgAlZn (AZ), MgAlMn (AM) och MgZnZr (ZK). Legeringar innehållande Si (AS) och sällsynta jordartsmetaller (AE) kan också tillverkas. Det finns i dag också internationella beteckningar, ISO-nummer, på gjutlegeringarna, se ISO 16220.

Legeringarna är högrena dvs man har en mycket noggrann kontroll av Fe, N och Cu-halterna. Dessa ligger oftast under 0,01%, vilket bidrar till materialens goda korrosionsmotstånd.

Magnesiumlegeringar kan gjutas, valsas, smidas och strängpressas. Gjutbarheten är oftast mycket god. För sand-, kokill- och pressgjutning används i huvudsak AM20, AM50A och AZ91D. Till valsade plattor används legering AZ31B, som kombinerar lätthet med god hållfasthet, god korrosionsbeständighet och goda bearbetningsegenskaper. Strängpressningsbara legeringar är AZ31, AZ61, AZ80 och ZK60.

Övrigt

Magnesiumoxid har stor betydelse inom cellulosaindustrin, där den används vid framställning av papper. Oxiden används också som tillskott i djurfoder, som isolationsmaterial samt inom kemisk och farmaceutisk industri.








Lätt som en fjäder

Magnesium, den lättaste konstruktionsmetallen

Magnesium är den lättaste av konstruktionsmetallerna. Dess densitet är bara $1,74 \text{ kg/dm}^3$, vilket gör det 35% lättare än aluminium och 75%

Materialjämförelser för olika gjutmetaller, meritall

Basmetall Legering	Mg AM50	Al AlSi10Mg	Stål E295
E-modul (GPa)	45	72	210
G-modul (GPa)	15	24	70
R_m Brottgräns (MPa)	220	280	560
A_5 Brottförlängning (%)	5-8	<5	20
ρ Densitet (kg/dm^3)	1,8	2,75	7,85

Mg-relativa meritall avseende	Styvhet		$\frac{\rho}{E}$	1	0,9	0,9					
								$\frac{\rho}{E}$	1	1,3	2,6
Brott			$\frac{\rho}{G}$	1	0,9	0,9					
								$\frac{\rho}{R_m}$	1	1,2	1,7

Ett lågt meritall är mer fördelaktigt än ett högt.

lättare än stål. Magnesium har en hexagonal kristallstruktur, vilket medför en del mycket goda egenskaper, främst hög formstabilitet, dvs måttförändringar i materialet är mycket små. Rent magnesium smälter vid 650°C , vilket bara är 8°C lägre än för aluminium.

Magnesium är också välkänt för sin mycket goda skärbarhet, svetsbarhet och höga förhållande hållfasthet/densitet, se tabell.

Goda meritall

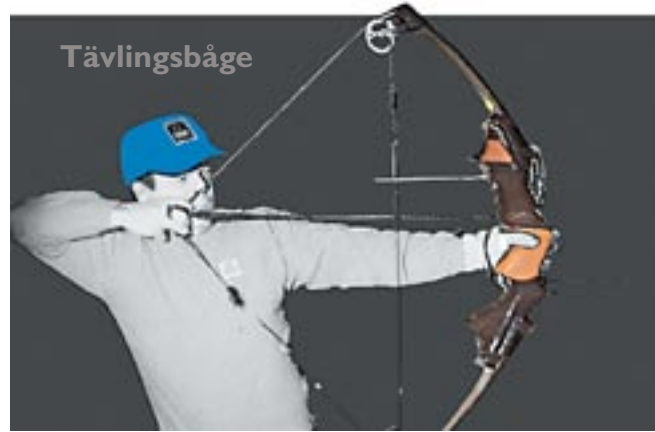
Som konstruktionsmaterial hävdar sig magnesium väl. De av konstruktörer ofta använda *merittalen* visar att vid konstruktion mot styvhet magnesium är nästan likvärdigt med aluminium och stål, medan vid konstruktion mot brott magnesium är ett bättre alternativ.

Den lägre densiteten hos magnesium jämfört med aluminium kommer för en produkt med samma dimensioner att ge en viktsreduktion på 33%. Lägre värmeinhåll och lägre reaktivitet med stål är också fördelar för magnesium. Skärande bearbetning går snabbare och kräver mindre energi och ger lättbrutna spån. Magnesiumlegeringar har traditionellt bearbetats torrt. Emellertid har bruket av skärvätska, antingen mineraloljor eller vatten-oljeemulsioner på senare tid använts för högvolymsapplikationer.

Dörrstomme



Tävlingsbåge



Mikrofon



Stigbygel



Cykelram



Starkt och tånjbart

Fysikaliska egenskaper

Symbol	Mg		
Atomnummer	12		
Atomvikt	24,32		
Kristallstruktur	Hexagonalt kubiskt tåtpackad (HCP)		
Magnetism	Icke permanent-magnetisk		
Isotopernas massnummer	24, 25, 26		
Temp (°C)	20	650 _{sol}	650 _{liq}
Densitet (kg/dm ³)	1,74	1,65	1,58
Volymkontraktion	650 _{liq} → 650 _{sol}	4,2%	
Linjår kontraktion	650 _{sol} → 70 _{sol}	1,8%	

Termiska egenskaper

Småltpunkt	650°C		
Kokpunkt	1 107°C		
Flampunkt	4 850°C		
Långdutvidg.koeff vid 20°C	25,2·10 ⁻⁶	1/°C	
	20-300°C	27-28·10 ⁻⁶ 1/°C	
Specifikt värme (J/g·°C)			
20°C	1,03		
300°C	1,15		
650 _{sol} °C	1,36		
650 _{liq} °C	1,32		
Termisk kondukt. vid 20°C (W/m·°C)	155		
Temp.ledningstal vid 20°C (m/s)	87		

Elektriska egenskaper

Temp (°C)	20	300	600	650 _{liq}	900
El.resist. (µΩ·cm)	4,45	9,5	17	28	28
Temp.koeff. vid 20°C (µΩ·cm/°C)	0,017				

Mekaniska egenskaper

Stråckgrånsområde ($R_{p0,2}$)	85-225 MPa
Brottgrånsområde (R_m)	190-310 MPa
Elasticitetsmodul (E)	45 000 MPa
Skjuvmodul	17 000 MPa

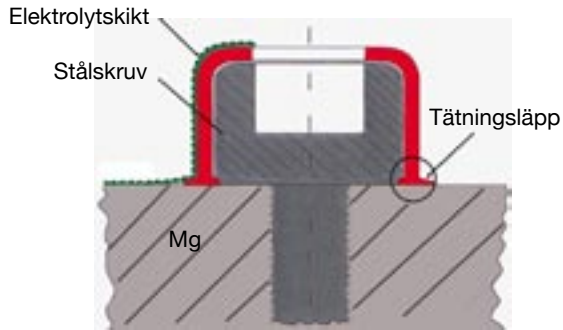
Hos magnesium, i likhet med andra icke ferritiska metaller, men i motsats till stål, framtrår inte någon tydlig stråckgråns. I stållet tenderar magnesium att förlångas gradvis när man överskrider stråckgrånsen $R_{p0,2}$.

Utmattning

De goda utmattningsegenskaperna hos magnesiumlegeringar är en värdefull tillgång vid dynamisk belastning. Wöhlerkurvor för magnesium uppvisar en svag lutning som planar ut, utan någon bestämd utmattningsgråns.

Formbarhet

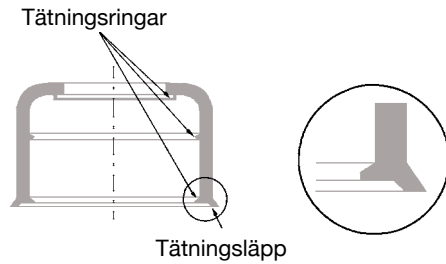
Magnesium har begrånsad formbarhet vid rumstemperatur. Den ökar dock snabbt med temperaturen. Magnesiummaterial kan därför med fördel formas vid 200-315°C.



Korrosion utan skyddshuv på skruv



Korrosionsområde

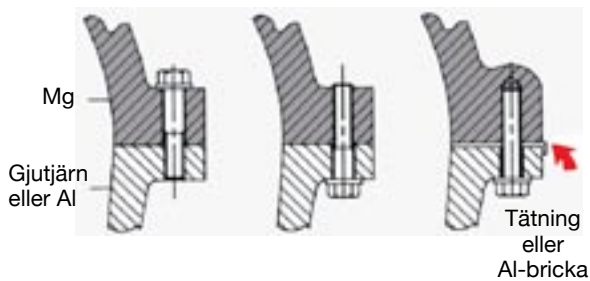


Korrosionsskyddet av en magnesiummyta i ett skruvförband ordnas med hjälp av en plasthuv på skruven.

Korrosion med skyddshuv på skruv



Korrosionsangrepp på en magnesiummyta i ett skruvförband med fosfaterad skruv och fuktig miljö med eller utan skyddshuv.



Inte lämpligt

Bättre

Fördelaktigt

Skruvförband vid blandning av materialsorter.

Miljötåligt

Korrosion

Magnesium är i torr atmosfär mindre korrosionsbenäget än t.ex vanligt kolstål. I salthaltig miljö och i kontakt med syror är korrosionen kraftig.

Upphettad i luft oxiderar magnesium snabbt.

Galvanisk korrosion uppstår lätt i fuktig miljö på en magnesiumyta vid kontakt med andra metaller. Magnesiummetallen måste därför skyddas genom isolerande mellanlägg eller en ytbehandling.

Laboratorieundersökningar och fältförsök har visat att högre magnesiumlegeringar med mycket lågt innehåll av järn, nickel och koppar har mycket stor motståndskraft mot korrosion. Detta har bl.a möjliggjort användningen av magnesiumgjutgods i bilar.

Ytbehandling

Vanliga ytbehandlingsmetoder är anoljning med syrafri olja och kromatering. För mer beständig ytbehandling finns andra metoder som lackering och plastbeläggning.

Vid användning av magnesium som konstruktionsmaterial fordras som regel andra typer av ytbehandling.

Anledningen kan vara att man önskar:

- bättre korrosionsbeständighet
- bättre nötningsmotstånd
- mer dekorativt utseende
- bättre elektrisk ledningsförmåga
- förbättrad isolering
- lägre friktion

Följande ytbehandlingsmetoder är lämpliga:

- lackering
- teflonbeläggning
- anodisering
- kromatering
- elektroplätning
- kemisk plätning

Dessa metoder kan användas var för sig eller i vissa fall i kombination.

Metoder som används mer begränsat är:

- plasma- eller termisk sprutning
- elektrolytisk aluminisering

Behandlingar som passar för t.ex aluminium och stål är oftast inte direkt överförbara på magnesium utan hänsyn måste tas till dess specifika egenskaper.

Med ökad användning av magnesium som konstruktionsmaterial sker en ökad ytbehandlingsforskning varför man snabbt kan förvänta sig nya rön inom detta område.

Ytbehandlat gjutgods



Keramiskt ytskikt



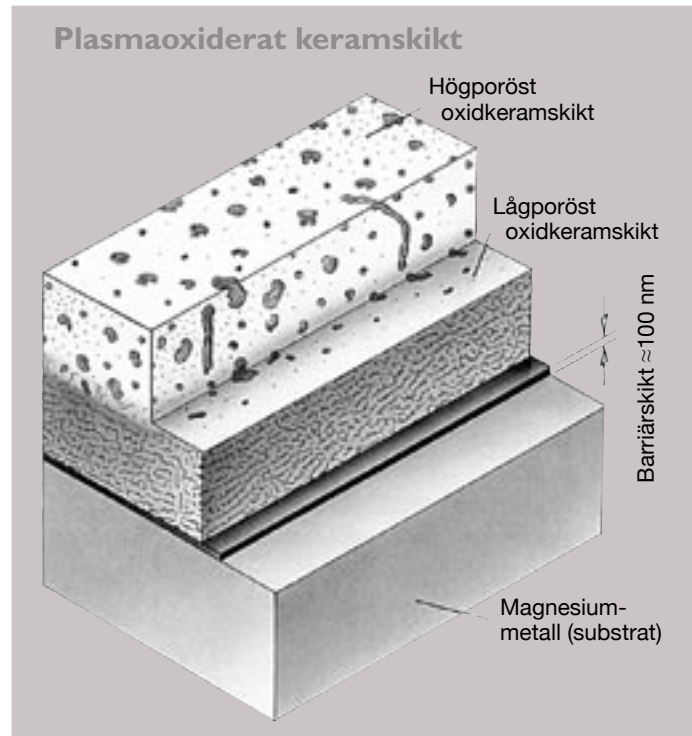
Tagniteprocessen



Keramiskt ytskikt



Plasmaoxiderat keramiskt



Ytbehandlingsmetoder

Följande ytbehandlingsmetoder kan användas på magnesium för att uppnå ökad korrosionshärdighet eller dekorativt utseende:

- olja eller vaxer som ger tillfälligt skydd
- kemisk behandling som ger tillfälligt skydd eller är förbehandling för beläggning
- anodisering som ger nötningskydd eller är en god primer för ytterligare beläggning
- lack eller pulverbeläggning som ger korrosionshärdighet eller dekorativt utseende
- metallbeläggning som ger elektriskt ledande yta, estetiskt utseende, möjlighet att mjuklöda samt ökad korrosionshärdighet.

Kemisk omvandling

Egenskaper som erhålls vid kemisk förbehandling med kromater, krom-mangan-, ferritnitrat- eller fosfatbehandling är förbättrat underlag för målning, ökat korrosionsskydd, hög elektrisk resistans, underlag för organisk klarlack samt ökad vidhäftning mot organiska beläggningar. Metoderna används också som slutprocess.

Anodisering

För ytskydd i svår korrosiv miljö används anodisering. Äldre metoder såsom Dow 17 och HAE används fortfarande, medan moderna metoder som Tagnite och Keronite blir allt vanligare. Anodisering måste följas av en yttätning med polymerer innan målning för att öka korrosions- och nötningshärdigheten.

Dow 17-skiktet är sprött och nötningsbeständigt och har en god korrosionshärdighet speciellt efter tätning med lack. HAE-beläggningar ger mycket hårda skikt med goda nötningssegenskaper.

Tagniteskikten är de som bäst står emot abrasiv nötning och korrosion. De bildas i en elektrolytisk cell och klassificeras som en anodiseringsbeläggning med hård, tätpackad vit magnesiumoxid med små ytutfällningar av hopsmälta hårda silikater. Skikten är 2,5 till 22,5 µm tjocka beroende på belagd legering.

Keronite-metoden är en miljövänlig variant av elektrolytisk (plasmakemisk) oxidation. Ett hårt keramiskt skikt (400-600 HV) på 10-60 µm erhålls, vilket ger god nötningsbeständighet, god korrosionshärdighet och låg friktion.

Metallplätering

Man kan använda vanliga pläteringssystem efter lämplig förbehandling, men det är bara zink och nickel som kan pläteras direkt på magnesium. Dessa metaller används dock bara som underlag för andra metaller. Ytan måste vara noggrant rengjord och sedan etsad eller sandblästrad med plast- eller glassand. Slutligen måste ytan kemiskt aktiveras innan nickel eller zink kan läggas på.



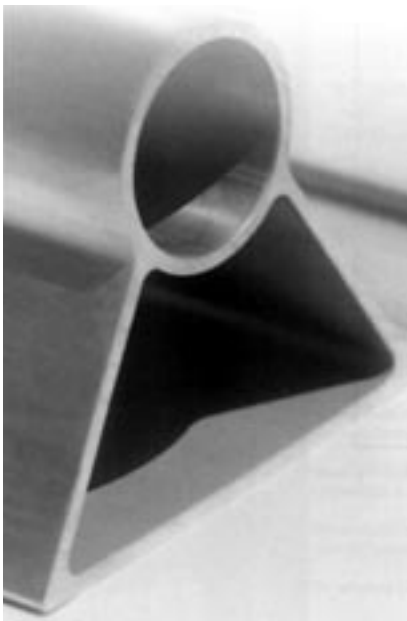
*Smidd fälg för
racerbilar.*



Smide av magnesium.



Olika strängpressade magnesiumprofiler.



Profiler och smiden

Magnesium pressas med fördel som profiler i ett flertal legeringar. Man kan erhålla dem som standardprofiler (I-, U- och T-form, rör, platt- eller rundstång) eller som special dvs kunden bestämmer formen. Genom den speciellt framtagna profilen kan mycket maskinbearbetning undvikas då man har den i önskad form. Den återstående maskinbearbetning kan utföras med högre hastighet och färre skär och med bättre ekonomi än andra metaller.

Specialprofiler

De strängpressade profilerna kan framställas med enkel form eller som flerhålsprofiler med komplext tvärsnitt. Legeringsvalet kan ske efter flera olika kriterier såsom bästa hållfasthet, bästa korrosionshårdighet, bästa bearbetbarhet med avseende på svarvning, fräsning eller svetsning eller så kan man göra sitt legeringsval efter bästa ekonomi.

Multipla väggar med varierande godstjocklek, hål, skruvfickor, flänsar, ut- eller inbuktningar kan läggas in i profilen för att uppnå önskade funktioner eller för ökad styvhet i profilen samtidigt som vikten optimeras. Ner till 0,4 mm godstjocklek är möjligt att strängpressa.

Med strängpressningstekniken kan man:

1. integrera konstruktiva funktioner
2. integrera funktioner för skruvning, nitning och svetsning.

3. lätt framställa komplexa former, med släta ytor och snäva toleranser.

Smiden

Smidda hel- eller halvfabrikat kan framställas genom varmpressning eller hejarsmide. Höghållfasthet och ett tätt gods erhålls. Temperaturpåverkan på

Temperaturlighet

Vid förhöjda temperaturer avtar sträck- och brottgräns medan brottöjningen ökar. Den högsta möjliga användbara temperaturen måste vid konstruktionens användning beaktas så att den inte oväntat kollapsar.

Vissa legeringar, såsom Elektron WE43, är framställda för att tåla temperaturer upp till 300°C med bibehållen hållfasthet.

Mekaniska egenskaper vid förhöjd temperatur

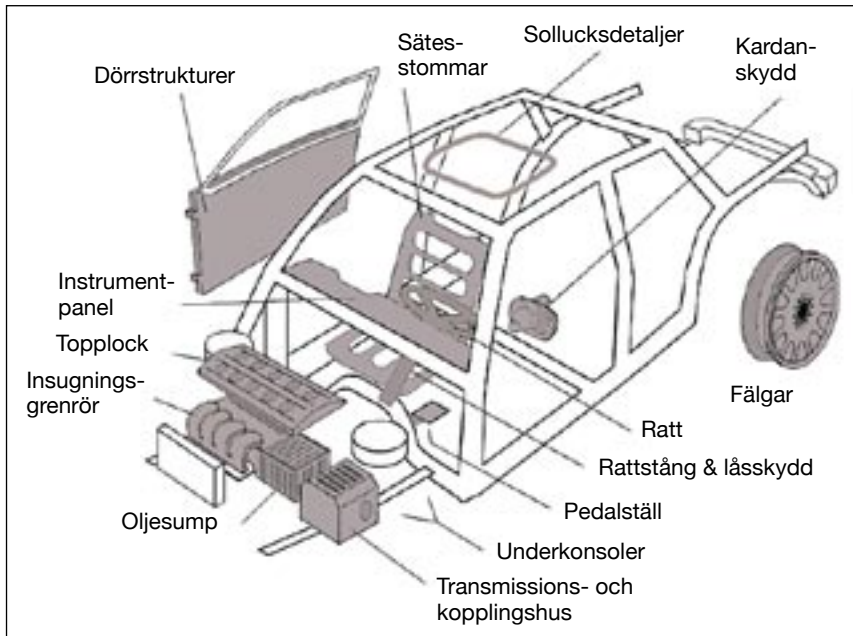
Typiska draghållfasthetsvärden för legering Elektron WE43 (MgY4RE3Zr)

Strängpressat

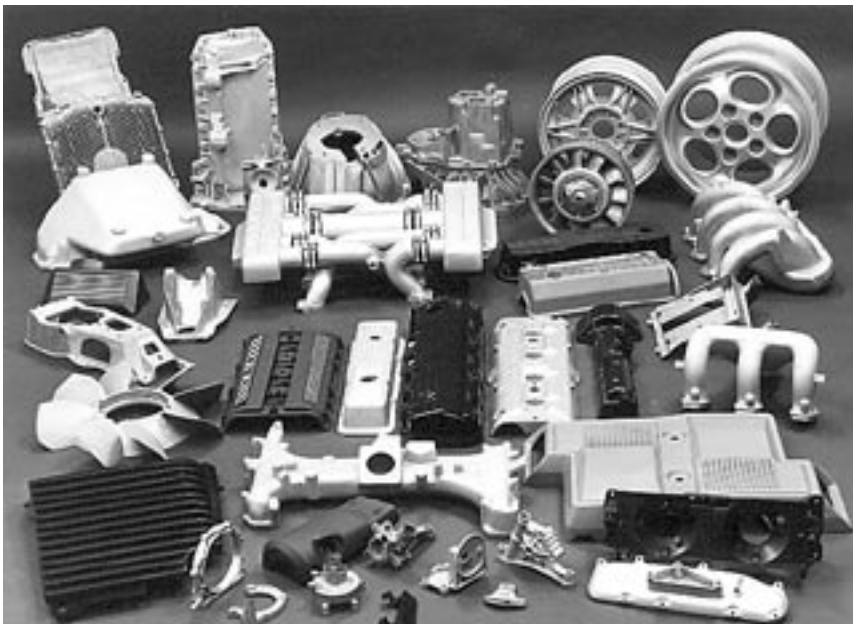
	Sträckgräns $R_{p0,2}$ (MPa)	Brottgräns R_m (MPa)	Förlängning A_5 (%)
T6 20°C	190	270	10
250°C	130	210	24

Smide

	Sträckgräns $R_{p0,2}$ (MPa)	Brottgräns R_m (MPa)	Förlängning A_5 (%)
T5 20°C	180	300	10
150°C	174	269	13
T6 20°C	180	280	7
150°C	172	249	9



Magnesiumgjutgods



Lätt att gjuta

Gjutprocesser

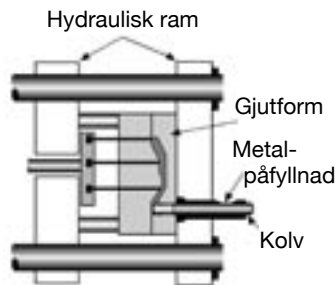
Magnesiumlegeringar kan gjutas med flera olika metoder. Den dominerande metoden är *pressgjutning* under högt tryck i kall- eller varmkammarmaskiner. Detta är en effektiv produktionsmetod för högvolympplikationer inom bilindustrin.

Både hög- och lågtrycksgjuttekniker tillämpas i dag på en ny generation magnesiumfälgar för fordonsindustrin.

De traditionella gjutmetoderna sandgjutning och kokillgjutning används i stor utsträckning.

Sand- och kokillgjutning

Tekniken är likvärdig med den för aluminium använda. Man måste beakta att den flytande magnesiummetall reagerar med luftens syre och med vatten, t.ex från sandformens fukt.



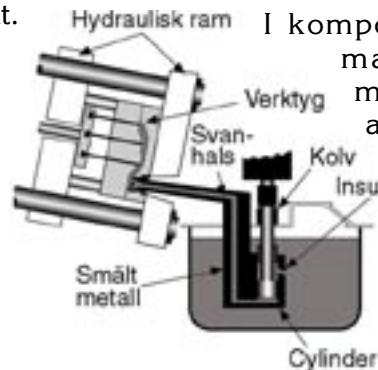
Pressgjutning i kallkammarmaskin

Pressgjutning

Den vanligaste produktionsmetoden för magnesium är pressgjutning. Metoden erbjuder god måttnoggrannhet och fina ytor. Pressgjutning är också den snabbaste och billigaste produktionsmetoden för magnesiumprodukter. I motsats till aluminium kan magnesium pressgjas, förutom i kallkammarmaskiner, även i varmkammarmaskiner. De arbetar med lägre tryck, är ekonomiska och lämpar sig för tunnväggigt gods.

Standardlegeringar för gjutning

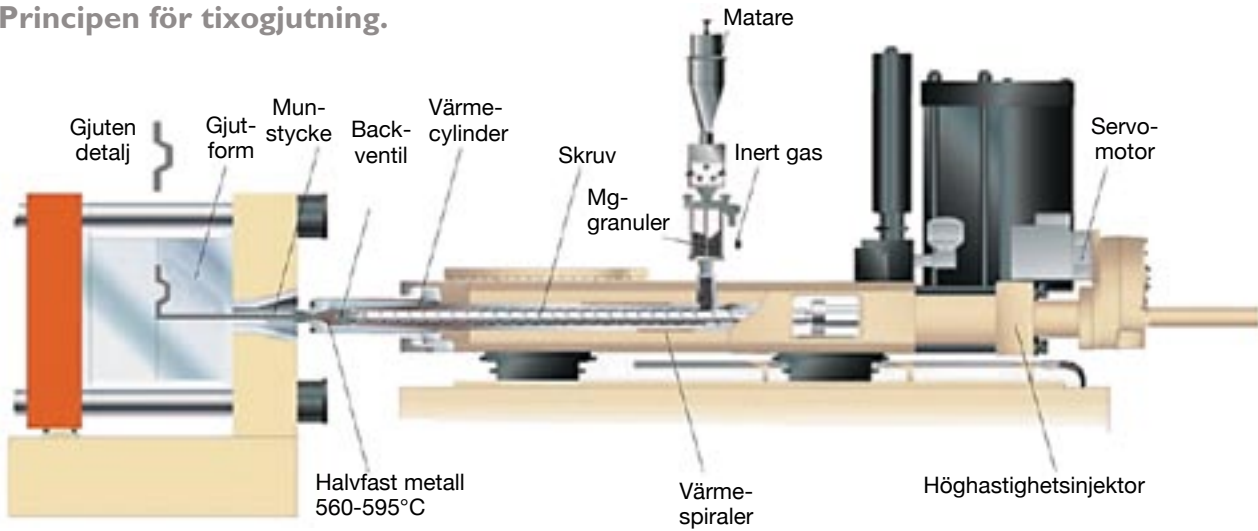
AZ91, AM50 och AM60 är standardlegeringar för gjutgods till bilindustrin. Den höga brottförlängningen hos AM-legeringarna skapar möjligheter för krocksäkra innerdetaljer såsom rattar, instrumentpaneler och säten.



Pressgjutning i varmkammarmaskin

I kompositmaterial används magnesium som basmetall i matrisen. Materialet ger utmärkt vätning mot armeringen. Också snabbstelnat magnesium är intressant inom vissa områden.

Principen för tixogjutning.



Marknader för tixogjutna magnesiumprodukter är bl.a personbilar, datorhöljen, elektronik, vapen, medicinsk utrustning och konsumentprodukter.

Tixogjutning

Det är väl känt att de mekaniska egenskaperna hos gjutna material starkt påverkas av olika gjutdefekter och inneslutningar, t.ex löst gas, porer, krymphåligheter, oxider, flussmedel och annat skräp. Även plana defekter såsom kallflytningar och oxidflak kan förekomma. Pressgjutgoods ger speciellt höga porositeter på grund av turbulens i smältan vid gjutningen samt på oxid- och flussinneslutningar som tillförts från smält- och metallsystemen.

Tixogjutning (eng Thixomolding®) erbjuder tillverkning av kompakta och komplexa injektionsgjutna detaljer för högvolumapplikationer. Metoden ger högsta materialkvalitet och måttolerans på detaljerna jämfört med konventionell pressgjutning. Tixogjutning ger förbättrad hållfasthet och tunnare gods.

Gjutning i halvsmält tillstånd

Tixogjutning innebär att gjutmaterial i halvsmält tillstånd (tvåfasttillstånd) fyller gjutformen. Magnesiummetallen tillsätts vid rumstemperatur i form av granuler, vilka förs in i en cylinder och värms upp till en temperatur där ett tvåfasigt tillstånd råder. Metallen blandas under högt tryck genom skjuvning. Den halvfasta slurryn (metallsörjan) består av fasta sfäriska partiklar blandade i en smält fas. Sörjan injiceras sedan i en förvärmad metallform så att en måttnoggrann detalj erhålls.

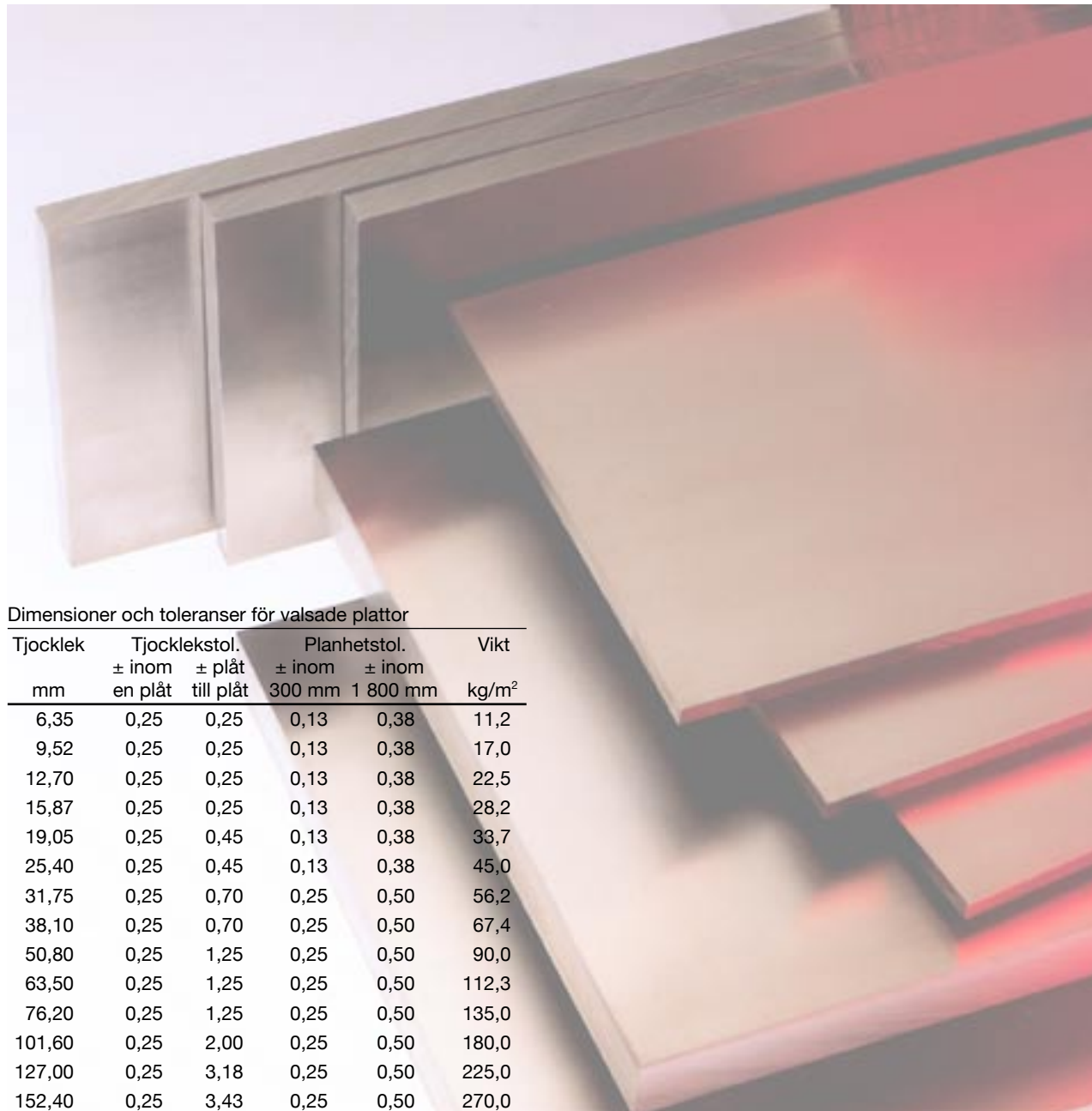
Jämfört med konventionell pressgjutning, där metallen förs in i formen som en turbulent atomiserad metallspray, fyller vid Tixogjutning den halvfasta sörjan formen i en plan strömningsfront. Detta leder till lägre porositet och homogener metall samt ger möjlighet att direkt omsmälta skrotet utan en raffineringsprocess, eftersom metallen smälts under en skyddsgas av argon. Graden av fast metallfas kan variera från 5 till 60%. Förbättrade mekaniska egenskaper

Förbättrade mekaniska egenskaper

De mekaniska egenskaperna för tixogjutet material ger högre värden än vad pressgjutning kan ge. Lägre porantal och färre defekter erhålls också beroende på fraktionen fast fas. Gastäta produkter erhålls med största säkerhet.

Tixogjutet magnesium har många fördelar:

- ökad styvhet och hållfasthet
- skydd mot elektromagnetisk interferens
- energiabsorption och dämpning
- slagålgighet
- värmespridning
- återvinnbart
- förbättrad färdigformning
- dimensionsnoggrannhet
- tunnväggigt gods
- lägre porositet
- förbättrad energieffektivitet
- bättre miljö



Dimensioner och toleranser för valsade plattor

Tjocklek mm	Tjocklekstol.		Planhetstol.		Vikt kg/m ²
	± inom en plåt	± plåt till plåt	± inom 300 mm	± inom 1 800 mm	
6,35	0,25	0,25	0,13	0,38	11,2
9,52	0,25	0,25	0,13	0,38	17,0
12,70	0,25	0,25	0,13	0,38	22,5
15,87	0,25	0,25	0,13	0,38	28,2
19,05	0,25	0,45	0,13	0,38	33,7
25,40	0,25	0,45	0,13	0,38	45,0
31,75	0,25	0,70	0,25	0,50	56,2
38,10	0,25	0,70	0,25	0,50	67,4
50,80	0,25	1,25	0,25	0,50	90,0
63,50	0,25	1,25	0,25	0,50	112,3
76,20	0,25	1,25	0,25	0,50	135,0
101,60	0,25	2,00	0,25	0,50	180,0
127,00	0,25	3,18	0,25	0,50	225,0
152,40	0,25	3,43	0,25	0,50	270,0

Valsade plattor

I många år har man i USA använt magnesium som konstruktionsmaterial i form av valsade plattor. Numera finns de också i Europa.

Plattorna utmärkes, förutom av sin homogenitet också av mycket snäva planhets- och tjocklekstoleranser.

Användning

Det är svårt att kortfattat ange alla de användningsmöjligheter som magnesiumplattorna erbjuder. Förutom till verktygstillverkning redovisas här några aktuella tillämpningar.

Materialet används som *basplattor* till kontrollfixturer och provjigger. Avgörande för valet av material är här magnesiumplattornas lätthet i kombination med *planhet* och *dimensionsstabilitet*. Plattorna kan också återanvändas som *riggningsplattor*.

Gjutverktyg för plast

För verktygstillverkning vid gjutning och formning av plast är magnesium intressant av flera skäl. Vid prototypstillverkning eller vid 0-serier vill man ha ett verktyg som är lätt att bearbeta, inte är för dyrt att tillverka och som passar för korta serier.

Magnesium erbjuder alla dessa möjligheter plus att materialets formstabilitet minskar risken för "övertäckningar". För enklare plastdetaljer kan

ett verktyg stoppa för upp till 5 000 detaljer och i extrema fall upp till 30 000 detaljer, vilka tillverkats i verktyget innan det tagit helt slut. Ändringar och/eller justeringar av ett verktyg kan enkelt utföras genom urputsning av materialet eller genom att limma eller skruva fast förstärkningsbitar.

Andra viktiga användningsområden är:

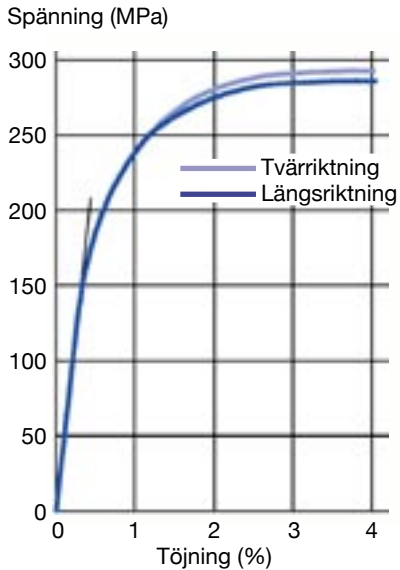
- mät- och testfixturer
- design- och modelländamål
- hanteringsfixturer
- maskinkonstruktioner

Beträffande hållfasthet uppvisar magnesiumplattor samma egenskaper som motsvarande aluminiumlegeringar. Formstabiliteten är dock vid jämförelse klart överlägsen.

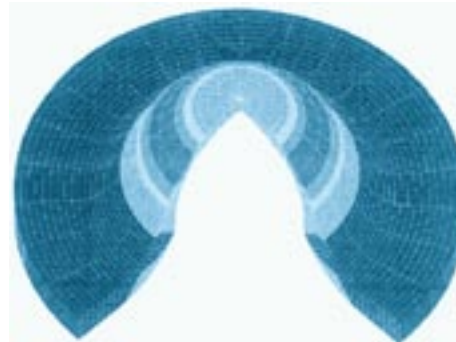
Dimensioner och toleranser

I tabellen anges tolerans- och dimensionsområden för valsade plattor. Kostnaden för plattorna kan per volymsenhet anses likvärdig med aluminium.

Plattorna är mycket plana samt lätta att bearbeta och svetsa.



Dragprovningkurva för plåtlegeringen AZ31B-H24 vid 20°C.



Djupdragningsförsök med datormodell.



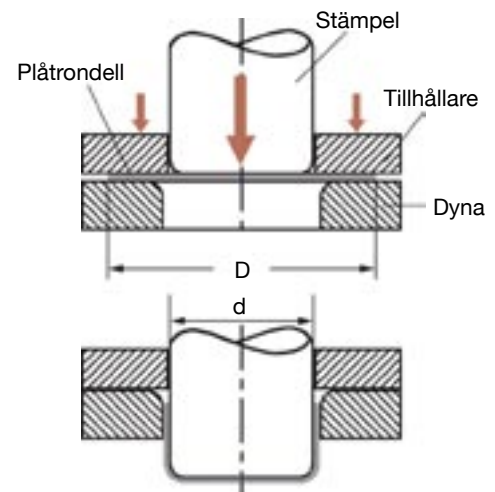
Pressad bildörr av magnesiumplåt från Volkswagen



Djupdragen kåpa.

Minsta bockningsradie, uttryckt som radie/tjocklek, för några olika legeringar för magnesiumplåt

Legering	Tillstånd	Temperatur, °C						
		20	100	150	200	260	315	370
AZ31B	O	5,5	5,5	4,0	3,0	2,0		
	H24	8,0	8,0	6,0				
HK31A	O	6,0	6,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0
	H24	13,0	13,0	13,0	9,0	8,0	5,0	3,0
HM21A	T8	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	8,0	6,0
	T81	10,0	9,0	9,0	9,0	9,0	8,0	6,0
ZE10A	O	3,0	2,0	1,0				
	H24	8,0	8,0	6,0				



Principen för dragpressning. Dragförhållandet vid pressning är kvoten av rondelldiametern (D) och stämpeldiametern (d).

Plåt och plåtbearbetning

Magnesiummaterial kan valsas till plåt. Den mest använda plåtlegeringen är AZ31B, som har en bra kombination av styrka, seghet och korrosionshårdighet. Flera andra legeringar kan också användas. Legeringar har utvecklats för spänningsfrihet efter svetsning, för högt korrosionsmotstånd samt för användning vid förhöjd temperatur.

Användningsområden för magnesiumplåt är, förutom för konstruktionsändamål, som anodplåt i sjövattnet batterier, gravöarbeten eller som elektronikplåt. Speciellt har magnesiumplåt fått stor användning inom fordons- och rymdindustrin, i legeringarna AZ31, AZM och AZ61.

Plåten kan sedan bearbetas genom bockning, pressning eller djupdragning under tryck eller drag. Även andra metoder vanligen använda på aluminiummaterial kan också användas såsom formning med gummidyra, trycksvarvning, rullformning, mönstring eller jogging. Materialets egenskaper sätter dock gränser för vad som kan utföras.

Hållfasthet

Draghållfastheten hos valsat magnesium beror på sammansättning, kornstorlek och graden av kalldeformation. Upp till 300 MPa i brottgräns kan erhållas vid 20°C. Inga sprödbrottstendenser erhålls vid låga temperaturer.

Bearbetningsmetoder

Magnesiumplåt kan bearbetas med de vanligaste metoderna såsom bockning, prägling, stansning, djupdragning, trycksvarvning (flow forming) och höghastighetsformning.

Bockning

Bockning är den vanligaste formningsmetoden för både plåt och profil. Den sker över ett verktyg med en bestämd radie. Vid avlastning fjädrar plåten tillbaka något. Storleken på återfjädringen beror på bl.a elasticitetsmodulen och på verktygsgeometrin, se tabell.

Djupdragning

Magnesiumplåt kan djupdras vid rumstemperatur med en reduktion på 10-15%, med ett resulterande djup mindre än en femtedel av koppdiametern. Medan multipla drag kan göras vid rumstemperatur för att uppnå önskad slutlig form är det dock vanligast att utföra djupdragning på magnesium vid förhöjd temperatur. Effekten av temperaturen på smörjmedel och verktygsutformning måste därför beaktas.

Materialegenskaperna vid formning av plåt kan beskrivas med dragspänningskurvan för materialet. Här kan materialets sträckgräns, $R_{p0,2}$, brottgräns R_m , förlängning och elasticitetsmodul bestämmas. Dessa värden ligger sedan till grund för magnesiummaterialets möjligheter att kunna formas plastiskt.



Mg

Al

Fe

De tre metallstyckena har alla samma vikt, 1 kg, men olika storlek, vilket visar magnesiums låga densitet.

Formvaror och sortiment

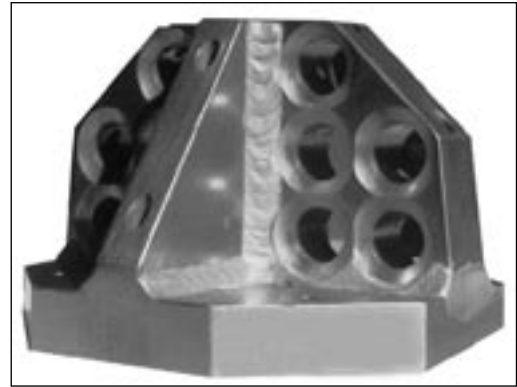
Världens ledande tillverkare av halvfabrikat av magnesium finns i dag i USA. Där finns både strängpressar och valsverk. I Europa finns valsverk för plåt och plattor samt gjutning av gjutgods. Strängpressning av profiler finns förutom i USA också i Israel och Sydafrika.

Följande produkter tillverkas:

Profiler	Stänger, smiden, hålade och homogena profiler med Ø5-300 mm. Längder upp till 5 m. Legeringar AZ31, AZ61, AZ80, ZK40, ZK60.
Valsat	Plåt och band i tjocklekar från 0,8 mm till 310 mm och bredder upp till 1,8 m. Legering AZ31B. Elektrokemisk plåt i tjocklekar från 0,25 mm till 1,5 mm och bredder upp till 300 mm. Legeringar AZ31 och AZ61. Verktogsplattor från 6,3 till 150 mm. Bredder upp till 1,5 m. Legering AZ31B.
Gjutna ämnen	Gjutna rundämnen med Ø300-455 mm. Legeringar AZ31, AZ80, ZK40, ZK60. Rektangulära ämnen upp till 355x1190 mm. Legering AZ31.
Tixogjutet	Injektionsgjutna detaljer för högvolum-applikationer
Smiden	Halvfabrikat framställas genom varm-pressning eller hejarsmide
Grafiskt material	Belagda plåtar för fotografisk industri i tjocklekar från 1,6 till 7 mm.

Egenskaper hos valsade plattor

Dämpning	Absorberar vibrationer vilket förbättrar utmattningshållfasthet, med bibehållen dimensionsstabilitet.
Verktyg Bearbetning	Ger 4-5 gånger längre verktygsliv. Ger upp till 5 gånger bättre skärbarhet än för aluminium. Torr skärning utan olja eller kemikalier.
Ytor	Ger mycket fin yta med bara ett skär.
Vikt	Lätt hantering, spar energi och tid.
Planhet	God, eliminerar ytbearbetning.
Stabilitet	Inga restspänningar, skevhet eller ytmärken efter bearbetning.
Svetsning	Ger starka svetsar, <95% av grundmaterialets hållfasthet med låg porositet.
Alkalihärdighet	Lätt att rengöra.
Korrosionsmotstånd	Kemiska ytbehandlingar ger gott korrosionsskydd, ny ytstruktur och god målningsbas. Lätt att förhindra galvanisk korrosion.
Hållfasthet	Hög styrka och styvhet/viktenhet.
Kladdar ej	Jämn yta med låg friktionskoefficient och liten nötning.
Snabb värmebortledning	Användbart inom ett stort temperaturområde (-35 - +175°C).
Icke magnetisk	Utmärkt för el- och datadetaljer.
Hög volymavkastning	Jämförelsevis högt materialutbyte.
Återvinning	Högt skrotvärde.



Exempel på användning av valsade magnesiumplattor.

Lätt att använda

Frågor kring magnesiumanvändning

Varför nyttja magnesium i konstruktioner?

Det främsta skälet till att välja magnesium är dess låga vikt och utomordentliga förhållande vikt/styrka. Ett annat skäl är bearbetbarheten. Andra fördelar är: god dimensionsstabilitet, bra svetsbarhet, utomordentlig dämpningsförmåga, högt slag- och intrycksmotstånd samt gott korrosionsmotstånd

Hur mycket utvidgar sig en valsad magnesiumplatta vid temperaturväxlingar?

Den utvidgar sig ca 10% mer än aluminium pga av den något högre längdutvidgningskoefficienten. Obs! Gäller rent Mg99,5.

Hur undviker man brand vid spånskärande bearbetning?

Skarpa och polerade verktyg, hög matningshastighet och rikligt med skärvätska är åtgärder för att förhindra gnistbildning. Man måste också hålla arbetsplatsen ren från magnesiumspån.

Hur ytbehandlar man magnesium?

Vanligen kromateras magnesiumdetaljer efter bearbetning. Den erhållna ytan ger ett visst korrosionsskydd, men är ej slitstark. Andra ytbehandlings sätt är *lackering* med tvåkomponentlack, t.ex på motorsågar. Numera används även *teflonisering*, framför allt i militära applikationer.

På senare tid har man fått fram en process för att *anodisera* magnesium, dvs man förstärker det naturliga oxidskiktet på ytan. Skiktet blir tunt och hårt och tål nötning mycket bra.

Är magnesiumplattor formbara?

De valsade plattorna lämpar sig normalt inte för plastisk formning. Tunnare dimensioner kan formas, men måste först värmas upp till minst 200°C.

Slår sig magnesium mycket vid svetsning?

Vid svåra svetsarbeten bygger man upp spänningar i materialet. Dessa kan dock tas bort med ett avspänningsförfarande. Detaljen placeras i ugn och värms upp till 260°C under 15 min, varefter den långsamt får svalna.

Hur hanterar man magnesiumavfall, spån, kaprester, klipp mm?

Homogent avfall kan man sälja till någon av de större auktoriserade skrotföretagen. Spån kan brännas på en lämplig plats och utnyttja det höga energiinnehållet.

Hur stor är prisskillnaden mellan aluminium och magnesium?

Vid jämförbara krav på spänningsfrihet är skillnaden räknar per volym marginell. Ekonomiska fördelar för magnesium erhålls då man beaktar bearbetningstider och effektåtgång vid t.ex skärande bearbetning.

Lätt att bearbeta och foga

Magnesium är mycket lätt att bearbeta. Hög avverkningshastighet och lågt kraftbehov ger goda tidsbesparingar i maskintid vid t.ex svarvning och fräsning.

Magnesium ger vid skärande bearbetning korta och lätta spån. Metallen har ingen tendens att kleta i verktyget, vilket är en fördel gentemot aluminium.

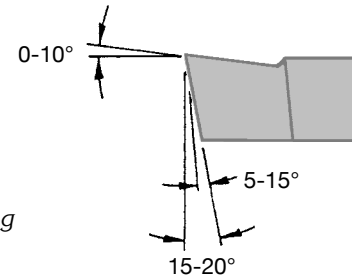
Skarpa och välpolerade verktyg är ett krav för att kunna hålla hög matningshastighet utan varmgång. Detta är inte minst viktigt med tanke på att magnesiumspånen kan antändas om materialet kommer nära smälttemperaturen.

Svarvning

Svarvskären bör vara av snabbstål eller hårdmetall. I regel kan konventionella skär användas, dvs sådana som används för mässing eller aluminiumlegeringar. Magnesium bearbetas i regel utan kyl- och smörjmedel. Förekommer kylmedel är det endast vid bearbetning till snäva toleranser. Lämpligt medel är tunn mineralolja, vilken kan spädas med fotogen eller vattenoljeemulsioner.

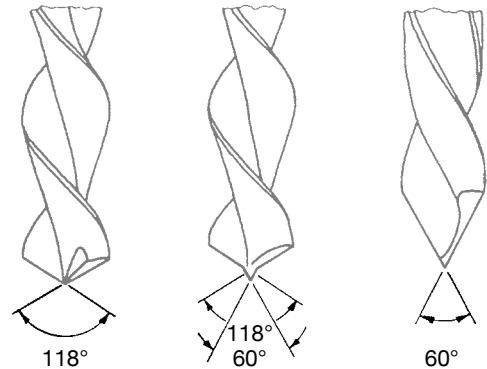
Borrning

Snabbståls- eller hårdmetallborrar bör användas. På standardborrar bör roten i borrens ände slipas så tunn som möjligt. Vidare bör själva skäret brytas för att förhindra att borren



Lämplig utformning av ett svarvskär.

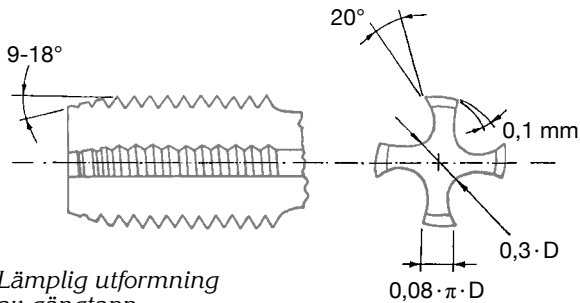
hugger i. Smörjmedel erfordras inte, annat än som kylmedel, där det anses nödvändigt.



För djupa hål Med centrerspets för djupa hål För tunt material

Gängning

Vanliga standardtappar kan användas. Gängtappar avsedda för aluminium skär dock bättre. Samma smörjmedel som vid övrig bearbetning. Vid extremt noggranna fall bör något överdimensionerade tappar användas.



Lämplig utformning av gängtapp.

Fräsning

Standardfräsar används, men fräsverktyg avsedda för aluminium ökar avverkningen. Kyl- och smörjmedel kan användas.

Gnistning

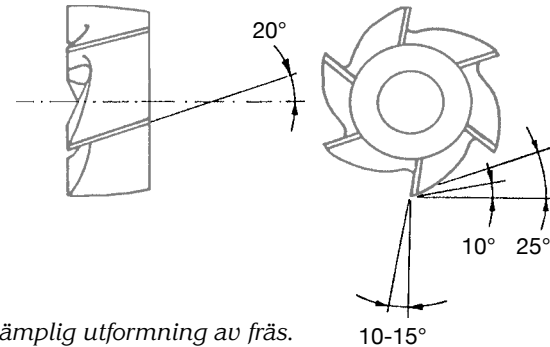
Magnesium lämpar sig mycket bra för gnistbearbetning, lämpligen med grafit elektroder.

Man kan vid gnistning använda samma teknologi som för stål och ofta kan högre sänkhastighet användas. Vid alltför hög sänkhastighet ökar dock risken för fastbränning.

Svetsning

Lasersvetsning

Metoden ger för magnesium samma fördelar som för andra metaller dvs hög svets hastighet, flussmedelsfrihet samt jämn och smal svets, men har också samma nackdelar såsom hög kapitalkostnad och dålig toleranskänslighet. Magnesium är dock väl lämpat för lasersvetsning genom gott utnyttjande av laserstrålen och goda startegenskaper. Lägre svets hastighet kan bli nödvändig för att förhindra sprickor i känsliga legeringar. AZ91 ger god svetsprofil i tvärsnittet. AM50/AM60 uppvisar också mycket god svetsbarhet, men med lätt ojämn svetsöversida.



Lämplig utformning av fräs.

Friction stir welding

FSW är en process utan synlig smälta, där ett roterande verktyg med en profilerad tapp pressas ner i fogen. Svetsgodset blir mycket fint med en rekristalliserad struktur. AZ91 och AM50 har svetsats med framgång.

Smältsvetsning

Magnesiumlegeringar svetsas vanligtvis med TIG- eller MIG-metoden. Liksom för aluminium svetsar man TIG med växelström (AC).

Tillsatsmaterial av AZ61A (MgAl6,5Zn1) eller AZ92A (MgAl9Zn2) bör användas. Erfordras avspänningsglödning utförs den genom att värma hela detaljen till 260°C under 15 min, varefter den långsamt får svalna.

Limning

Magnesiummaterial kan limmas. Syntetiska hartser av olika typer har framgångsrikt använts. Information om lämpliga lim kan erhållas från limtillverkarna.

Magnesiumytorna måste förberedas genom avfettning, glasblästring och kromatering för att säkerställa maximal limfogstyrka.



Återanvändbart

Omsmältning av magnesium förbrukar bara en bråkdel av den energi som åtgår vid framställningen av råmetall genom elektrolys. Energiinnehållet i en produkt sänks därför väsentligt då omsmält metall används.

Vid pressgjutning uppgår vikten hos skägg och inmatarsystem till 45% av skottvikten. Moderna återvinningsanläggningar återför detta skrot till ny metall.

Andra biprodukter från pressgjutningen är oxider, spån och metallskum. I dag används en stor del av detta till avsvavling av stål. I framtiden kommer kostnadseffektiva metoder att omvandla detta skrot till högren gjutmetall.

Demonteringssystem för skrotade bilar kommer mer och mer att återföra högvärdigt magnesium till ny metall. Detta arbete börjar egentligen redan på konstruktionsbordet hos biltillverkaren vid valet av design och material.

Befintliga system för sönderdelning och sortering av uttjänta delar kan förbättras. Det förutspås att nya effektiva materialidentifierings- och sorteringsmetoder utvecklas.

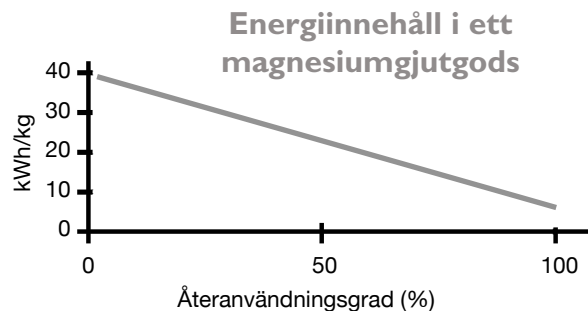
Det begränsade antalet magnesiumlegeringar underlättar återanvändningen, varför magnesium lätt kan smältas om och med låg energiförbrukning. Magnesiumpartier uppblandade med stålkomponenter kan lätt separeras med

befintlig teknik. Koppar- och nickelkomponenter måste avlägsnas då dessa ämnen försämrar korrosionsmotståndet om de kommer in i magnesiummetallen.

Omsmältningsanläggningar för magnesiumskrot finns i dag på några platser i Europa. En ombyggnad har gjorts hos Hydro Magnesium i Porsgrunn, Norge.

Energivinsterna är stora när man återanvänder magnesium genom omsmältning. För att producera primärmagnesium genom elektrolys krävs 30-35 kWh/kg eller omräknat till volym 65-80 kWh/dm³. Av detta är 60-65% elektrisk energi.

Vid omsmältningen av magnesium åtgår endast några få procent av den energi som åtgick vid elektrolysen. Energiinnehållet i en gjuten detalj reduceras därför avsevärt varje gång omsmält metall används. Återvinning är god ekonomi.





Bilpaneler kan tillverkas av magnesium.

Magnesium

i de flesta former och dimensioner

- plåt och band
- plattor
- stång
- strängpressad profil
- smiden
- rör
- gjutgods



KG Fridman AB

Box 496, 651 11 Karlstad, tel. 054-18 52 15, fax. 054-18 63 31
info@fridman.com, www.fridman.com

 KG Fridman AB