

**Om
Aluminium**

METALLISKA
MATERIAL



Jernkontoret



Om aluminium

Innehåll

| | |
|--|-----------|
| Aluminium | 5 |
| 1.1 Aluminium för många behov | 5 |
| 1.2 Omfattande användningsområden | 6 |
| 1.3 Historik, produktions- och konsumtionsutveckling | 6 |
| Framställning av aluminium | 8 |
| 2.1 Råvaror | 8 |
| 2.2 Framställning av aluminium ur bauxit | 8 |
| 2.3 Återvunnet aluminium | 10 |
| Framställning av halvfabrikat | 11 |
| 3.1 Valsgöt och pressgöt | 11 |
| 3.2 Plåt och band | 12 |
| 3.3 Profiler, stång och rör | 14 |
| 3.4 Tråd | 15 |
| Aluminiums metallografi | 16 |
| 4.1 Aluminiums uppbyggnad | 16 |
| 4.2 Kallbearbetning | 16 |
| 4.3 Mjukglödning | 16 |
| 4.4 Legeringsämnen | 17 |
| 4.5 Lösningshärdning | 17 |
| 4.6 Utskiljningshärdning | 17 |
| Aluminiumlegeringar | 19 |
| 5.1 Legeringsbeteckningar | 19 |
| 5.2 Tillståndsbeteckningar | 19 |
| 5.3 Legeringar för plastisk bearbetning | 21 |
| 5.4 Gjutlegeringar | 24 |
| 5.5 Fysikaliska egenskaper | 26 |
| Värmebehandling | 27 |
| 6.1 Ugnar | 27 |
| 6.2 Mjukglödning | 27 |
| 6.3 Härdning | 27 |
| 6.4 Värmebehandling av aluminiumgjutgods | 29 |
| Korrosionshärdighet | 30 |
| 7.1 Några termer | 30 |
| 7.2 Korrosionsegenskaper | 30 |
| 7.3 De vanligaste korrosionsfallen | 30 |
| 7.4 Aluminium i olika miljöer | 32 |
| Ytbehandling | 34 |
| 8.1 Kemisk och elektrokemisk ytbehandling | 34 |
| 8.2 Lackering | 36 |
| 8.3 Dekorativa beläggningar | 37 |
| 8.4 Övriga ytbehandlingsmetoder | 37 |

Bilder i denna skrift har levererats av:
AluminiumFörlaget, Alutecta, Audi, Constellium, El-Supply AB,
Gränges Sweden AB, Hydro Extruded Solutions AB, Linder Båt AB,
Saab, SAG, Sten Farre m.fl.

SVENSKT ALUMINIUM
Tel: 070-588 32 07
www.svensktaluminium.se

Bearbetning:
Hans Frisk, Svenskt Aluminium
Tel: 0705-434086, e-post: hans.frisk@svensktaluminium.se
Staffan Mattson, AluminiumFörlaget
Tel: 0708-450939, e-post: staffan@alumin.se

© Svenskt Aluminium
ISBN 978-91-519-0958-5
Mars 2019
Tryck: PRIMATryck, Hallstahammar

| | |
|---|-----------|
| Aluminiumgjutgods | 38 |
| 9.1 Användning av gjutgods | 38 |
| 9.2 Gjutmetoder | 38 |
| 9.3 Gjutning av halvsmält material | 39 |
| 9.4 Val av gjutmetod | 40 |
| 9.5 Gjutgodsets efterbehandling (rensning) | 40 |
| 9.6 Fiber- och partikelförstärkt gjutgods | 40 |
| 9.7 Additiv tillverkning | 41 |
| Bearbetning | 42 |
| 10.1 Kallformning | 42 |
| 10.2 Varmformning | 44 |
| 10.3 Skärning | 45 |
| 10.4 Skärande bearbetning | 45 |
| Fogning | 47 |
| 11.1 Nitning | 47 |
| 11.2 Skruvning | 47 |
| 11.3 Svetsning | 48 |
| 11.4 Lödning | 51 |
| 11.5 Limning | 54 |
| Konstruktionsregler | 56 |
| 12.1 Allmänna konstruktionsregler | 56 |
| 12.2 Ekonomiska synpunkter | 59 |
| 12.3 Konstruktionsregler för profiler | 63 |
| Energi och miljö | 67 |
| 13.1 Aluminium en naturlig del av vår miljö | 67 |
| 13.2 Brytning av bauxit | 67 |
| 13.3 Tillverkning av aluminiumoxid | 67 |
| 13.4 Tillverkning av primäraluminium | 67 |
| 13.5 Återvunnet aluminium som råvara | 68 |
| 13.6 Energiutvinning | 68 |
| 13.7 Aluminium och vår hälsa | 68 |
| 13.8 Aluminium i personbilar | 69 |

Aluminium

1.1 Aluminium för många behov

Aluminium har blivit den, efter järn, mest använda metallen därför att den kombinerar många goda egenskaper.

Tabell 1.1 Data för några viktiga konstruktionsmaterial¹⁾

| | Al | Fe | Cu | Mg | PA6 ²⁾ | PTFE ³⁾ |
|--|-----|------|------|------|-------------------|--------------------|
| Densitet, kg/dm ³ | 2,7 | 7,9 | 8,9 | 1,7 | 1,13 | 2,15 |
| Smältpunkt, °C | 658 | 1540 | 1083 | 650 | 220 | 325 |
| Värmeledningsförmåga vid 20°C, W/(m·°C) | 225 | 75 | 390 | 155 | 0,23 | 0,25 |
| Specifik värmekapacitet 20–100°C, J/(kg·°C) | 900 | 450 | 390 | 1050 | 1680 | 1000 |
| Resistivitet vid 20°C, nΩm | 29 | 105 | 17 | 44 | ∞ | ∞ |
| Längdutvidgningskoefficient, ·10 ⁻⁶ /°C | 24 | 12 | 16 | 26 | 85 | 100 |
| Elasticitetsmodul, GPa | 70 | 220 | 120 | 44 | 8 | 0,4 |

1) Värdena avser de rena metallerna Al, Fe, Cu och Mg.

2) Polyamidplast (termoplast), tex Nylon.

3) Fluorplast (termoplast), tex Teflon.

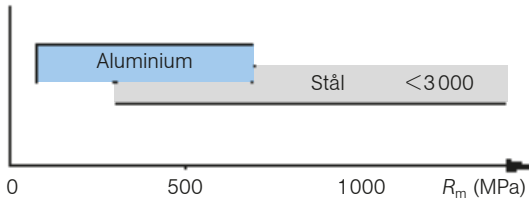


Fig 1.1 Jämförelse mellan brottgränserna för aluminium och stål.

Några viktiga egenskaper hos aluminium är:

• Låg vikt

Densiteten är 2,7 kg/dm³, vilket är ungefär en tredjedel av den för järn respektive koppar. Aluminium är den vanligaste av lättmetallerna, till vilka också magnesium och titan räknas.

• God styrka och hållfasthet

Aluminiumlegeringar har draghållfastheter (R_m) mellan 70–700 MPa. Några av dem har lika hög hållfasthet som en del konstruktionsstål, fig 1.1. Aluminiumlegeringar är inte spröda vid låga temperaturer utan bibehåller sin goda seghet även ned mot -200°C .

• God korrosionshårdighet

På aluminium bildas vid kontakt med luftens syre ett oxidskikt. Detta är mycket tunt och tätt och utgör ett utmärkt skydd mot korrosion. Om skiktet skadas återbildas det omedelbart. Oxidskiktet kan fås att växa ytterligare genom ytbehandling, *anodisering*.

• Hög ledningsförmåga

Aluminium har hög ledningsförmåga för elektricitet och värme. För rent aluminium är den ca 60% av den hos ren koppar. Även reflexionsförmågan för ljus och värmestrålning är hög.

• Lättbearbetat

Aluminium är väl lämpat för plastisk bearbetning såsom profilpressning och valsning. Annan plastisk formning som smidning, bockning och dragpressning går bra att utföra liksom skärande bearbetning t.ex svarvning, fräsning och borring. Aluminium kan fogas genom bl.a svetsning, lödning och limning.

Fig 1.2 Aluminium används i många olika byggnadssammanhang. Här som husfasad.

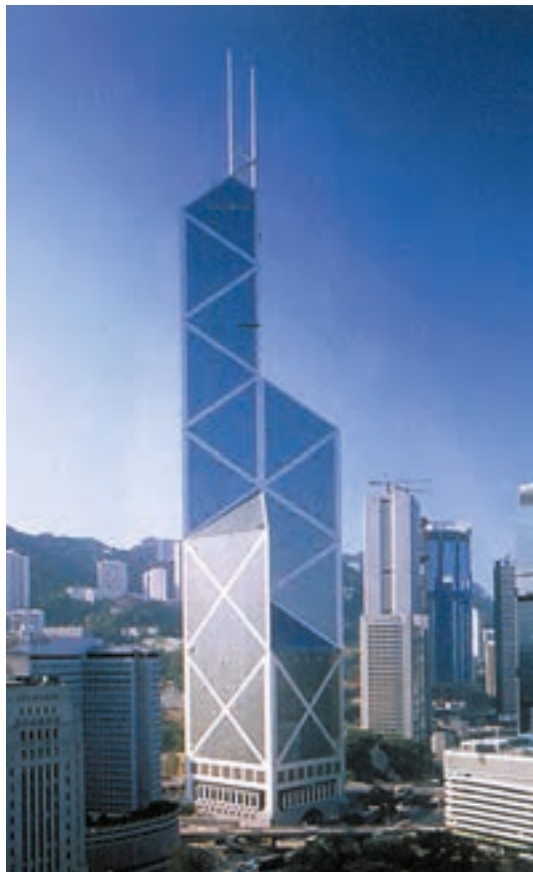


Fig 1.3 Space-frame på Audi A8, 2018 års modell.



Fig 1.4 Benchijigua Express, byggd av Austal Ships, sjösatt 2004, är världens största aluminiumskepp. Dimensioner. 126,7·30,4·4,2 m.

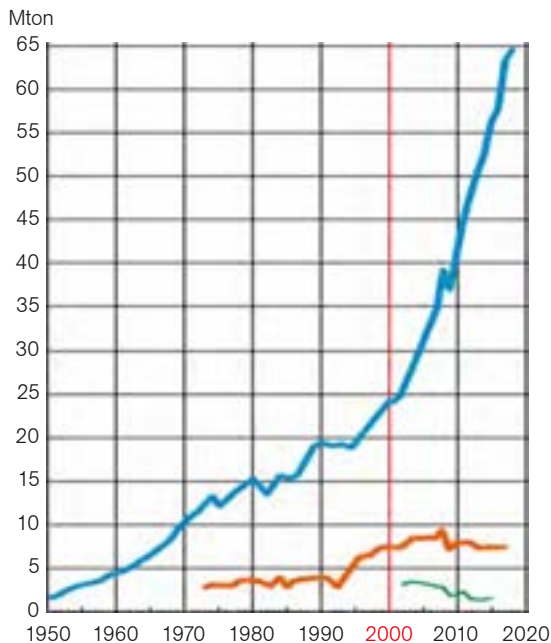


Fig 1.5 Världsproduktionen av aluminium åren 1950–2018, exklusive omsmält skrot. Produktionen för Europa i rött.

EU:s produktion av primäraluminium åren 2002–2015 (grön kurva) har med 38% färre smältverk i drift minskat. Innan krisen 2009 producerade EU över 3 Mton primäraluminium per år. I dag tillverkar EU-länderna bara 2 Mton, medan importen av göt ökar. Flera av de 16 smältverk som i dag är i drift, löper risken att stängas. www.world-aluminium.org

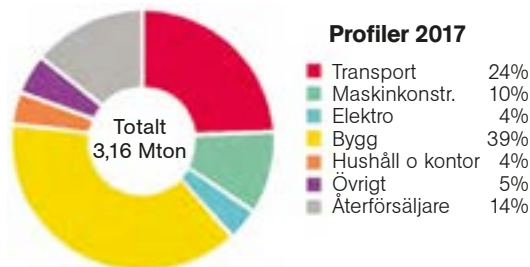


Fig 1.6 Efterfrågan på aluminiumprofiler i Europa 2017 fördelad på branscher. Källa: EAA.

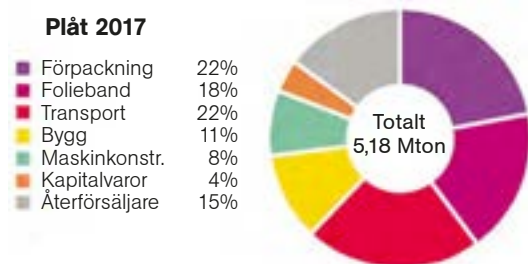


Fig 1.7 Efterfrågan på valsat aluminium i Europa 2017 fördelad på branscher. Källa: EAA.

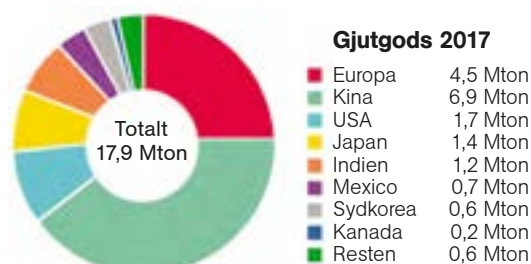


Fig 1.8 Produktion av aluminiumgjutgods i världen 2017 fördelad på länder. Källa: Modern Casting.

• Ekonomisk produktionsteknik

Aluminiums många goda egenskaper möjliggör rationell tillverkning av halvfabrikat eller komponenter. Genom profilpressning tillverkas profiler som är skraddarsydda för en viss produkt. Man kan i profilen bygga in funktioner som underlättar konstruktion och tillverkning. Plåt kan valsas i olika tjocklekar och hårdheter, och med mönstrad eller slät yta. Kokill- och pressgjutning är exempel på avancerad tillverkningsteknik.

• Lätt att återvinna

Aluminium är lätt att återvinna. I dag återvinns stora mängder aluminium och återvinningen ökar snabbt. Tiden mellan tillverkning och återvinning varierar mellan olika produkter. För vissa, t.ex dryckesburkar, är den kort, några månader. För andra, t.ex aluminiumtak, kan det dröja 100 år innan det skrotas. När aluminium smälts om behövs bara 5% av den energimängd som gick åt vid primärframställningen ur aluminiumoxid.

1.2 Omfattande användningsområden

Aluminium används inom praktiskt taget alla områden, från små, enkla bruksföremål till stora, starkt belastade konstruktioner.

Transport

Låg vikt, hög hållfasthet och god korrosionshårdighet är den främsta orsaken till att andelen aluminium ökat starkt i personbilar, lastbilar, bussar, tåg och fartyg. En lägre vikt hos personbilar ger lägre bränsleförbrukning och därmed mindre miljöbelastning. Minskad fordonsvikt hos lastbilar, bussar och tåg utnyttjas för högre nyttolaster. Exempel på bilkomponenter av aluminium är stötfångare, motorblock, kolvar, kylare, bränsletankar, crash-boxar, bränslepåfyllningsrör, motorhuvar, dörrar och bagageluckor. Space-frame är ett modernt sätt att bygga aluminiumbilar på, fig 1.3.

Mekanisk industri

Formbarhet, låg vikt, hög hållfasthet och god korrosionshårdighet gör aluminium till den efter stål mest använda konstruktionsmetallen inom mekanisk industri. Förutom plåt och gjutgods använder man ofta aluminiumprofiler eftersom de möjliggör billiga och rationella konstruktionslösningar.

Byggnadsindustri

Den goda korrosionshårdigheten ger lång livslängd och låga underhållskostnader för t.ex tak, fasader, fönster och entrépartier. Inom modern arkitektur är inslaget av aluminium stort, t.ex i kombinationen profiler och glas, fig 1.2.

Elektroteknik

Den höga elektriska ledningsförmågan hos aluminium har stor betydelse för elektrotekniska produkter, t.ex högspänningsledningar. En aluminiumledare med samma överföringskapacitet som en kopparledare väger bara hälften så mycket. Förutom till el-ledningar används aluminium i detaljer som chassin och paneler. Den goda värmeledningsförmågan utnyttjas i kylflänsar för elektronikdelar.

Förpackning

För livsmedels- och läkemedelsförpackningar är kraven på vätske-, gas-, arom- och ljusstäthet stora. Aluminium ger det tätaste barriärskiktet, vilket ökar innehållets livslängd och gör att det inte behöver kylas. Aluminiumfolie används ofta i kombination med plast och papper, sk laminat. Dryckesburken är ett känt exempel på en aluminiumförpackning. Den skyddar innehållet väl och väger mindre än en tjugondel av en glasflaska. Retursystemet i Sverige har mycket hög återvinningsgrad, 85,7% under 2017 enligt Pantamera.

1.3 Historik, produktions- och konsumtionsutveckling

Aluminium har en mycket kort historia jämfört med järn, koppar, zink, bly och tenn. Namnet "aluminium" härrör från 1807 då engelsmannen Sir Humphrey Davy, som tidigare hade utvunnit kalium och natrium på elektrolytisk väg, gjorde försök att ur lermineral utvinna en ny metall med hjälp av smältelektrolys. Han var så övertygad om att lermineralet



Fig 1.9 Minnesmedalj i aluminium från Stockholmsutställningen 1897 med motiv av kung Oscar II. Naturlig storlek.



Fig 1.10 Den danske kungen Fredrik VII bar denna generalshjälm i aluminium från 1853.

innehöll en till syre fast bunden metall att han gav den namnet "aluminium", vilket senare ändrades till "aluminium". ("Alumen" är en latinsk benämning på alun, som i mer än 3 000 år utvunnits ur lermineraler). Davy lyckades dock aldrig själv framställa aluminium.

Det var först 1825 som den danske vetenskapsmannen H.C Ørsted fick fram de första spåren av metalliskt aluminium och hans lärjunge, den tyske kemisten F.Wöhler, kunde 1845 meddela att han lyckats framställa så mycket aluminium att han kunde visa upp metallkorn stora som knappålshuvuden.

Nästa steg i utvecklingen kom 1854 då den franske kemisten H Sainte-Claire Deville utvecklade en kemisk metod för framställning av aluminium i större skala. Denna metod var dock komplicerad och aluminiumproduktionen förblev obetydlig. Världsproduktionen uppgick 1876 till 1,6 ton.

Det stora genombrottet för industriell produktion av aluminium kom 1886 när fransmannen Paul T Héroult och amerikanen Charles Martin Hall, oberoende av varandra, uppfann den process för elektrolys av aluminiumoxid upplöst i smält kryolit som används än i dag.

I Sverige dröjde det till 1934 innan man fick en egen tillverkning av aluminiummetall. Bearbetning av importerat aluminium började däremot redan på 1890-talet och på världsutställningen i Stockholm 1897 visades bl.a svensktillverkade "kökskärl" av aluminium.

I dag (2019) finns i Sverige ett elektrolyswerk, Kubal i Sundsvall som tillverkar ca 140 000 ton per år samt omsmältverk i bl.a Älmhult, Sjunnen och Finspång.

För tillverkning av halvfabrikat finns:

- varmvälsverk och kallvälsverk i Finspång
- pressverk för profiler i Finspång, Sjunnen, Vetlanda och Åseda

Vidare finns ett stort antal anläggningar för sand-, kokill- och pressgjutning samt många företag som vidareförädlar aluminium genom t.ex plastisk formning, skärande bearbetning, ytbehandling, svetsning och montering.

År 1900 var den totala världsproduktionen av aluminium 5 700 ton. 2000 hade den ökat till ca 24 Mton för att i dag (2019) ligga på knappt 65 Mton. Fig 1.5 visar den globala produktionsutvecklingen från 1950. Fig 1.6–1.7 visar den europeiska produktionen av halvfabrikat (plåt och profil), samt fig 1.8 den globala produktionen av gjutgods.

Aluminiumanvändningen är störst i länder med hög BNP. Sverige intar en ledande ställning i världen. Totalt ligger aluminiumförbrukningen i Sverige i dag (2019) på upp mot 400 000 ton/år. Produktionen av Al-gjutgods i Sverige var 45 000 ton år 2017.

Global efterfrågan på primäraluminium 2017

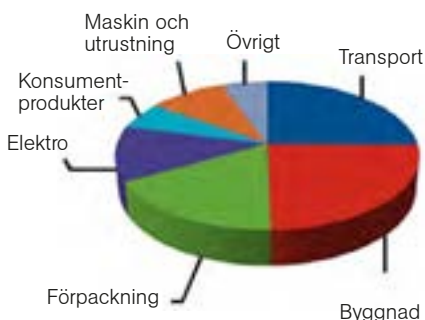


Fig 1.11 Global efterfrågan på primäraluminium växte med 5,8% 2017, och förväntas öka med 4–6% under 2018.

Världsproduktion av aluminium 2017

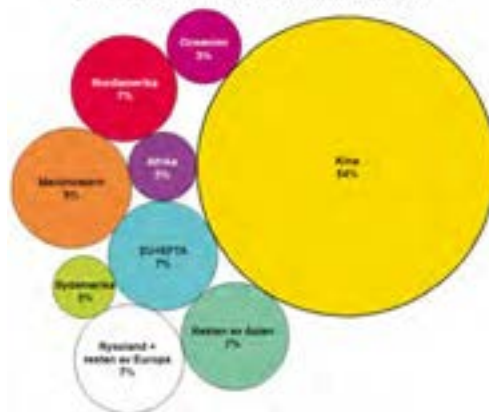


Fig 1.12 Världsproduktionen av aluminium år 2017: Trots att aluminium produceras i många länder står Kina nu för över hälften av världens smältverkskapacitet. Produktionen i USA sjönk till nästan hälften 2016, och föll med nästan 10% 2017, till sin lägsta nivå sedan 1951.

Framställning av aluminium

2.1 Råvaror

2.1.1 Bauxit

Aluminium framställs ur bauxit, vilken bildas när vissa aluminiumhaltiga bergarter vittrar under tropiska förhållanden. Jordskorpans medelhalt av aluminium är ca 8%. Brytvärd bauxit innehåller vanligen 20–30% aluminium.

Bauxit förekommer vanligen som en lättbruten jordart, men finns också som fast berg. Färgen är ofta rödaktig på grund av innehållet av järnoxid.

De viktigaste bauxitförekomsterna finns i tropiska eller subtropiska områden såsom Australien, Guinea, Brasilien, Vietnam, Indonesien och Jamaica. I Sverige finns ingen bauxit. Världens kända tillgångar på brytvärd bauxit är ca 30 miljarder ton. Troligen finns ytterligare bauxitreserver. Aluminiumrika bergarter och leror finns i stora mängder och utgör komplement till bauxiten. Aluminiuminnehållet i dessa råvaror kan dock inte utvinnas med samma process som tillämpas för bauxit. Risken för att aluminiumråvaran ska ta slut är obefintlig.



Fig 2.1 Bauxit förädlas till aluminiumoxid.

2.1.2 Skrot

Återvinningen av förbrukade aluminiumprodukter ökar ständigt. Aluminiumskrot utgör i dag en väsentlig råvara för framställning av nya aluminiumprodukter. Föroreningar som finns på skrotet i form av färg- och oljerester samt detaljer av främmande metaller avlägsnas i en förbehandlingsprocess. För att få ett så bra ekonomiskt utbyte som möjligt sorteras skrotet efter legering innan det smälts om.

2.2 Framställning av aluminium ur bauxit

Aluminium framställs ur bauxit i två steg:

1. Ur bauxit framställs *aluminiumoxid* enligt Bayermetoden.
2. Ur aluminiumoxiden framställs sedan *aluminiummetall* genom smältelektrolys enligt Hall-Héroult-metoden.

I Sverige tillverkas ingen aluminiumoxid. Däremot finns en anläggning för framställning av aluminium genom smältelektrolys, Kubal AB, i Sundsvall.

2.2.1 Utvinning av aluminiumoxid ur bauxit enligt Bayer

Bauxit innehåller aluminiumoxid och -hydroxid, men också olika järnmineraller, aluminiumsilikat och titanoxid. Vid framställning av aluminiumoxid ur bauxit utnyttjar man att aluminiumföreningarna är lösliga i en 25%-ig vattenlösning av natriumhydroxid. Upplösningen sker i ett tryckkärl vid förhöjd temperatur (150–200°C) och tryck (ca 5 bar). Natriumaluminat bildas vid processen.

Bayerprocessen

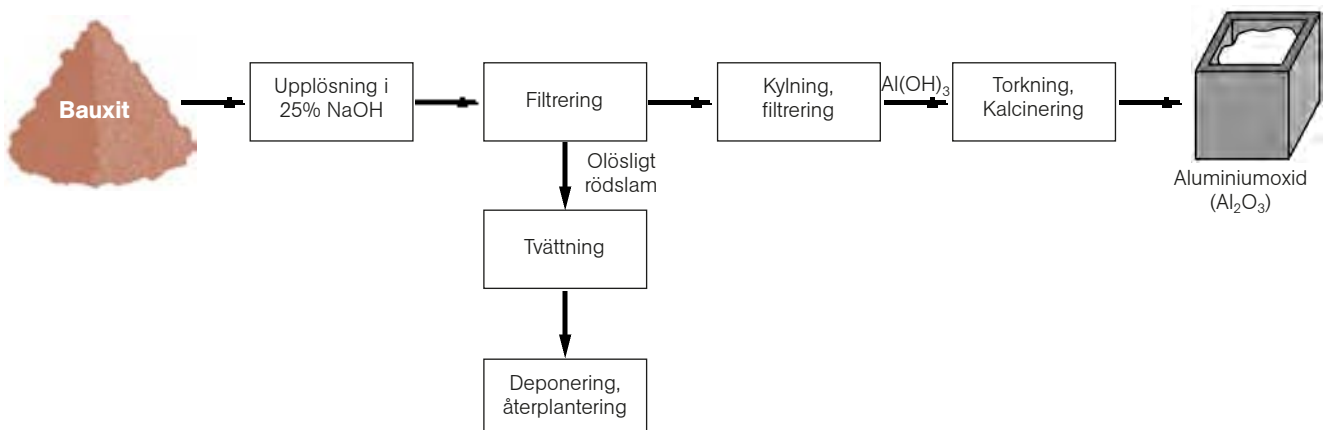


Fig 2.2 Framställning av aluminiumoxid enligt Bayer.

Vanligtvis ska enheten Joule (J) användas för all slags energi, värmeenergi, mekanisk energi, kemisk energi och elektrisk energi.

För elektrisk energi används dock oftast enheten watt-timme (Wh).

1 kWh = 3,6 MJ

De andra föreningarna i bauxiten är i stort sett olösliga under dessa förhållanden och avlägsnas genom filtrering. När den filtrerade aluminiumhaltiga lösningen späds ut något med vatten och kyls till ca 60°C bildas en fällning av aluminiumhydroxid. Denna avskiljs och torkas i en ugn vid ca 1100°C. Aluminiumhydroxiden sönderdelas då till aluminiumoxid och vatten (kalcinering). 2 ton bauxit ger ca 1 ton aluminiumoxid. Mängden föroreningar i den framställda aluminiumoxiden är mindre än 0,1%.

Den del av bauxiten som inte löses i natriumhydroxidlösningen är rödfärgad av järnoxid och kallas *rödslam*. Slammet innehåller även kiseloxid och titanoxid och är starkt basiskt (pH=10–13) samt erhålls i stora mängder. För varje ton aluminiumoxid produceras 1–1,5 ton rödslam. I dag pågår intensiv forskning för att finna industriell användning av slammet, som annars deponeras.

2.2.2 Elektrolys av aluminiumoxid enligt Hall-Héroult

Aluminiummetall framställs genom elektrolys av en vattenfri smälta av aluminiumoxid, men då smältpunkten är hög, 2050°C, är det i praktiken omöjligt att utföra elektrolysen direkt på oxiden. Den löses i stället i en saltsmälta av aluminiumfluorid (AlF₃) och kryolit (Na₃AlF₆). Smältans temperatur är ca 960°C och halten aluminiumoxid i smältan hålls vid 3–6%.

Vid elektrolysen sönderdelas aluminiumoxiden till aluminiummetall och syre enligt formeln:



Den likström som krävs för processen tillförs genom anoderna, som består av stora kolblock som ligger nära smältbadets yta. Under elektrolysens gång förbrukas kolblocken genom att oxidens syrejoner reagerar med kolet och bildar koloxider. Aluminiumjonerna vandrar mot katoden, ett kolblock i ugnens botten. Den flytande metallen har högre densitet än saltsmältan och samlas på ugnens botten. Metallen sugs upp med hjälp av undertryck till en tappskänk. Den elektriska spänningen mellan anod och katod är ca 4,5 V, medan strömstyrkan är 80–600 kA per ugn, beroende på ugnstorlek.

Från tappskänken överförs den flytande metallen till uppsamlingsugnar för slutlig framställning av göt och tackor i olika former och dimensioner. Göten är avpassade för den fortsatta bearbetningen till halvfabrikat.

Vid Hall-Héroult-processen framställs primäraluminium med en renhetsgrad på minst 99,5%. De rester av järn och kisel som finns kvar i metallen accepteras oftast. Högre renhet kan nås genom ytterligare elektrolysförfarande (99,95–99,99%) eller zonsmältning (99,9999%). Vid elektrolysverkens gjuterier framställs också ett flertal aluminiumlegeringar genom tillsats av olika legeringsämnen enligt kundens specifikation.

Elektrolysu gn

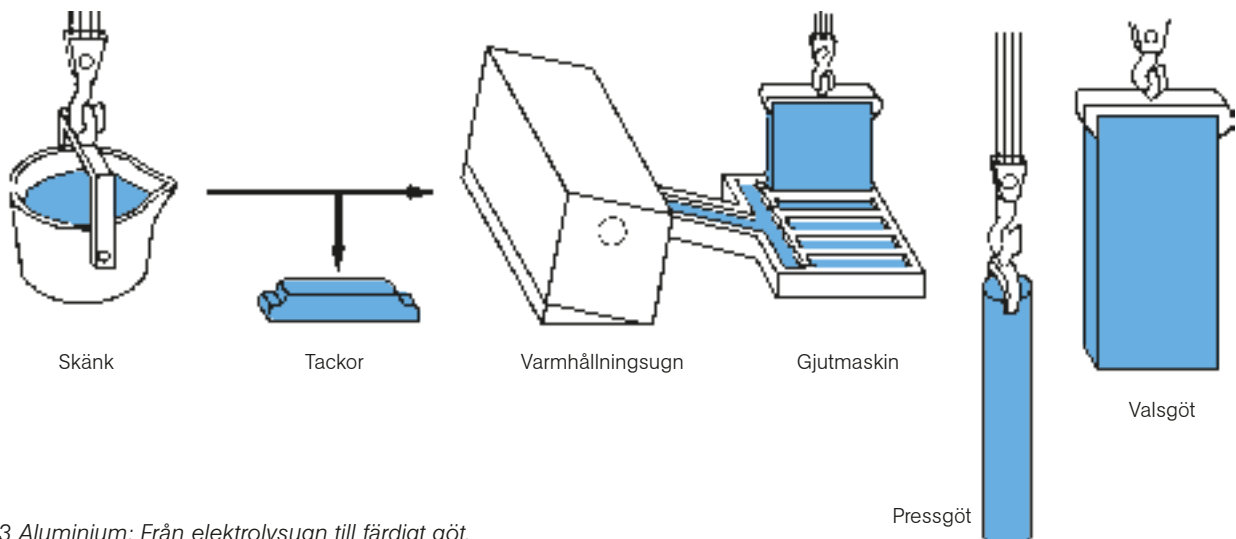
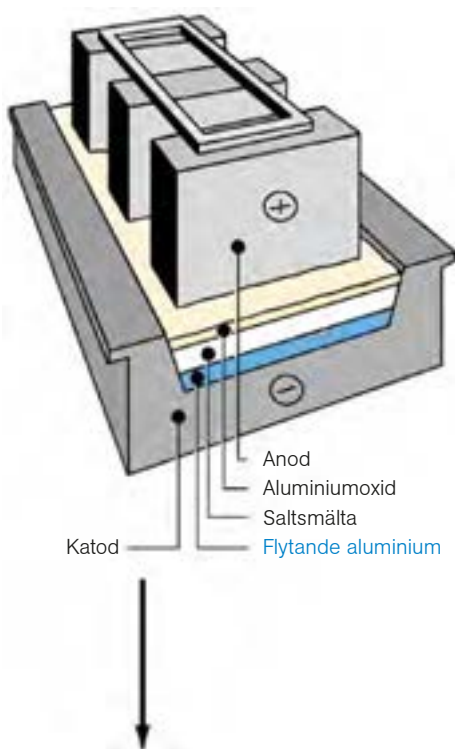


Fig 2.3 Aluminium: Från elektrolysu gn till färdigt göt.



Fig 2.4 Elektrolyshall hos Kubal AB i Sundsvall.

Tabell 2.1 Råvaror till elektrolysisprocessen

| Råvara | Åtgång till 1 ton aluminium |
|---|-----------------------------|
| Aluminiumoxid, Al ₂ O ₃ | 1900 kg |
| Elektrisk energi | 13 000 kWh |
| Kolmaterial för anoder | 400–420 kg |
| Elektrolytmaterial | 15–20 kg |

Smältelektrolysen kräver, beroende på ugnstyp, mellan 13 000 och 17 500 kWh el-energi för framställning av ett ton aluminium.

2.2.3 Miljöprocesser

Hall-Héroult-processen utvecklas kontinuerligt för att minska energi-åtgången och utsläppen av koldioxid och andra växthusgaser. Försök att ta fram helt andra metoder för framställning av aluminium har gjorts och pågår alltjämt.

En ny miljövänlig process, Elysis, för framställning av CO₂-fritt aluminium utvecklas i dag (2019). Den producerar förutom aluminiummetall enbart syrgas och ersätter alla utsläpp av växthusgaser från den traditionella elektrolysisprocessen. I dag finns dock ingen process som kan konkurrera med Hall-Héroult-metoden ekonomiskt.

2.3 Återvunnet aluminium

Aluminium kan lätt återvinnas. Omsmältningen kräver endast ca 5% av den energi som åtgår för framställning av primär-aluminium.

Cirka en tredjedel av världsproduktionen av aluminium utgörs av omsmält metall (sekundär-aluminium), som framställs ur skrot. Varken i svensk eller utländsk standard, undantaget gjutlegeringar, skiljer man på omsmält metall och primär-aluminium.

Råvarorna för framställning av sekundär-aluminium utgörs av olika typer av skrot. Dels klipp-, stans-, fräs- och svarvspån, som erhålls vid nyttillverkning av aluminiumföremål, dels uttjänta aluminiumprodukter som t.ex returburkar, gamla bildelar och bruksföremål.

I omsmältverken förbehandlas aluminiumskrotet och smälts därefter. Smältan behandlas i regel med flussmedel och ibland även med klorgas. Detta ger högt metallutbyte och hög renhet hos metallen. Större delen av den omsmälta metallen används inom gjuteriindustrin, men andelen omsmält metall för profiler, plåt och band ökar. Andra användningsområden för omsmält aluminium är som desoxidationsmetall i stålverken för att ta bort syre och oxidrester ur stålet samt i legeringsverk för framställning av högvärdiga ferrolegeringar i aluminotermska processer.

Generellt gäller att egenskaperna hos primärlegeringar är något bättre än hos legeringar framställda ur återvunnet material, det vill säga sekundärlegeringar. Primärlegeringar används främst där segheten är av speciellt stor betydelse, t.ex inom flyg- och fordonsindustrin.

Värt att notera är att dryckesburkarna ingår i ett eget kretslopp skilt från övrig skrothantering. Av återvunna dryckesburkar tillverkas ofta aluminiumband för framställning av nya burkar.

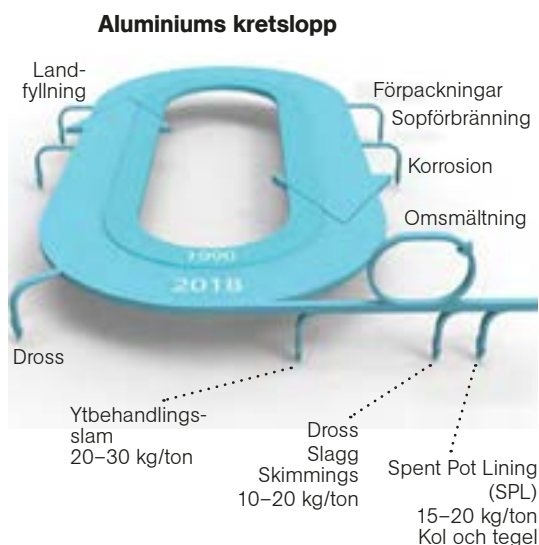


Fig 2.5 Aluminiumskrot är en viktig resurs, som används för omsmältning och som ingår i ett effektivt kretslopp.

Framställning av halvfabrikat

3.1 Valsgöt och pressgöt

Den smälta aluminiummetallen gjuts till göt i olika dimensioner och former. Valsgöt har rektangulärt tvärsnitt och är utgångsmaterial vid valsning av plåt och band. Pressgöt med cirkulärt tvärsnitt används vid profilpressning.

Göten behandlas på olika sätt beroende på tillverkningsprocess, legering och krav på det slutliga halvfabrikatet. Då kraven är höga på ytegenskaperna hos den plåt eller de band som ska tillverkas tas normalt "gjuthuden" på valsgöten bort genom fräsning.

Göt av vissa legeringar värmebehandlas, *homogeniseras*, bl.a för att utjämna legeringsämnenas koncentrationsskillnader och därmed förbättra såväl bearbetbarheten som slutproduktens hållfasthet och formbarhet.

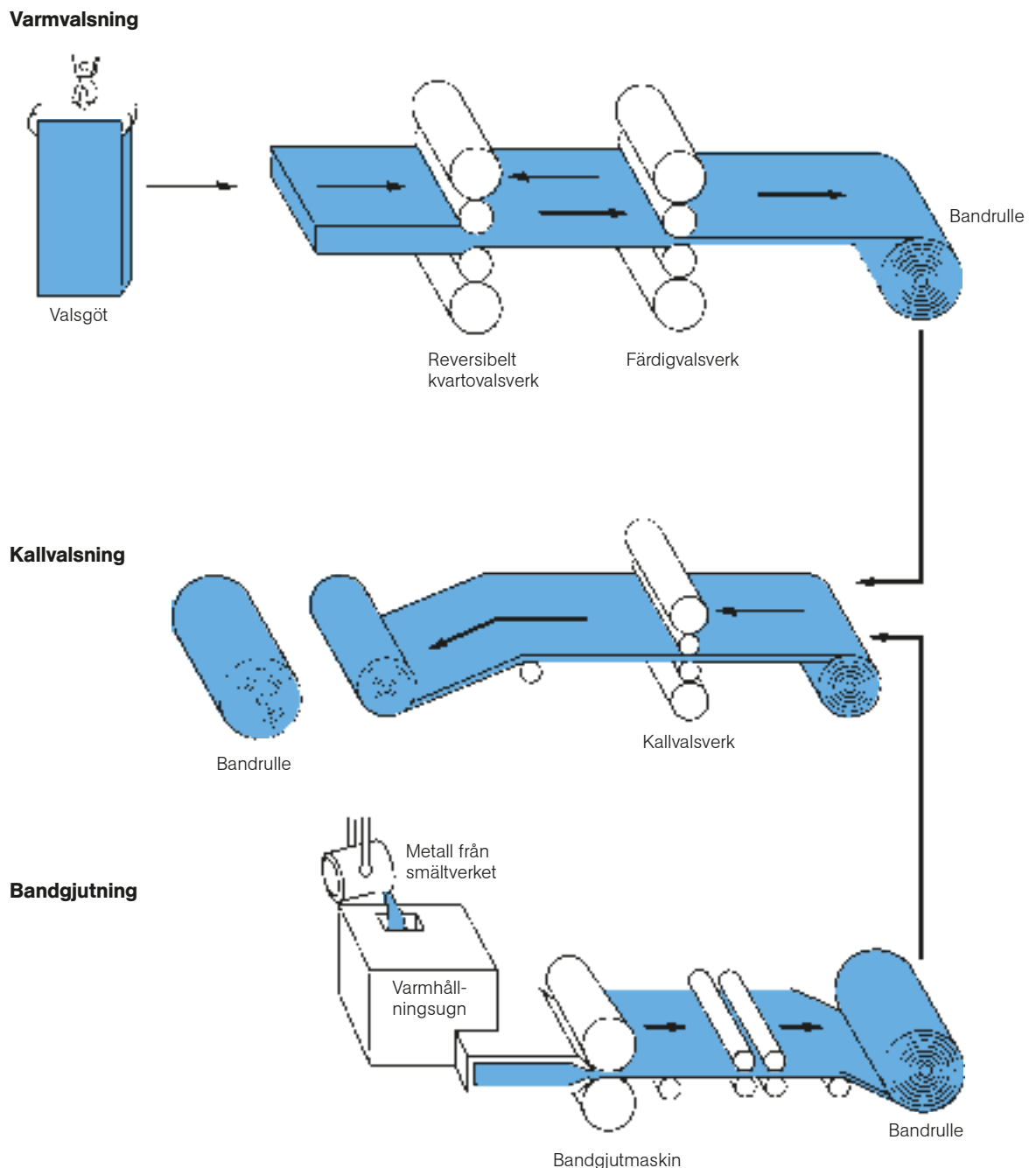


Fig 3.1 Plåt och band framställs ur valsgöt genom varmvalsning och efterföljande kallvalsning. Alternativt kan plåten och banden framställas genom bandgjutning och kallvalsning.



Fig 3.2 Varmvalsning av aluminium.



Fig 3.3 Kallvalsade aluminiumband.

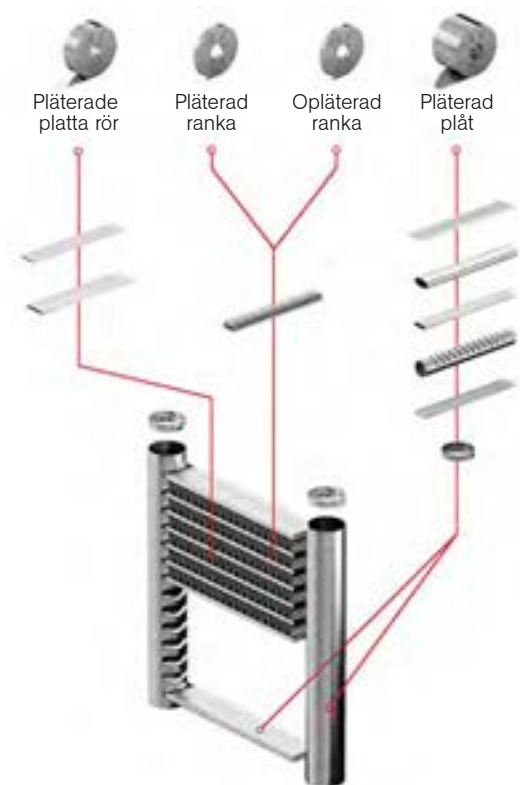


Fig 3.4 Olika typer av band för uppbyggnad av en kylare.



Fig 3.4 Pläterade och slittade band för kylare.

3.2 Plåt och band

3.2.1 Varmvalsning och kallvalsning

Plåt och band tillverkas vanligen genom varmvalsning och efterföljande kallvalsning, fig 3.1–3.3.

Varmvalsning startar normalt i temperaturområdet 450–550°C. Tjockleksreduktionen uppnås genom att valsgötet upprepade gånger får passera genom öppningen (valsspalten) mellan valsverkets arbetsvalsar, samtidigt som spalten för varje passage (stick) minskar tills önskad sluttjocklek uppnåtts. Under nedvalsningen ombildas valsgötets gjutstruktur till en bearbetad struktur.

Efter varmvalsning följer oftast kallvalsning. Denna ger förutom en fortsatt minskning av tjockleken, även förbättrade ytegenskaper, snävare dimensionstoleranser och högre hållfasthet. Under kallvalsningen *deformationshårdnar* materialet, vilket kan medföra behov av mellanglödning så att hårdheten minskar inför den fortsatta valsningen. Mellanglödningen kan också syfta till att uppnå önskade egenskaper hos slutprodukten.

Mönstervalsad plåt erhålls med graverade valsar. Olika typer av mönster framställs genom både varm- och kallvalsning, fig 3.4.

Pläterat material framställs genom att olika aluminiumlegeringar valsas ihop. Den yttre delen av plåten är oftast mycket tunnare.

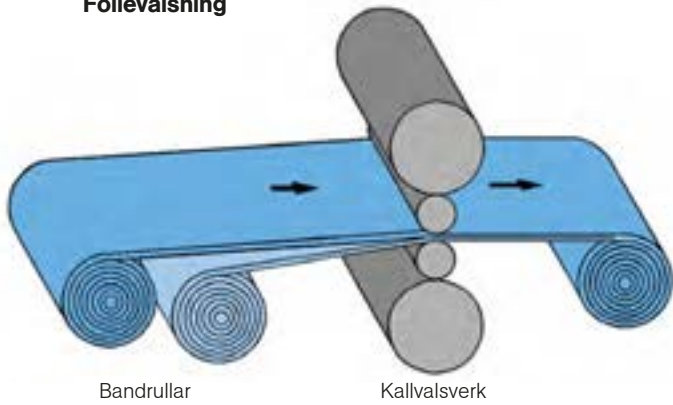
Värmebehandling av den färdigvalsade produkten utförs på material som ska levereras i mjukglödmat, härdat eller anlöpt tillstånd.

3.2.2 Bandgjutning

Plåt och band i vissa legeringar kan också framställas från kontinuerligt gjutna band, fig 3.1. Vid bandgjutningsprocessen använder man inte valsgöt som utgångsmaterial. Man utgår i stället från en metallsmälta som stelnar till ett band då den passerar genom spalten mellan två roterande vattenkylda valsar. Det gjutna bandet har en tjocklek av 3–6 mm och gjuts med en hastighet av ca 1 m/min.

Efter bandgjutningen kallvalsas bandet till färdig dimension. Homogenisering och mellanglödning kan också utföras på bandet.

Folievalsning



Separering och skärning av dubbelvalsad folie

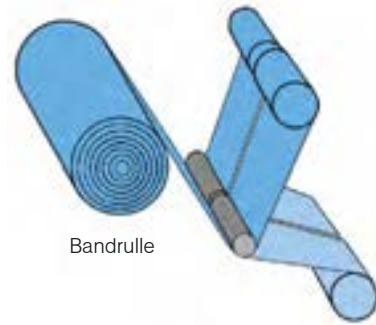


Fig 3.5 Dubbelvalsning av folie samt separering och skärning.

3.2.3 Folievalsning

Folie är benämningen på ett extremt tunt band. Den aluminiumfolie som används i förpackningsmaterial har vanligen en tjocklek av endast 0,006–0,009 mm (6–9 μm).

Folievalsningen sker i särskilt anpassade kallvalsverk, fig 3.5. Utgångsmaterialet är kallvalsade och mjukglödgate band, oftast med en tjocklek av 0,3–0,7 mm. Nedvalsningen sker genom upprepade stick mellan valsverkets valsar. I det avslutande valsningssticket dubbelvalsas folien, dvs två på varandra liggande folieband passerar samtidigt genom valsspalten. I nästa operation separeras de två folierna från varandra och hasplas upp på separata bandrullar. Härigenom får folien en blank och en matt sida.

Efter valsningen är folien hård och belagd med en tunn film av valsolja. För att få folien mjuk och formbar samt avlägsna valsoljan glödgas folierullarna vid 200–300°C under flera dygn.

Folien kan vidareförädlas på flera sätt. Lackering förbättrar korrosionsskyddet och tryckbarheten. Laminering mot papper, kartong eller plast ökar foliens användningsområden ytterligare, fig 3.6.

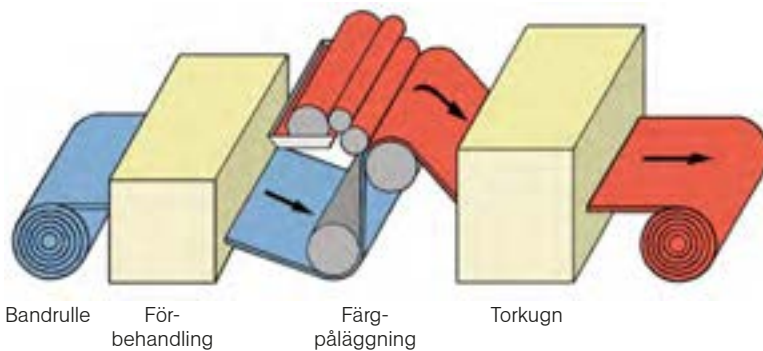


Fig 3.6 Folie används ofta till förpackningar. Här en sk blisterförpackning för läkemedel.

3.2.4 Bandlackering och rullformning

Kallvalsade band kan specialbehandlas på olika sätt. De kan t.ex lackeras och rullformas till tak- eller fasadplåt för byggnadsändamål, fig 3.7.

Bandlackering



Rullformning

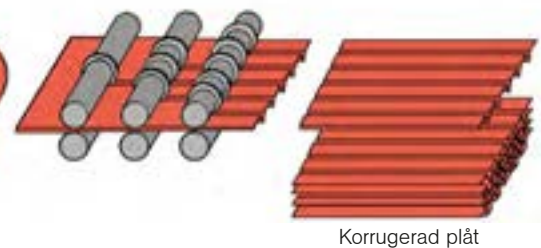


Fig 3.7 Bandlackering och rullformning.

3.3 Profiler, stång och rör

3.3.1 Profilpressning

Profilpressningstekniken är utomordentligt användbar för tillverkning av profiler, stång och rör, vilket har bidragit till aluminiums stora betydelse som konstruktionsmaterial, fig 3.8.

En profil, som är framställd genom pressning (extrudering, strängpressning), kan exakt anpassas för den avsedda funktionen. Godset placeras där det ur hållfasthetssynpunkt gör störst nytta. Profilen kan förses med skruvhål, anvisningar för gångleder, snäppningsklackar, spår för tätningsslistor mm. Den stora friheten i utformningen av profilers tvärsnitt för den avsedda användningen ger också låga kostnader för den efterföljande bearbetningen till färdig produkt.

Fig 3.9 visar principen för profilpressning. Det uppkapade pressgödet (pressämnet) värms till 450–500°C och placeras i pressens container. En hydrauliskt driven stämpel pressar ut det värmda ämnet genom ett pressverktyg (matris). Hålet i verktyget har den form som motsvarar den önskade profilens tvärsnitt.

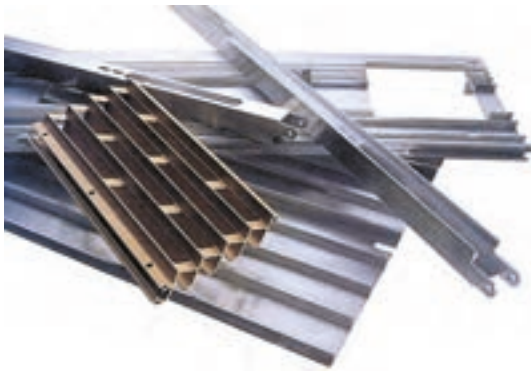


Fig 3.8 Aluminiumprofiler tillverkas i många former och färger.

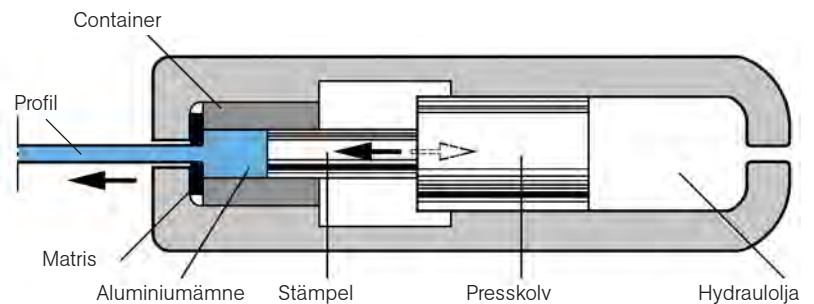


Fig 3.9 Principskiss av en profilpress.

Stora eller medelstora profiler pressas i verktyg med endast ett hål. Mindre profiler pressas med fördel i flerhåliga verktyg, upp till sexton hål kan förekomma.

Profiler brukar indelas i *massiva profiler* och *hålprofiler*. De massiva profilerna kräver mindre komplicerade verktyg än hålprofilerna och är därför enklare att tillverka.

Pressverktyg för massiva profiler

Ett pressverktyg för massiva profiler utgörs av en matris, dvs en skiva av verktygsstål med ett eller flera hål, som motsvarar den önskade profilens tvärsnitt, fig 3.10.

Pressverktyg för hålprofiler och rör

För tillverkning av hålprofiler och rör använder man ett flerdelat pressverktyg som består av en *matris*, som formar profilens ytterkontur och en *kärna*, som formar dess hål, fig 3.11. Kärnan går in i matrises öppning och hålls på plats i verktyget med hjälp av bryggor. Vid pressningen delar sig aluminiumämnet och flyter runt bryggorna för att sedan vällas ihop innan det pressas genom verktygsöppningen. Den

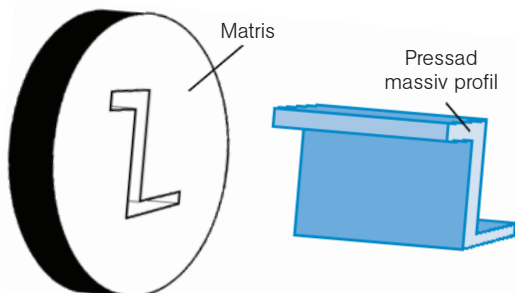


Fig 3.10 Verktyg (matris) för massiv profil.

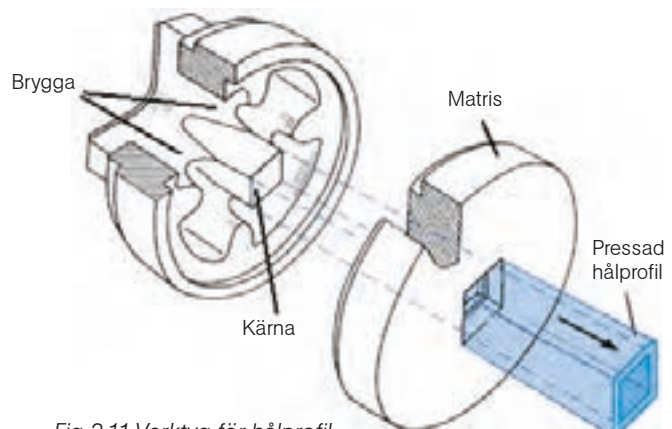


Fig 3.11 Verktyg för hålprofil.

pressade hålprofilen kommer härigenom att innehålla längsgående vållskarvar, som dock är mycket starka i jämförelse med t.ex smältsvetsar. Pressning med denna typ av verktyg används vanligen för låg- och medelhållfasta legeringar.

Rör i höghållfasta legeringar pressas ibland från hålade pressämnen i speciella pressar, varigenom rör helt fria från vållskarvar kan åstadkommas. Kärnan sitter i detta fall på presstämpeln och är inte inbyggd i verktyget.

Profildimensioner

Den största pressen i Sverige, Hydro Extrusion Sweden AB:s P5-press i Finspång, har en presskraft på 6 500 ton (65 MN). Önskar man större profiler kan detta ordnas antingen genom att svetsa ihop flera profiler i bredd med t.ex Friction Stir Welding (FSW) eller vända sig till en utländsk producent med större pressar än de svenska. Fördelarna med att pressa breda profiler framgår av fig 3.12.

Ett speciellt område för breda profiler är vagnskorgarna i järnvägs-vagnar. Även vid tillverkning av lastbilslämmar och -flak finns behov av speciellt breda profiler.

Två profiler fogade med snäppning



Pressad storprofil



Fig 3.12 Fördelarna är många med breda profiler.

3.4 Tråd

Tråd kan tillverkas enligt flera metoder. För olegerat aluminium dominerar kontinuerlig gjutning/valsning med efterföljande separat dragning. Tråd av legerat aluminium tillverkas vanligen genom varmvalsning av ämnen i särskilda trådvalsverk och efterföljande dragning till slutdimension. I vissa fall kan varmvalsningen ersättas av profilpressning. Användningsområden är bl.a till kraftledningslinor, svetsstråd och stängsel, fig 3.13.



Fig 3.13 Aluminiumtråd används bl.a för elektriska högspänningslinor och elkablar.



Aluminiums metallografi

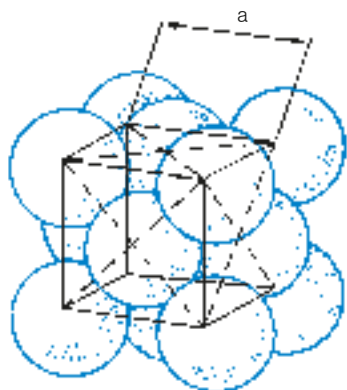


Fig 4.1 Uppbyggnad av aluminium, enhetscellen. $a = 0,4 \text{ nm}$.

4.1 Aluminiums uppbyggnad

Aluminium är ett kristallint ämne, precis som andra metaller. Det innebär bl.a att atomerna sitter i ett ordnat mönster, ett *gitter*. Aluminium har ett *kubiskt ytcentrerat* gitter (fcc-struktur), fig 4.1. Ett stort antal atomer i ett regelbundet mönster bildar kristallkornen. Inom varje korn har alla atomplan samma orientering. Atomgitter (kristallkorn) med olika orientering möts i korngränser, fig 4.2.

Fig 4.3 visar kornstrukturen hos glödgat aluminium. En vanlig korn-diameter är därvid 20–100 μm . I ett korn kan det finnas flera hundra miljarder "kuber" av den typ fig 4.1 visar. 1 mm^3 aluminium innehåller ca 10^{20} atomer.

Varje aluminiummaterial förekommer i olika *tillstånd*, dvs legeringen ges önskade egenskaper genom bearbetning och värmebehandling.

4.2 Kallbearbetning

Aluminium kan formas genom plastisk bearbetning, t.ex valsning, smidning, bockning, hydroformning eller profilpressning.

Vid kallbearbetning *deformationshårdnar* materialet. Fig 4.4 visar hur kornstrukturen från fig 4.3 förändras vid kallbearbetning. Kornen ändrar alltså sin form, vilket beror på att olika atomlager i det regelbundna atomgittret glider mot varandra. Glidningen underlättas genom rörelser hos *dislokationer* (felstaplingar), vilka förflyttar sig i olika riktningar på ett invecklat sätt. Fig 4.5 och 4.6 visar exempel på dislokationer.

Under deformationen av materialet bildas nya dislokationer. Allt eftersom dessa blir fler och fler hindrar de varandras rörelser och försvårar därigenom fortsatt deformation. Detta innebär att hållfastheten ökar.

Fig 4.7 visar ett exempel på hur hållfastheten förändras på grund av kallbearbetning. Vid ökande kallbearbetning stiger brottgränsen, (R_m) och sträckgränsen, ($R_{p0,2}$) medan brottförlängningen, (A) minskar.

Genom att välja lämplig storlek på kallbearbetningen (reduktionsgrad) kan materialet ges avsedd hållfasthet.

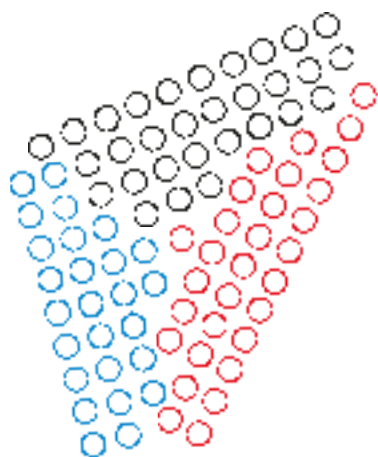


Fig 4.2 Korngränser. Atomgittret har olika orientering i olika korn. Området mellan kallas korngränser.

4.3 Mjukglödning

Ett material som kallbearbetats kan göras mjukt igen. Det sker genom *värmebehandling*, mjukglödning (rekristallisationsglödning). Efter en sådan värmebehandling får materialet tillbaka normal kornstruktur, vilket visas i fig 4.3. Materialet blir då åter lämpligt för formning.

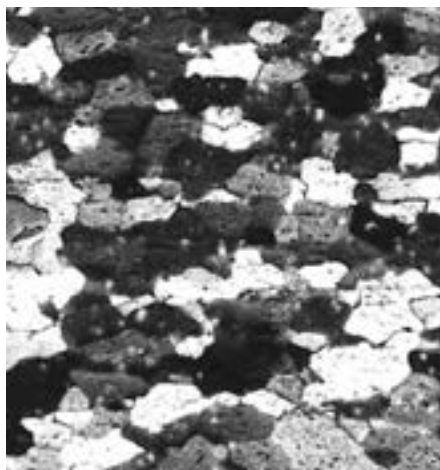


Fig 4.3 Kornstruktur i glödgat aluminium sett i ett ljusoptiskt mikroskop. För att göra kornstrukturen synlig används polariserat ljus på ett polerat och oxiderat prov, vilket ger kontrast mellan olika kristallriktningar. 1 cm på bilden motsvarar 20 μm .

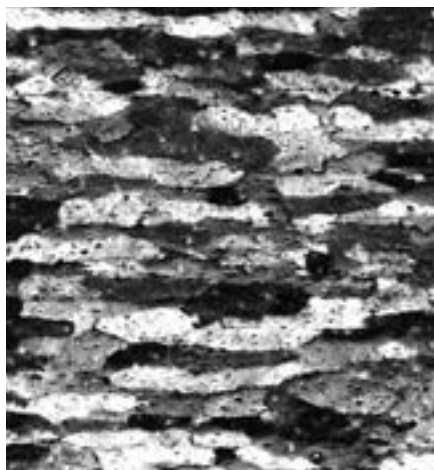


Fig 4.4 Kornstruktur hos aluminium som kallbearbetats efter glödning. Kornen har blivit utdragna i bearbetningsriktningen. Jämför med fig 4.3. 1 cm på bilden motsvarar 20 μm .

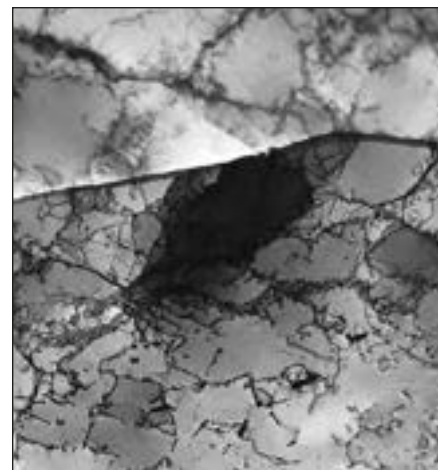


Fig 4.5 Bild från ett transmissionselektronmikroskop (TEM) i hög förstoring. Bilden visar en korngräns (tvärs över bilden) och dislokationer ordnade i ett cellmönster. Materialet är renaluminium. 1 cm på bilden motsvarar 1 μm .

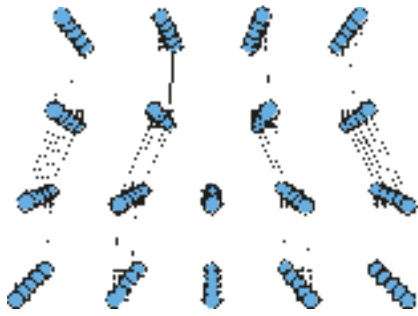


Fig 4.6 Dislokation (kantdislokation) i ett enkelt kubiskt gitter. Dislokationen är en störning i det annars regelbundna gittret. Plastisk deformation sker genom dislokationsrörelser och bildning av nya dislokationer.

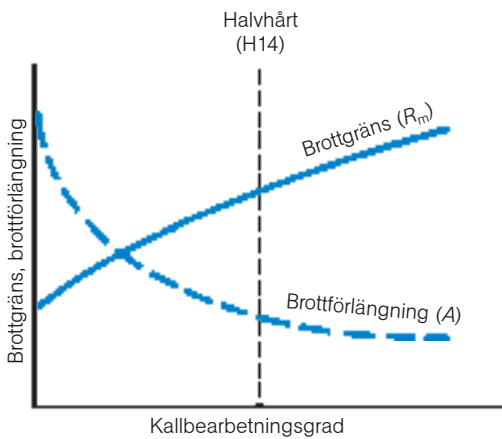


Fig 4.7 Kallbearbetningens inverkan på hållfastheten.

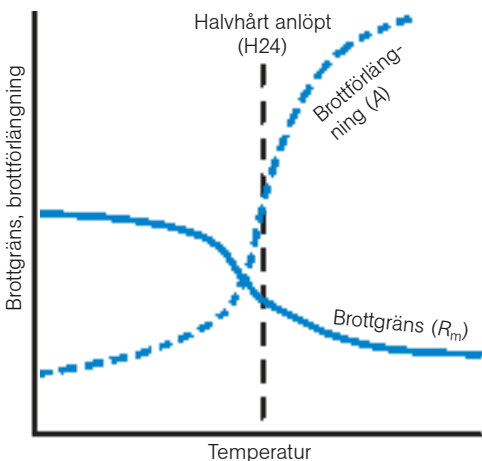


Fig 4.8 Temperaturens inverkan på hållfastheten.

Fig 4.8 visar hur man genom värmebehandling kan omvandla ett helhårt material till halvhårt tillstånd. Man väljer då en temperatur som är något lägre än för mjukglödning. Metoden kallas *anlöpning* och ger som resultat högre brottförångningsvärden än vad man uppnår för material som har kallbearbetats till samma brottgräns från glödgtat utgångstillstånd.

4.4 Legeringsämnen

Aluminium kan legeras med andra metaller och icke-metaller. Därigenom kan aluminiummaterialen ges mycket varierande egenskaper.

Järn (Fe) och kisel (Si) förekommer naturligt i aluminium från bauxiten och finns därför i praktiskt taget alla tekniskt använda aluminiummaterial. Aluminium som innehåller högst 1,0 viktprocent järn och kisel tillsammans kallas för *olegerat aluminium* eller *renaluminium*.

Olegerat aluminium har låg hållfasthet och har därför fått begränsad användning. Aluminium som legerats får däremot förhöjda mekaniska egenskaper och kan därför användas i många olika sammanhang.

Vanliga legeringsämnen, utöver järn och kisel, är magnesium (Mg), mangan (Mn), koppar (Cu) och zink (Zn).

4.5 Lösningshärdning

Hållfastheten kan ökas genom *lösningshärdning*, dvs genom legeringstillsetser bildas en sk *fast lösning* med aluminium.

De vanligaste legeringsämnena som ger lösningshärdning är mangan och magnesium. Fig 4.9 och 5.3 visar inverkan på atomstruktur och hållfasthet av en magnesiumtillsats. Magnesiumatomerna intar en del av aluminiumatomernas platser i gittret. Man kallar detta en "*fast lösning* av magnesium i aluminium". Fig 5.1 visar de vanligaste legeringsystemen för aluminium.

Även om denna typ av legering kallas för lösningshärdning så räknas legeringstypen inte in bland de härdbara legeringarna. Med härdbar menar man endast härdbar genom utskiljningshärdning.



Fig 4.9 Atomanordning i en fast lösning.

○ Aluminiumatom

● Legeringsatom t.ex magnesium eller mangan

4.6 Utskiljningshärdning

Hållfastheten hos vissa aluminiumlegeringar kan väsentligt höjas genom *utskiljningshärdning*.

Om aluminium legeras med några procent koppar till en halt som är högre än vad aluminium kan lösa vid rumstemperatur, får man inte den struktur som fig 4.9 visar, utan det bildas i stället genom värmebehandling *utskiljningar* i materialet, fig 4.10. Dessa består av mycket små partiklar av koppar och aluminium, (Al_2Cu), vilka har stor inverkan på hållfastheten. Denna ökas kraftigt därför att dessa små utskiljningar förhindrar dislokationernas rörelse.

Aluminium-koppar är exempel på en utskiljningshärdande eller *härdbar legering*. Den vanligaste härdbara typen är dock aluminium-magnesium-kisel ($AlMgSi$), där utskiljningarna består av magnesium och kisel (Mg_2Si).

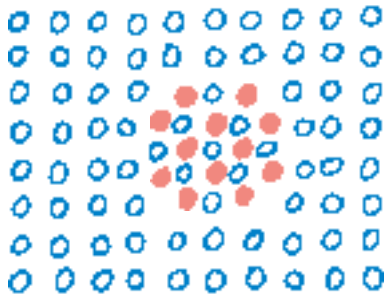


Fig 4.10 Utskiljning efter härdning.
 ○ Aluminiumatom
 ● Legeringsatom, t.ex koppar

Härdningen erhålls genom värmebehandling i tre steg, *upplösning*, *kontrollerad kylning* och *åldring*. Upplösningen innebär att materialet värms till 465–530°C, beroende på legering. Då löses tidigare utskilda faser upp och går i fast lösning. Lösligheten ökar när temperaturen höjs varför högre upplösningstemperatur krävs vid ökad legeringshalt, fig 4.11. Upplösningen avslutas med en snabb kylning i vatten, vattendimma eller luft. Därefter vidtar åldringen, under vilken de härdande utskiljningarna bildas och växer till.

Åldringen kan utföras på två sätt, kallåldring eller varmåldring. När utskiljningsförloppet sker vid rumstemperatur talar man om *kallåldring*.

Sker åldringen vid förhöjd temperatur talar man om *varmåldring*. Denna utförs vid 120–200°C beroende på legering. Vid varmåldring uppnås högre hållfasthet än vid kallåldring. Fig 4.12 visar utskiljningar i en AlMgSi-legering som varmåldrats.

Fig 4.13 ger några exempel på hur hållfastheten påverkas av temperatur och tid vid kall- och varmåldring av AlMgSi-legeringar.

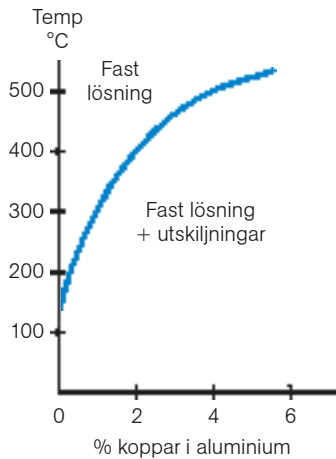


Fig 4.11 Principbild som visar att lösligheten av koppar i aluminium ökar med temperaturen.

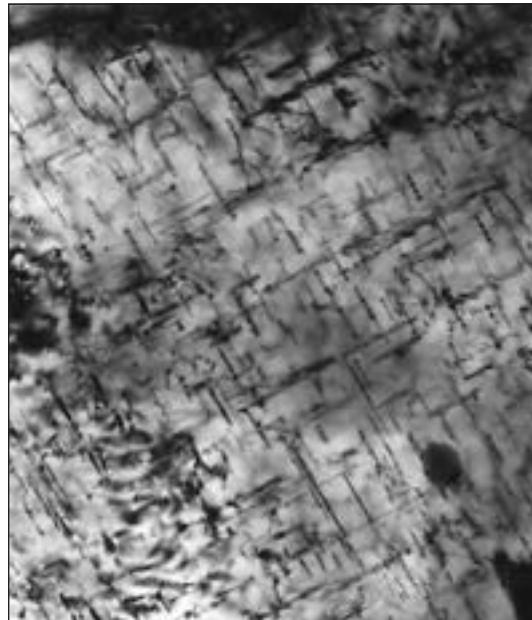


Fig 4.12 Utskiljningar av nålformade Mg_2Si -partiklar i en AlMgSi-legering efter varmåldring. Bilden är tagen i ett transmissionselektronmikroskop (TEM). 1 cm på bilden motsvarar 0,25 μm .

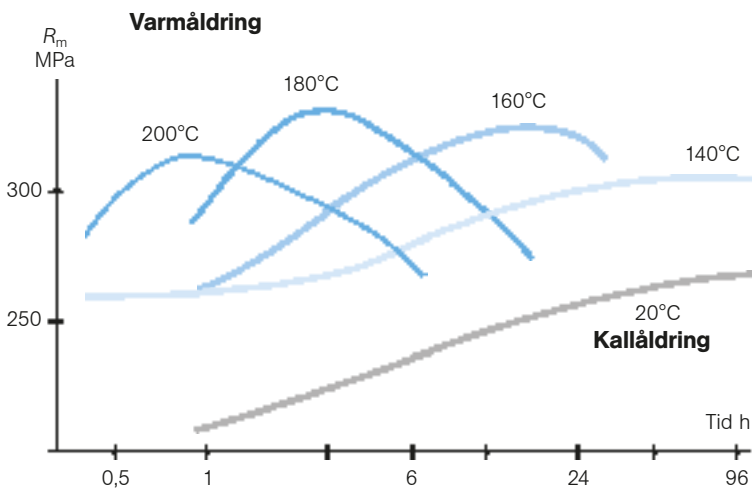


Fig 4.13 Inverkan av temperatur och tid vid åldring av en AlMgSi-legering.

Aluminiumlegeringar

ISO = International Organization for Standardization
 CEN = European Committee for Standardization
 EAA = European Aluminium (branschorganisation)
 AA = Aluminum¹⁾ Association (branschorgan i USA)
 EN = Europastandard
 SS = Svensk Standard
 SIS = Standardiseringskommissionen i Sverige

1) "Aluminum" är amerikansk stavning på aluminium.

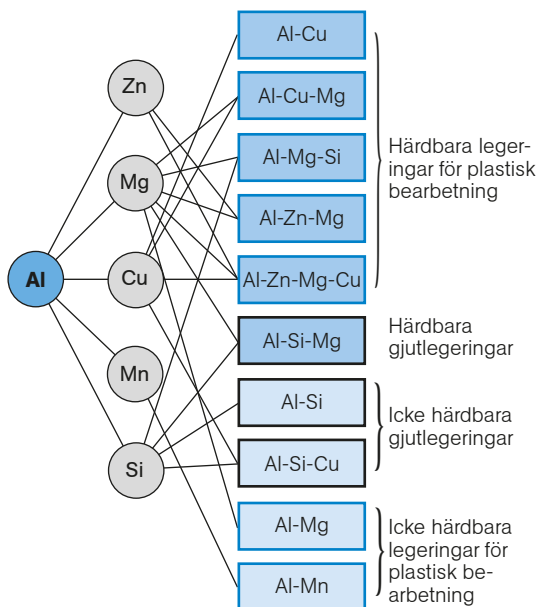


Fig 5.1 De vanligaste legeringssystemen för aluminiummaterial.

Wrought alloy (AW) = Legering för plastisk bearbetning (plastisk legering)

Tabell 5.1 Huvudlegeringsämnen i aluminiumlegeringar enligt SS-EN¹⁾

| | |
|---------|-------------------------|
| 1xxx(x) | Olegerat (renaluminium) |
| 2xxx(x) | Koppar |
| 3xxx(x) | Mangan |
| 4xxx(x) | Kisel |
| 5xxx(x) | Magnesium |
| 6xxx(x) | Kisel + Magnesium |
| 7xxx(x) | Zink |
| 8xxx(x) | Övrigt |

1) 4 siffror används för legeringar för plastisk bearbetning och 5 siffror för gjutlegeringar

I onlinebiblioteket SIS Abonnement, www.sis.se, hittar man fler än 70 000 standarder, inom bl.a området Materialteknik. Där får man information om det mesta inom metall- och svetsteknik och tillgång till den senaste standardversionen. Tjänsten "Materialnyckeln – Jämförelser mellan metalliska material" är ett utmärkt verktyg för att göra översättningar mellan gamla och nya beteckningar för metalliska material i Sverige och hitta likvärdiga material i bl.a Kina, Japan, USA och Ryssland. Materialnyckeln uppdateras kontinuerligt med nya standarder och nya reviderade utgåvor av standarder som publicerats den senaste tiden.

5.1 Legeringsbeteckningar

Europeisk standard (EN) inom områdena obehandlade, bearbetade och gjutna produkter av aluminium och aluminiumlegeringar utarbetas och fastställs av CEN och dess kommitté CEN/TC 132. Man behandlar tillståndsbeteckningar, termer och definitioner, materialspecifikationer, tekniska leveransvillkor, dimensioner och toleranser samt provningsmetoder. Beteckningssystemen inom EN är olika för material som aluminium, koppar, stål, gjutjärn, zink och magnesium. I Sverige har europastandarden beteckningen SS-EN.

5.1.1 Aluminiumstandardisering

För aluminium finns två beteckningssystem, ett *numeriskt* och ett *beskrivande*. Det numeriska bygger på ett välbekant amerikanskt system från AA, medan det beskrivande bygger på materialets kemiska sammansättning. Båda systemen används parallellt. Det numeriska betraktas som huvudsystem, medan det beskrivande används för att ge tilläggsinformation. Utöver systemen för legeringsbeteckningar finns ett särskilt system för tillståndsbeteckningar.

5.1.2 Numeriskt beteckningssystem

Numeriska beteckningar för aluminiummaterial t.ex SS-EN AW-6063 eller SS-EN AC-42000 består av tre delar:

| SS-EN | AW-AB- | 6063 42000 |
|----------------------|---|------------------------------------|
| SS = Svensk Standard | A = Aluminium | Legeringsnummer: |
| EN = Europastandard | W = Legeringar för plastisk bearbetning | 4 siffror för plastiska legeringar |
| | B = Gjutlegeringar (i tackor) | 5 siffror för gjutlegeringar |

I det numeriska systemet anger den första siffran (6xxx resp. 4xxxx) huvudlegeringsämnet i materialet, se tabell 5.1. När en gjutlegering AB i tacka har gjutits till en komponent benämns gjutgodset i stället AC.

5.1.3 Beskrivande beteckningssystem

De beskrivande beteckningarna används som tillägg till de numeriska och anges inom hakparenteser []. Denna upplysning anges inte alltid.

Olegerat aluminium

Beteckningen består av Al följt av aluminiumhalten i procent, angiven med en eller två decimaler, t.ex [Al99,7] i SS-EN AW-1070A[Al99,7].

Legerat aluminium

Beteckningen består av Al följt av de kemiska symbolerna för de vanligaste legeringsämnena i fallande ordning efter legeringshalt, t.ex SS-EN AW-7020[AlZn4,5Mg1].

5.2 Tillståndsbeteckningar

Aluminiummaterial beskrivs förutom av legeringsbeteckningen också av en *tillståndsbeteckning*. Exemplet visar systemets uppbyggnad.

SS-EN AW-5052[AlMg2,5]-H24
 | Norm | Legeringsbeteckning | Tillstånd

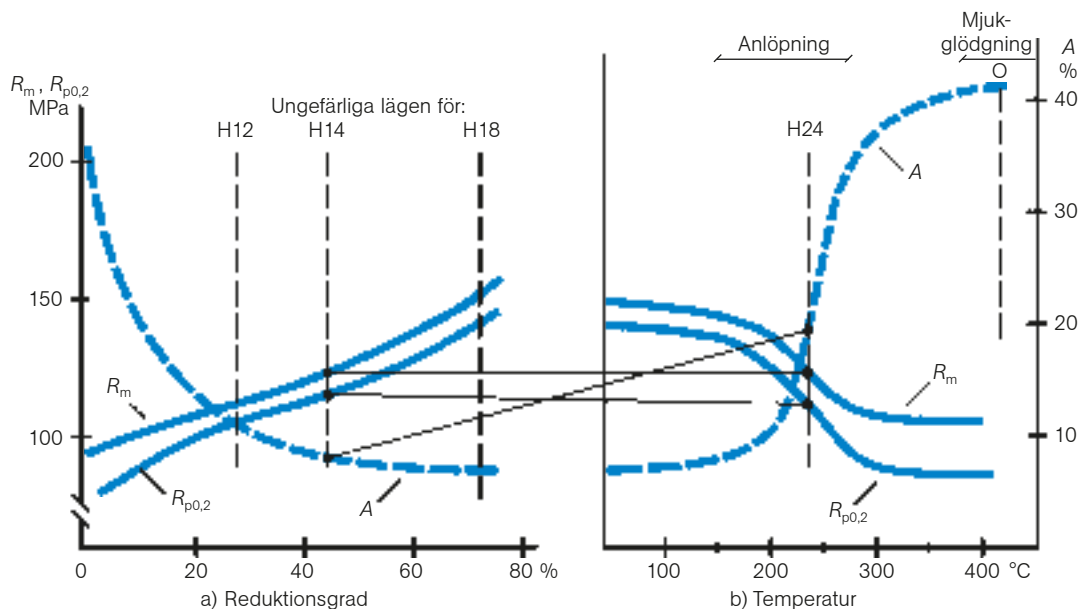


Fig 5.2 Inverkan av kallbearbetning (a) samt anlöpning och mjukglödning (b) på hållfastheten hos Al99,5 (AW-1050A). Figuren ger ungefärliga lägen av reduktionsgrad och temperatur för olika materialtillstånd. De linjer som förbinder punkter i de två diagrammen visar den principiella skillnaden i hållfasthet mellan tillstånd som erhållits genom enbart kallbearbetning (H14) och genom kallbearbetning + anlöpning (H24).

Tabell 5.2 Tillståndsbeteckningar

| | |
|---|--|
| F | Fabrikationstillstånd, "as fabricated" |
| O | Glödगत |
| H | Härdbearbetat |
| W | Upplösningsbehandlat |
| T | Värmebehandlat genom härdning |

Alla tillståndssiffror anges i standarden SS-EN 515:2017, "Aluminium och aluminiumlegeringar - Plastiskt bearbetade produkter - Tillståndsbeteckningar".

Tabell 5.3 Krav på brottgränssökning vid övergång från O till Hx8-tillstånd

| $R_{m, \min}$ i O-tillstånd MPa | Ökning i R_m till Hx8-tillstånd MPa |
|---------------------------------------|---|
| <40 | 55 |
| 45- 60 | 65 |
| 65- 80 | 75 |
| 85-100 | 85 |
| 105-120 | 90 |
| 125-160 | 95 |
| 165-200 | 100 |
| 205-240 | 105 |
| 245-280 | 110 |
| 285-320 | 115 |
| >325 | 120 |

5.2.1 Grundläggande tillstånd

Det finns fem grundläggande materialtillstånd. Beteckningarna för dessa utgörs av bokstäver, tabell 5.2.

Efter dessa bokstäver kan för vissa tillstånd upp till fem siffror anges beroende på hur materialet har behandlats.

F-tillståndet innebär att materialet har tagits direkt från en formningsprocess, t.ex smidning eller varmvalsning eller att det är gjutet och obearbetat. Inga krav på mekaniska egenskaper finns därvid.

O-tillståndet innebär att materialet har glödगत för att få lägsta hållfasthet. Beteckningen O kan följas av en siffra för att ange speciella värmebehandlingar, men detta görs sällan.

H-tillståndet innebär att materialet har kallbearbetats efter F- eller O-tillståndet för att erhålla specificerade hållfasthetsvärden. Kallbearbetningen kan åtföljas av värmebehandling sk *anlöpning*. Beteckningen H följs av minst två siffror för att ange bl.a hållfasthetsnivå. H-tillståndet kan bara användas på icke härdbara legeringar.

W-tillståndet innebär att materialet har upplösts och kallåldrats så kort tid att tillståndet icke är stabilt. Beteckningen W följs av kallåldringstiden i timmar. Denna tillståndsbeteckning används sällan.

T-tillståndet innebär att materialet har genomgått fullständig härdning innehållande upplösning och åldring (kall- eller varmåldring) för att erhålla avsedd hållfasthet. Värmebehandlingen kan kombineras med kallbearbetning. Beteckningen T följs alltid av minst en siffra. T-tillståndet kan bara användas på härdbara legeringar.

5.2.2 Härdbearbetade tillstånd

H-tillstånd anges alltid med minst två tilläggs-siffror, Hxy. En tredje siffra kan förekomma i vissa fall. x och y har följande betydelse:

Indelning av H-tillståndens första siffra (x)

- H1y Enbart härdbearbetat
t.ex kallvalsat från glödगत tillstånd. Ingen ytterligare värmebehandling.
- H2y Härdbearbetat och anlöpt
- H3y Härdbearbetat och stabiliseringsbehandlat
Stabilisering är en värmebehandling med tillämpning på AlMg-legeringar
- H4y Härdbearbetat och lackerat

H1y och H2y är de vanligaste H-tillstånden.

Indelning av H-tillståndens andra siffra (y)

Den andra siffran anger hållfasthetsnivå efter härdbearbetning och eventuell anlöpning. Definitionen för indelningen i delhärda tillstånd har ändrats från att ha varit beroende av reduktionsgrad till ett system utgående från minimibrottnivån i glödगत tillstånd. Den andra siffran anger den slutliga graden av härdbearbetning som bestäms utifrån minimivärdet på brottgränsen enligt följande:

| | |
|-----|--------------------------|
| Hx2 | Kvartshårt (1/4-hårt) |
| Hx4 | Halvhårt (1/2-hårt) |
| Hx6 | Trekvartshårt (3/4-hårt) |
| Hx8 | Helhårt (1/1-hårt) |
| Hx9 | Extra hårt |

– Siffran 8 används för det hårdaste tillstånd som normalt tillverkas. Minimibrottnivån för tillstånden Hx8 kan utläsas ur tabell 5.3.

Tillstånd mellan O (glödgat) och Hx8 (helhårt) betecknas med siffrorna 1–7.

– Siffran 4 betecknar ett tillstånd som ligger ungefär mitt emellan det för tillstånd O och det för tillstånd Hx8. Siffran 2 betecknar således ett tillstånd som ligger ungefär mitt emellan tillstånd O och Hx4.

– Siffran 9 betecknar tillstånd vars minimibrottnivå överstiger den för tillstånd Hx8 med minst 10 MPa.

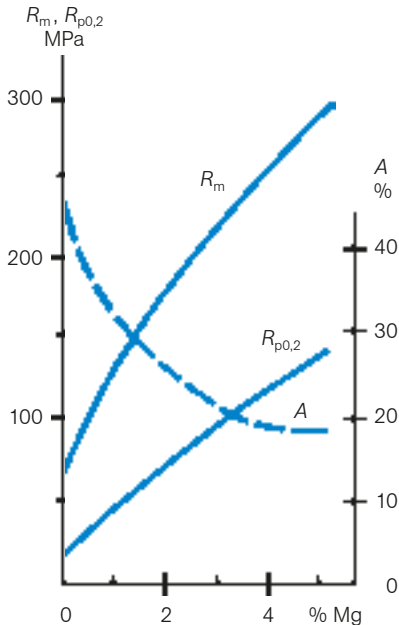


Fig 5.3 Magnesiumhaltens inverkan på hållfastheten hos en aluminiumlegering i mjukglödgat tillstånd.

5.2.3 Härdade tillstånd

T-tillstånden anges alltid med minst en tilläggsiffra Tx.

Indelning av T-tillståndens första siffra (x)

| Tx | Härdat |
|-----|---|
| T1 | Kylt från varmbearbetning och kallåldrat |
| T2 | Kylt från varmbearbetning, kallbearbetat och kallåldrat |
| T3 | Upplöst, kallbearbetat och kallåldrat |
| T4 | Upplöst och kallåldrat |
| T5 | Kylt från varmbearbetning och varmåldrat |
| T6 | Upplöst och varmåldrat |
| T7 | Upplöst och överåldrat |
| T8 | Upplöst, kallbearbetat och varmåldrat |
| T9 | Upplöst, varmåldrat och kallbearbetat |
| T10 | Kylt från en temperaturformande process, kallbearbetat och sedan varmåldrat |

De vanligast använda tillstånden är T4, T5 och T6. En eller flera siffror kan läggas till efter den första för operationer som påverkar materialets egenskaper. Upp till fem siffror kan förekomma.

5.3 Legeringar för plastisk bearbetning

Alla legeringar för plastisk bearbetning kan användas för både valsning och profilpressning. För valsat material är det vanligast med icke hårdbara legeringar (3xxx och 5xxx). Pressade profiler däremot görs oftast av hårdbara legeringar och då företrädesvis av AlMgSi (6xxx).

5.3.1 Icke hårdbara legeringar

Vid smältelektrolys kan man, med användande av renaste råvaror, uppnå en renhetsgrad på högst 99,9% aluminium. För högre renhet raffinerar man utvunnet aluminium i en andra elektrolysomgång. Man får då aluminium med en renhet på 99,998%, som bl.a används för elektriska ändamål i t.ex elektrolytkondensatorer. På kemisk eller elektrolytisk väg kan man på detta högrena aluminium åstadkomma spegelblanka ytor utan mekanisk polering. Det används då som beläggningsmaterial på t.ex bilstrålkastarreflektorer eller speglar.

I olegerat aluminium (renaluminium) finns ett naturligt innehåll av järn och kisel. Halterna av dessa måste avpassas för att ge materialet önskade egenskaper och får sammantaget ej överskrida 1%. Renaluminium marknadsförs med garanterade minimihalter av aluminium t.ex Al99,7, Al99,5 och Al99,0. Hållfastheten hos Al99,5 i mjukglödgat tillstånd är låg. Materialet hårdnar genom kallbearbetning. Fig 5.2 visar hur hållfastheten hos renaluminium ändras med reduktionsgraden.

De flesta icke hårdbara legeringar innehåller tillsatser av mangan och/eller magnesium. Hållfastheten ökar med ökande legeringstillägg, fig 5.3. Den kan också ökas genom kallbearbetning, t.ex kallvalsning.

5.3.2 Hårdbara legeringar

De hårdbara legeringarna innehåller ett eller flera tillsatta ämnen som är valda så att hållfasthetsökning uppnås genom utskilningshärdning. Förutsättningen för att en legering ska kunna hårdas är att de tillsatta ämnens löslighet i aluminiumgittret varierar med temperaturen.

Det finns tre olika typer av hårdbara legeringar:

- Aluminium-koppar Utskilningar av: Al₂Cu
- Aluminium-kisel-magnesium Utskilningar av: Mg₂Si
- Aluminium-zink-magnesium Utskilningar av: Zn₂Mg

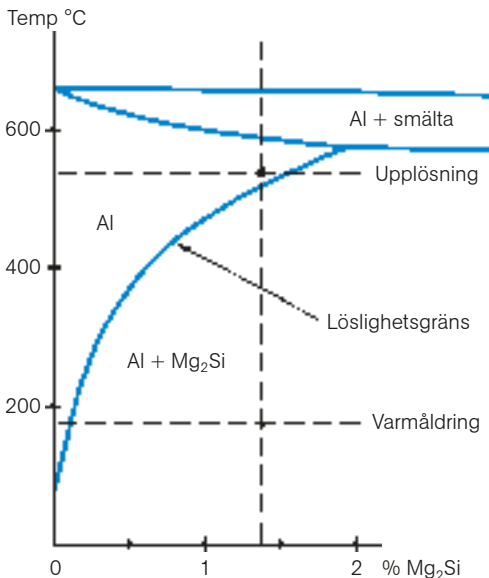


Fig 5.4 Fasdiagram för AlMgSi-legeringar. Figuren visar att i en legering med ca 1,4% Mg₂Si är allt Mg₂Si fullständigt upplöst i temperaturområdet 525–585°C. Över detta område börjar legeringen smälta och under 525°C utskiljs Mg₂Si-partiklar. Temperaturer för upplösning och varmåldring är markerade (gäller för legeringen AW-6082).

5.3.3 Sammansättning för plastiska legeringar

I den svenska standarden SS-EN 573-3:2013 avseende legeringar för plastisk bearbetning ingår drygt 170 aluminiumlegeringar. Nedan anges den nominella sammansättningen för några av dessa. För fullständiga uppgifter hänvisas till standarden.

Tabell 5.4 Kemisk sammansättning för några SS-EN normerade plastiska aluminiumlegeringar

| Beteckning enligt SS-EN | Nominell sammansättning | | | | | | | | | Anm |
|---------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|-----|------|-----|------|------|-----|-------|
| | Al | Si ¹⁾ | Fe ¹⁾ | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | | |
| Icke härdbara legeringar | | | | | | | | | | |
| AW-1070A | Al99,7 | 99,7 | - | - | - | - | - | - | - | 2) |
| AW-1050A | Al99,5(A) | 99,5 | - | - | - | - | - | - | - | 2) |
| AW-1350 | E-Al99,5 | 99,5 | - | - | - | - | - | - | - | 2) 3) |
| AW-1200 | Al99,0 | 99,0 | - | - | - | - | - | - | - | 2) |
| AW-3103 | AlMn1 | rest | - | - | - | 1,2 | - | - | - | |
| AW-3003 | AlMn1Cu | rest | - | - | 0,1 | 1,3 | - | - | - | |
| AW-3005 | AlMn1Mg0,5 | rest | - | - | - | 1,3 | 0,4 | - | - | |
| AW-3004 | AlMn1Mg1 | rest | - | - | - | 1,2 | 1,0 | - | - | |
| AW-4015 | AlSi2Mn | rest | 1,8 | - | - | 0,9 | 0,3 | - | - | |
| AW-4016 | AlSi2MnZn | rest | 1,8 | - | - | 0,9 | - | - | 0,9 | |
| AW-4017 | AlSi1,5MnCuMg | rest | 1,5 | - | 0,3 | 0,9 | 0,3 | - | - | |
| AW-4045 | AlSi10 | rest | 10 | - | - | - | - | - | - | 4) |
| AW-5005 | AlMg1 | rest | - | - | - | - | 0,8 | - | - | |
| AW-5049 | AlMg2Mn0,8 | rest | - | - | - | 0,8 | 2,0 | - | - | |
| AW-5052 | AlMg2,5 | rest | - | - | - | - | 2,5 | 0,2 | - | |
| AW-5754 | AlMg3 | rest | - | - | - | 0,3 | 3,1 | - | - | 5) |
| AW-5083 | AlMg4,5Mn0,7 | rest | - | - | - | 0,7 | 4,5 | 0,15 | - | |
| AW-8011A | AlFeSi | rest | 0,7 | 0,8 | - | - | - | - | - | |
| Härdbara legeringar | | | | | | | | | | |
| AW-2011 | AlCu6BiPb | | | | | | | | | |
| AW-2014 | AlCu4SiMg | rest | 0,9 | - | 4,5 | 0,8 | 0,5 | - | - | |
| AW-6060 | AlMgSi | rest | 0,45 | 0,2 | <0,1 | - | 0,45 | - | - | |
| AW-6063 | AlMg0,7Si | rest | 0,4 | - | - | - | 0,7 | - | - | |
| AW-6063A | AlMg0,7Si(A) | rest | 0,45 | - | - | - | 0,75 | - | - | |
| AW-6101 | E-AlMgSi ⁶⁾ | rest | 0,5 | - | - | - | 0,6 | - | - | |
| AW-6463 | AlMg0,7Si(B) | rest | 0,4 | - | - | - | 0,7 | - | - | 7) |
| AW-6061 | AlMg1SiCu | rest | 0,6 | - | 0,3 | - | 1,0 | 0,2 | - | |
| AW-6005 | AlSiMg | rest | 0,75 | - | - | - | 0,5 | - | - | |
| AW-6005A | AlSiMg(A) | rest | 0,7 | - | - | - | 0,55 | - | - | |
| AW-6082 | AlSi1MgMn | rest | 1,0 | - | - | 0,7 | 0,9 | - | - | |
| AW-7020 | AlZn4,5Mg1 | rest | - | - | - | 0,3 | 1,2 | 0,2 | 4,5 | 8) |
| AW-7021 | AlZn5,5Mg1,5 | rest | - | - | - | - | 1,5 | - | 5,5 | |
| AW-7075 | AlZn5,5MgCu | rest | - | - | 1,6 | - | 2,5 | 0,25 | 5,6 | |
| AW-7108 | AlZn5Mg1Zr | rest | - | - | - | - | 1,0 | - | 5,0 | 9) |

1) Alla kommersiella aluminiumlegeringar innehåller någon eller några tiondels procent Fe och Si. Dessa halter finns ej medtagna i denna tabell.

2) Angiven aluminiumhalt utgör minimikrav

3) För elektriska ändamål

4) Lodmaterial för flussmedelslödning

5) (Mn + Cr) 0,4%

6) För elektriska ändamål

7) Legering för glansanodisering

(extra låg Fe-halt)

8) (Zr + Ti) 0,15%

9) Zr 0,18%

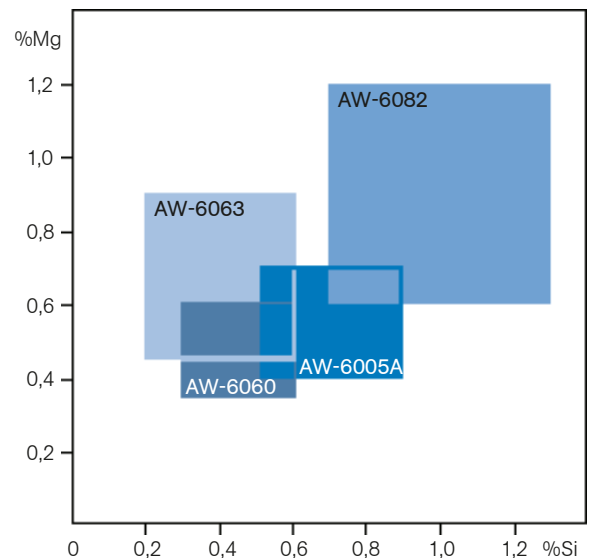


Fig 5.5 Sammansättningsfönster för några AlMgSi-legeringar.

5.3.4 Hållfasthet för plastiska legeringar

I tabell 5.5 anges hållfastheten hos de vanligaste plåt- och profillegeringarna.

Tabell 5.5 Typisk hållfasthet för några aluminiumlegeringar för plastisk bearbetning enligt www.makeitfrom.com

| SS-EN | Tillstånd | Sträckgräns $R_{p0,2}$ MPa | Brottgräns R_m MPa | Brottför- längning A % | Hårdhet HB | Utmattnings- gräns ¹⁾ MPa |
|---------------------------------|-----------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------|--|
| Ikke härdbara legeringar | | | | | | |
| AW-1070A | O | 17 | 73 | 33 | 18 | 20 |
| | H14 | 79 | 120 | 6 | 32 | 40 |
| AW-1050A | O | 23 | 77 | 33 | 20 | 27 |
| | H14 | 90 | 120 | 5 | 34 | 70 |
| | H24 | 84 | 120 | 6 | 33 | 45 |
| | H18 | 140 | 140 | 2 | 42 | 50 |
| AW-1200 | O | 29 | 87 | 28 | 23 | 33 |
| | H14 | 100 | 130 | 5 | 37 | 49 |
| | H18 | 150 | 170 | 3,4 | 45 | 55 |
| AW-3003 | O | 40 | 110 | 28 | 28 | 50 |
| | H14 | 130 | 160 | 8 | 42 | 60 |
| | H18 | 180 | 210 | 4,5 | 56 | 70 |
| AW-5052 | O | 79 | 190 | 22 | 47 | 110 |
| | H14 | 200 | 250 | 8 | 69 | 100 |
| | H24 | 190 | 250 | 8 | 67 | 110 |
| | H18 | 260 | 300 | 3,1 | 83 | 96 |
| AW-5083 | O | 140 | 300 | 17 | 75 | 150 |
| | H24 | 270 | 360 | 4,5 | 99 | 140 |
| | H36 | 320 | 390 | 2,2 | 110 | 160 |
| AW-5754 | O | 90 | 210 | 19 | 52 | 96 |
| | H22/H32 | 150 | 240 | 8,4 | 63 | 120 |
| | H12 | 190 | 240 | 5,5 | 66 | 140 |
| | H24/H34 | 190 | 260 | 7,8 | 70 | 110 |
| | H14 | 210 | 260 | 4 | 72 | 100 |
| | H26 | 220 | 290 | 4,7 | 78 | 120 |
| Härdbara legeringar | | | | | | |
| AW-2011 | T4 | 140 | 310 | 16 | (95) | 75 |
| | T6 | 270 | 380 | 8,5 | (115) | 100 |
| AW-2014 | O | 100 | 190 | 16 | 48 | 90 |
| | T4 | 270 | 430 | 14 | 110 | 140 |
| | T6 | 420 | 490 | 6,8 | 140 | 130 |
| AW-6060 | T4 | 71 | 140 | 16 | - | 37 |
| | T6 | 170 | 220 | 11 | | 70 |
| AW-6061 | O | 76 | 130 | 20 | 33 | 61 |
| | T4 | 130 | 230 | 18 | 63 | 96 |
| | T6 | 270 | 310 | 10 | 93 | 96 |
| | T651 | 270 | 320 | 11 | 93 | 95 |
| AW-6063 | O | 49 | 110 | 21 | 25 | 55 |
| | T4 | 82 | 160 | 17 | 50 | 65 |
| | T6 | 210 | 240 | 11 | 73 | 70 |
| | T8 | 240 | 260 | 9 | 80 | 82 |
| AW-6005 | T4 | 100 | 200 | 17 | - | 55 |
| | T6 | 250 | 300 | 11 | 95 | 95 |
| AW-6082 | O | 85 | 140 | 18 | 40 | 91 |
| | T4 | 120 | 230 | 16 | 58 | 66 |
| | T6 | 270 | 330 | 9,8 | 93 | 95 |
| AW-7020 | O | 120 | 190 | 14 | 45 | 130 |
| | T4 | 240 | 360 | 14 | 92 | 120 |
| | T6 | 310 | 390 | 10 | 100 | 130 |
| AW-7075 | O | 120 | 240 | 12 | 59 | 120 |
| | T6 | 480 | 560 | 7,9 | 150 | 160 |
| | T7 | 410 | 500 | 9,3 | (150) | 160 |

1) Vid 10⁷ cykler, pulserande belastning ($\sigma_{min}/\sigma_{max} = -1$).

5.4 Gjutlegeringar

I normen SS-EN 1706:2010 finns en förteckning över de standardiserade legeringar som används för gjutgodstillverkning. De exakta fordringarna på sammansättning och hållfasthet anges i denna. Exempel på en fullständig standardbeteckning för en gjutlegering i form av en tacka är: SS-EN 1706:2010 är AB-42000KT6

Tabell 5.6 anger beteckningar och lämpliga gjutmetoder för ett stort antal gjutlegeringar, medan tabell 5.7 ger en förteckning över de vanligaste tillståndsbeteckningarna. Tabell 5.8 ger sammansättningen för de vanligaste gjutlegeringarna och tabell 5.9 hållfastheten.

Tabell 5.6 Aluminiumgjutlegeringar – Legeringar, gjutförfarande och tillstånd i SS-EN 1706:2010

| Legeringsgrupp | Europeisk standard | | Gjutmetod och tillstånd | | | | Användningsområden |
|----------------|--------------------|------------------------|-------------------------|------------|-------------|--------|--|
| | Numerisk | Kemisk | Sand- | Kokill- | Precisions- | Press- | |
| AlCu | EN AB-21000 | EN AB-AlCu4MgTi | T4 | T4 | T4 | | |
| | EN AB-21100 | EN AB-AlCu4Ti | T6, T64 | T6, T64 | | | |
| AlSiMgTi | EN AB-41000 | EN AB-AlSi2MgTi | F, T6 | F, T6 | | | |
| AlSi7Mg | EN AB-42000 | EN AB-AlSi7Mg | F, T6 | F, T6, T64 | F, T6 | | AB-42000 (SK) För komplicerat, trycktätt och utmattningspåkänt gjutgods. God korrosionsbeständighet och hög hållfasthet efter värmebehandling. |
| | EN AB-42100 | EN AB-AlSi7Mg0,3 | T6 | T6, T64 | T6 | | |
| | EN AB-42200 | EN AB-AlSi7Mg0,6 | T6 | T6, T64 | T6 | | AB-43000 (SK) För komplicerat, tunnväggigt, trycktätt och utmattningsgjutgods. Mycket god korrosionsbeständighet och hög hållfasthet efter värmebehandling. |
| AlSi10Mg | EN AB-43000 | EN AB-AlSi10Mg(a) | F, T6 | F, T6, T64 | | | AB-43100 (SK) För komplicerat, tunnväggigt, trycktätt och utmattningspåkänt gjutgods. God korrosionsbeständighet och hög hållfasthet efter värmebehandling. |
| | EN AB-43100 | EN AB-AlSi10Mg(b) | F, T6 | F, T6, T64 | | | |
| | EN AB-43200 | EN AB-AlSi10Mg(Cu) | F, T6 | F, T6 | | | |
| | EN AB-43300 | EN AB-AlSi9Mg | T6 | T6, T64 | | | |
| | EN AB-43400 | EN AB-AlSi10Mg(Fe) | | | | F | AB-43200 (SK) För komplicerat, tunnväggigt, trycktätt och utmattningspåkänt gjutgods. Hög hållfasthet efter värmebehandling, men med begränsade egenskaper beträffande korrosionsbeständighet. |
| | EN AB-43500 | EN AB-AlSi10MnMg | | | | | AB-43400 (P) För komplicerat, tunnväggigt, trycktätt och utmattningspåkänt gjutgods med hög hållfasthet och god korrosionsbeständighet. |
| AlSi | EN AB-44000 | EN AB-AlSi11 | F | F | | | |
| | EN AB-44100 | EN AB-AlSi12(b) | F | F | F | | |
| | EN AB-44200 | EN AB-AlSi12(a) | F | F | | | |
| | EN AB-44300 | EN AB-AlSi12(Fe) | | | | F | AB-44100 (SK) För komplicerat, tunnväggigt, trycktätt och utmattningspåkänt gjutgods. God förlängning och god korrosionsbeständighet. |
| | EN AB-44400 | EN AB-AlSi9 | | | | F | AB-44200 (SK) För komplicerat, tunnväggigt, trycktätt och utmattningspåkänt gjutgods. God förlängning och mycket god korrosionsbeständighet. |
| AlSi5Cu | EN AB-45000 | EN AB-AlSi6Cu4 | F | F | | | |
| | EN AB-45100 | EN AB-AlSi5Cu3Mg | | T4, T6 | | | |
| | EN AB-45200 | EN AB-AlSi5Cu3Mn | F, T6 | F, T6 | F | | AB-44300 (P) För komplicerat, tunnväggigt, trycktätt och utmattningspåkänt gjutgods med god korrosionsbeständighet. Speciellt för svårt, tunnväggigt gjutgods med god förlängning. |
| | EN AB-45300 | EN AB-AlSi5Cu1Mg | T4, T6 | T4, T6 | | | AB-44400 (P) För gjutgods med krav på seghet och korrosionsbeständighet. |
| | EN AB-45400 | EN AB-AlSi5Cu3 | | T4 | | | |
| AlSi9Cu | EN AB-46000 | EN AB-AlSi9Cu3(Fe) | | | | F | AB-44440 (SK) För gjutgods med krav på seghet och korrosionsbeständighet. |
| | EN AB-46100 | EN AB-AlSi11Cu2(Fe) | | | | F | |
| | EN AB-46200 | EN AB-AlSi8Cu3 | F | F | | F | AB-44500 (P) För komplicerat, tunnväggigt, trycktätt och utmattningspåkänt gjutgods med hög hållfasthet och relativt god korrosionsbeständighet. |
| | EN AB-46300 | EN AB-AlSi7Cu3Mg | | F | | | |
| | EN AB-46400 | EN AB-AlSi9Cu1Mg | F | F, T6 | | | AB-46000 (P) För mångsidig användning. Även för komplicerat och tunnväggigt gjutgods. Speciellt för pressgjutgods med höga påfrestningar. |
| | EN AB-46500 | EN AB-AlSi9Cu3(Fe)(Zn) | | | | F | |
| | EN AB-46600 | EN AB-AlSi7Cu2 | F | F | | | AB-46100 (P) För mångsidig användning. Speciellt för tunnväggigt gjutgods. |
| AlSi(Cu) | EN AB-47000 | EN AB-AlSi12(Cu) | F | F | | | AB-46200 (SK) För mångsidig användning även för komplicerat och tunnväggigt gjutgods. |
| | EN AB-47100 | EN AB-AlSi12Cu1(Fe) | | | | F | AB-46400 (SK) För mångsidig användning även för komplicerat och tunnväggigt gjutgods. |
| AlSiCuNiMg | EN AB-48000 | EN AB-AlSi12CuNiMg | | T5, T6 | | | AB-46500 (P) För mångsidig användning. Även för komplicerat och tunnväggigt gjutgods. Speciellt för pressgjutgods med höga påfrestningar. |
| AlMg | EN AB-51000 | EN AB-AlMg3(b) | F | F | | | |
| | EN AB-51100 | EN AB-AlMg3(a) | F | F | | | |
| | EN AB-51200 | EN AB-AlMg9 | | | | F | AB-47000 (SK) För komplicerat, tunnväggigt, trycktätt och utmattningspåkänt gjutgods, men med begränsningar beträffande korrosionsbeständighet och seghet. |
| | EN AB-51300 | EN AB-AlMg5 | F | F | F | | |
| | EN AB-51400 | EN AB-AlMg5(Si) | F | F | | | AB-47100 (P) För komplicerat, tunnväggigt, trycktätt och utmattningspåkänt gjutgods. |
| AlZnMg | EN AB-71000 | EN AB-AlZn5Mg | T1 | T1 | | | |
| | EN AB-71100 | EN AB-AlZn10Si8Mg | | | | | |

Tabell 5.7 Beteckningar för värmebehandlingstillstånd enligt SS-EN 1706:2010

| | |
|-----|---|
| F | = Obehandlat |
| O | = Glödlat |
| T1 | = Kontrollerad kylning efter gjutningen och kallådrat |
| T4 | = Upplöst och kallådrat |
| T5 | = Kontrollerad kylning efter gjutningen och varmådrat eller överådrat |
| T6 | = Upplöst och varmådrat |
| T64 | = Upplöst och ej fullt varmådrat (underådrat) |
| T7 | = Upplöst och överådrat (stabiliserat) |

Tabell 5.8 Nominell sammansättning för några aluminiumgjutlegeringar (AB)

| Beteckning enligt SS-EN | Gjut- metod | Nominell sammansättning (%) | | | | | | | | |
|---------------------------------|------------------|-----------------------------|----|------------------|------|-------------------|-----|-----|-----|------|
| | | Al | Si | Fe ¹⁾ | Cu | Mg | Cr | Zn | Ti | |
| Icke härdbara legeringar | | | | | | | | | | |
| AB-44100 | AlSi12(b) | S, K | 88 | 12 | 0,6 | 0,2 ¹⁾ | - | - | - | - |
| AB-44300 | AlSi12(Fe) | P | 88 | 12 | 1,0 | 0,2 ¹⁾ | - | - | - | - |
| AB-44400 | AlSi9 | P | 90 | 10 | 0,6 | 0,2 ¹⁾ | - | - | - | - |
| AB-46000 | AlSi9Cu3(Fe) | P | 90 | 9 | 1,2 | 3 | - | - | - | - |
| AB-46200 | AlSi8Cu3 | S, K | 90 | 9 | 0,8 | 3 | - | - | - | - |
| AB-46500 | AlSi9Cu3(Fe)(Zn) | P | 88 | 9 | 1,3 | 3 | - | - | - | - |
| AB-47000 | AlSi12(Cu) | S, K | 88 | 12 | 0,8 | 1,0 ¹⁾ | - | - | - | - |
| AB-51400 | AlMg5(Si) | S, K | 94 | 1 | 0,5 | - | 5 | - | - | - |
| Härdbara legeringar | | | | | | | | | | |
| AB-21000 | AlCu4MgTi | S, K | 95 | - | 0,18 | 4,5 | 0,2 | - | - | 0,2 |
| AB-42000 | AlSi7Mg | S, K | 93 | 7 | 0,5 | - | 0,3 | - | - | - |
| AB-42100 | AlSi7Mg0,3 | S, K | 93 | 7 | 0,2 | - | 0,4 | - | - | - |
| AB-43100 | AlSi10Mg(b) | S, K | 90 | 10 | 0,5 | 0,2 ¹⁾ | 0,3 | - | - | - |
| AB-71000 | AlZn5Mg | S, K | 93 | - | 0,7 | 0,4 | 0,7 | 0,4 | 5,5 | 0,2 |
| AB-71100 | AlZn10Si8Mg | | | 8 | 0,3 | | 0,3 | | 10 | 0,15 |

S = Sandgjutning, K = Kokillgjutning, P = Pressgjutning

1) Max-värden

Tabell 5.9 Hållfasthet för några aluminiumgjutgods (AC)

| SS-EN | Gjut- metod | Till- stånd | Sträck- gräns $R_{p0,2}$ MPa | Brott- gräns R_m MPa | Brottför- längning A % | Hård- het HB_w | Utmatt- nings- gräns MPa |
|---------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Icke härdbara legeringar | | | | | | | |
| AC-43400 | P | F | 160 | 270 | 1,1 | 80 | 110 |
| AC-43500 | | F | 120-150 | 250-290 | 5-11 | 75-95 | 80-90 |
| | | T5 | 155-245 | 275-340 | 4-9 | 80-110 | |
| | | T6 | 210-280 | 290-340 | 7-12 | 90-110 | |
| | | T7 | 120-170 | 200-240 | 10-20 | 60-75 | |
| AC-44100 | S | F | 87 | 180 | 4,9 | 59 | 64 |
| | K | F | 80 | 170 | 5 | 55 | |
| AC-44300 | P | F | 150 | 270 | 1,1 | 68 | 100 |
| AC-44400 | P | F | 110 | 210 | 4,1 | 61 | 79 |
| AC-46000 | P | F | 160 | 270 | 1,0 | 91 | 110 |
| AC-46200 | S | F | 90 | 150 | 1 | 60 | |
| | K | F | 100 | 170 | 1 | 75 | |
| | P | F | 130 | 210 | 1,1 | 82 | 87 |
| AC-47000 | S | F | 80 | 150 | 1 | 50 | |
| | K | F | 97 | 180 | 1,7 | 60 | 68 |
| AC-47100 | P | F | 160 | 270 | 1,1 | 80 | 110 |
| AC-51200 | P | F | 150 | 220 | 1,1 | 80 | 100 |
| AC-51400 | S | F | 100 | 160 | 3 | 60 | |
| | K | F | 120 | 190 | 3,4 | 71 | 85 |
| Härdbara legeringar | | | | | | | |
| AC-21000 | S | T4 | 240 | 340 | 6,7 | 100 | 100 |
| AC-42100 | S, K | F | 90-150 | 180-240 | 4-9 | 55-70 | 67 |
| | S | T6 | 200-280 | 240-320 | 3-6 | 80-110 | |
| | K | T6 | 220-280 | 290-340 | 5-9 | 90-125 | 70 |
| | K | T64 | 180-200 | 250-270 | 8-12 | 80-95 | 76 |
| AC-43100 | S | F | 80 | 150 | 2 | 50 | |
| | S | T6 | 180 | 220 | 1 | 75 | |
| | K | F | 97 | 180 | 2,5 | 60 | 68 |
| | K | T64 | 230 | 270 | 2,2 | 91 | 76 |
| | K | T6 | 230 | 270 | 1,1 | 94 | 71 |
| AC-71100 | | T1 | 230 | 260 | 1,1 | 110 | 150 |

S = Sandgjutning, K = Kokillgjutning, P = Pressgjutning

OBS! Pressgjutgods bör normalt ej svetsas eller värmebehandlas om inte speciell gjutteknik används (tex vakuumgjutning).

OBS! Hållfasthetsvärdena för pressgjutgods i tabellen är endast att betrakta som riktvärden för bearbetade provstavar uttagna från ämnen som är separat gjutna och inte vad man kan förvänta sig i ett färdigt gjutgods.

5.5 Fysikaliska egenskaper

I tabell 5.10 och 5.11 ges några viktiga fysikaliska data för några plastiskt formbara legeringar (AW) och för några gjutlegeringar (AB). En del av egenskaperna påverkas starkt av legeringsämnen, medan andra är relativt opåverkade vid de vanligaste legeringshalterna.

Egenskaper som påverkas relativt litet av legeringstillsetser är densitet, elasticitetsmodul, längdutvidgningskoefficient och specifikt värme.

Bara om legeringshalten är särskilt hög, som i en del gjutlegeringar med hög kiselhalt, blir variationen större än några procent. Däremot är smälttemperatur, resistivitet och termisk ledningsförmåga starkt beroende av legeringsinnehållet. I hårdbara legeringar beror resistivitet och termisk ledningsförmåga också starkt av värmebehandlingsstillståndet.

Tabell 5.10 Fysikaliska data för några legeringar för plastisk bearbetning

| Beteckning enl SS-EN | Densitet (kg/dm ³) | Längdutvidgningskoefficient (µm/m·°C) | Specifikt värme (J/kg·°C) | Smältintervall (°C) | Elasticitetsmodul (MPa) | Tillstånd | Resistivitet (nWm) | Termisk ledningsförmåga (W/m·°C) |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|----------------------------------|
| Icke hårdbara legeringar | | | | | | | | |
| AW-1050A Al99,5(A) | 2,70 | 23,5 | 899 | 645–658 | 69 000 | Alla | 29,0 | 229 |
| AW-1200 Al99,0 | 2,72 | 23,4 | 898 | 645–657 | 69 000 | Alla | 29,5 | 225 |
| AW-3003 AlMn1Cu | 2,73 | 23,1 | 892 | 640–655 | 69 500 | Alla | 34,0 | 190 |
| AW-5005 AlMg1 | 2,70 | 23,5 | 897 | 630–655 | 69 500 | Alla | 33,0 | 201 |
| AW-5052 AlMg2,5 | 2,68 | 23,7 | 901 | 605–650 | 70 000 | Alla | 49,5 | 138 |
| AW-5083 AlMg4,5Mn0,7 | 2,66 | 23,8 | 899 | 580–640 | 71 000 | Alla | 60,0 | 117 |
| Hårdbara legeringar | | | | | | | | |
| AW-2011 AlCu6BiPb | 2,84 | 23,0 | 863 | 540–645 | 72 500 | T4 | 44,0 | 152 |
| | | | | | | T6 | 38,0 | 172 |
| AW-2014 AlCu4SiMg | 2,80 | 22,7 | 869 | 505–640 | 73 000 | O | 34,0 | 192 |
| | | | | | | T4 | 51,0 | 134 |
| | | | | | | T6 | 43,0 | 155 |
| AW-6005A AlSiMg(A) | 2,71 | 23,3 | 892 | 605–655 | 69 500 | T6 | 35,0 | 193 |
| AW-6063 AlMg0,7Si | 2,70 | 23,5 | 898 | 615–655 | 69 500 | O | 30,0 | 218 |
| | | | | | | T4 | 35,0 | 197 |
| | | | | | | T6 | 33,0 | 201 |
| AW-6082 AlSi1MgMn | 2,71 | 23,1 | 894 | 575–650 | 70 000 | O | 31,0 | 216 |
| | | | | | | T4 | 41,0 | 167 |
| | | | | | | T6 | 39,0 | 172 |
| AW-7020 AlZn4,5Mg1 | 2,78 | 23,3 | 873 | 605–645 | 70 000 | T6 | 49,0 | 140 |
| AW-7075 AlZn5,5MgCu | 2,81 | 23,5 | 862 | 475–635 | 72 000 | O | 38,0 | 175 |
| | | | | | | T6 | 52,0 | 134 |

Tabell 5.11 Fysikaliska data för några aluminiumgjutlegeringar

| Beteckning enl SS-EN | Densitet (kg/dm ³) | Längdutvidgningskoefficient (µm/m·°C) | Specifikt värme (J/kg·°C) | Smältintervall (°C) | Elasticitetsmodul (MPa) | Tillstånd | Resistivitet (nWm) | Termisk ledningsförmåga (W/m·°C) |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|----------------------------------|
| Icke hårdbara legeringar | | | | | | | | |
| AB-44300 AlSi12(Fe) | 2,65 | 21,0 | 960 | 575–585 | 75 000 | Alla | 50,0 | 150 |
| AB-46000 AlSi9Cu3(Fe) | 2,75 | 21,0 | 960 | 510–610 | 75 000 | Alla | 60,0 | 155 |
| AB-51400 AlMg5(Si) | 2,65 | 23,0 | 960 | 560–630 | 70 000 | Alla | 50,0 | 125 |
| Hårdbara legeringar | | | | | | | | |
| AB-21000 AlCu4MgTi | 2,75 | 23,0 | 910 | 540–640 | 72 000 | Alla | 55,0 | 125 |
| AB-42000 AlSi7Mg | 2,70 | 22,0 | 960 | 550–625 | 75 000 | Alla | 50,0 | 160 |
| AB-71000 AlZn5Mg | 2,80 | 24,0 | 960 | 600–650 | 70 000 | Alla | 50,0 | 125 |

Värmebehandling

6.1 Ugnar

För rätt utförd värmebehandling, och detta gäller särskilt upplösning och varmåldring, krävs lämpliga ugnar och noggrann temperaturkontroll. Vanligen används luftcirkulationsugnar (konvektionsugnar). Ugnsatmosfären är i regel luft. För att undvika missfärgning bör atmosfären vara helt fri från fuktighet och svavel.

Uppvärmningen till mjukglödgnings- resp upplösningstemperaturen bör ske så snabbt som möjligt. Det är fördelaktigt om ugnen redan vid insättningen av godset håller denna temperatur.

Värmebehandling får inte ske med hjälp av gasolbrännare, skärbrännare eller svetslåga.

6.2 Mjukglödning

Lämpliga temperaturer för mjukglödning framgår av tabell 6.1. Hålltiden vid temperaturen bör vara ca 30 min.

Vid glödning av icke härdbara legeringar bör reduktionen vid den närmast föregående kallformningen inte understiga 25% och helst uppgå till 50% eller mer, för att undvika grovkornig struktur. Uppvärmningen bör ske snabbt, vilket i synnerhet gäller för AlMn-legeringar. Långsam uppvärmning, alltför hög temperatur eller alltför lång hålltid kan leda till grovkornbildning. Vanligen tillämpar man fri svalning, men även vattenkylning kan användas.

För härdbara legeringar medför alltför hög temperatur oönskade härdningseffekter eller grovkornighet. För att undvika härdningseffekter och få maximal mjukhet bör materialet svalna långsamt och helst i ugn till ca 250°C, därefter fritt. Hög reduktionsgrad vid den närmast föregående kallformningen och snabb upphettning bör eftersträvas av samma skäl som för icke härdbara legeringar.

Mjukglödning

Snabb uppvärmning till full genomvärmning följt av ca 30 min hålltid vid angiven temperatur. Svalningen, speciellt för härdbara legeringar, bör ske långsamt och helst i ugn ned till ca 250°C, därefter fri svalning.

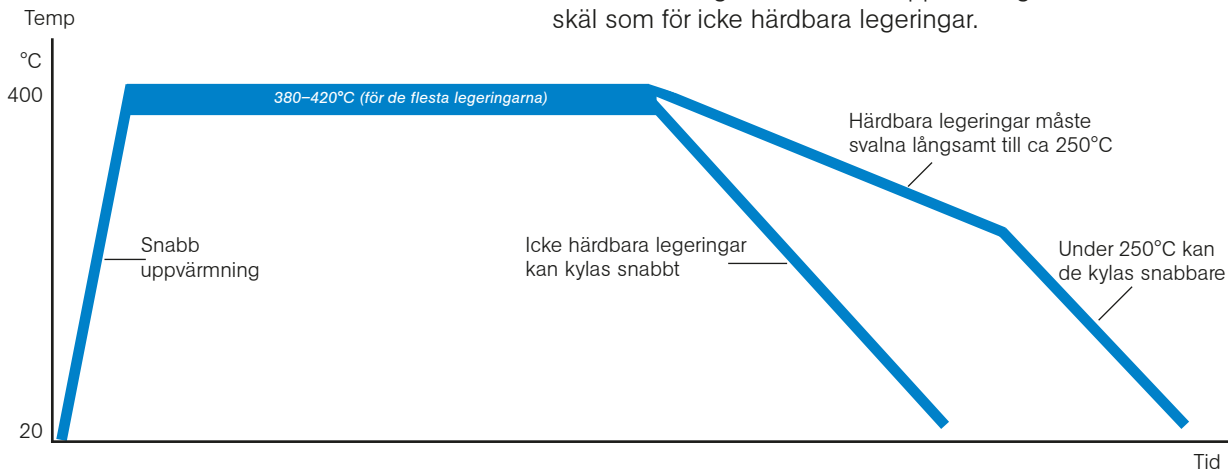


Fig 6.1 Mjukglödningens processen i översikt.

6.3 Härdning

Härdningsprocessen utförs i tre steg:

- upplösning
- kylning
- åldring

Vid profilpressning sker upplösningen under själva pressningen. Rekommenderade tider och temperaturer framgår av tabell 6.1.

6.3.1 Upplösning

Uppvärmningen till upplösningstemperatur bör ske snabbt. Tiden för uppvärmningen kan variera från några minuter till ett par timmar. Även ugnskapaciteten och godsmängden påverkar tiden. Det är viktigt att godset placeras på sådant sätt i ugnen att värmning och kylning sker likformigt i hela partiet. Riktvärde för hålltiden vid uppnådd temperatur (godstemperatur) är 15–60 min.

Temperaturgränserna vid upplösning är väsentliga. Alltför låg temperatur medför ofullständig upplösning och därmed låg hållfasthet. Alltför hög temperatur medför risk för missfärgning, blåsbildning eller begynnande smältning.

6.3.2 Kylning

Kylningen efter upplösning måste ske snabbt för att undvika oönskade koncentrationer av legeringsämnen i defekt- och korngränsstrukturen. Samtidigt får man inte kyla snabbare än nödvändigt för att minimera restspänningar, vilket kan leda till deformation eller sprickbildning. Kylningen bör därför ske i kallt vatten, fig 6.2.

Kylningshastigheten är legeringsberoende. Grovt smide kan kylas i varmt eller kokhett vatten för att undvika sprickbildning. Förflyttningen av material från ugn till vatten bör ske snabbt. För tunt gods bör tiden vara högst 10 sek. Klena detaljer kyls ofta med vattenspray, vilket minskar materialets tendens att slå sig. AlMgSi-legeringar kan, såvida godset inte är mycket tjockt, fläktkylas utan att hållfastheten försämras. För AlZnMg-legeringar rekommenderas fläktkylning.

Kylningen av de hårdbara legeringarna påverkar inte bara egenskaper som hållfasthet och duktilitet, utan kan också ge termiska spänningar. Dessa minimeras vanligen genom att minska kylningshastigheten efter upplösningen. Om hastigheten är för låg kommer emellertid önskad korngränsutskiljning att erhållas. Om den är för hög finns ökad risk för deformationer. Därför är en av de största utmaningarna i kylningsprocessen att välja parametrar som optimerar hållfastheten samtidigt som deformationen minimeras och säkerställer att andra oönskade effekter inte erhålls, t.ex interkristallin korrosion, vilken också är beroende av kylningshastigheten.

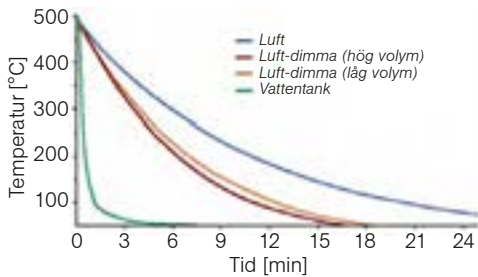


Fig 6.2 Kylkurvor för en aluminiumdetalj kyld i vattentank, med luft eller med luft-dimma.

6.3.3 Åldring

Efter kylningen åldras aluminiumlegeringarna spontant och under denna process utskiljs findispersa (små och många) partiklar som avsevärt ökar materialets hållfasthet. Diffusionsprocessen och utfällningskinetiken varierar med legeringens sammansättning.

Åldringen erhålls antingen vid rumstemperatur, *kallåldring*, eller vid förhöjd temperatur, *varmåldring*. Legeringsatomerna, som efter upplösning och kylning finns i övermättad lösning i materialet, bildar genom diffusion små utskilda partiklar som ökar materialets hållfasthet. Denna process startar redan vid rumstemperatur (kallåldring).

Olika legeringar kallåldrar olika mycket. Hållfasthetsökningen blir betydligt större för AlZnMg-legeringar än för AlMgSi. Även legeringshalterna har stor betydelse. T.ex kallåldrar AW-6082 betydligt snabbare än AW-6060 beroende på ett högre legeringsinnehåll.

Karakteristiskt för AlZnMg-legeringar är att kallåldringen pågår under mycket lång tid (flera månader) innan ett stabilt tillstånd uppnås. För AlMgSi sker detta redan efter några dygn.

Material i kallåldrat tillstånd kan kallformas om formningen inte är alltför svår. Omedelbart efter upplösningen är formbarheten bäst. Detta kan utnyttjas vid svårare formningsoperationer, vilka bäst utförs kort tid efter upplösningen. Är man av praktiska skäl tvungen att vänta en längre tid mellan upplösning och kallformning, kan materialet lagras vid låg temperatur t.ex i en frybox vid -20°C . Några dagar vid denna temperatur ger för de flesta legeringar en obetydlig kallåldringseffekt.

Upplösning

Snabb uppvärmning till full genomvärmning. Hålltid 15–60 min beroende på godstjocklek. Forcerad luftkylning (fläkt) om godstjockleken är mindre än 6 mm. Vid tjockare gods: Kylning i vatten. Kylhastighet: $1\text{--}2^{\circ}\text{C/s}$.

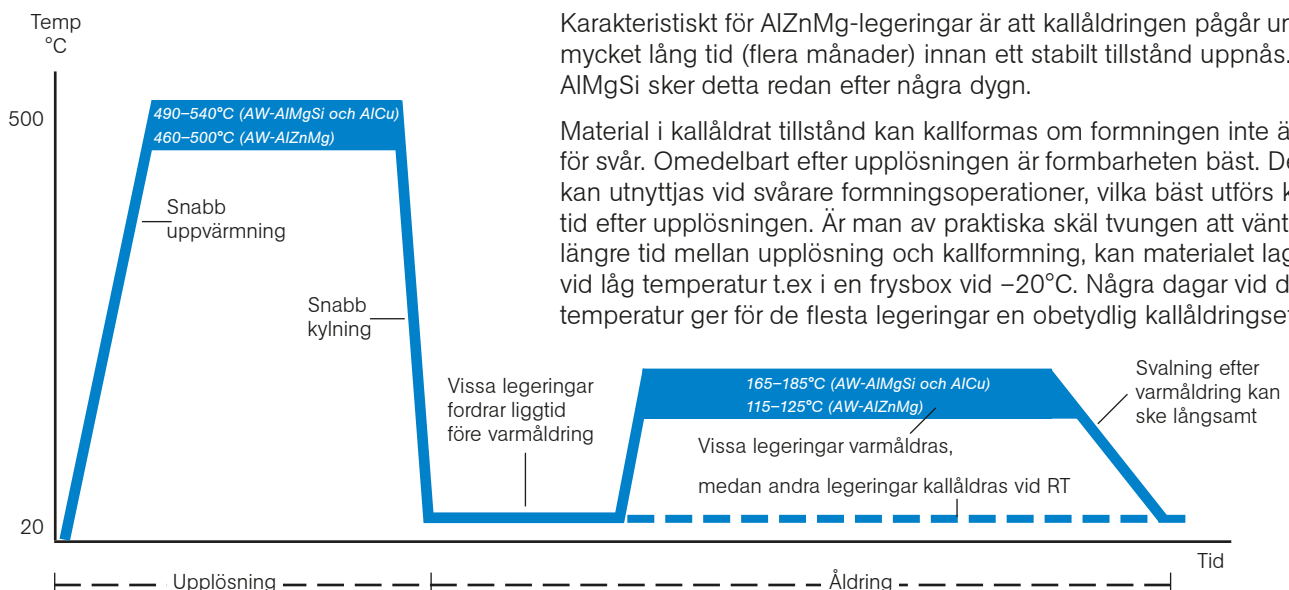


Fig 6.3 Härdningsprocessen i översikt.

Maximal hållfasthet uppnås efter varmåldring. För bästa hållfasthet bör en del legeringar kallåldra 1–2 dygn före varmåldringen, medan andra däremot bör kallåldra så kort tid som möjligt, helst mindre än en timme. Till den första gruppen hör AlZnMg-legeringar och låglegerade AlMgSi-legeringar (t.ex AW-6060), till den senare hör högre legerade AlMgSi-legeringar (t.ex AW-6005 och AW-6082).

Rekommenderade tider och temperaturer måste följas om bästa resultat ska erhållas. Allmänt gäller att om åldringstemperaturen höjs kan visserligen tiden minskas, men då blir hållfastheten lägre.

6.4 Värmebehandling av aluminiumgjutgods

För att förbättra de mekaniska egenskaperna hos aluminiumgjutgods utnyttjas ofta olika typer av värmebehandlingar. För mer info se Gjut-eritekisk Handbok, Värmebehandling av aluminiumgjutgods.

Den vanligaste värmebehandlingen är *utskiljningshärdning* (upplösning + varmåldring = T6). Normalt tillämpas denna behandling endast för sand- och kokillgjutgods. Härdningsprocessen baseras på det faktum att vissa legeringselement som tillsätts aluminiumsmältor har större löslighet i fast form vid hög temperatur än vid låg. För de vanligaste aluminiumgjutlegeringarna tillsätts magnesium som verksamt medel för utskiljningshärdningen. Magnesium förener sig med kisel till Mg₂Si.

Tabell 6.1 Värmebehandlingsdata för några plastiska aluminiumlegeringar

| Beteckning SS-EN | | Temperaturer och tider | | | | Till- stånd |
|---|--------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|----------------|
| | | Mjukglöd- ning °C | Upplös- ning °C | Kallåldr- ing dygn | Varmåldr- ing °C tim | |
| Icke härdbara legeringar | | | | | | |
| AW-1070A | Al99,7 | 380–450 | | | | |
| AW-1050A | Al99,5(A) | 380–450 | | | | |
| AW-1350 | E-Al99,5 | 380–450 | | | | |
| AW-1200 | Al99,0 | 380–450 | | | | |
| AW-3103 | AlMn1 | 450–520 | | | | |
| AW-3003 | AlMn1Cu | 450–520 | | | | |
| AW-3004 | AlMn1Mg1 | 380–450 | | | | |
| AW-3005 | AlMn1Mg0,5 | 380–450 | | | | |
| AW-5005 | AlMg1 | 380–450 | | | | |
| AW-5049 | AlMg2Mn0,8 | 380–450 | | | | |
| AW-5052 | AlMg2,5 | 380–450 | | | | |
| AW-5754 | AlMg3 | 380–450 | | | | |
| AW-5083 | AlMg4,5Mn0,7 | 410–450 | | | | |
| Kan ej ges ökad hållfasthet genom värmebehandling | | | | | | |
| Härdbara legeringar | | | | | | |
| AW-2011 | AlCu6BiPb | 380–420 | 520± 5 | 5 | 160± 5 | 14 T8 |
| AW-2014 | AlCu4SiMg | 380–420 | 500± 5 | 5 | 175± 5 | 8 T6 |
| AW-6005 | AlSiMg | 380–420 | 530±10 | 2 | 180± 5 | 5 T5 |
| AW-6061 | AlMgSi | | | | | |
| AW-6063 | AlMg0,7Si | 380–420 | 530±10 | 2 | 180± 5 | 5 T6 |
| AW-6082 | AlSi1MgMn | 380–420 | 530±10 | 2 | 180± 5 | 5 T5 |
| AW-7075 | AlZn5,5MgCu | 400–420 | 465± 5 | - | 120± 5 | 24 |

Material som är avsedda för dekorativ anodisering bör ej varmformas, glödgas eller upplösas då ett dåligt anodiseringsresultat lätt blir följden.

1) För max hållfasthet rekommenderas: 100°C i 4 timmar + 140°C i 18 timmar.

Tabell 6.2 Värmebehandlingsdata för några aluminiumgjutgods

| Beteckning SS-EN | | Temperaturer och tider | | |
|----------------------------|-----------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| | | Upplösning °C | Kallåldring dygn | Varmåldring °C tim |
| Härdbara legeringar | | | | |
| AC-21000 | AlCu4MgTi | 525± 5 | 4–8 | utförs ej |
| AC-42000 | AlSi7MgFe | 525± 5 | 3–6 | 160±10 8 |
| AC-42100 | AlSi7Mg | 540± 5 | 12 | 150± 5 12 |
| AC-43100 | AlSi10Mg | 525± 5 | 3–6 | 160±10 8 |
| AC-71000 | AlZn5Mg | 1) | | |

1) Upplösningseffekt fås vid gjutningen och efterföljande svalning utan separat upplösning. Kallåldring sker därefter i rumstemperatur.

Korrosionshårdighet

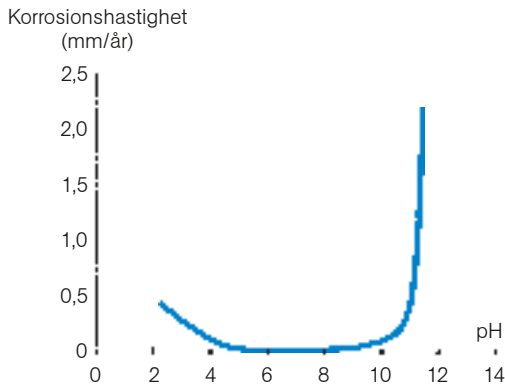


Fig 7.1 Korrosionshastigheten (medelfrättdjupet) för aluminium vid olika pH-värden (pH-justeringen gjord med saltsyra respektive natriumhydroxid).

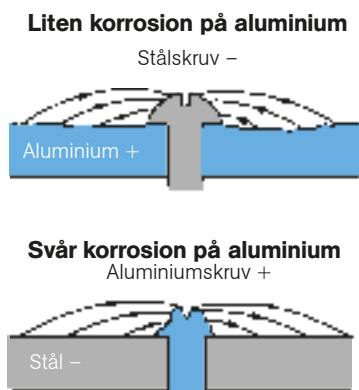


Fig 7.2 Den ädlaste metallen blir katod (-) och skyddas mot korrosion, medan den oädlaste blir anod (+) och korroderar. En liten katodyta och en stor anodyta ger obetydlig korrosion. I det omvända fallet kan man, i svår miljö, snabbt få allvarliga angrepp.

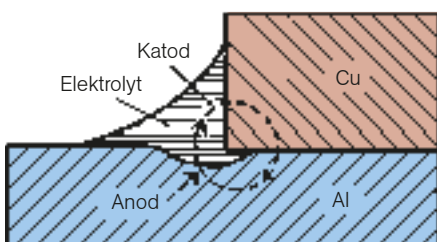


Fig 7.3 Elektrolytisk cell mellan aluminium och koppar. Den oädlaste metallen (här aluminium) blir anod och korroderar.

7.1 Några termer

Material som angrips genom kemiska eller elektrokemiska reaktioner med ett omgivande medium är utsatt för korrosion. Materialets förmåga att motstå korrosion kallas *korrosionshårdighet*.

7.2 Korrosionsegenskaper

Obehandlat aluminium uppvisar mycket god korrosionshårdighet i de flesta miljöer. Det beror på att aluminium spontant täcks med ett tunt, men effektivt oxidskikt, som förhindrar vidare oxidering.

Aluminiumoxiden är tät och, till skillnad från oxidskiktet på andra metaller, starkt vidhäftande till underlaget. Om oxidskiktet skadas mekaniskt så återbildas det omedelbart.

Oxidskiktet är en grundförutsättning för aluminiummaterialens goda korrosionsegenskaper. Det är stabilt i pH-intervallet 4–9. I starkt sura eller alkaliska miljöer korroderar aluminium vanligen snabbt, fig 7.1.

Generellt gäller att ju renare aluminiummaterialet är desto mer skyddande är oxidskiktet. Detta gäller främst vid hög renhet, Al99,8, hos materialet. Sådant material har dock låg mekanisk hållfasthet och används vanligen inte. Den högre korrosionshårdigheten utnyttjas endast i speciella fall.

För olegerat aluminium av normal handelskvalitet, Al99,5 och för många aluminiumlegeringar är korrosionshårdigheten likvärdig. Det är i regel andra egenskaper som avgör legeringsvalet i en konstruktion. Dock har Mn-haltigt material något förhöjd hårdighet i sur miljö, liksom Mg-legerat material i lätt alkalisk, marin miljö. Legeringar som innehåller mer än 0,5% Cu, däribland höghållfasta legeringar av typ AlCuMg och AlZnMg(Cu) har generellt sett sämre korrosionshårdighet än övriga aluminiumlegeringar.

7.3 De vanligaste korrosionsfallen

De korrosionstyper som främst kan förekomma på aluminium är:

- bimetallkorrosion (fd galvanisk korrosion)
- gropfrätning
- spaltkorrosion
- filiformkorrosion

En annan, mer speciell korrosionstyp, är sprickbildning på grund av spänningskorrosion. Den kan förekomma främst hos höghållfasta legeringar, t.ex AlZnMg-legeringar, om dessa utsätts för stora dragspänningar under lång tid och det finns ett korrosionsmedium närvarande.

7.3.1 Bimetallkorrosion

Bimetallkorrosion kan uppstå när olika metaller är i metallisk kontakt med varandra, samtidigt som det finns en kontinuerlig elektrolytbygga mellan metallerna. Fig 7.2–7.3 visar exempel på bimetallkorrosion.

I de flesta kombinationer med andra metaller är aluminium den oädlare. Därför är risken för bimetallkorrosion på aluminium större än för de flesta andra konstruktionsmaterial. Risken är emellertid mindre än man i allmänhet tror.

Risk för bimetallkorrosion på aluminium föreligger:

- enbart vid metallisk kontakt med ädlare metaller (eller andra elektronledare, t.ex grafit)
- samtidigt som det finns en elektrolyt (vätska) med god ledningsförmåga mellan metallerna.

Uppkomsten av bimetallkorrosion beror ofta på att den aktuella konstruktionen är olämpligt utformad. Bimetallkorrosion inträffar inte i torr inomhusatmosfär. Risken är heller inte stor i lantatmosfär. Däremot måste risken för bimetallkorrosion alltid beaktas i kloridhaltig miljö,

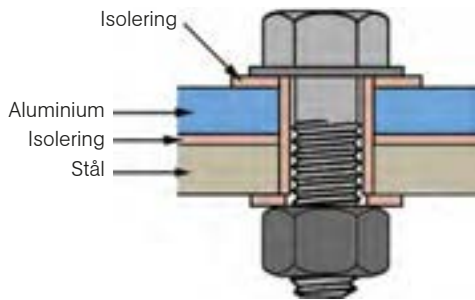


Fig 7.4 Elektrisk isolering mellan de olika metallerna förhindrar bimetallkorrosion.

t.ex i havsatmosfär och vid saltade vägar. Här kan koppar och kolstål, men även rostfritt stål, ge bimetallkorrosion på aluminium.

Även förzinkat stål mot aluminium kan ge problem. Först ger zinksiktet skydd åt aluminiummetallen, men när zinken har korroderat bort kan det frilagda stålet förorsaka angrepp på aluminium. Varmförzinkat stål har tjockare zinksikt än elförzinkat och ger därmed skydd under längre tid. Vid kontakt med aluminium i aggressiva miljöer bör man därför helst välja varmförzinkat stål.

Då olika metaller kommer i kontakt med varandra kan man förhindra bimetallkorrosion genom elektrisk isolering mellan metallerna. Isoleringen måste fullständigt bryta den metalliska kontakten. Fig 7.4 visar hur detta kan åstadkommas i ett skruvförband.

I stora konstruktioner, där isolering är svår att genomföra, kan man i stället bryta elektrolytbryggan mellan de två metallerna genom målning eller plastbeläggning. Det är då oftast bäst att gömma katodytan (den ädlaste metallen). En annan lösning är att använda mellanlägg av t.ex plastfolie.

Ett tredje sätt att minska risken för bimetallkorrosion är att använda katodiskt skydd med offeranoder av ett oädlare material så att det får metallisk kontakt med aluminiumföremålet som ska skyddas. Det oädlare materialet offerar sig (korroderar) härvid. En förutsättning för att erhålla korrosionsskydd är att det finns vätskekontakt mellan ytan som ska skyddas och anoden. För aluminium används ofta offeranoder av Zn eller Mg, fig 7.5.

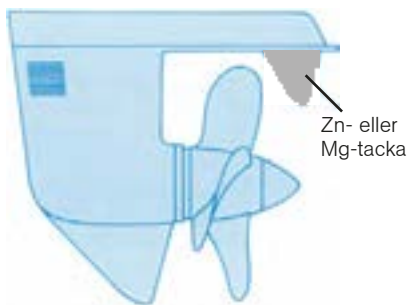


Fig 7.5 Katodiskt skydd med offeranod av utombordsmotor av gjutet aluminium.

7.3.2 Gropfrätning

Gropfrätning är den vanligaste korrosionsformen på aluminium. Den uppstår endast vid närvaro av en elektrolyt såsom vatten eller fukt med däri lösta salter, vanligen klorider.

De bildade angreppen är i allmänhet ytterst små och når i utomhusatmosfär ett maximalt djup som är högst ett par tiondels millimeter. I vatten och jord kan större angreppsdjup förekomma. Korrosionsprodukterna täcker ofta angreppsställena, varför synliga gropar sällan finns i aluminiumytan.

Gropfrätningen är främst ett estetiskt problem som praktiskt taget aldrig påverkar hållfastheten. Angreppen blir störst på obehandlat aluminium. Ytbehandling motverkar gropfrätningen. Den behandlade ytan kräver rengöring för att det attraktiva utseendet ska bibehållas och korrosionen förhindras. Ofta är det tillräckligt att spola av med vatten. Alkaliska tvättmedel får inte användas.

Gropfrätning kan motverkas med katodiskt skydd. Det är också viktigt att konstruktionen utformas så att upptorkning kan ske.

7.3.3 Spaltkorrosion

Spaltkorrosion kan uppträda i trånga, vätskefyllda spalter, fig 7.6. Sannolikheten för att den här typen av korrosion ska uppstå i konstruktioner är i allmänhet liten. Spaltkorrosion av betydelse kan dock uppstå i kloridhaltig havsatmosfär eller utvändigt på fordon.

Vid transport och lagring av framför allt aluminiumplåt förekommer det ibland att vatten samlas i spalter mellan motliggande ytor och orsakar yttlig korrosion (vattenfläckar). Vattnet kommer från regn eller kondens som kapillärt sugas in mellan metallytorna. Kondens kan bildas när kallt material förs in i en varm lokal.

För att motverka spaltkorrosion kan tätningsmassa eller dubbelhäftande tejp användas vid sammanfogning, vilket förhindrar inträngning av vatten i spalter. Nitning eller skruvning kan i vissa fall ersättas av eller kombineras med limning. Då förhindras uppkomsten av spalter.

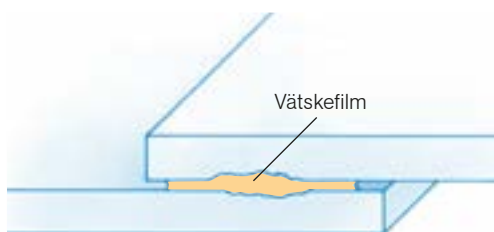


Fig 7.6 Spaltkorrosion uppträder i trånga områden.

7.3.4 Filiformkorrosion

Filiformkorrosion är en form av korrosion som uppstår på aluminiumytan under målarfärg, primer och beläggningar. Nedbrytningen hos



Fig 7.7 Filiformkorrosionsattack på aluminiumdel från ett fordon. Pilen visar defekter i färgskiktet där korrosionen startat.



Fig 7.8 Filiformkorrosion vid rits på en lackerad aluminiumdetalj efter ACT-provning (Accelerated Corrosion Test).



Fig 7.9 Korrosionsprovning i naturlig miljö på västkusten.

aluminiumdelarna är kosmetisk och korrosionsattacken är begränsad till ytan. Filiformkorrosion resulterar typiskt i bubblor på färgen och separeringar från metallytan. Denna korrosionsform uppträder som tunna fiberliknande trådar fyllda med korrosionsprodukter (vitt pulver) under beläggningen, fig 7.7 och 7.8.

Angreppet startar runt en defekt i beläggningen orsakad av t.ex ett stenscott, repa eller en skarp egg eller buckla eller borrarat hål. Filiformkorrosionen sprids genom att fukt tränger genom gränsskiktet, vilket ger korrosion med runda eller maskformade blåsor, ofta flagande. Korrosionen kan negativt påverka de skyddande egenskaperna hos beläggningssystemet.

Förutsättningar för filiformkorrosion på t.ex bilar kräver att alla följande tre punkter uppfylls:

- Målad eller belagd aluminiumyta
- Skada på ytbeläggningen, som tillåter elektrolyten att tränga in under beläggningen
- Närvaro av en elektrolyt (saltvatten)

Filiformkorrosion uppträder typiskt i fuktiga/varma miljöer och är märkbart vanligare i kust- och industriområden.

Skyddsåtgärder för undvikande av filiformkorrosion

- Noggrann rengöring av ytan innan beläggning
- Följ rekommendationer för korrosionsskydd och omlackering
- Eliminering av ytdefekter (t.ex porer, repor, luftbubblor, bristande täckning)

Målade aluminiumdelar som fått filiformkorrosion kan repareras genom att avlägsna beläggningen och korrosionen samt slipa och måla om med rekommenderat material.

7.4 Aluminium i olika miljöer

7.4.1 Aluminium i atmosfären

I normal lantatmosfär och i måttligt svavelförorenad atmosfär är korrosionshårdigheten hos aluminium utmärkt. I svårt svavelförorenad atmosfär kan ytliga gropangrepp uppkomma.

Närvaron av salter, främst klorider, i atmosfären försämrar korrosionshårdigheten, men minskningen är mindre än för de flesta andra konstruktionsmaterial. Tillväxthastigheten av groparna avtar med tiden och det maximala gropdjupet för aluminium blir i allmänhet endast en bråkdel av materialtjockleken. Hållfasthetsegenskaperna blir därför praktiskt taget oförändrade.

Fältförsök med obehandlade metaller i olika typer av utomhusatmosfär har utförts av Korrosionsinstitutet, fig 7.9. Viktförlusterna hos ej ytbehandlade plåtar efter åtta års exponering framgår av tabell 7.1. Medelvärdet för de djupaste frätgroparna hos aluminiumplåt var efter de åtta åren 70 µm.

Korrosionshastigheten avtar snabbt med avståndet från havet. Redan ca 1 km från havet betar sig aluminium som i lantatmosfär.

7.4.2 Aluminium i vatten

Korrosion av metaller i vatten är starkt beroende av vattensammansättningen. För aluminium är det främst förekomsten av klorider och tungmetaller som påverkar hårdigheten.

I naturliga sötvatten och dricksvatten kan gropfrätning uppkomma. Om materialet får torka och blir rengjort är dock risken för skadliga angrepp liten. Sannolikheten för angrepp ökar om vattnet är stillastående och materialet långvarigt vått.

Gropfrätningen motverkas genom:

- konstruktionslösningar som minskar risken för vattenansamling
- användning av katodiskt skydd (med offeranoder)
- kemisk tillsats av sk korrosionsinhibitorer, som förhindrar korrosion (används i t.ex bilkylare av aluminium)

Tabell 7.1 Viktförlust i g/m² efter 8 års exponering

| | |
|----------------------|-----|
| Havsatmosfär | |
| Aluminium | 7 |
| Koppar | 57 |
| Zink | 133 |
| Kolstål | 933 |
| Stadsatmosfär | |
| Aluminium | 2 |
| Koppar | 31 |
| Zink | 61 |
| Kolstål | 676 |



Fig 7.10 Snabbgående motorbåtar byggs i stor utsträckning av aluminium och används på grund av sin goda förmåga att tåla saltvatten.



Fig 7.11 Målning av aluminiumplåt ger både ett gott korrosionsskydd och ett dekorativt utseende.

Tillväxthastigheten för frätgropar i naturligt sötvatten avtar starkt med tiden. I havsvatten visar främst AlMg-legeringar med mer än 2,5% Mg god korrosionshårdighet. Kopparhaltiga legeringar bör undvikas, men kan användas om de förses med ett effektivt korrosionsskydd.

Om rätt konstruktionshänsyn tas, speciellt vid sammankoppling med andra material, så är aluminium ett utmärkt material i havsvatten. Ett exempel på detta är den omfattande användningen av aluminium i båtar, fig 7.10. Här används dessutom ofta katodiskt skydd för att motverka korrosion.

7.4.3 Aluminium i jord

Jord är inget enhetligt material utan varierar inom vida gränser när det gäller mineralsammansättning, fuktighet, pH-värde, syrehalt, elektrisk ledningsförmåga samt närvaro av organiskt material. Dessutom kan ibland andra faktorer påverka korrosionshårdigheten, t.ex läckströmmar från likspänningskällor.

Aluminiums korrosionsegenskaper i jord beror i första hand på jordens fuktighet, resistivitet och pH-värde. Kunskapen om olika jordars korrosivitet är tyvärr otillräcklig. Vid användning av aluminium i jord rekommenderas skyddande ytbehandling, t.ex asfaltstrykning eller användning av katodiskt skydd.

7.4.4 Aluminium och alkaliska byggnadsmaterial

Stänk av våt alkali, såsom murbruk och betong, ger ytliga, men tydliga fläckar på aluminium. Dessa är svåra att avlägsna. På aluminium, som gjuts in i betong, sker motsvarande angrepp, vilket ökar vidhäftningen mellan materialen. Efter betongens härdning (torkning) sker normalt inget korrosionsangrepp.

Om fuktigheten består kan dock korrosionen fortgå, varvid volymökningen hos de bildade korrosionsprodukterna kan ge sprickor i betongen. Detta kan effektivt motverkas genom att aluminiumytan stryks med asfalt eller målas med lack som tål alkalisk miljö. Däremot ger anodisering ingen förbättring av hårdigheten, då oxidskiktet inte är stabilt i stark alkalisk miljö.

7.4.5 Aluminium och kemikalier

Aluminium har god hårdighet mot många kemikalier tack vare det naturliga oxidskiktets skyddande egenskaper. Vid låga respektive höga pH-värden ($\text{pH} < 4$ eller > 9) sker dock i allmänhet en upplösning av oxiden och aluminium korroderar snabbt. Oorganiska syror och starkt alkaliska lösningar är därför mycket korrosiva mot aluminium. Undantag utgör koncentrerad salpetersyra och ammoniaklösningar som ej angriper aluminium genom att de passiverar ytan.

I måttligt alkaliska vattenlösningar kan korrosionen dämpas genom användning av silikater som korrosionsinhibitor (minskar kemisk reaktionshastighet). Sådana inhibitorer ingår normalt i maskindiskmedel.

De flesta oorganiska salter har ingen utpräglad korrosivitet mot aluminium. Undantag utgör dock tungmetallsalter som kan ge upphov till allvarlig bimetallkorrosion till följd av att tungmetaller (t.ex koppar och kvicksilver) utfälls på aluminiumytan. Aluminium har mycket god hårdighet mot många organiska föreningar. Utrustning för produktion och lagring av olika kemikalier tillverkas därför ofta av aluminium.

Ytbehandling

Normalt behöver aluminium inte ytbehandlas, men ibland vill man förändra ytan för att:

- erhålla ett annat estetiskt uttryck eller en ny struktur
- öka hårdigheten mot korrosion
- erhålla dekorativa ytor med beständig färg och glans
- erhålla beröringsvänliga och smutsavvisande ytor
- minska eller öka friktionen
- erhålla glatta och/eller nötningsbeständiga ytor
- öka eller minska den elektriska ledningsförmågan
- erhålla elektriskt isolerande ytor
- erhålla ett gott underlag för limning och lackering

För dessa önskemål finns ett stort antal ytbehandlingsmetoder till förfogande, tabell 8.1 och 8.2. Alla med stora möjligheter att förändra ytans utseende och egenskaper.

Tabell 8.1 Ytbehandlingsmetoder

| Metodgrupp | Behandlingsteknik | Resultat av behandlingen |
|------------------------|----------------------------|--|
| Mekaniska metoder | Fabrikationsyta | Obearbetad yta efter valsning, mönstervalsning, smidning, profilpressning eller gjutning |
| | Slipning | Ger fina spår i slipriktningen, ytfinheten beroende av slippapprets kornstorlek |
| | Polering | Jämnar ytan och avlägsnar slippår |
| | Högglanspolering | Ger en speglande glatthet med hög reflexionsförmåga |
| | Satinerering | Ger en svagt diffus och matt yta |
| | Trumling | Ger en matt till glänsande yta på små massartiklar |
| | Blästring | Ger en matt och kornig struktur |
| | Mönstring | Ger mönster eller optiska effekter av speciell karaktär |
| Kemiska metoder | Betning | Används för att rengöra ytor eller som förbehandling vid fogning eller fortsatt ytbehandling |
| | Glansbetning | Ger hög glans och reflexionsförmåga |
| | Ytomvandling | Ger skyddande och dekorativa skikt bestående av oxider, kromater och fosfater |
| | Strömlös plätering | Ytan påförs metaller som zink, tenn, koppar, nickel eller krom utan el-ström |
| Elektrokemiska metoder | Anodisering | Ger klara eller färgade hårda oxidskikt som skydd, dekoration eller av funktionell karaktär |
| | Elektrolytisk glansbetning | Ger en polerad glatt och jämn yta med hög reflexionsförmåga |
| | Galvanisk plätering | Ytan påförs andra metaller som zink, tenn, koppar, nickel, krom eller silver med el-ström |
| Applicerande metoder | Målning och lackering | Påföring av tunna plastskikt för skyddande och dekorativa effekter |
| | Applicering av plaster | Dekorativa, skyddande eller funktionella skikt pålagda som laminater eller genom smältning |
| | Emaljering | Glasliknande, hårda och korrosionsbeständiga beläggningar |
| | Applicering av metaller | Ytan påförs funktionella metallskikt genom sprutning eller dopning |
| | Applicering av keramer | Funktionella keramskikt läggs på ytan genom sprutning eller dopning |

8.1 Kemisk och elektrokemisk ytbehandling

Vid både kemisk och elektrokemisk ytbehandling sänks detaljerna ner i ett bad med olika kemikalier. Vid kemisk ytbehandling kan kemikalierna alternativt sprayas på detaljerna.

Bland de kemiska metoderna finns betning, som för aluminium sker i sura eller alkaliska bad. Metaller som zink, tenn och nickel kan läggas på aluminiumytan utan strömtillförsel, sk *strömlös plätering*. Till kemisk ytbehandling räknas också *kromatering* och *fosfatering*.

Vid den elektrokemiska behandlingen leds elektrisk ström mellan detaljen som ska behandlas och en motelektrod. Till metodgruppen hör *galvanisk plätering*, *glansbetning* och, inte minst, *anodisering*, den vanligaste ytbehandlingsmetoden för aluminium.

8.1.1 Anodisering

Anodisering kan tillämpas på alla aluminiumlegeringar, även gjutgods. Legeringens sammansättning påverkar anodiseringsskiktets utseende och egenskaper. Av stor betydelse är halterna av koppar, kisel och järn. Om anodiseringsskiktet ska fylla en estetisk funktion bör det inte utsättas för temperaturer över 100°C eftersom det då uppstår fina sprickor i skiktet. Detta kan störa synintrycket. Formning och svetsning bör i allmänhet göras före anodiseringen.

Anodiseringsskiktet är genomskinligt. Ytan måste ha det utseende man önskar innan detaljen går till anodisering. Den måste också vara ren och avfettad eller betad innan.

Tabell 8.2 Ytbehandlingsmetoder

| Lämplig ytbehandlingsmetod | Anodisering i svavelsyra | Hårdanodisering | Anodisering i kromsyra | Anodisering i fosforsyra | Kromatering | Målning, lackering | Plätering med metaller | Partikelinsmältning |
|----------------------------|--------------------------|-----------------|------------------------|--------------------------|-------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| Önskad egenskap | | | | | | | | |
| Utseende, känsla | x | | | | | x | | |
| Korrosionsskydd | x | x | | | x | | | |
| Nötningsållighet | | x | | | | (x) Ni,Cr | x | |
| Låg friktion | | x | | | | | | |
| | | +Teflon® | | | | | | |
| Elektriskt ledande | | | | | | (x) Ni,Ag | | |
| Elektriskt isolerande | x | x | | | | | | |
| Underlag för målning | x | | | | x | | | |
| Underlag för limning | x | | x | x | x | | | |

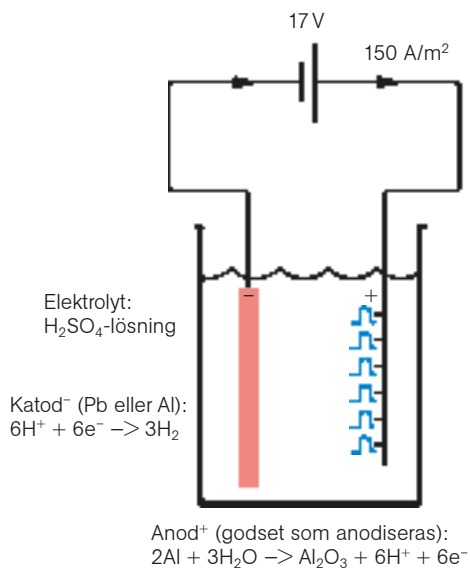


Fig 8.1 Svavelsyraanodisering, principskiss.

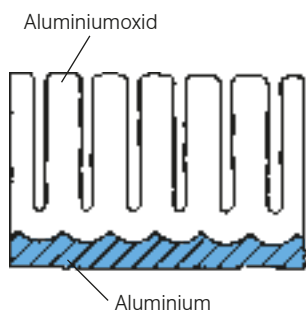


Fig 8.2 Anodiserings-skikt framställt i svavelsyra.



Fig 8.3 Eftertätat anodiserings-skikt med slutna porer.

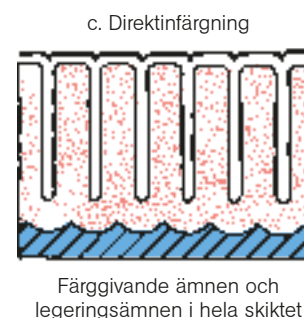
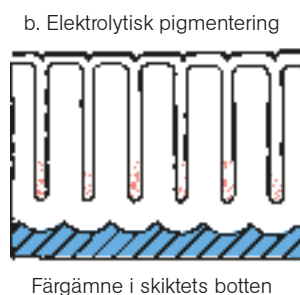
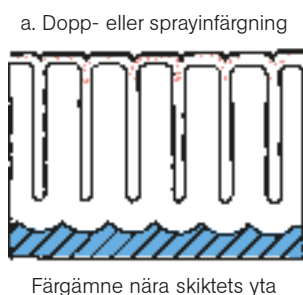


Fig 8.4 Anodiserings-skikt som infärgats med tre olika metoder.

Detaljen som ska anodiseras ansluts som anod i en likströmskrets, fig 8.1. Som katod används vanligen aluminium eller bly. Elektrolyten kan bestå av olika syror såsom svavelsyra, fosforsyra, kromsyra eller oxalsyra. Beroende på använd temperatur och syra tillväxer skikten på olika sätt och ger olika struktur. Vanligtvis används dock rumstemperatur (RT) och utspädd svavelsyra.

Vid anodiseringen tillväxer det naturliga oxidskiktet. Aluminiummetallen omvandlas då till aluminiumoxid. Metall och oxid har olika volym och produktens dimensioner ändras därför vid anodiseringen. Som tumregel gäller att anodiserings-skiktet "växer utåt" med ca 1/3 av dess tjocklek. Typisk skiktjocklek för detaljer som används inomhus är 10 µm. Utomhus används 20–25 µm tjocka skikt.

Ett tätare, tjockare (100–200 µm) och hårdare skikt kan framställas vid lägre temperatur än RT genom *hårdanodisering*. Detta skikt har mycket god nötningstålighet jämfört med skikt framställda vid RT, och är porösare och lämpar sig bättre som underlag för målning. Genom att variera processbetingelserna kan man erhålla oxidskikt med mycket ovanliga egenskaper, t.ex att med anodisering och elektrolytisk infärgning skapa en yta med hög absorption av solenergi och låg värmeutstrålning för t.ex vattenburna solfångare.

Anodisering kan användas som underlag för limning av aluminium i konstruktioner med höga krav på hållfasthet, t.ex i flygplan. Därvid används mycket tunna oxidskikt (endast några µm tjocka) framställda genom anodisering i kromsyra eller fosforsyra.

Anodiserings-skiktet efter svavelsyraanodisering innehåller fina *porer* som är orienterade vinkelrät mot metallytan, fig 8.2. Porernas diameter är vanligen 0,01–0,05 µm. Storleken bestäms av den elektriska spänningen vid anodiseringen. Antalet porer är 10⁸–10⁹ per mm² metallyta. Dessa utnyttjas vid bl.a infärgning och lackering genom att färgämnet tränger in i dem. Man kan också föra in andra ämnen än färgpigment i skiktets poriga yta, t.ex fluorplaster för att minska friktionen.

Det avslutande steget vid anodisering är *eftertätning*. Vid denna sluts porerna i oxidskiktet så att det blir tätt, fig 8.3. Eftertätningen sker genom dopning i kokande avjoniserat vatten eller genom kontakt med vattenånga. Ett alternativ är sk *kalleftertätning* i RT. Då får oxidskiktet reagera med en lösning som innehåller bl.a nickel och fluorider. Hårdanodiserade skikt eftertätas normalt inte.

8.1.2 Infärgning

Doppinfärgning

Det finns flera sätt att infärga ett anodiserings-skikt. Det vanligaste är att doppa eller spraya på organiska färgpigment, *doppinfärgning*, fig 8.4a. Färgämnet tränger bara in i oxidskiktets ytligaste delar som därför blir känsligare för solljus. Färgurvalet är stort varför många kulörer kan fås, se fig 8.5. Metoden används mest på korta bitar.

Elektrolytisk pigmentering

Långlängdsanodisering, 6–8 m, utförs i svavelsyra. Med hjälp av växelström förs ett färgpigment (vanligen ett tennsalt) in i nedre delen av skiktets porer, elektrolytisk pigmentering, fig 8.4b. Därefter eftertätas skiktet. Den färgskala som erhålls med tennsalter täcker nyanser från ljusbrunt (champagne) till svart, fig 8.6. Skikten har god färgåktighet då pigmentet ligger skyddat i oxidskiktet.

Tabell 8.3 Skiktjocklekar vid anodisering

| Skikt | Användning |
|-------|--|
| 10 µm | Normal belastning inomhus |
| 15 µm | Hårt slitage inomhus och utomhus i torr och ren luft |
| 20 µm | Normalt för hårt slitage utomhus, t.ex inom transport och konstruktion. Hård belastning under kemisk påverkan inomhus, t.ex inom livsmedelsindustrin |
| 25 µm | Ytan utsätts för hård belastning i form av korrosiv miljö eller slitage |

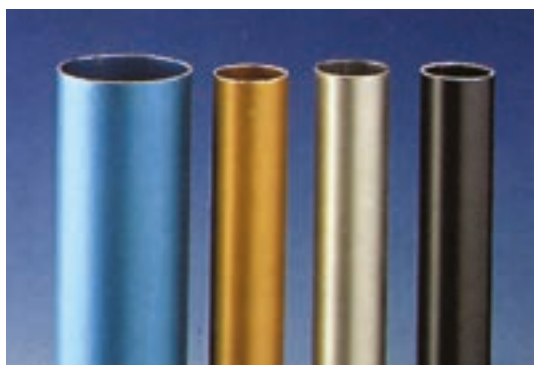


Fig 8.5 Högfrequenssvetsade, anodiserade och infärgade aluminiumrör.



Fig 8.6 Anodiserade och infärgade flasköppnare.



Fig 8.7 Nya fantastiska färger kan användas till byggnadsfasader. Här ljusbrunt, rött och blått.

Direktinfärgning

Vid direktinfärgning sker anodiseringen i organiska syror (t.ex sulfosalicylsyra och maleinsyra), vilka ger upphov till helfärgade skikt, fig 8.4c. Färgmättnaden tilltar med ökande skiktjocklek, men urvalet av färger är begränsat. Metoden har begränsad användning.

IBland kombineras de olika infärgningarna i flerstegsförfaranden.

Rostfri ståleffekt

En nyutvecklade infärgningsteknik, Alanox[®], ger ett utseende av rostfritt stål på aluminium. En specifik, upprepad slipning i kombination med en särskild infärgning resulterar i denna rostfria ståleffekt, vilken är mycket efterfrågad, särskilt för arkitekturändamål. Skiktjockleken är minst 20 µm.

Gråinfärgning

Gråanodiserat aluminium eller Granodal[®] är en ny aluminiumyta utvecklad av Alutecta. Den erbjuder unika möjligheter för inom- och utomhusanvändning inom arkitektur och produktdesign. Med sin subtilt skimrande anblick, varierande ljusstryck och oräkneliga variationer av grått ger ytan ett oöverträffat utseende och känsla av aluminium.

8.2 Lackering

Aluminium kan utan större svårigheter lackeras (målas). Urvalet av kulörer är därvid stort och de tekniska egenskaperna hos lackerna är mycket goda. Många lacker har så god vidhäftning och formbarhet att formningen av produkten kan ske efter lackeringen, t.ex profilering av byggplåt, pressning av belagda stekpannor, utan att lacken spricker.

Pulverlackering och olika typer av våtlackering t.ex doppning, sprutning, rollning eller ridålackering används på aluminium. De flesta färgnyanserna, även metallic, kan läggas på med lösningsmedelsfria pulverlack. Också olika lacktyper kan användas t.ex polyesterlack med god UV-härdighet eller epoxilack med god kemikaliebeständighet. Skiktjocklekar vid pulverlackering är 60–80 µm.

Oberoende av lackeringsmetod krävs en god förbehandling som bl.a omfattar rengöring och oxidborttagning. För produkter som används inomhus kan alkalisk avfettning eller etsning vara tillräcklig. För utomhusbruk krävs dessutom en kemisk ytomvandling, t.ex kromatering. Detta är den sedan lång tid mest använda metoden. Miljöskäl har dock medfört ett byte till kromfria processer.

8.2.1 HM-vit

Vid anodisering och infärgning av ett oxidskikt finns ett stort antal kulörer tillgängliga, men inte vit. För att lösa detta färgproblem finns den alternativa processen HM-vit. Den är en elektroforetisk infärgning enligt Honnystonemetoden.

Ett anodiserat, 7–10 µm tjockt och otätat oxidskikt doppas i ett bad, där en lack av akryl-melamintyp appliceras med hjälp av likström sk elektroforetisk deponering. Därefter härdas lacken i ugn vid ca 180°C så att färgen polymeriseras. Ytskiktets tjocklek är (oxid + lack) ca 30 µm, att jämföra med pulverlackens 80–120 µm, fig 8.8.

Slutresultatet är en vit, UV-tålig yta med en glans som inte mattas i första taget. Motståndskraften mot korrosion, kemikalier och smuts är stor. Då färgen inte bygger upp på kanterna passar den bra för detaljer som ska passas ihop i en konstruktion. Färgskiktet får samma tjocklek över hela detaljen.



Fig 8.8 HM-vit lackerat fotbollsmål av aluminium.

8.3 Dekorativa beläggningar

Med ny lackeringsteknik kan spännande dekorativa och avantgardistiska ytmönster skapas. Metoden Decoral® kan användas både på plåt och profil, där man önskar dekorativa ytor. Mönstren är många såsom trä-, marmor-, granit- eller fantasimönster, se fig 8.9-10.

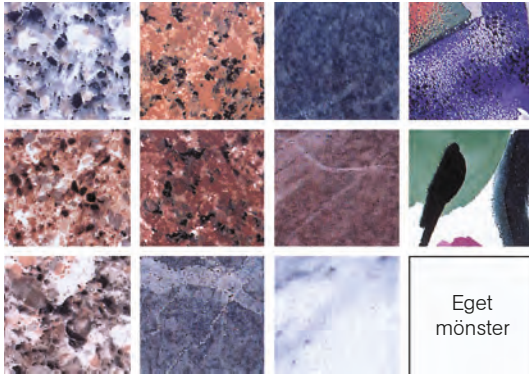


Fig 8.9 Nya fantasifulla mönster kan skapas med Decoral®-metoden.

I en flerstegsprocess kan fotorealistiska motiv och metallmönster läggas på, fig 8.11. En speciell pulverlack appliceras som bakgrundsskugga och kompletteras med ett motiv i ett andra steg. Beroende på vilken teknik som används, kan den resulterande dekorationen också få en topografisk struktur. I detta syfte är komponenter lindade med en film tryckt med det önskade motivet och som sedan upphettas till 200°C. Bläcket blöder därefter från filmen in i pulverbeläggningen.

Kombinationen av tekniska fördelar och personlig komponentdesign kommer att öppna helt nya användningsområden för aluminium med denna metod. På detta sätt belagt aluminium kan användas för nästan alla ändamål och kan bl.a ge utseende och känsla av andra material såsom trä, stål eller glas.

8.3.1 Strippning och återvinning

När belagda komponenter har nått slutet av sin livslängd kan ytan lätt skalas av och åter beläggas. Ett typexempel är här flygplan. De kan få färgen avlägsnad och sedan användas igen efter ommålning.

Ytorna är knappast en återvinningsfaktor längre. Befintliga processer kan ta bort alla beläggningar och se till att aluminiumet kan omvandlas till nya produkter, om och om igen.

8.4 Övriga ytbehandlingsmetoder

Det finns ett stort antal andra ytbehandlingsmetoder för aluminium, ofta med bakgrund i speciella tekniska applikationer, t.ex:

- Gummi kan vulkas fast på en aluminiumyta.
- Laminering av aluminiumfolie med plast- eller fibermaterial (papper, kartong) ger produkter som används till förpackningar för t.ex livsmedel och läkemedel, men också till olika byggprodukter som fasadelement.
- Förbättrad tålighet mot abrasivt slitage kan erhållas genom att aluminiumytan smälts upp med laser samtidigt som hårda partiklar, t.ex kromkarbid, blåses in i smältan och ökar ythårdheten.
- Aluminium kan beläggas med kemiskt eller elektrolytiskt nickel. Båda varianterna ger förbättrad nötningsbeständighet och en ledande yta för elektricitet och värme.



Fig 8.10 Decoral-fönster med träutseende.

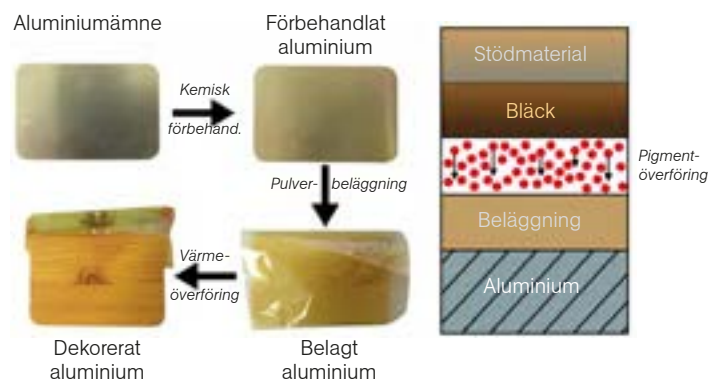


Fig 8.11 Principen för bläcköverföring vid Decoral-processen.

8.4.1 Tufram®

Tufram finns i sex varianter och är en familj av ytbehandlingsmetoder för aluminium och aluminiumlegeringar. Vilken variant som är bäst beror på tillämpningens kravprofil.

Processen bygger på en kombination av hårdanodisering och fluorplastbeläggning, vilket ger skiktet en rad intressanta egenskaper. Hög hårdhet, låg friktion, korrosions- och nötningsbeständighet, goda non-stickegenskaper, låga skärningstendenser, snäva toleranser, god elektrisk isolation, jämn skiktuppbyggnad och inga behov av efterbearbetning är några exempel.

Aluminiumgjutgods

9.1 Användning av gjutgods

Teknikerna för aluminiumgjutning har utvecklats starkt de senaste årtiondena, samtidigt som redan använda metoder har förbättrats. Dagens gjuteriindustri har därför stora möjligheter att tillfredsställa kundernas krav på högkvalitativt gjutgods, fig 9.1. Gjutting kommer även i framtiden att vara en såväl ekonomisk som kvalitetsmässigt konkurrenskraftig process.

För tillverkning av gjutgods finns många olika metoder. Vilken metod som ur teknisk och ekonomisk synvinkel är lämpligast är oftast svårt att ange. Vägledande vid valet av gjutmetod är detaljens totalkostnad och tekniska kvalitet. Exempelvis kan relativt höga gjutkostnader uppvägas av väsentliga besparingar senare i produktionskedjan.

Datorteknik används i dag både för gjutgodsets konstruktion och för simulering av gjutmetallens stelning, vilket ökar kunskapen om gjutprocessen och leder till förbättringar av gjuttekniken. Normalt gjuter man först hela komponenten i dator, innan det sker i verkligheten.

Särskilt vid användning av permanenta formar – kokill- och pressgjutting – är simulering av fyllnings- och stelningsförloppet viktigt för att förutspå porer och gjutgodsets hållfasthet, eftersom verktygets värmebild påverkas av föregående gjutcykel inklusive använd värmestyrning.



Fig 9.1 Gjutet svänghjulshus.

9.2 Gjutmetoder

Några gjutmetoder för framställning av aluminiumgjutgods är:

- *Gjutning i engångsform*
 - sandgjutting
 - gipsgjutning
 - fullformsgjutning
- *Gjutning i permanent form*
 - kokillgjutting
 - lågtrycksgjutning
 - vaggjutning
 - pressgjutting
 - squeeze casting

9.2.1 Gjutning i sandform

Gjutning i engångsform av sand, *sandgjutting*, fig 9.2, är den metod som, förutom pressgjutting, används i störst omfattning för aluminium. Gjutformstillverkningen kan ske enligt flera metodvarianter, vilka är mer eller mindre mekaniserade. Utvecklingen går mot mer automatiserad *flaskformning* och *bullautomatformning*.

Trots ökad automatisering är handformning med sand fortfarande en betydelsefull metod för små serier och prototyper. Bindemedel och sand blandas i kontinuerliga blandare och tillförs formen direkt. Förbättrad processtyrning och fortsatt utveckling på bindemedelssidan ökar möjligheterna att tillmötesgå kundernas krav på komplicerat gjutgods i korta serier. Modeller för sandgjutting kan fortfarande tillverkas av trä, men vanligare är att de tillverkas av plast eller metall vid långa serier. 3D-printning av sandformar är i dag ett nytt alternativ.

En gjutteknik, som tillämpas utomlands för aluminiumgjutgods i långa serier är *fullformsgjutning*. En modell av polystyren bäddas in i vibrationspackad sand. Gjutting sker medan modellen fortfarande är kvar i formen varvid den flytande metallen förgasar polystyrenmodellen helt och ersätter den med smält aluminium (lost foam). En fördel med metoden är minimalt rensningsarbete och att komplicerade gjutgods kan framställas. Nackdel är dålig formriktighet hos gjutgodset.

9.2.2 Gjutning i gipsform

Tekniken att gjuta i gipsform har använts i små serier och för prototyper. Fördelarna är god dimensionsnoggrannhet och hög ytjämnhet, vilket oftast är jämförbart med vad som erhålls vid pressgjutting. Gipsgjutting ger dock en långsam stelning, varför man inte kan jämföra hållfasthetsegenskaperna med de för pressgjutting.

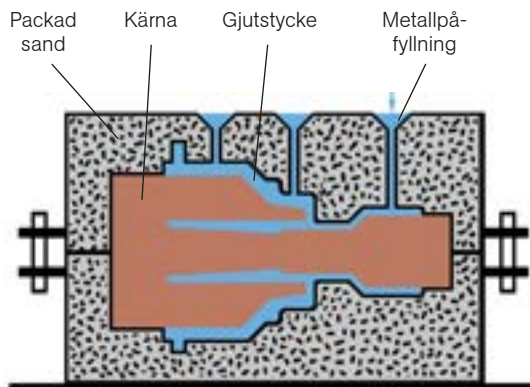
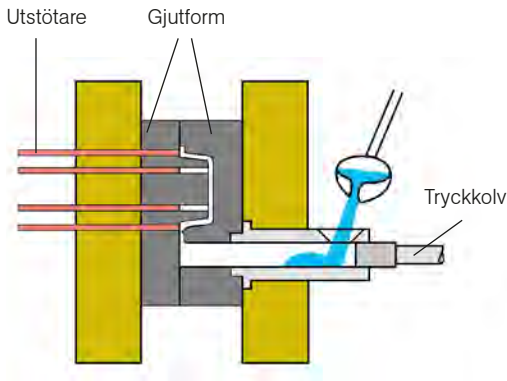


Fig 9.2 Fylld form efter sandgjutting.

9.2.3 Kokillgjutning

Vid kokillgjutning används permanenta formar, *kokiller*, som för det mesta är tillverkade av varmarbetsstål. Tidigare användes gjutjärn, vilket hade bra värmeledning, men var mindre bra ur spricksynpunkt. Ca 100 000 detaljer kan produceras med samma kokill, vid 3° släppning och gjutmetallen AISi10Mg, medan andra legeringar kan sänka antalet till 20 000–75 000 detaljer. Kokillgjutning förekommer i två varianter, *statisk kokillgjutning* och *lågtrycksgjutning*. Modern datoriserad processtyrning av olika parametrar möjliggör kokillgjutning av alltmer komplicerade former. Kärnorna är dragbara slider av stål eller sand.



En variant av den konventionella kokillgjutningen är *vaggjutning*. Metoden innebär att kokillen placeras i en vagg. Under gjutningen vrids vaggan från horisontellt till vertikalt läge, varvid smältan sakta och utan turbulens rinner ner i formen. Genom den väl kontrollerade metallpåfyllningen uppnås tekniska fördelar hos gjutgodsen.

Egenskapsmässigt är lågtrycksgjutning väl i klass med vaggjutning, då lågtrycksgjutning möjliggör mycket kontrollerad formfyllning.

9.2.4 Pressgjutning

Vid pressgjutning pressas smält metall under högt tryck in i ett formverktyg av stål, fig 9.3. I moderna pressgjutningsmaskiner är injektionstrycket mellan 20 och 200 MPa. Verktygen är vid gjutning av komplicerade detaljer relativt dyra, vilket gör att metoden bäst lämpar sig för stora serier. Verktygslivslängden kan ligga på upp mot 200 000 gjutningar, men kan variera kraftigt beroende på använt stål i verktyget, gjutlegering, temperaturvariationer och komponentgeometri.

Pressgjutningstekniken utvecklas snabbt. Styrsystemen och övervakningen av de olika processtegen förbättras. Maskinernas låskraft ökar, vilket medger gjutning av allt större detaljer. Metoden erbjuder stora möjligheter till automatisering och i dag finns tillverkningsenheter, som arbetar i det närmaste helautomatiskt. Ny teknik för snabba verktygsbyten och metalltillförsel gör att kraven på långa serier minskar. Pressgjutning dominerar i dag framställningen av aluminiumgjutgods.

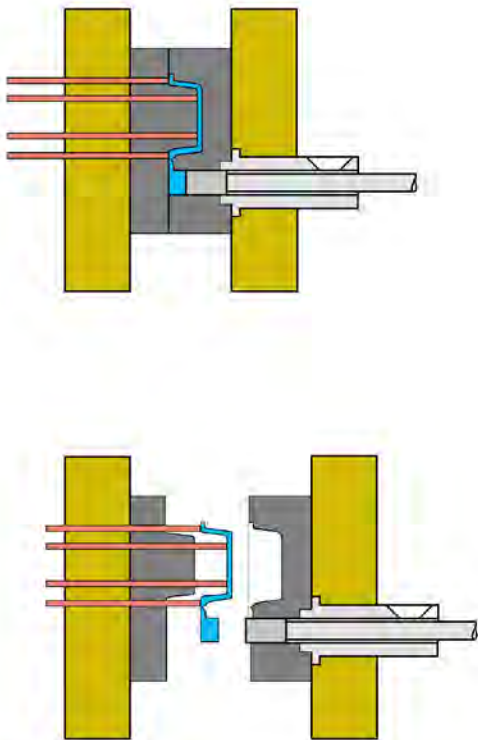


Fig 9.3 Principen för pressgjutning.

9.2.5 Squeeze casting

Vid gjutning enligt squeeze casting-metoden kombinerar man pressgjutningens höga produktivitet med kokillgjutningens goda hållfasthet. Metoden kan kombineras med partikel- eller fiberförstärkning av gjutgodset. Gjuthastigheten är betydligt lägre än vid pressgjutning, vilket medför att turbulenta metallflöden undviks. Efter fyllning av formen bibehålls ett eftermatningstryck tills metallen har stelnat, vilket ger ett material med minimal mängd porer. Värmebehandling i form av upplösning och varmåldring kan utföras på gjutgodset.

9.3 Gjutting av halvsmält material

9.3.1 Reogjutning

Ett flertal reogjutningsmetoder har utvecklats under de senaste decennierna. Få av dessa har dock nått kommersiell användning utanför forskningslaboratorierna, vilket till stor del beror på komplicerad processtyrning och/eller otillräcklig stabilitet och gjutgodskvalitet.

RheoMetal-processen, fig 9.4, utvecklades 2003. Den baseras på att en smälta kyls ned med en bit fast metall, EEM – Enthalpy Exchange Material, som är fäst vid en omrörare, och som leder till en snabb avkylning av smältan till önskad temperatur och fast fraktion när EEM smälter.

Den stora fördelen med denna metod är att den bygger på ett internt värmeutbyte och att behovet av extern kontroll av värmefflödet i princip inte finns. Nästan alla andra reogjutningsmetoder bygger på att kontrollera värmefflödet, vilket har visat sig vara komplicerat och kostsamt. *RheoMetal* används bara för aluminiumlegeringar, men fungerar även för magnesium och mässing.

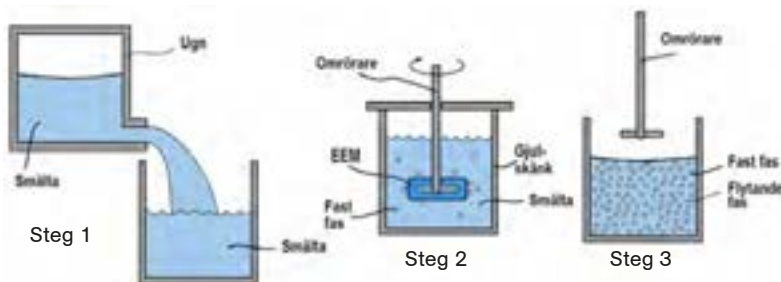


Fig 9.4 RheoMetal-processen med kylkroppen EEM.



Fig 9.5 Höghållfast reogjuten komponent. Denna specialiserade och unika utveckling av aluminium-gjutningsprocessen möjliggör kvalitetsförbättringar, kostnadsminskningar och en klar viktreduktion.



Fig 9.6 Halvfast ämne (semi-solid) för tixogjutning efter uppvärmning i ugn. Kutsen hänger fortfarande ihop efter uppvärmningen till 610°C.

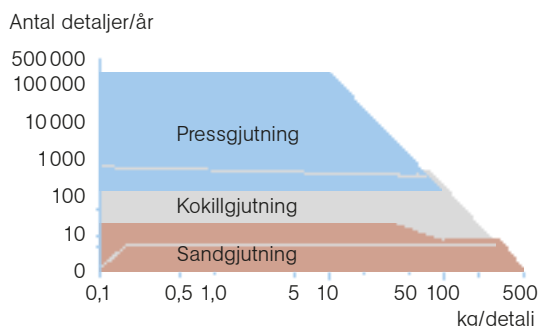


Fig 9.7 Val av gjutmetod efter seriestorlek och detaljvikt.

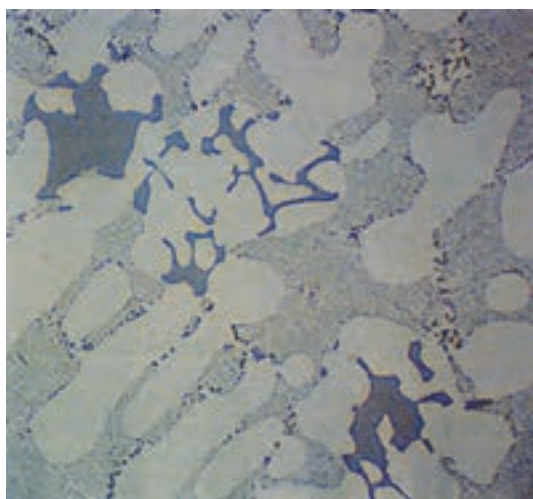


Fig 9.8 Strukturen hos en AlSiCu-gjutlegering förstörad ca 550x.

9.3.2 Tixogjutning

En process för att framställa produkter med nästan färdig form (near-net shape) med förbättrade mekaniska och estetiska egenskaper är *tixogjutning*. Man utgår från en kuts, kapad i avpassad längd. Kutsen, som består av en förbehandlad legering, uppvärms induktivt till halvsmält (semi-solid) tillstånd, fig 9.6, och placeras i gjutmaskinens fyllkammare för att sedan tryckas in i formen, som vid pressgjutning.

Användningen av halvfasta metaller möjliggör tillverkning av komponenter med komplexa former, tunna väggar, goda mekaniska egenskaper, hög dimensionstolerans och noggrannhet. Positiva egenskaper är lägre formningstemperatur, tydligt lägre verktygsslitage, hög komponentprecision och effektiv produktion. Det finns dock ett antal nackdelar såsom behov av ett speciellt utgångsmaterial med nästan sfäriska primärkristaller. Utgångsmaterialet blir därför dyrt.

9.4 Val av gjutmetod

Vid val av gjutmetod måste hänsyn tas till samspelet mellan metod och använd legering. Tillgängliga gjutmetoder lämpar sig mer eller mindre väl för olika gjutlegeringar. Seriestorleken har i många fall en avgörande betydelse, fig 9.7.

Tabell 9.1 Jämförelse av gjutmetodernas egenskaper

| | Sandgjutning | Kokillgjutning | Pressgjutning |
|---------------------------------|--------------|----------------|---------------|
| Stor styckestorlek | 1 | 2 | 3 |
| Liten godstjocklek | 3 | 2 | 1 |
| Måttnoggrannhet | 3 | 1-2 | 1 |
| Bearbetningstid | 3 | 2 | 1 |
| Kassation | 3 | 1 | 1 |
| Handeringskostnader | 3 | 2-3 | 1 |
| Hållfasthet och täthet | 2 | 1 | 1 |
| Svetsbarhet och värmebehandling | 1 | 1 | 3 |
| Ytbeskaffenhet | 2-3 | 1-2 | 1 |
| Modell- och formkostnader | 1 | 2 | 3 |

Jämförelsetal: 1 = utmärkt, 2 = god, 3 = mindre god

Vid ökande seriestorlek blir maskinformning ett allt lämpligare alternativ. Man övergår då till att använda sk bräntlagd modell. Trä kan fortfarande användas som modellmaterial. Vid större serier övergår man till slitstarkare material, såsom glasfiberarmerad plast eller metall.

Tabell 9.1 visar att pressgjutning har många fördelar framför sand- och kokillgjutning. Men den har också begränsningar, t.ex blir den alltför kostsam då seriestorleken är för liten eller styckevikten för hög. Detaljer som har många och komplicerade håligheter kan inte pressgjutas.

9.5 Gjutgodsets efterbehandling (rensning)

Stora insatser har under senare år gjorts för att uppnå produktions-tekniskt och miljömässigt goda lösningar för gjutgodsets rensning.

En utvecklingslinje har varit att installera industrirobotar och manipulatorer för hantering av gjutstycken och olika rensningsverktyg. Roboten hanterar både gjutgods och verktyg. En annan utvecklingslinje är *gradklippningstekniken*. Vid denna avlägsnas grader, matare och ingjutrester i kallt tillstånd genom skjuvning i specialverktyg monterade i en press. Gradklippning är lämplig för automatisering.

9.6 Fiber- och partikelförstärkt gjutgods

Termen *komposit* används för material som består av två eller flera komponenter och där den bildade strukturen uppvisar mekaniska och fysikaliska förbättringar jämfört med de enskilda komponenterna. Det innebär att ett förstärkningsmaterial, vanligen partiklar eller fibrer med hög prestanda och låg vikt, bäddas in i ett sammanhållande metalliskt matrismaterial, vanligtvis aluminium, fig 9.9. Ett sådant material kallas *metallmatriskomposit*, MMC.

Exempel på MMC-användning är bromsskivor till personbilar, med en aluminiummatris för låg vikt och god värmeledning, samt slitstarka

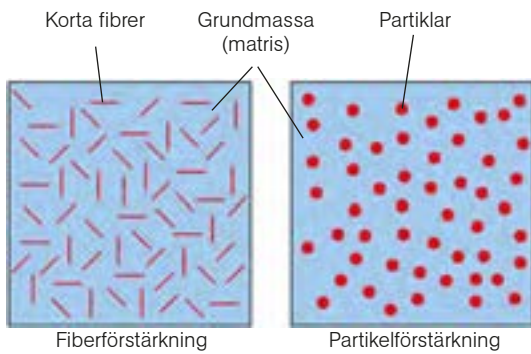


Fig 9.9 Olika armeringstyper för aluminiumbaserade metallmatriskomposit (MMC).



Fig 9.10 Årets gjutgods vid en stor gjuterikonferens i USA 2018. Ämnet skrevs ut i en sandform med binder jet-teknik (BJ) och sedan användes lågtrycksgjutning för att fylla formen.



Fig 9.11 Motorblock printat av Robert Hoffmann GmbH, i aluminium till en VW. (foto Sten Farre)



Fig 9.12 3D-printade småkomponenter.

partiklar för att få hög friktion och god nötningsbeständighet. De flesta MMC består av relativt billiga diskontinuerliga förstärkningsmaterial som partiklar, whiskers eller korta fibrer, vilka har goda prestanda.

9.7 Additiv tillverkning

Additiv Tillverkning (AM) eller 3D-printning är ett sätt att sammanfoga material för att tillverka komplexa tredimensionella metalliska komponenter, skikt för skikt, baserade på data från en digital 3D-modell. Man smälter lokalt ett metallpulver eller en tråd med laser eller elektronstråle. Komponenterna kan ha nästan vilken form eller geometri som helst. Metoden kan jämföras med en bläckstråleskrivares arbetssätt.

För att skriva ut ämnen i aluminiumlegeringar är det några av tillverkningsmetoderna som är mer intressanta än övriga. Det finns ännu inga bra svenska översättningar för begreppen varför de är angivna med den engelska termen här.

Metoderna är *Binder Jetting* (BJ), där ämnena sintras och HIP-as i önskvärt pulvermaterial, *Powder bed fusion* (PBF), som använder olika typer av laser- och elektronstråleteknik, *Direct Energy Deposition* (DED), där laser eller plasma används för att sammanfoga material till färdig komponent och *Material Jetting* (MJ), där droppar av metallen läggs lager för lager i varmt eller kallt tillstånd.

9.7.1 Direktframställning av 3D-printade aluminiumkomponenter

Metallskrivare för att ta fram komponenter direkt i skrivaren lanserades i slutet av 1990-talet och domineras i dag av tillverkare från främst Tyskland. Men även Sverige har varit framgångsrikt med Arcam, som använder elektronstråle för att smälta pulver och Digital Metall, ett dotterbolag till Höganäs, som limmar ihop metallpulver för att sedan sintra och utföra HIP (Hot Isostatic Pressing) på komponenten.

För aluminium är det BJ- och SLS-tekniken (sintring av sandkorn) som främst används för att ta fram komponenter, men även DOD (Drop on Demand) för små ämnen i nanostorlekar. Begränsningar finns i hur stora ämnen som kan skrivas ut. Fig 9.11 visar ett exempel på en stor komponent, ett motorblock till VW. Blocket på 25 kg tog ca 300 timmar att skriva ut, efterbearbetningen tog sedan lika lång tid.

Sedan 2015 har tydliga framsteg gjorts inom AM. Nya legeringar har tagits fram, och då speciellt aluminium-skandium, som bättre utnyttjar fördelarna med den mycket snabba kylningshastigheten, som uppnås jämfört med konventionella framställningssätt och som ger förbättrade mekaniska egenskaper. Vanligen använda legeringar är renaluminium, AISi12, AISi9Cu3, AISi10Mg och Scalmalloy (AlSc-legering).

Addalloy är den första högpresterande aluminiumlegeringen speciellt för AM. Den är termiskt stabil upp till 350°C, är skandium- och kiselfri, har god maskinbearbetbarhet, är hårdbar och svetsbar, har hög termisk och elektrisk ledningsförmåga samt hög densitet i utskrivna komponenter. Brottgräns $R_m > 390$ MPa och brottförlängning $A_5 > 23,8\%$.

9.7.2 Tillverkning av 3D-printade gjutformar

Både gjutformar och kärnor kan direkt skrivas ut i sand eller gips, utan att använda modeller. Vid kortare serier innebär det kostnadsbesparingar eftersom ingen modell behöver tillverkas. Vid större serier kan förserier framställas och utvärderas innan man gör modeller och verktyg för serietillverkning. BJ-metoden används företrädesvis, där sanden först blandas med en härdare. Därefter droppas bindemedel ut i valda delar av pulverbädden.

En annan teknik är Reverse Engineering, där man 3D-skannar en befintlig produkt, t.ex en gammal reservdel som det inte finns några ritningar på. Man får då fram ett digitalt underlag som kan anpassas för 3D-printning och gjutning.

Bearbetning

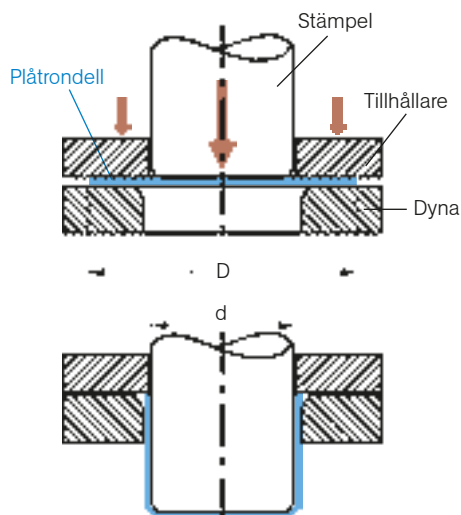


Fig 10.1 Principen för dragpressning. Dragförhållandet (D/d) vid pressning är kvoten av rondelldiametern (D) och stämpeldiametern (d).

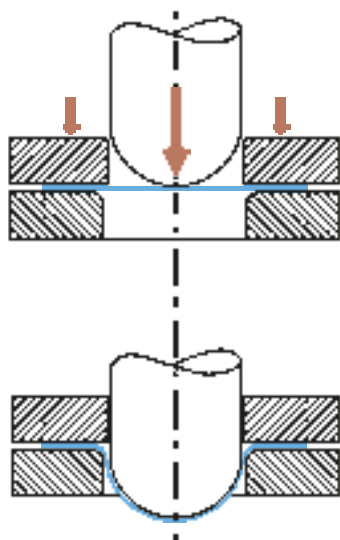


Fig 10.2 Principen för sträckpressning.

10.1 Kallformning

Aluminium har god formbarhet vid rumstemperatur och lämpar sig därför för *kallformning*. Formbarheten är olika för olika legeringar och beror också på materialtillståndet.

Olegerat aluminium och *icke härdbara*, låglegerade material är mycket duktila* och kan lätt formas i mjuka och delhårda tillstånd. Stora formningar kan utföras med låg presskraft och utan mellanglödning.

För *härdbara legeringar* kan formning ske i olika materialtillstånd:

- Om formningen ej är alltför svår kan den göras i kallåldrat tillstånd. Den kan följas av varmåldring om högsta hållfasthet ska uppnås. Varmåldrat material har mycket begränsad kallformbarhet. AlZnMg-material bör ej kallformas i varmåldrat tillstånd pga risken för spänningskorrosionssprickor.

- Formbarheten är bäst efter mjukglödning eller omedelbart efter upplösning. Fördelen med formning i upplöst tillstånd är att endast åldring behöver göras efteråt för att högsta hållfasthet ska uppnås. En komplikation kan vara att formningen måste ske inom ett fåtal timmar efter upplösningen. Efter formning i mjukglödgt tillstånd måste däremot upplösningen göras, vilket medför risk för formförändringar vid den höga temperaturen.

Vid svåra formningar i flera steg, måste man använda *mellanglödning*. Materialet återförs då till mjukt tillstånd. Om glödningen utförs efter en reduktion som varit låg finns risk för bildning av grova kristallkorn. Det är därför viktigt att reduktionen *före* mellanglödningen görs så hög som möjligt. En grov kornstruktur hos materialet leder till grov ytstruktur, sk *apelsinyta*, vilket kan försvåra efterföljande formning.

10.1.1 Djuppressning

Fig 10.1 visar principen för *dragpressning*. Metoden används bl.a när man tillverkar kokkärn och dryckesburkar av aluminium. Utgångsmaterialet är en cirkulär skiva, *rondell*. En stämpel pressar materialet genom en dyna varvid godstjockleken endast obetydligt minskar. Materialet dragpressas ofta i flera steg innan det får sin slutliga form.

Kanten på ett föremål som dragpressas kan ibland bli ojämn. Detta kallas för *öronbildning* och beror på att materialet har olika egenskaper i olika riktningar. För att undvika öronbildning bör man använda material speciellt avsett för dragpressning.

Tabell 10.1 Verktygsradie (r_{min}) vid kallböckning 90° av några icke härdbara aluminiumlegeringar

| Tjocklek (t) mm | AW-1050A, 1200 | | | | AW-3003, 3103 | | | | AW-5052 | | | AW-5083 | | | Tjocklek (t) mm |
|--------------------|----------------|------------|------------|------|---------------|------------|------------|------------|---------|------------|------------|---------|------------|------------|--------------------|
| | O | H12 H22 | H14 H24 | H18 | O | H12 H22 | H14 H24 | H18 H28 | O | H22 H32 | H24 H34 | O | H22 H32 | H24 H34 | |
| 0,2– 0,5 | 0 | 0 | 0 | 1,0t | 0 | 0 | 0,5t | 1,5t | 0 | 0,5t | 0,5t | 0,5t | 0,5t | 1,0t | 0,2– 0,5 |
| 0,5– 1,5 | 0 | 0 | 0,5t | 2,0t | 0 | 0,5t | 1,0t | 2,5t | 0 | 1,0t | 1,5t | 1,0t | 1,5t | 2,0t | 0,5– 1,5 |
| 1,5– 3,0 | 0 | 0,5t | 1,0t | 3,0t | 0 | 1,0t | 1,0t | 3,0t | 0,5t | 1,5t | 2,0t | 1,0t | 2,0t | 2,5t | 1,5– 3,0 |
| 3,0– 6,0 | 0,5t | 1,0t | 1,5t | - | 1,0t | 1,0t | 2,0t | - | 1,0t | 1,5t | 2,5t | 1,5t | 2,5t | 3,5t | 3,0– 6,0 |
| 6,0–12,5 | 1,0t | 2,0t | 2,5t | - | 1,5t | 2,0t | 2,5t | - | 2,0t | 2,5t | 3,0t | 2,5t | 3,5t | 4,5t | 6,0–12,5 |

Tabell 10.2 Verktygsradie (r_{min}) vid kallböckning 90° av några härdbara aluminiumlegeringar

| Tjocklek (t) mm | AW-2014 | | | AW-6061 | | | AW-6082 | | | AW-7020 | | Tjocklek (t) mm |
|--------------------|--------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|------------------|------------------|--------------------|
| | O | T4 | T6 | O | T4 | T6 | O | T4 | T6 | T4 ¹⁾ | T6 ¹⁾ | |
| 0,2– 0,5 | 0 | 3,0t | 5,0t | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,2– 0,5 |
| 0,5– 1,5 | 1,0t | 5,0t | 7,0t | 0,5t | 1,0t | 2,5t | 0,5t | 1,5t | 2,5t | 2,0t | 3,5t | 0,5– 1,5 |
| 1,5– 3,0 | 1,5t | 5,0t | 7,0t | 1,0t | 1,5t | 3,5t | 1,0t | 2,0t | 3,5t | 2,5t | 4,0t | 1,5– 3,0 |
| 3,0– 6,0 | 2,5t ²⁾ | 8,0t | 10t | 1,0t | 3,0t | 4,0t | 1,5t | 3,0t | 4,5t | 3,5t | 5,5t | 3,0– 6,0 |
| 6,0–12,5 | 4,0t ²⁾ | - | - | 2,0t | 4,0t | 5,0t | 2,5t | 4,0t | 6,0t | 5,0t | 8,0t | 6,0–12,5 |

1) Kallformning av åldrat tillstånd bör undvikas pga risk för spänningskorrosion.
2) Tjockleksområdet är 3,0–9,0 resp. 9,0–12,5.

*) Duktilitet är ett mått på ett materials förmåga att utsättas för plastisk deformation utan sprickbildning.



Fig 10.3 Dragbockning av aluminiumprofil.

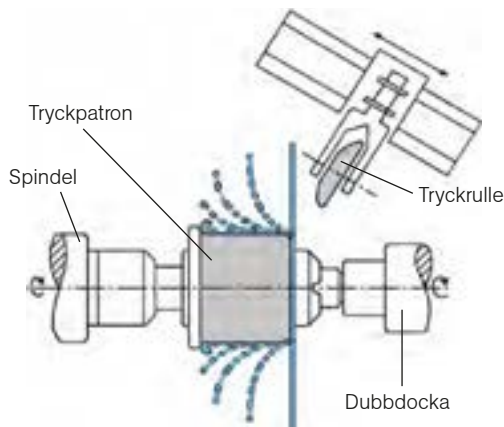


Fig 10.4 Trycksvarvningens princip.

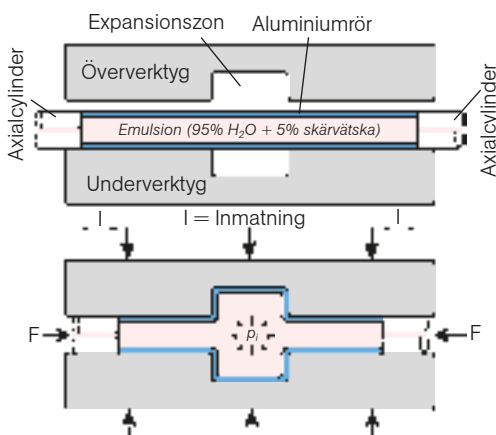


Fig 10.5 Principen för hydroformning.

Fig 10.2 visar principen för *sträckpressning*. Man utgår också här från en rondell. Denna hålls fastlåst av en tillhållare under pressningen. Tjockleken hos den del som deformeras minskar. I praktiken är en pressning av t.ex en bilkarosdetalj ofta en kombination av drag- och sträckpressning.

10.1.2 Bockning

Bockning av aluminium kan utföras både som kantbockning av plåt och som bockning av profil över bockmall, fig 10.3. Generellt kräver aluminium en varsammare bockning än stål, där framför allt bockningsradien måste väljas väsentligt större.

Även återfjädringen av materialet vid bockning är större än för stål. Det säkraste sättet att bestämma återfjädringens storlek är att i varje aktuellt fall göra provbockningar. Ofta får man vid bockningen en prägling av materialet, vilket medför mindre återfjädring än beräknat.

Tabell 10.1 och 10.2 visar rekommenderade bockningsradier för plåt och band vid kallbockning 90° med tjockleken 0,2–12,5 mm. Om man eftersträvar minsta möjliga bockningsradie för ett visst material eller starkaste material för en given bockningsradie måste man göra praktiska försök. Uppvärmning till ca 150°C lokalt och under kortast möjliga tid, kan underlätta bockningen.

10.1.3 Trycksvarvning

Trycksvarvning är en gammal hantverksmässig metod att tillverka cylindriska kärl. Metoden har fortfarande stor tillämpning, främst beroende på att verktygen är relativt billiga och att man, i motsats till dragpressning, lätt kan tillverka detaljer med konade eller insvängda ytor. Genom att använda modern verktygsteknik, t.ex supportmonterade tryckrullar och datorstyrning, har metoden utvecklats, fig 10.4.

10.1.4 Hydroformning

Vid hydroformning placerar man en hålförmad aluminiumprofil i ett tvådelat formverktyg, fig 10.5. Verktygshalvorna sluts runt profilen och låses, varvid en första formning erhålls. I vardera änden av profilen ansluts en cylinder som tätas mot profilen. Hålprofilen fylls invändigt med vatten, som har till uppgift att överföra ett inre hydrostatiskt tryck, upp till 400 MPa. Vätskan trycksätts och rötet formas mot hålrummet (expansionszonen) i verktyget genom det uppkomna inre trycket och den axiella kraften, som matar in materialet mot mitten av verktyget. Profilen blir alltså "upplåst" till sin slutform.

Ibland formas profilen enbart genom vätsketrycket. Den axiella kraften förhindrar då endast vätskeläckage. Detta betyder att axialcylindrarna inte matar in något material till expansionszonen.

Hydroformning används bl.a för belastade bilkomponenter, fig 10.6.

Fördelar med metoden är:

- Tvärsnittet i profilen optimeras efter påkänningarna i profilens längd
- Ökad komponentstyvhet, vilket medger minskad vikt
- Utmärkt reproducerbarhet (formstabilitet)
- Färre antal delkomponenter behöver tillverkas
- Möjlighet att ersätta svetsade konstruktioner

Hydroformning av hålprofiler är en kostnadseffektiv metod för tillverkning av bilkomponenter med hög energiupptagningsförmåga. Processen har också hög potential inom andra produktområden.

10.1.5 Kallflytpressning

När en stämpel pressas med högt tryck mot ett aluminiummaterial i ett skålförmigt verktyg flyter materialet ut i spalten mellan stämpeln och verktyget, fig 10.7. Små aluminiumdetaljer som tandkräms- och kaviartuber samt mindre dryckesburkar och sprayflaskor kan tillverkas på detta sätt. Materialet pressas i mjukt eller upplöst tillstånd.

Metoden har också fått stor betydelse för tillverkning av säkerhetsdetaljer i bilar eftersom mycket goda materialegenskaper erhålls, fig 10.8.



Fig 10.6 Hydroformad bilkomponent.

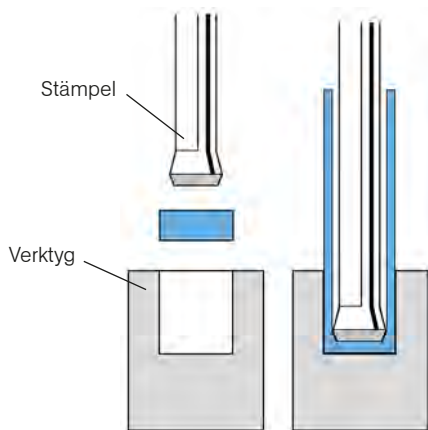


Fig 10.7 Kallflytpressning av sprayflaska.

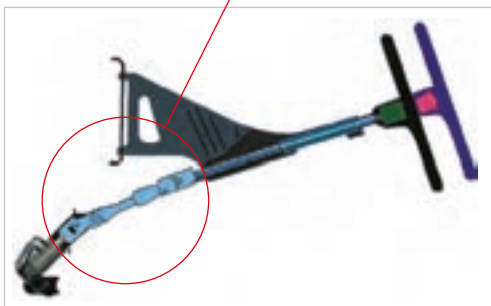
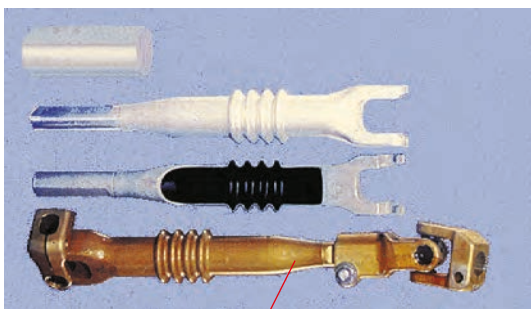


Fig 10.8 Kallflytpressade säkerhetsdetaljer till rattaxeln på en personbil.

10.1.6 Pressning med gummiverktyg

Vid pressning med gummiverktyg formas materialet med hjälp av en gummidyna mot ett underverktyg. Tillhållartrycket kan regleras under formningens gång. Risken för veckningar är mindre än vid vanlig dragpressning och man kan även använda ett större dragförhållande.

10.2 Varmformning

Aluminiumlegeringar har lågt motstånd mot deformation vid förhöjd temperatur, fig 10.9. Olika typer av varmformning såsom smidning och pressning kan därför oftast utföras med stor reduktion. Den temperatur som används vid varmformning är i regel mellan 400 och 500°C, vilket är högre än rekristallisationstemperaturen.

10.2.1 Varmsmidning

Aluminiumdetaljer kan framställas genom *varmsmidning*. Metoden kan utföras antingen mellan plana verktyg (frismide) eller mellan formade verktyg (sänksmide). Inom aluminiumtekniken kallas den senare metoden för *varmpressning*. Smidesämnen är ofta "kutsar", som är kapade från en pressad stång, profil eller plåt.

Genom att utforma smidesverktyget i flera delar kan delningslinjerna i detaljen orienteras till områden med låg påkänning. Man erhåller därvid mycket god hållfasthet i hela smidet. Används ofta inom flygsidan.

Val av legering för varmsmidna detaljer, görs med hänsyn till detaljens utformning och kraven på hållfasthet. Vanliga smideslegeringar är AlMgSi, AlCuSi och AlZnMg. Med AlZnMgCu-legeringar kan smiden med brottgränser över 500 MPa erhållas.

10.2.2 Superplastisk formning

Mycket komplicerade formningar av plåt kan utföras vid förhöjda temperaturer, sk *superplastisk formning*. Dessa utförs på extremt fin-korniga legeringar vid temperaturer mellan 450 och 500°C. Vid dessa förhållanden uppvisar materialet extremt hög brottförlängning, flera hundra procent. Legeringar som lämpar sig för superplastisk formning är av typen AlCu6Zr och AlZn6MgCu.

10.2.3 Hetmetallgasformning

I rumstemperatur är aluminiumplåt och -profiler något svårare att forma än stålplåt, men i varmt tillstånd är det tvärt om. En hålförmad aluminiumprofil som värms upp till rätt temperatur och trycksätts inifrån med hjälp av gas, Hot Metal Gas Forming (HMGF), kan formas till i princip vilket utseende som helst, fig 10.10. Det innebär att man inte bara har stor flexibilitet utan också en snabbare och effektivare process med färre bearbetningssteg. HMGF-formade aluminiumdetaljer kan därvid ersätta pressade eller gjutna stål- och plastdetaljer. Principen är densamma som för hydroformning.

Röret värms upp i en ugn och placeras i ett formningsverktyg, som är uppvärmt till en välkontrollerad hög temperatur. Därefter sluts verktygshalvorna och röret fylls med ett högt gastyck. Verktyg och metall hettas upp, inte gasen. Därvid startar formningsprocessen.

Processen möjliggör ersättning av flerdelade komponenter med en enda del, där man kan behålla designfrihet eller till och med öka den. Detta resulterar i:

- Mindre materialåtgång
- Inga fogar
- Ökad styrka och styvhet
- Förbättrade toleranser
- Enklare integration och montering
- Förbättrat utseende

10.2.4 Övrig varmformning

Aluminium kan varmformas även vid måttliga temperaturer, t.ex varmböckning vid 100–200°C. Välj lägsta möjliga temperatur under kortast möjliga tid. I annat fall påverkas hållfastheten i det värmda området.

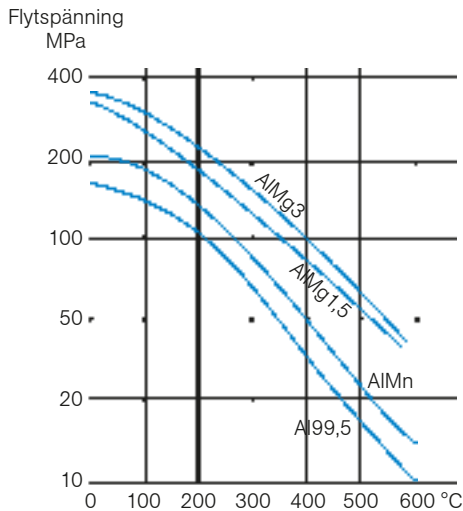


Fig 10.9 Temperatures inverkan på flytspänningen.

10.3 Skärning

Aluminiummaterial kan ej skäras med syrgas-acetylenlåga, vilket är en vanlig metod för termisk skärning av stål. Den vanligaste metoden för aluminium är *plasmaskärning*, men även skärning med *laser* och *vattenstråle* används i stor utsträckning.

10.3.1 Plasmaskärning

Vid plasmaskärning uppstår en ljusbåge med mycket hög temperatur ca 20 000°C, som i kombination med hög gashastighet smälter och blåser bort metallen i ett smalt snitt. Som bränningsgas används någon av gaserna argon, väte, kväve eller koldioxid.

Metoden erbjuder mycket hög skärhastighet, men det kan vid tunt material vara svårt att utnyttja den högsta teoretiska hastigheten. Snittkvaliteten är mycket god med liten skäggbildning.

10.3.2 Laserskärning

Laserskärning av aluminium med syre som skärgas går att utföra i tjocklekar från 0,5 mm. Smala snitt med hög skärhastighet och god snittkvalitet är möjligt att uppnå.

10.3.3 Vattenstråleskärning

Skärning av aluminium i kallt tillstånd kan utföras med en vattenstråle innehållande abrasiva partiklar. Strålen har ett mycket högt tryck (400 MPa) och hög hastighet (1 km/s). Genom att strålen är kall kan mycket smala snitt och spetsiga vinklar framställas. Bara i undantagsfall behöver snittytan efterbearbetas. Snittbredd 1–3 mm. Upp mot 200 mm tjockt material kan skäras med denna metod.

10.4 Skärande bearbetning

Aluminiumlegeringar är mycket lämpliga för skärande bearbetning. Dock påverkar sammansättning och tillstånd skärbarheten. För att skilja dem åt indelas de i fem *skärbarhetsklasser*, tabell 10.3, som gjorts med hänsyn till spånform och möjlighet att uppnå hög ytqualitet.

Tabell 10.3 Indelning i skärbarhetsklasser

| Spånform | |
|----------|--|
| A | Korta spån, liten spånvolym, lätt att uppnå hög ytqualitet. |
| B | Något längre spån än för A, men lätthanterliga. Lätt att uppnå hög ytqualitet. |
| C | Långa, men lätthanterliga spån. Lätt att uppnå hög ytqualitet. |
| D | Långa och sega spån. I allmänhet lätt att vid lämplig verktygsutformning och rätt val av skärdata uppnå hög ytqualitet. |
| E | Långa och sega, ibland t.o.m sammanhängande spån. För att uppnå hög ytqualitet fordras bästa möjliga verktygsutformning och riktigt val av skärdata. |

Härdbara legeringar i kall- och varmåldrade tillstånd har bättre skärbarhet än icke härdbara legeringar, fig 10.11. Icke härdbara, inklusive renaluminium, får bättre skärbarhet med ökande kallbearbetningsgrad.

I *automatlegeringar* ger tillsatser av lågsmältande ämnen som vismut och/eller bly mycket god skärbarhet med korta spån. Enligt RoHS-direktivet (EU) ställs dock krav avseende maximalt blyinnehåll i metaller, varför nya typer av automatlegeringar måste utvecklas.

De legeringar som har kallats automataluminium är AW-2007, 2011, 2030, 2111B, 6012, 6023, 6262. De har bl.a använts för automatbearbetning av detaljer i stora serier och givit detaljer med goda egenskaper, samtidigt som driftsäkerheten i skärprocessen ökat rejält. En utveckling av en blyfri automatlegering är AW-6026, som innehåller vismut i stället för bly, men som har samma goda skäregenskaper.

10.4.1 Verktyg

De verktyg som används vid skärande bearbetning av aluminium är ofta tillverkade av snabbstål eller hårdmetall. Ibland används verktyg med ytskikt av polykristallin diamant, PCD, när man vill ha hög ytfinhet eller extra snäva dimensionstoleranser.



Fig 10.10 HMGF-formad detalj.

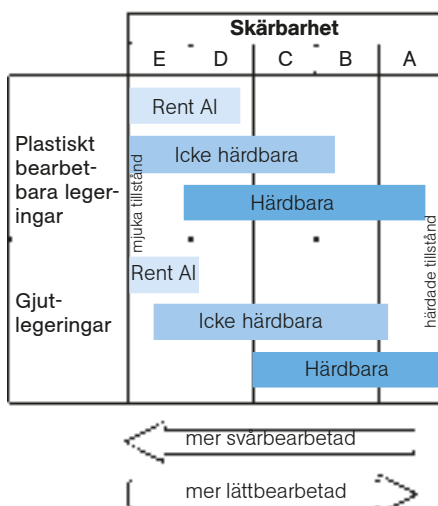


Fig 10.11 Skärbarhetsklasser, generell grovsortering. Betydelsen av A-E visas i tabell 10.3.

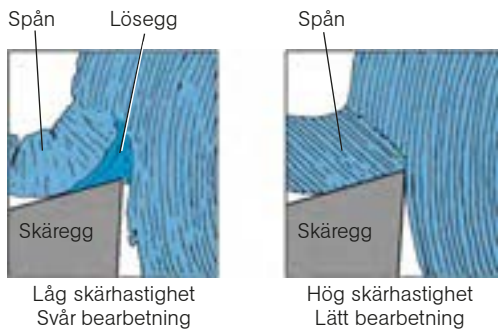


Fig 10.12 Spånform vid låg resp. hög skärhastighet.



Fig 10.13 Geometrin hos ett modernt vändskär för aluminiumbearbetning.

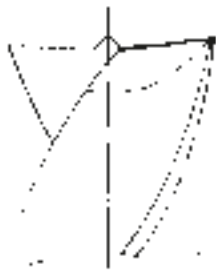


Fig 10.14 Centrumslipad borrar för tunnplåt.



Fig 10.15 Jämförelse mellan ett gängverktyg för aluminium (ljus yta) och ett för stål (streckad).

Aluminium har hög friktionskoefficient i kontakt med vanliga verktygs-material. Detta medför att det finns en viss risk för aluminiumbeläggning på verktygen och ibland också löseggsbildning. Ökas skärhastigheten underlättas bearbetningen och löseggsbildningen upphör, fig 10.12.

Verktygen utformas därför så att man kan undvika dessa olägenheter. Spånvinkeln görs stor och eggen skärps noggrant. Spånluckor och spånutrymmen bör vara stora, större än när stål bearbetas, och ha polerade ytor. Man bör alltså eftersträva att få en ostörd spånavgång och en spånbildning, som kräver låg skäreffekt. En del av detta uppnås genom lämplig verktygsutformning, medan övrigt beror på val av material- och skärdata samt bearbetningsmaskinens egenskaper. Verktyg avpassade för bearbetning av aluminium finns bl.a för svarvning, fräsning, borrar, kapning och gängning.

Skäreppor för svarvning av långspånande material brukar förses med *spånbrytare*, som består av ett tvärgående spår eller ett trappsteg nära skärkanten, fig 10.13. Spånbrytaren lyfter upp spånet och bryter av det eller rullar det i spiral till ett *skruvspån*. Det underlättar också spåntransporten och ger ett kompaktare spånskrot.

Den totala bearbetningskostnaden avgör valet av verktyg. Med standardverktyg, som ofta utformats för att passa stålbearbetning, uppnås i de flesta fall acceptabla resultat även vid aluminiumbearbetning. Men undantag finns. Fig 10.14 visar en centrumslipad borrar med negativ spetsvinkel och försedd med en spets. Borren är avsedd för genomgående borrar i tunnplåt och är utformad för att undvika gradbildningar på hålets utgångssida.

Skärhastigheten hos en borrar avtar in mot centrum, där rotationen är noll. Här återfinns det sk *tvärskåret*, som orsakar ca 70% av den nödvändiga inträngningskraften hos en standardborrar. Man kan minska denna kraft 20–30% med en *trefasettslipning* och samtidigt förbättra spånbildningen. Centrernoggrannheten ökar, dvs det uppborrade hålet blir rakt och har små diameterskillnader.

Fig 10.15 visar ett gängstål för aluminium (ljus yta), som har större spånutrymme och spetsigare egg och därför får större stöd mot hålväggen, än ett verktyg för stål (streckat).

Många företag har i dag speciella verktygsprogram för aluminium. Här kan man finna optimerad form avseende spånbreakning, spånavgång och skäreppor för all skärande bearbetning.

10.4.2 Skärvätska

Bearbetning av aluminium kan ske *utan* skärvätska om skärhastigheten är hög och matningen måttlig. Det är emellertid ofta fördelaktigt att använda skärvätska. Den har en smörjande och kylande effekt och ger verktyget större livslängd. Skärvätskan medverkar också till att spånen lätt avskiljs och att ytkvaliteten blir god.

10.4.3 Höghastighetsbearbetning

Genom utvecklingen på maskinsidan kan man i dag bearbeta aluminium med mycket höga skärhastigheter, 2000–4500 m/min. Detta utnyttjas framför allt vid fräsoperationer där pinnfräsar med upp till 60 000 varv/min ger hög avverkningshastighet, låga skärkrafter, hög ytfinhet och liten värmeutveckling. Framtagning av mycket tunna väggar med gradfria kanter och mycket hög måtnoggrannhet blir resultatet. I några fall kan upp till 90% av materialvolymen arbetas bort utan att metoden är oekonomisk.

Uppvärmningen av detaljen minskar med ökande skärhastighet. Vid konventionell bearbetning går ca 80% av det utvecklade värmnet till detaljen och 10% till spånen. Vid höghastighetsfräsning går ca 10% av värmnet till detaljen och 80% till spånen. Detta ger betydligt mindre värme i arbetsstycket och följaktligen bättre måtnoggrannhet. Den tillförda skärvätskan används därför inte för kylning utan mer som spåntransportör.

Fogning

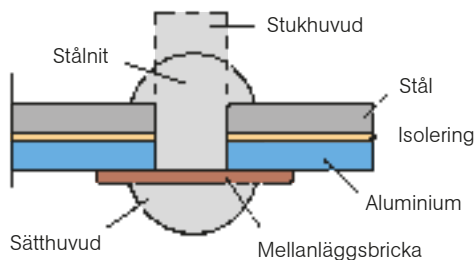
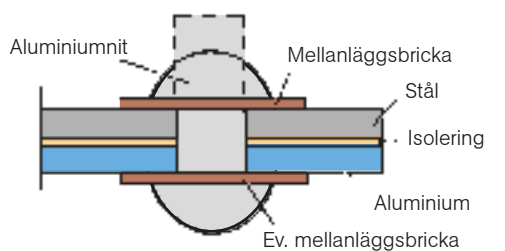


Fig 11.1 Isolering är viktig vid nitning av kombinerade förband av aluminium och stål.

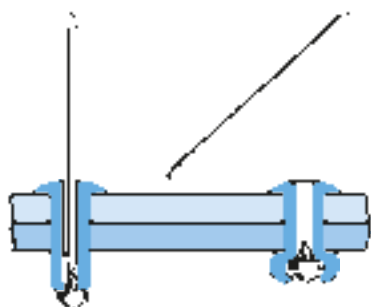


Fig 11.2 Ensidensnitning med blindnit.



Fig 11.3 Stansnitning.

Fig 11.4 Stuknitning.

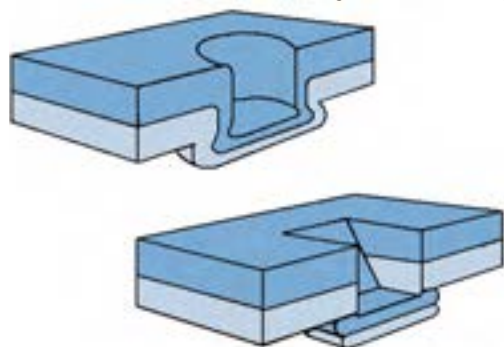


Fig 11.5 Clinchning.

11.1 Nitning

11.1.1 Homogennit

Nitning med aluminiumnit utförs med *kall* nit till skillnad från nitning med stålnit, som vanligen sker med varm nit.

Vid varmnitning med stålnit uppstår under svalningen en klämkraft när niten krymper. Man får då friktion mellan nitskalle och nitmaterial, som avsevärt försvårar glidning. Kallnitning med aluminiumnit ger däremot låg klämkraft, varför hela belastningen tas upp genom *hållkantryck* mellan nit och objekt samt genom *skjuvning* av niten. Aluminiumniten måste därför fylla ut nithålet väl för att fogningen ska bli effektiv.

Aluminiumnit med diametrar upp till 20 mm kan kallsås. Grövre nit av de hårdbara legeringarna AlMgSi och AlCuSi sås vanligen omedelbart efter upplösningen. Formbarheten är då god, men försämras efter några timmars kallåldring. Om niten hålls i frybox vid en temperatur mellan -5 och -20°C kan formbarheten bibehållas något dygn.

Materialen ska vara av samma typ i såväl nit som objekt för att förhindra korrosion i fuktig miljö. Om aluminium nitas med stålnit måste nit och grundmaterial isoleras från varandra, fig 11.1. Nit av koppar eller mässing får inte användas.

11.1.2 Blindnit

Förutom nit av massiv typ finns rörformade nitar för ensidesmontering i förborrade hål, sk *blindnitning*, fig 11.2. Nittyten har fått omfattande användning och finns i ett stort antal varianter, både med avseende på utförande och material.

11.1.3 Stansnit

Vid *stansnitning* används en rörformad stålnit med plan skalle för ensidesmontering, fig 11.3. Med hög verktygskraft trycks niten in i materialet, som kan vara aluminium ensamt eller kombinerat med andra material. Tekniken har använts inom bilindustrin.

11.1.4 Stuknit

Mekaniska fogningsmetoder utan fästelement får allt större betydelse för aluminium mot aluminium eller mot stål. Metoden kallas *stuknitning* eller *clinchning* och innebär att ett över- och ett underverktyg pressar ihop eller klipper ut flikar i materialet. Vid en motpressning av underverktyget kommer materialet att låsa sig självt, fig 11.4 och 11.5.

11.2 Skruvning

Skruv med mutter och bricka kan användas som en alternativ fogningsmetod då det förekommer svårigheter att komma åt att nita eller då förbandet måste vara demonterbart.

Aluminiumskruv finns i begränsad omfattning som lagervara. Vid fogning väljs AlMgSi eller AlCuMgPb av vilka den senare har sämre korrosionshårdighet och bör målas om den används i korrosiv miljö.

Helst väljer man stålskruv, som måste vara *galvaniserad* eller av *rostfritt* stål med bricka av motsvarande material under såväl skalle som mutter. Samma krav på isolering gäller för skruvförband som för nitförband om dessa kommer att utsättas för korrosiv miljö.

Vid kallnitning sväller nitskäftet under nitningsoperationen och fyller ut hålet, vilket är en förutsättning för att förbandet ska fungera. I ett skruvförband tillgodoser man motsvarande krav på hålfyllning genom att hålen borras och brotschas samt använder skruv enligt viss toleransklass. För enklare förband kan diameterskillnaden hål-skruv uppgå till 1 mm, men då måste såväl tillåtet hållkantryck som skjuvspänning minskas. Då räcker det med att borra hålen.

11.3 Svetsning

11.3.1 Allmänt

Under inverkan av luftens syre bildas på aluminiumytan ett oxidskikt. Vid förhöjd temperatur sker oxideringen snabbare. För att svetsningen ska kunna utföras måste oxiden avlägsnas. Vid gasbågsvetsning (MIG-, TIG- och plasmasvetsning) bryter ljusbågen upp oxidskiktet samtidigt som gasen skyddar smältan mot luftens syre.

Värmeledningsförmågan hos aluminium är ca tre gånger så hög som för stål och det specifika värmet är dubbelt så stort. Smältintervallet för aluminiumlegeringar ligger i området 570–660°C, medan smältpunkten för stål ligger vid ca 1500°C. Dessa egenskaper medför att man behöver tillföra ungefär lika mycket värme vid svetsning av aluminium som vid svetsning av stål.

Porer kan uppstå i svetsen som en följd av att aluminium löser mer väte (hydrogen) i smält än i fast tillstånd. Vätgas kan bildas ur fukt eller smuts på arbetsstycket. Det är därför viktigt att grund- och tillsatsmaterialen noggrant rengörs samt att omgivningen är fuktfri.

Den temperaturskillnad som råder mellan olika delar av ett arbetsstycke kan under vissa betingelser, t.ex vid olämplig svetsföljd eller alltför kraftig inspänning, orsaka sprickor och deformationer.

11.3.2 Smältsvetsmetoder

Gasvolframsvetsning (TIG), fig 11.6 och *gasmetallbågsvetsning (MIG)*, fig 11.7, är de viktigaste smältsvetsmetoderna för aluminium. *Gas-svetsning* och i synnerhet *metallbågsvetsning med belagda elektroder (MMA)* förekommer i dag endast i begränsad omfattning.

TIG-svetsning utförs normalt med växelström och med argon som skyddsgas. Elektroden är av icke smältande typ. Vanligen används ren volfram eller volframlegeringar som elektrodmaterial. TIG-svetsning är lämpligt för både manuell och mekaniserad svetsning och passar för tjocklekar från 0,5 mm och uppåt.

MIG-svetsning utförs med likström och med argon eller argon/heliumblandningar som skyddsgas. Till skillnad mot TIG-metoden används tillsatsmaterialen också som elektrod. Det smälter i ljusbågen och överförs till svetsen i droppform (spraybågsvetsning).

Svets hastigheten för MIG är högre än för TIG och i storleksordningen 35–70 cm/min för materialtjocklekar mellan 1–20 mm. Den snabba svetsningen medför att storleken på det värmepåverkade området i grundmaterialen blir mindre än för andra smältsvetsmetoder. Som en följd härav blir även inbyggda spänningar och deformationer mindre.

MIG-metoden används för materialtjocklekar från 1 mm och uppåt. Den höga svets hastigheten är en nackdel när man ska utföra korta svetsar eller svetsa i svåråtkomliga lägen. Man väljer då hellre TIG.

Genom utvecklingen inom den moderna elektroniken har svetsaggregaten och metoderna utvecklats enormt under de senaste decennierna. Varianter på MIG- och TIG-svetsning finns därför för svetsning med hög kvalitet och god ekonomi. Plasma-MIG och Cold Metal Transfer (CMT) är exempel på nya metoder.

11.3.3 Smältsvetsningens utförande

Aluminium smälter utan färgförändring och smältan är mycket lättflytande. Svetsning av stumfogar kräver stor vana för att smältan inte ska rinna ned mellan fogkanterna. Om man kan ordna stöd på rotsidan (sk rotstöd), t.ex i form av en kopparskena, förenklas arbetet.

Materialvolymen minskar med ca 8% när svets smältan stelnar. Detta leder till krympningar i svetsen och deformationer i hela arbetsstycket.

De flesta aluminiumlegeringar kan svetsas. Kopparhaltiga legeringar, t.ex AW-2014, är känsliga för sprickbildning och bör inte väljas i svetsade konstruktioner. Punktsvetsning (motståndssvetsning) är dock lämplig för dessa legeringar.

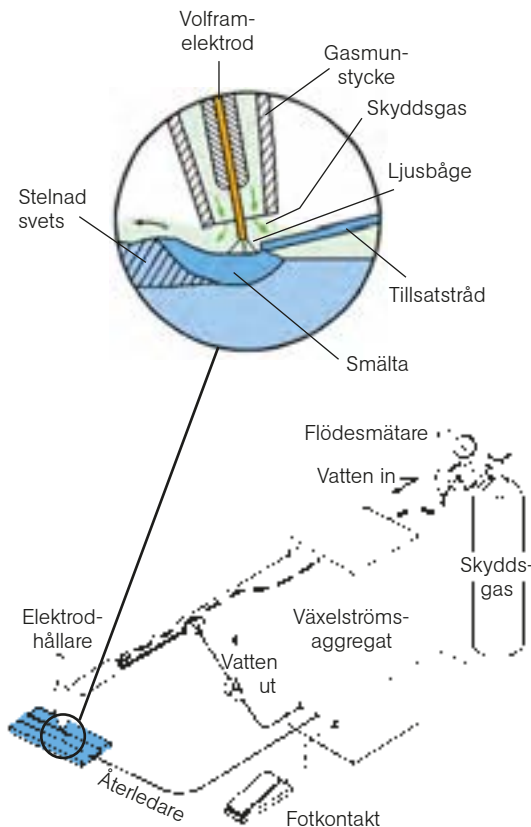


Fig 11.6 Principen för TIG-svetsning.

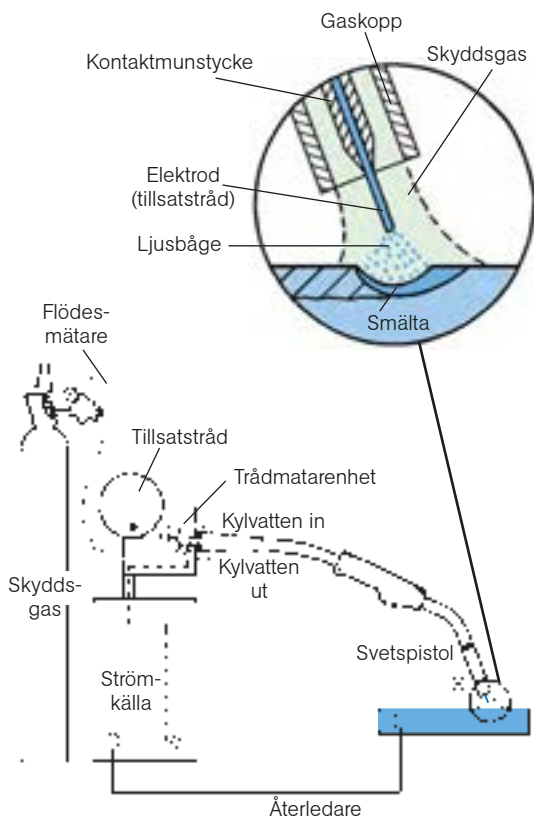


Fig 11.7 Principen för MIG-svetsning.



Fig 11.8 Luftbehållare för personbilar.

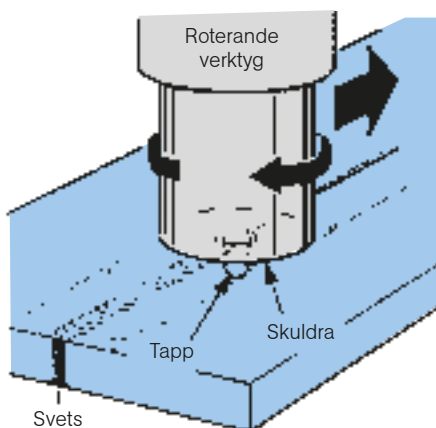


Fig 11.9 Friction Stir Welding (FSW).

Tabell 11.1 ger upplysningar om vilka tillsatsmaterial som passar vid svetsning av legeringskombinationer. För vissa legeringar anges alternativa tillsatsmaterial. Dessa kan väljas beroende på vilken egenskap hos svetsen man lägger störst vikt vid, t.ex korrosionshårdighet, hållfasthet eller frihet från sprickor.

En ökad användning av tillsatsmaterialet AISi12 förekommer i dag vid MIG-svetsning inom bilindustrin, speciellt vid svetsning av AlMgSi-legeringar mot gjutgods AISi10Mg.

Hållfastheten i grundmaterialet sjunker alltid vid svetsning. Området närmast svetsen (HAZ) får efter svetsningen en hållfasthet som är nästan densamma som för glödgat material. Hos de hårdbara legeringarna kan man genom upplösning och åldring återhämta förlorad hållfasthet. Sådan behandling leder dock ofta till deformationer, speciellt vid kylning efter upplösningen. Hos AlZnMg-legeringar återvinns en viss del av den förlorade hållfastheten genom kallåldring.

11.3.4 Friction Stir Welding (FSW)

Ett verktyg med tapp och skuldra, fig 11.9, roteras med 500–5000 varv per minut (rpm) och pressas ner i spalten mellan två aluminiumdelar. Verktyget förs längs spalten och förenar delarna till en svets med homogen och oxidfri struktur. Svetsen får mycket goda egenskaper och innehåller varken porer eller sprickor. Måttvariationer kan dock erhållas beroende på använt svetsdjup och vald legering. Som namnet anger "rör verktyget om" materialet, men smälter det inte. Svets hastigheten är 0,5–1,5 m/min för AlMgSi-legeringar.

Eftersom materialet i svetsen inte smälter blir deformationerna mycket små. FSW är därför en idealisk process för svetsning av profiler och plåt. På svenska kallas metoden *frikionsomrörningssvetsning*.

Den värmepåverkade zonen (HAZ) blir mycket liten varför hållfasthets-sänkningen blir obetydlig. Jämfört med MIG/TIG-svetsar uppvisar FSW-svetsarna utomordentliga bockningsegenskaper samt utmärkt statisk och dynamisk hållfasthet.

Metoden är idealisk för stumfogar, fig 11.10. Någon speciell fogberedning är normalt inte nödvändig. Överlappsfog går också bra att svetsa. Maskiner för svetsning upp till 14,5 m finns hos Hydro i Finspång.



Fig 11.10 FSW-svetsad tågvarnssida.

| Grundmaterial A typ ↓ | | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|--|--|
| Al99,7 | Al99,7 | | | | | | | | | |
| Al99,5 Al99,0 | Al99,5Ti Al99,5 | Al99,5Ti Al99,5 | | | | | | | | |
| AlMn | Al99,5Ti | Al99,5Ti | Al99,5Ti | | | | | | | |
| AlMg1 (Mn) AlMg2,5 | Al99,5Ti AlMg5 | Al99,5Ti AlMg5 | Al99,5Ti AlMg5 | AlMg3 AlMg5 | | | | | | |
| AlMg3 | AlMg3 AlMg5 | AlMg3 AlMg5 | AlMg3 AlMg5 | AlMg3 AlMg5 | AlMg3 AlMg5 | | | | | |
| AlMg4,5Mn | AlMg5 | AlMg5 | AlMg5 | AlMg5 | AlMg5 | AlMg4,5Mn | | | | |
| AlMgSi | AlMg5 AlSi5 | AlMg5 AlSi5 | AlMg5 | AlMg5 | AlMg5 | AlMg5 | AlSi5 AlMg5 | | | |
| AlZnMg | AlMg5 | AlMg5 | AlMg5 | AlMg5 | AlMg5 | AlMg5 AlMg4,5Mn | AlMg5 | AlMg5 AlMg4,5Mn | | |
| Grundmaterial B → | Al99,7 | Al99,5 Al99,0 | AlMn | AlMg1 (Mn) AlMg2,5 | AlMg3 | AlMg4,5Mn | AlMgSi | AlZnMg | | |

Tabell 11.1 Val av tillsatsmaterial vid MIG- och TIG-svetsning av plåt- och profillegeringar

Exempel: Legering AlMgSi (se A) ska svetsas mot legering AlMg3 (se B). Tabellen visar då att AlMg5 är det lämpligaste tillsatsmaterialet. Se de blåfärgade rutorna.

Eftersom FSW utförs vid temperaturer under materialens smältintervall erhålls både liten värmepåverkan och minimala värmespanningar. Korrosionshärdigheten i svetsen är lika med grundmaterialets.

Liksom för andra processer har även FSW sina begränsningar:

- Ett kraftigt rotstöd är nödvändigt
- Svetsfixturer behövs för att hålla svetsobjektets delar på plats

11.3.5 Friction Stir Spot Welding (FSSW)

FSSW, eller *friktionsomrörningspunktsvetsning* på svenska, är en trycksvetsprocess som liksom FSW arbetar under aluminiums smältintervall. Metoden ger individuella svetspunkter som uppstår då man trycker ett roterande verktyg med hög kraft mot den övre ytan av två överlappande plåtar/profiler. Friktionsvärmets och det höga trycket plasticerar först den övre och sedan den undre plåten när verktygsspetsen tränger in i dessa. Verktygets tapp tränger in i plåten tills den är i kontakt med ytan på den undre plåten. Det höga smidestryck förbinder plåtarna metallurgiskt genom omrörning utan smältning. Efter en kort hålltid dras verktyget upp ur plåtarna. En punktsvets kan utföras var 5:e sekund. FSSW är fördelaktigt för svetsning av aluminium mot aluminium, koppar eller stål.

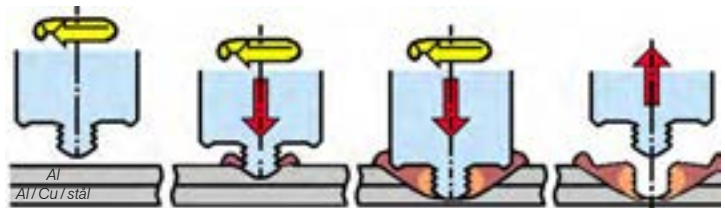


Fig 11.11 Cykeln för FSSW-svetsning utan återfyllning.

FSSW utförs i fyra steg. Först positioneras verktyget rätvinkligt mot arbetsstyckets yta och börjar rotera, fig 11.11. Verktygets varvtal varierar beroende på tjocklek och materialsort. För 5000- (AlMg) eller 6000-serien (AlMgSi) ligger varvtalet normalt på 2000 rpm. För andra legeringar kan verktyget rotera så snabbt som 4500 rpm.

11.3.6 Friction Stir Spot Welding Refill (RFSSW)

En utveckling av FSSW-processen med återfyllning, RFSSW (R=refill), har introducerats. Den ger en mer estetisk svets än för FSSW.

RFSSW utförs genom att placera ett roterande cylindriskt verktyg mot två överlappande plåtar/profiler under tryck, fig 11.12. På verktyget finns en centralt roterande tapp (grå i fig) och en utanför den roterande hylsa (blå) plus ytterligare en hylsa (ljusgrå). Utformningen och dimensionerna på verktyget varierar beroende på material, plåttjocklek och svetsens hållfasthetskrav.

Vid starten av svetsningen verkar alla tre verktygsdelarna med nedåtriktade krafter på plåtarna. Centrumpinnen och hylsan värmer upp materialet genom rotation och pressas sedan ner i och igenom topplåten. Därefter lyfts centrumpinnen något, medan hylsan fortsätter nedåt in i bottenplåten. På ett förut inställt avstånd vänder hylsan uppåt och pinnen rör sig neråt igen. När både hylsan och pinnen är i jämnhöjd med arbetsytan stannar rotationen och verktyget hålls på plats för att tillåta svetsen att svalna. En slät svets (röd) har bildats.

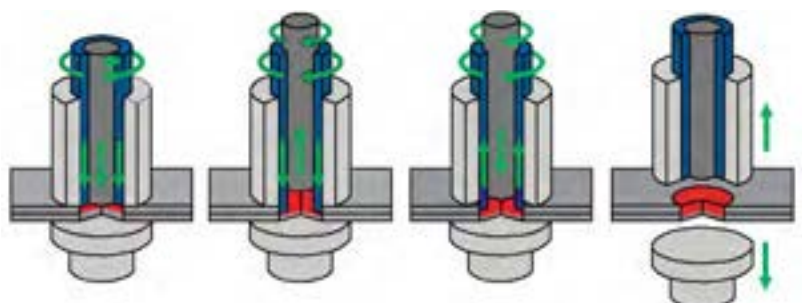


Fig 11.12 a, b och c Principen för och utseendet på samt användningsområde för RFSSW. Undre bilden visar en bilkomponent.

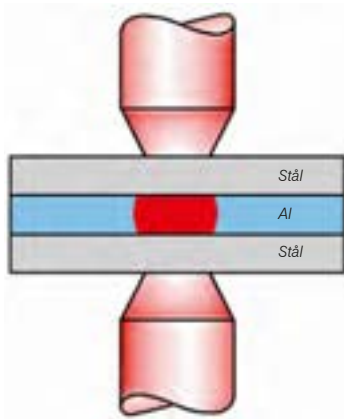


Fig 11.13 Svetsning av aluminium direkt mot stål med motståndsuppvärmning. Bindning mellan materialen har erhållits med väl avpassade svetsparametrar.

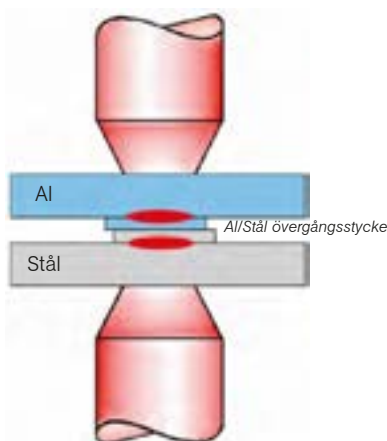


Fig 11.14 RSR av aluminium mot stål med ett övergångsstycke Al/stål. Två svetslinser bildas i gränsytan mellan respektive material.



Fig 11.15 RSR-teknologin använder en kombination av punktsvetsning och självstansande nitar för fogning av olika material, t.ex stål mot aluminium. Som fästelement används ett häftstiftsliknande stålelement som trycks genom ett hål i aluminiumplåten och punktsvetsas fast mot stålunderlaget.

11.3.7 Motståndssvetsning (RSW)

Via två vattenkylda kopparelektroder, som trycks mot ett överlappsförband aluminium/aluminium, tillförs elektrisk ström på 10–300 kA. Det ohmska motståndet i materialet, strömstyrkan samt tiden genererar svetsvärm. Det elektriska motståndet hos aluminium är lågt och ledningsförmågan hög, varför strömstyrkan måste vara hög och svets-tiden kort för att uppnå smältning. Svetsen blir linsformad.

Krav från bilindustrin har gjort att varianter på RSW har utvecklats för att svetsa aluminium mot stål. Dels har försök gjorts att punktsvetsa materialen direkt mot varandra, med viss framgång, fig 11.13, dels har olika prefabricerade övergångsstycket, t.ex tunna explosionssvetsade bitar av Al/stål, använts, fig 11.14.

11.3.8 Resistance Spot Riveting (RSR)

Det amerikanska aluminiumföretaget Arconic har utvecklat en ny metod för svetsning av aluminium mot ett flertal andra material, såsom stål, magnesium och kompositer, fig 11.15. Företaget, som är en av de största aluminiumproducenterna i världen, har länge haft intresse av att öka användningen av aluminium inom fordonssektorn.

RSR-metoden svetsar ihop olika material med samma utrustning som vid konventionell punktsvetsning och erbjuder biltillverkarna flexibiliteten att snabbt kunna byta mellan RSR och konventionell svetsning.

För att bilda en svets placeras två eller flera plåtar, t.ex Al mot stål, mellan elektroderna i ett vanligt punktsvetsssystem. Den övre plåten (Al) har hål för niten, den undre plåten (stål) har inget hål. Först placeras en nit (av stål) i hålet under den övre svetselektroden. Elektroderna lägger på en kraft och en svetsström går genom niten och bottenplåten, vilket skapar en svets (stål mot stål). Total cykeltid är 3–5 sekunder, vilket är jämförbart med en vanlig punktsvets.

Svetsen utbildas mellan niten och bottenplåten. Den övre plåten är inte elektriskt inblandad. Snarare är den mekaniskt fångad av nit-huvudet. Därför kan den övre plåten vara vilket material som helst: likadant eller olikt, målat eller omålat, ledande eller icke ledande. Så länge den övre plåtens tjocklek överensstämmer med nitens skaft-längd kan plåtarna utgöra vilken kombination som helst av stål, aluminium, kolfiber, glasförstärkt komposit eller plast.

Systemet har utvecklats med biltillverkarna i tankarna, men kan också användas inom verkstadsindustrin. Då multimaterialkombinationer ökar i bilar är RSR-teknologin en idealisk fogningslösning. Den kan lätt anpassas till förändringar i sammansättningslinjen och utnyttja befintliga svetsrobotar utrustade med automatiska matningssystem.

11.3.9 Övriga svetsmetoder

Det finns många andra svetsmetoder för aluminium, t.ex brännsvetsning, explosionssvetsning, lasersvetsning, friktionssvetsning, hög-frekvenssvetsning, ultraljudsvetsning, elektronstrålesvetsning. Alla metoderna fungerar utmärkt på aluminium, men har fått begränsad användning oftast på grund av dyr utrustning.

11.4 Lödning

Vid lödning förbinds två metalliska material med varandra med hjälp av ett smält tillsatsmaterial (lod), som har lägre smälttemperatur än grundmaterialet, fig 11.16. Lödning med lod som smälter vid temperaturer under 450°C kallas *mjuklödning*. Om lodet smälter över 450°C talar man om *hårdlödning*. Två speciella hårdlödningsmetoder, som fått stor användning för tillverkning av lödda värmeväxlare i bilar, är *vakuumlödning*, där inget flussmedel behövs och *skyddsgaslödning*, som använder ett icke korrosivt flussmedel.

För att erhålla ett bra lödförband krävs, oavsett lödmetod, att det smälta lodet kan *väta*, flyta ut på, de två materialdelarna. Man får då en metallisk förbindelse mellan lodet och metallen, fig 11.17. Den tunna, men täta och hårda, aluminiumoxiden måste brytas upp och

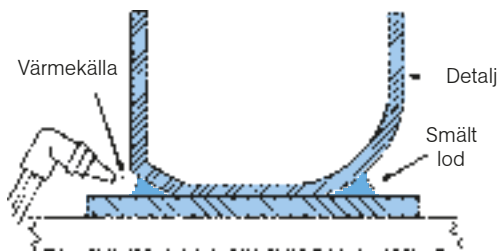


Fig 11.16 Principen för lödning.

avlägsnas så att lodet kommer i kontakt med oxidfri metall. Oxidupp- brytningen görs vanligen på kemisk väg med ett *flussmedel*, eventu- ellt kombinerat med mekanisk oxidborttagning. Flussmedlet säkerställ- er vätning mellan lod och grundmaterial genom att lösa upp oxiden och förhindra bildning av ny oxid.

De flesta flussmedel är mycket korrosiva mot aluminium, speciellt i fuktig miljö. Därför måste flussmedelsresterna avlägsnas efter lödning- en. Ett korrekt utfört lödförband är starkt, trycktätt, ledande för värme och elektricitet samt korrosionshärdigt, vilket innebär att lödning är en lämplig fogningsmetod i följande fall:

- vid tunt material
- vid fogning av aluminium mot andra metaller
- då värmning till svetstemperatur inte är lämplig
- vid fogning av stora ytor
- vid serietillverkning av små detaljer
- då en konstruktion är komplicerad och har många fogningsställen

11.4.1 Mjuklödning

Lod på zink- eller tennbas är vanligast. Arbetstemperaturen för zink- loden är 390–450°C och för tennloden 200–300°C. Loden finns som:

- **Lågtemperaturlod.** Smältpunkten för loden är 150–260°C. Loden innehåller tenn, bly, zink och/eller kadmium och ger lödförband med den lägsta korrosionsbeständigheten.
- **Mellantemperaturlod.** Smältpunkten för loden är 260–370°C. Lod- en innehåller tenn eller kadmium i olika kombinationer med zink, plus små mängder aluminium, koppar, nickel eller silver och bly.
- **Högtemperaturlod.** Smältpunkten för loden är 370–425°C. De zink- baserade loden innehåller 3–10% aluminium och små mängder av koppar, silver, nickel och järn för att modifiera deras smältnings- och vätningsegenskaper. De högzinkhaltiga loden har högst hållfasthet bland aluminiummjukloden och ger de mest korrosionsbeständiga lödfogarna.

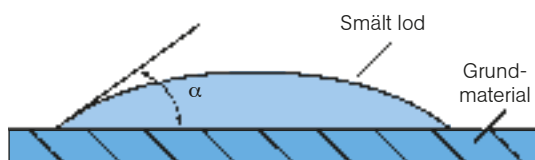


Fig 11.17 Ett mått på graden av vätning utgör kon- taktvinkeln α för lodet. Den ska vara $<30^\circ$ och gå r vid idealfallet mot 0° .

Vid lödning med *zinkhaltiga* lod används ej flussmedel. Det smälta lodet anbringas på aluminiumytan och med hjälp av ett vasst föremål t.ex en glasborste, stålrits eller lödkolvens spets, skrapas oxidskiktet bort under smältan. Därefter lägger man samman ytor och värmer tills lodet flutit ut och låter sedan förbandet svalna.

En annan flussmedelsfri metod är *ultraljudlödning*. Vid denna metod doppas detaljerna som ska fogas i en smälta av t.ex ZnAl5 vid ca 450°C. Smältan, liksom detaljerna, vibreras samtidigt med ultraljud. Därvid bryts oxiden upp och lodet väter metallen.

Mjuklod på *tennbas* kan i allmänhet inte användas för kapillarlödning, varför lödningen bäst utförs i överlappsförband genom handlödning med gasolbrännare eller lödkolv. Efter lödning med tennlod är det nödvändigt att noggrant avlägsna flussmedelsresterna för att undvika korrosionsangrepp.

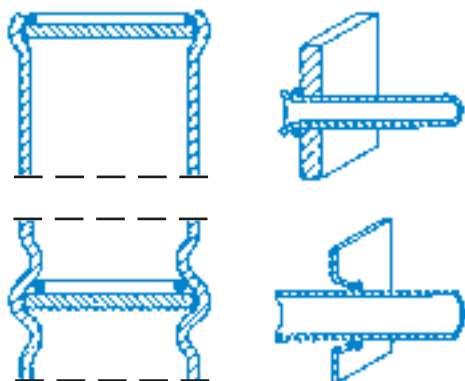


Fig 11.18 Exempel på fogtyper för hårdlödning.

11.4.2 Konventionell hårdlödning

För hårdlödning används vanligen lod på aluminiumbas legerat med kisel. Lod av typen AlSi12 eller AlSi10Cu4 är vanliga. Arbetstemperat- uren ligger över 575°C resp 550°C. Hårdloden är lättflutna och an- används i huvudsak för spaltlödning. Fogarna bör därför vara utformade som överlappsförband, fig 11.18. Den överlappande längden bör vara 3–4 gånger godstjockleken. Hårdlödning används även i T-förband.

Lödningen utförs manuellt med handbrännare eller mekaniserat genom ugn- eller saltbadslödning. Lodet kan vid mekaniserad löd- ning vara påfört i form av en plätering, film eller pasta, som vid smält- ningen fyller ut fogen, fig 11.19. Inträngningen av lodet i spalten beror på kapillärverkan och stoppas av alla former av föroreningar. Man bör därför noggrant rengöra lödställena före lödningen. Vid konventionell hårdlödning används kloridhaltiga flussmedel. Alla flussmedelsrester måste avlägsnas efter lödningen pga risken för korrosionsangrepp.

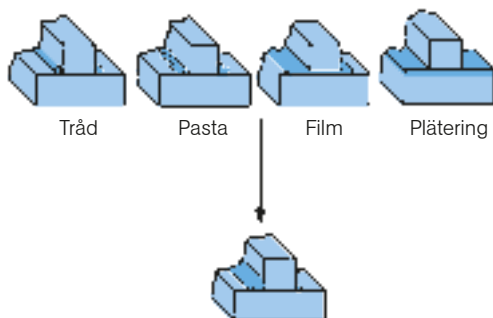


Fig 11.19 Olika sätt att tillföra aluminiumlod vid hårdlödning.

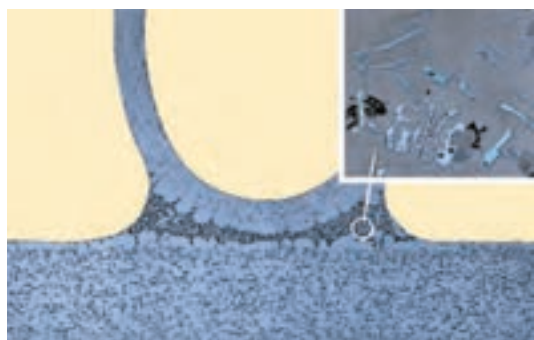


Fig 11.21 Snitt genom en lödd fog i en bilkylare.

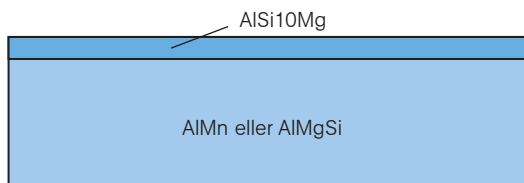


Fig 11.20 Pläterat material för lödning. Lodet har valsats ihop med kärnmaterial.

11.4.3 Saltbadslödning

Värmet vid lödningen tillförs från ett flytande saltbad som samtidigt fungerar som flussmedel. Hela detaljen eller delar av den doppas i badet varvid lodet i form av folie eller lodringar smälter. Även pläterat material kan användas. Värmepåverkan på grundmaterialen är stor. Saltbadslödning passar för såväl enkla som komplicerade former.

Metoden är mycket lämplig för aluminium. Den kan användas på tunt material utan att ge nämnvärd deformation och ofta i kombination med höghastighetsbearbetade komponenter. Saltbadslödning ger hög hållfasthet, god ytfinish och hög mått noggrannhet.

11.4.4 Vakuumlödning

Vid vakuumlödning löder man *utan* flussmedel. Lodet består av en aluminiumlegering, som förutom kisel som sänker smältemperaturen, också innehåller magnesium, som bidrar till oxiduppbyggnaden. Uteslutande används *lodpläterat* material dvs lodet har valsats ihop med kärnmaterial till plåt eller band, fig 11.20.

När detaljerna har monterats ihop placeras de i en vakuumugn och trycket sänks till 10^{-4} – 10^{-6} bar, varefter temperaturen höjs till runt 600°C . Detta är 15 – 40°C under kärnmaterialens smältemperatur, men över lodets. Lodskiktet smälter och bildar lödfogar med kärnmaterialen, fig 11.21. Metoden kräver tid för vakuumpumpning och uppvärmningen är långsam jämfört med skyddsgaslödning. Den används numera främst till större värmeväxlare och/eller för värmeväxlare i små serier.

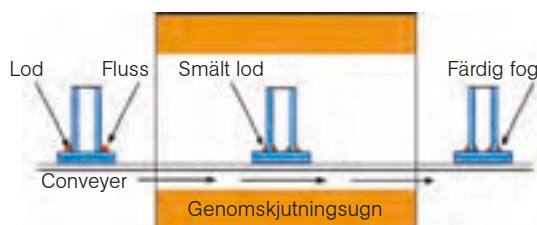


Fig 11.22 Skyddsgaslödning i ugn.

11.4.5 Skyddsgaslödning med eller utan fluss

Skyddsgaslödning, Controlled Atmosphere Brazing (CAB) innebär att man använder ett icke korrosivt flussmedel, som slammats upp i vatten (slurry). Liksom vid vakuumlödning används oftast lodpläterat material. Komponenterna monteras ihop, doppas i flussmedelsbadet, torkas väl och placeras sedan i en genomskjutningsugn, där luften pumpas ut och ersätts med en inert skyddsgas, vanligen kvävgas, fig 11.22. Temperaturen höjs till lödtemperaturen, ca 600°C , varvid flussmedlet löser oxiderna och det pläterade skiktet smälter och bildar förbandet. Flussmedelsresterna behöver ej avlägsnas efter lödningen utan ger tvärtom ett visst korrosionsskydd. Metoden kallades tidigare Nocolokprocessen.

Skyddsgaslödning dominerar inom fordonsindustrin för att framställa alla de typer av värmeväxlare som förekommer i moderna fordon i stora serier. Exempel på detta är radiatorer, oljekylare, laddluftkylare till turbomotorer samt kondensorer, evaporatorer och kupévärmare till klimatanläggningar, fig 11.23.

Under senare år har pläterade produkter utvecklats som innehåller fluss inbyggt i lodet eller helt flussfritt lod. Komponenttillverkaren behöver därmed ingen egen flussanläggning, vilket sparar både kostnader och olägenheter för arbetsmiljön. Det helt flussfria lodet kräver mycket ren skyddsgasatmosfär. Lodet med inbyggt fluss ger bättre lödegenskaper än andra lödmetoder, vilket möjliggör nya tillämpningar och lägre krav på ren skyddsgasatmosfär.



Fig 11.23 Lödda värmeväxlare av aluminium dominerar i dagens personbilar och kommersiella fordon.

11.5 Limning

Limning är ett viktigt komplement till de konventionella fogningsmetoderna. Aluminium är den i särklass mest limmade metallen. Komponenterna med högt ställda hållfasthetskrav i t.ex. flygplan, fig 11.24, och rymdfarkoster förekommer sedan länge som limmade. Det finns många andra exempel på limning av aluminium, t.ex. har aluminium i båtar limmats mot både aluminium (skrov) och glas (fönster).



Fig 11.24 I ett flygplan finns många limmade aluminiumkomponenter. Gul färg är en primer, ofta använd inom flygindustrin.

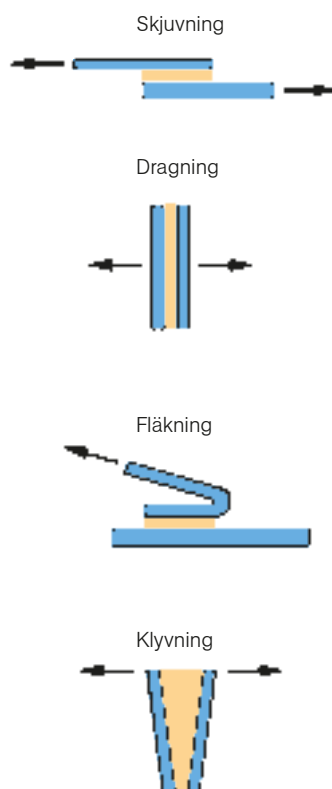
11.5.1 Förutsättningar för limning

Det finns ett flertal limtyper, förbehandlings- och limningsmetoder att välja mellan. Det är inte alltid lätt att välja rätt kombination och heller inte riskfritt att limma utan kunskap. Avståndet mellan molekylerna i materialet som ska limmas och limmets molekyler får högst vara 0,5 nm (nästan samma avstånd som mellan aluminiumatomerna) för att en kraftöverföring ska kunna ske. För att uppnå denna närhet krävs att limmet har lägre ytspänning än materialet som ska limmas, annars vill limmet hellre forma sig till en droppe än flyta ut. Olika ytor har olika egenskaper. Närvaro av föroreningar och oxider innebär att det förväntade kraftspelet mellan lim och aluminiummaterial inte kan uppstå. Fogytan ska vara känd, ren och reproducerbar för att ett fullgott och jämnt limningsresultat ska uppnås.

11.5.2 Limval

Val av lim styrs av dess funktionssätt och kraven på limfogen, fyllnadsgrad, värmebeständighet, seghet, hållfasthet mm. Limfogar har relativt god lastspridning, men det är sällan man erhåller limförband med jämn lastfördelning över hela fogytan. Belastningen är i regel störst i fogens kanter. Ju starkare lim man väljer, desto större blir spänningskoncentrationen i fogkanten. Omvänt gäller att ett svagare lim ger bättre lastspridning och lägre spänningstoppar. Det är lämpligt att upprätta en kravprofil över den tänkta limfogens egenskaper och över hur man vill hantera limningen i produktionen. En sådan lista gör det lättare att beskriva för en limleverantör vad man vill ha. Limvalet bör i viktiga fall föregås av utförliga provningar.

Någon gång under limningsprocessen måste limmet vara *flytande* för att väta och fylla aluminiummetallens ytstruktur. Limmet ska sedan stelna till ett material som kan överföra lasten i aktuell miljö. Övergången från flytande till fast form kan ske på tre olika sätt.



| Torkning | Avkylning | Härdning startar genom: |
|---|---|---|
| Lösningssmedel eller vatten som avdunstar ger fast form | Limmet är flytande när det är varmt och kyls sedan ner så det stelnar | - blandning av två eller flera komponenter - uppvärmning (värmehärdning) - miljöförändringar, t.ex. fukt närvaro, höjt pH, UV-ljus eller syrefrånvaro |

11.5.3 Fogutformning

Limning innebär att förbandet skapas av plast eller gummi. Limmet har alltid lägre hållfasthet än aluminiummaterialet. För att kompensera för limmets lägre hållfasthet bör fogytan förstöras. Limfogar lämpar sig bäst för *skjuvbelastning*, fig 11.25. Dragbelastade förband är ofta olämpliga för höga belastningar. Fläk- och klyvbelastning medför höga spänningar på en liten del av fogytan och bör undvikas.

11.5.4 Användningstemperaturen

Den praktiska användningstemperaturen för limförband ligger för många lim i intervallet 60–80°C. Den högsta värmebeständigheten uppnås med värmehärdande lim och limfilmer (150–200°C). Med silikonlim kan dock en värmebeständighet på ca 250°C uppnås utan värmebehandling.

11.5.5 Långtidshållfasthet

Långtidshållfastheten och beständigheten mot den yttre miljön hos ett limmat aluminiumförband bestäms i huvudsak av hållfastheten och beständigheten hos de aluminiumoxider man limmar mot. För användning i torr miljö kan en obehandlad aluminiumyta ge ett utmärkt lim-

Fig 11.25 Olika belastningsfall hos limförband.

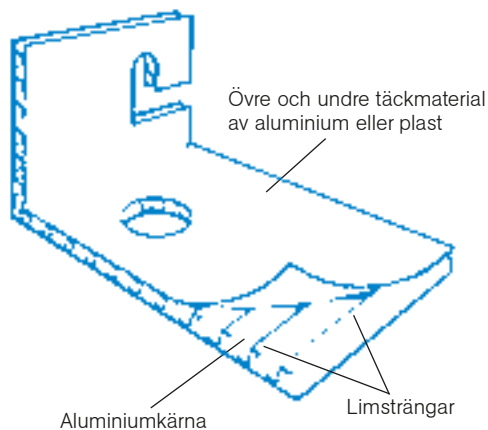


Fig 11.26 Kompositmaterial kan framställas genom limning. Man erhåller då ett lätt och styvt konstruktionsmaterial.



Fig 11.27 I Honeycomb-material (bikakematerial) är ofta aluminium en av komponenterna. De är tillverkade genom limning.

ningsresultat. Samma limförband utomhus, i kustklimat, kan uppvisa mycket kort livslängd. Det är den sammansatta effekten av belastning, temperatur och miljö, som avgör förbandets livslängd.

Normalt är det inte limmet som förstörs eller vidhäftningen som upphör, utan det är aluminiummaterialet under limfogens påverkan av miljön. Hur slät och jämn en yta än verkar vara, så finner man vid tillräckligt hög förstoring att ytan består av toppar och dalar. Trögflytande och snabbstelnande lim kommer därför endast i kontakt med topparna på ytan. Detta resulterar i en limfog med porer (luftfickor). I fuktig miljö kommer denna luft så småningom att ersättas av vatten. Detta ökar behovet av ytbehandling, t.ex. anodisering, för att erhålla förbättrad korrosionshärdighet hos aluminiumytan.

11.5.6 Långtidsbeständiga limfogar

Grundprincipen för att framställa limförband med lång beständighet är välfyllda profildjup och beständiga oxider. Det finns ett mycket stort antal förbehandlingsmetoder för aluminium. Några av de vanligaste och några udda visas i tabell 11.2. Valet bland dessa beror på användningsmiljö, belastning och kostnader. Noggranna uppgifter om behandlingsgång och eventuella arbetsmiljörisiker bör inhämtas innan man bestämmer sig för en förbehandlingsmetod.

Behandling med primer före limning av aluminium har till största delen som uppgift att fylla ut ytprofilen, då trögflytande och/eller snabbstelnande lim används. Behovet av primer ökar med användning i korrosiv miljö och när ingen korrosionsskyddande ytbehandling, som t.ex. anodisering utförs.

Tabell 11.2 Förbehandlingsmetoder vid limning

| Metod | Effekt | Användning (max) |
|---|--|--|
| Rengöring/avfettning | Normalt det minsta man bör göra för att säkerställa en ren och definierad yta att limma mot. | För måttligt belastade förband i torr miljö. |
| Finslipning/blästring | Avlägsnar svaga ytskikt, som t.ex. oxider. Säkrare än avfettning. | Högt belastade förband i torr miljö. Obelastade förband i sötvatten. |
| Alkalisk betning | Avlägsnar svaga ytskikt, som t.ex. oxider. Säkrare än avfettning. | Högt belastade förband i torr miljö. Obelastade förband i sötvatten. |
| Kokande vatten (under 5–10 min) efter betning | Ger beständiga, men måttligt hållfasta oxider. | Lågt belastade förband med flexibla lim, för fuktig och korrosiv miljö. |
| Fosfatering/kromatering | Korrosionsbeständiga, men svaga, porösa oxider. | Lågt belastade förband med elastiska eller mycket lågväskösa lim i korrosiv miljö. |
| Saltsyra vid 20°C i 30 sek | Snabb metod, kan ge mörkfärgning av aluminiumytan. | Måttligt belastade förband, även i korrosiv miljö. |
| Etsning i krom-/svavelsyra | Tunna, hållfasta oxider. (Används av amerikansk flygindustri.) | Högt belastade förband utomhus. Tål ej starkt korrosiva miljöer. |
| Anodisering i svavelsyra | Tjock, mycket beständig oxid. | Lågt belastade förband i korrosiv miljö. Gärna elastiska lim. |
| Anodisering i kromsyra | Medeltjock, hållfast oxid. (Används av europeisk flygindustri sedan 1940-talet.) | Högt belastade förband även i korrosiv miljö. |
| Anodisering i fosforsyra | Porös, mycket beständig oxid. Används tillsammans med lågväskösa primer. | Bäst förbehandling för högt belastade förband i korrosiv miljö. |

Konstruktionsregler

De konstruktionsregler som redovisas i detta kapitel har, där det varit möjligt, grundats på en jämförelse mellan aluminium och stål. Man bör dock vara försiktig med sådana jämförelser. Det är inte alltid så att man i en ekonomiskt riktig stålkonstruktion helt kan ersätta stålet med aluminium. För att kunna dimensionera och utforma en aluminiumkonstruktion måste man ha kännedom om materialegenskaper, materialets lämplighet för det ändamål som avses och materialets uppförande i drift samt belastningsituationen.

Aluminiumkonstruktioner har låg vikt på grund av:

- låg densitet hos aluminiummaterialet
- att materialet kan placeras där det behövs bäst

Det är det sista förhållandet som i hög grad avgör om konstruktionen blir ekonomisk. Vid tillverkning av pressade profiler kan man t.ex. utforma en profil med en för den aktuella konstruktionen lämplig materialfördelning i tvärsnittet.

För utvecklingen av en ekonomiskt konkurrenskraftig aluminiumkonstruktion fordras också god kännedom om de speciella dimensioneringsproblemen, av typ buckling och knäckning, som ökar med minskande väggjocklek.

Eurokoder

Eurokoderna består av tio europeiska standarder (EN, harmoniserade tekniska regler) som anger hur dimensionering av konstruktioner ska bedrivas inom Europeiska unionen (EU). Dessa har utvecklats av Europeiska kommittén för standardisering på begäran av Europeiska kommissionen.

SVENSK STANDARD · SS-EN 1999-1-1:2007

Eurokod 9: Dimensionering av aluminiumkonstruktioner

- Del 1-1: Allmänna regler
- Del 1-2: Brandteknisk dimensionering
- Del 1-3: Utmattning
- Del 1-4: Kallformad profilerad plåt
- Del 1-5: Skal

Tillägg: SS-EN 1999-1-1:2007/A2:2013, SS-EN 1999-1-1:2007/A2:2013

EN 1999 kan tillämpas för projektering av byggnader, anläggningar och andra bärverk i aluminium. Den uppfyller principer och krav i EN 1990 - Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk - avseende säkerhet och funktion hos bärverk samt grunderna för deras dimensionering och verifiering.

EN 1999 behandlar endast krav på bärförmåga, brukbarhet, beständighet och motståndsförmåga mot brand i bärverk av aluminium. Andra krav, t.ex. avseende termisk- eller ljudisolering, omfattas inte.

Till standarderna hör var sitt Nationellt anpassningsdokument, NAD, som är en anpassning till de nationella regelsystemen.

Boverket – Dimensionering av aluminiumkonstruktioner

Avdelning J i Boverkets konstruktionsregler, EKS, innehåller nationella val till eurokoden EN 1999 för dimensionering av aluminiumkonstruktioner.

Avdelningen J omfattar fem kapitel som vart och ett behandlar en specifik konstruktionsstandard för aluminiumkonstruktioner enligt eurokods-systemet.

12.1 Allmänna konstruktionsregler

12.1.1 Låg densitet i kombination med hög hållfasthet

Aluminiums densitet är 2,7 kg/dm³, dvs endast en tredjedel av stålets. De vanligtvis använda konstruktionslegeringarna av aluminium, som används för bärande ändamål, har brottgränser upp mot 350 MPa. Om ett konstruktionselement enbart är *dragbelastat* kan en aluminiumkonstruktion väga 40–60% av motsvarande stålkonstruktion. För konstruktioner där egetyngden utgör huvudbelastningen är aluminium ett fördelaktigt konstruktionsmaterial.

Om en konstruktion utsätts för en given belastning som inte ändras med spännvidden, så ökar aluminiumkonstruktionens konkurrenskraft i förhållande till tyngre material då spännvidden ökar.

Regel

Aluminiums fördel jämfört med tyngre konstruktionsmaterial ökar med ökande spännvidd om lasten huvudsakligen utgörs av egetyngd.

12.1.2 Låg elasticitetsmodul i kombination med hög hållfasthet

Elasticitetsmodulen för aluminium är ca 70 000 MPa, dvs en tredjedel av motsvarande värde för stål. Samtidigt har aluminium relativt hög hållfasthet. Den låga elasticitetsmodulen medför att stabilitetsproblem t.ex. knäckning, vippning och buckling, uppkommer vid lägre lastnivåer jämfört med en stålkonstruktion med identisk geometri. Hänsyn till detta måste därför tas vid utformningen av konstruktionen.

Låg elasticitetsmodul medför också större elastiska nedböjningar hos aluminiumkonstruktioner än hos likvärdiga stålkonstruktioner.

12.1.3 Plan knäckning

Regler för dimensionering av aluminiumkonstruktioner ges i Boverkets konstruktionsregler, EKS, som innehåller nationella val till eurokoden SS-EN 1999 för dimensionering av aluminiumkonstruktioner. EKS 10 (BFS 2015:6) började gälla 1 januari 2016. Beräkningsmetoderna som används är till största delen desamma som används vid dimensionering av stålkonstruktioner. Se också Eurokod 9.

Vid dimensionering med hänsyn till plan knäckning bestäms normalkraftskapaciteten av slankheten hos stången.

Slankheten bestäms som:

$$\lambda_c = \frac{l_c}{\pi i} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

där l_c är knäcklängden, i är tröghetsradien ($= \sqrt{I/A}$), f_y är materialets karaktäristiska flytgräns och E är elasticitetsmodulen. Med hjälp av slankhetstalet, (λ_c), bestäms en reduktionsfaktor, (ω_c). Denna ges som funktion av slankhetstalet i fig 12.1.

För att utnyttja materialet på ett optimalt sätt ska slankhetstalet vara så lågt som möjligt och reduktionsfaktorn så hög som möjligt. Detta uppnås genom att staga stången, vilket minskar knäcklängden, eller genom att öka tröghetsradien. OBS! Vid slanka tvärsnittsdelar kan lokal buckling vara begränsande.

Regel

Vid tryckta konstruktionselement är det fördelaktigt att ha låg slankhet med hänsyn till materialutnyttjandet. Detta uppnås genom lämpligt tvärsnittval och/eller genom stagning.

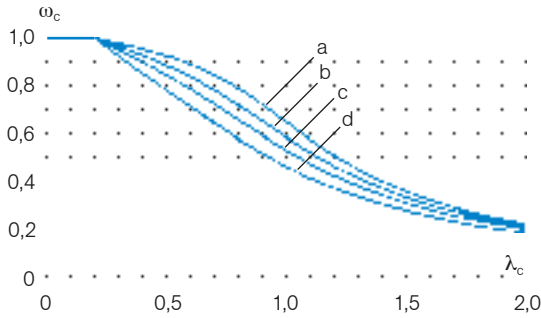


Fig 12.1 Värdet på reduktionsfaktorn ω_c för böjknäckning är beroende av tvärsnittstyp och slankhetsparametern λ_c . Tvärsnittstypen bestäms enligt tabell 12.1.

Tabell 12.1 Material, tvärsnittstyp och grupp vid bestämning av ω_c

| Material | Tvärsnittstyp | Grupp |
|-----------------------|---------------|-------|
| Härdbar legering | Symmetriskt | a |
| Icke härdbar legering | Symmetriskt | b |
| Härdbar legering | Osymmetriskt | c |
| Icke härdbar legering | Osymmetriskt | d |

12.1.4 Böjbelastade konstruktionselement

Vid konstruktionselement som är böjbelastade innebär aluminiums låga elasticitetsmodul en större nedböjning i förhållande till stål.

Nedböjningen f av en balk med längden L och belastningen Q är:

$$f_{Al} = k \cdot \frac{Q \cdot L^3}{E_{Al} \cdot I_{Al}} \quad f_{Stål} = k \cdot \frac{Q \cdot L^3}{E_{Stål} \cdot I_{Stål}}$$

där E = elasticitetsmodulen, I = balkens tröghetsmoment och k = konstant, som beror av belastningsfallet

Nu är $E_{Stål} = 3 \cdot E_{Al}$ ($E_{Stål} \approx 210$ GPa, $E_{Al} \approx 70$ GPa)

vilket vid samma nedböjning $f_{Al} = f_{Stål}$ och lika långa balkar och samma belastning ger:

$$E_{Al} \cdot I_{Al} = 3 \cdot E_{Al} \cdot I_{Stål} \text{ och följaktligen } I_{Al} = 3 \cdot I_{Stål}$$

Således måste aluminiumbalkens tröghetsmoment, (I_{Al}), vara tre gånger så stort som stålbalkens, ($I_{Stål}$), för att nedböjningarna ska bli lika stora vid samma belastning. För ett rektangulärt tvärsnitt med lika balkbredd, (b), men varierande höjd, (h), får man:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \text{ vilket i vårt fall ger } h_{Al} = \sqrt[3]{3} \cdot h_{Stål} \approx 1,43 \cdot h_{Stål}$$

Genom att öka aluminiumprofilens bygghöjd (h_{Al}) med 43% och därmed dess tröghetsmoment kan styvheten bli lika stor som stålbalkens, men med bara halva vikten, fig 12.2 och 12.3.

Tryckbelastade delar i böjbelastade konstruktionselement kan säkras mot instabilitet genom lämplig profilutformning och stagning.

Regel

Konstruera balkar med så stor bygghöjd som möjligt. Placera så mycket material som möjligt i flänsarna vid tunna liv – se upp för buckling i livet.

Välj statiskt obestämnda konstruktionsformer (t.ex ramar, kontinuerliga balkar, inspända balkar).

12.1.5 Brott/förlängningsgränsförhållandet

För många aluminiumlegeringar för konstruktionsändamål gäller:

$$\frac{R_m}{R_{p0,2}} = 1,2-1,3$$

Detta är ett relativt lågt tal. Därför måste man vara uppmärksam vid dragna konstruktionselement med risk för okontrollerbara överbelastningar. Detsamma gäller böjbelastade konstruktionselement, där kraftiga momentomlagringar kan uppträda då gränslaststadiet utnyttjas.

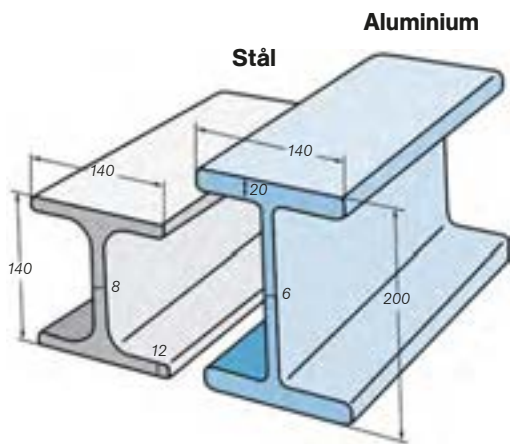


Fig 12.2 Jämförelse mellan lika styva aluminium- och stålbalkar med samma bredd. Aluminiumbalken är bara hälften så tung som stålbalken.

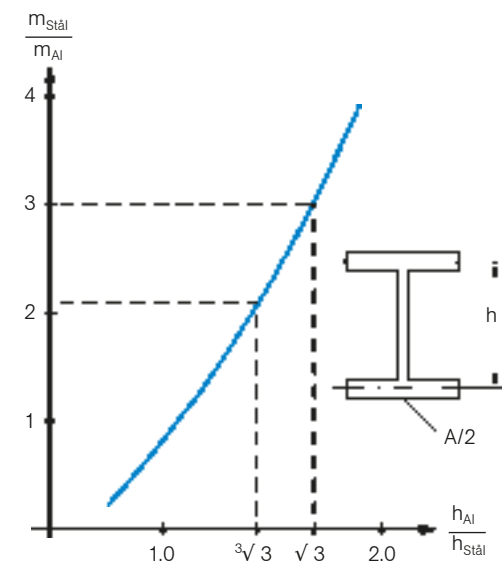


Fig 12.3 Viktrelationer mellan en stål- och en aluminiumbalk, som funktion av förhållandet mellan tvärsnittshöjderna.

Längdutvidgning

Förlängningen beräknas ur sambandet:

$$\Delta l = \alpha \cdot (T_1 - T_0) \cdot l_0$$

där α är metallens längdutvidgningskoefficient, T temperaturer och l_0 ursprunglig längd

Regel

Val av konstruktionslegering och tillstånd ska ske med hänsyn till påkännings sättet. Man strävar efter ett relativt högt förhållande $R_m/R_{p0,2}$ vid konstruktioner där det finns risk för total kollaps vid ofrivilliga överbelastningar. Detsamma gäller vid bärverk där man vill ha en passiv reserv i den lastupptagande förmågan.

12.1.6 Längdutvidgning

Längdutvidgningskoefficienten för aluminium är $24 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$, dvs nästan dubbelt så stor som för stål. Detta måste hållas i minnet om aluminium ska samverka med andra material. Om materialet hindras från att röra sig fritt vid temperaturvariationer uppstår tvångskrafter. Dessa beräknas med utgångspunkt från temperaturförhållandena vid monteringsstillfallet. Referenstemperaturen bör alltid anges på ritningar.

Regel

Tag hänsyn till temperaturvariationer om de kan ge upphov till tvångskrafter genom yttre rörelsebegränsningar. Sådana begränsningar kan uppkomma genom t.ex uppstyvande väggar eller anslutande byggnader. Vid statistiskt obestämda system måste man också ta hänsyn till egenpåspänningstillstånd som orsakats av temperaturväxlingar.

12.1.7 Relativt låg hårdhet

Aluminiummaterial i mjuka tillstånd har relativt låg hårdhet, vilket medför risk för ytskador vid montage och hantering. Dessa skador kan minska utmattningshållfastheten.

Regel

Skydda utsatta delar för ytskador vid montage och hantering.

12.1.8 Utmattningshållfasthet

Den karakteristiska hållfastheten hos material i utmattningsbelastade konstruktioner är i allmänhet lägre än vid motsvarande statiska påkänningar. Dynamiskt lastfall anses föreligga om lastväxlingstalet är större än 10^3 vid växlande last ($R = 0$). (Se Boverkets konstruktionsregler, EKS eller Eurokod 9, fig 12.4).

Regel

En dynamiskt belastad aluminiumkonstruktion ska utformas så att det snitt där den största spänningsamplituden kan förväntas utgörs av oförsvagat grundmaterial. Särskild hänsyn måste tas till geometrisk utformning. Anvisningar, små radier, svetsar mm nedsätter den dynamiska hållfastheten.

12.1.9 Hållfasthetsreduktion genom värmepåverkan

Material, som ska användas i bärande aluminiumkonstruktioner, har fått en förhöjd hållfasthet genom kallbearbetning (t.ex H14, H18) eller värmebehandling (t.ex T4, T6), se kapitel 6.

Detta medför att materialet endast har begränsad termisk stabilitet. Svetsning, varmriktning och varmformning kan därför ge en lokal minskning av hållfastheten. Den ursprungliga hållfastheten kan i allmänhet inte återställas.

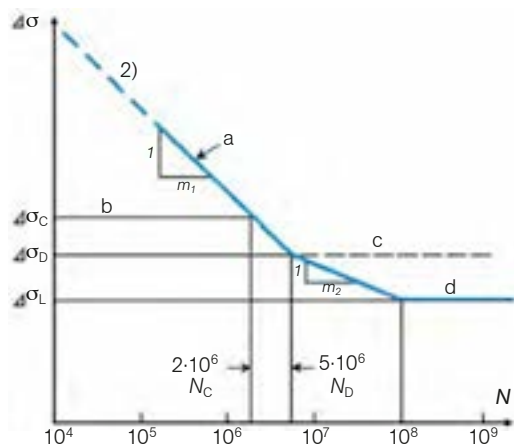
Vid risk för instabilitet bör det värmepåverkade området ha ett så stort avstånd som möjligt från det knäckningskritiska snittet. Bredden av det snitt som påverkas av värme bör begränsas.

Regel

Behövs svetsning eller annan värmning av konstruktiva eller tillverkningstekniska skäl, bör den värmepåverkade konstruktionsdelen förläggas till ett område med låga påkänningar.

12.1.10 Korrosionshärdighet

Aluminium har mycket god korrosionshärdighet. Det beror på att metallytan spontant överdras med ett skyddande oxidskikt. Skiktet är mycket tunt, ungefär $0,01-0,1 \mu\text{m}$. Aluminium kräver i normal atmosfär begränsat underhåll och är lämpligt att användas utomhus.



- a – utmattningshållfasthet
- b – referens utmattningshållfasthet
- c – utmattningsgräns vid konstant amplitud
- d – utmattningsgräns

Fig 12.4 – Utmattningskurva $\log\Delta\sigma-\log N$, enligt Eurokod 9.

Regel

Under normala förhållanden kan aluminiumkonstruktioner användas utomhus utan speciell ytbehandling.

12.2 Ekonomiska synpunkter

För att få en ekonomisk aluminiumkonstruktion måste man beakta:

- relationerna mellan materialkostnad och arbetskostnad
- funktionsanpassningen mot andra komponenter
- yttre driftförhållanden
- transport- och monteringskostnader
- drift- och underhållskostnader
- anpassningen till ändrade funktionskrav

Målet med all projektering är att uppfylla alla krav på ett så bra sätt som möjligt, dvs utföra en totaloptimering av konstruktionen.

Genom *profilpressningstekniken* har man stor frihet i utformningen av profilerna och kan anpassa godstjocklek och dimensioner till kraftflöden och knutpunkternas utseende. Det lönar sig ofta att konstruera just de profiler man vill ha. När det gäller stålprofiler har man ett ganska begränsat lagersortiment att välja bland. Specialbeställda profiler blir mycket dyra eller kan ej utföras utan mer eller mindre omfattande svetsning, fräsning eller annan bearbetning.

I det följande behandlas faktorer som rör konstruktionens optimering.

12.2.1 Konstruktionsdelar med dragpåkänningar

Ofta vill man använda erfarenheter från stålkonstruktioner när man konstruerar med aluminium.

Vid samma sträckgräns för aluminium ($R_{p0,2}$) och stål (R_{eL}) får man viktrelationen 1:3. Om priset på aluminium antas vara 3 gånger högre per kilo än priset på stål, är det ofta angeläget att minska materialåtgången och tillverkningskostnaden. Genom att konstruera med pressade profiler kan man påverka dessa faktorer och oftast sänka totalkostnaden.

Dragbelastade konstruktionselement finns bl.a i fackverk. I dessa bestäms profilernas utseende oftast av knutpunkternas utformning.

Konstruktionsdelar med tryckpåkänningar

En slank stång av aluminium har förhållandevis hög materialåtgång per enhet lastupptagande förmåga. Detta beror på att knäckningslasten till stor del styrs av elasticitetsmodulen.

Vid jämförelse mellan en stång av aluminium och en av stål med samma tvärsnitt och hållfasthet erhålls:

$$\lambda_{Al} = \sqrt{3} \cdot \lambda_{Stål}$$

λ_{Al} är slankheten för aluminiumstången och $\lambda_{Stål}$ är slankheten för stålstången. Detta innebär att slankhetstalet för aluminiumstången är ca 1,7 gånger större än för stålstången. Om knäcklängden är mycket kort med $\lambda_{Al} < 0,2$ har knäckning ingen inverkan och aluminiumstången väger ca en tredjedel av stålstången och har samtidigt samma bärförmåga, fig 12.5.

Om $\lambda_{Al} > 0,2$ ökar vikten för aluminiumstången i förhållande till stålstången. Om längden är konstant måste yttröghetsmomentet och troligtvis tvärsnittsarean ökas för att uppnå samma bärförmåga som hos stålstången.

Exempel: Fyrkantrör

$$\begin{aligned} b &= 100 \text{ mm} \\ l &= 2000 \text{ mm} \\ N &= 315 \text{ kN} \end{aligned}$$

För en aluminiumprofil i legering AW-6082-T6 krävs 5 mm godstjocklek. Motsvarande sektion i stål kräver 3,5 mm, vilket innebär att stålprofilen har dubbla egentyngden jämfört med aluminiumröret.

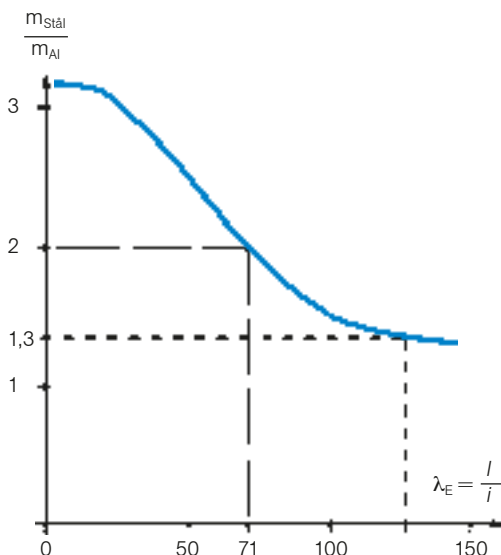


Fig 12.5 Viktjämförelse vid samma slankhetstal λ för aluminium- och stålstång. λ är här definierat, enligt Euler, som knäcklängden (l) dividerat med tröghetsradien (i).

För profiler med öppet tvärsnitt t.ex I-profiler, finns risk för torsionsknäckning. Här kan materialbesparing uppnås genom att välja t.ex en aluminiumprofil med slutet tvärsnitt. Vridstyvheten hos ett sådant tvärsnitt är avsevärt större än motsvarande öppna tvärsnitt, vilket innebär effektivare materialutnyttjande.

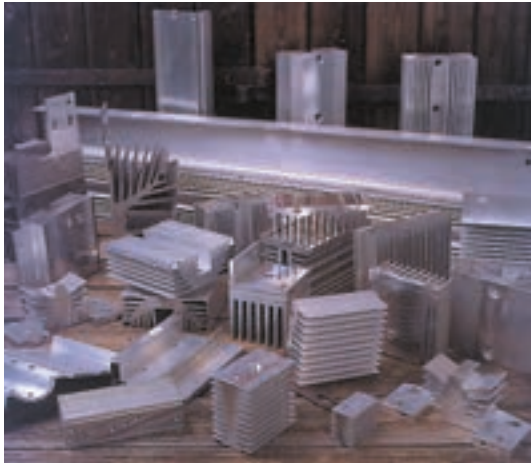


Fig 12.6 Kylprofiler används bl.a för att kyla elektronikkomponenter.

12.2.2 Konstruktionsdelar med böjpkänning

Vid jämförelse mellan en aluminiumbalk och en stål原因 med lika tvärsnitt och hållfasthet, och där lasten utgörs enbart av egentyngd, kommer nedböjningen att vara lika och vikten för aluminiumbalken en tredjedel av stål原因ens. Om lasten av egentyngd är försumbar jämfört med en yttre last kommer nedböjningen av aluminiumbalken att vara tre gånger den för stål原因en. För att kompensera effekten av elasticitetsmodulen kan yttröghetsmomentet för aluminiumbalken höjas antingen genom ömfördelning av gods och en höjning av tvärsnittshöjden eller genom att öka tvärsnittets area. Generellt är vikten hos en aluminiumbalk ca hälften av vikten hos motsvarande balk i stål (en grov tumregel).

12.2.3 Speciell utformning

Med hjälp av profilpressning kan mycket komplicerade och sinnrika tvärsnitt utvecklas, där liten väggjocklek är möjlig, se fig 12.6. Med profiler erhålls stora vinstmöjligheter, därför att *tröghetsmomenten* kan bli mycket stora i förhållande till arean. I detta ligger dock en fara hos aluminium, som man måste peka på, faran för *instabilitet* till följd av djärv geometrisk utformning och relativt låg elasticitetsmodul. Instabiliteten kan uppträda i lokala delar av tvärsnittet eller i balken som helhet. Den kan uppträda som *buckling*, *knäckning* eller *vippning*. Elasticitetsmodulen varierar ytterst litet mellan olika aluminiumlegeringar. Man måste därför vara observant på brott och bucklor, när man utnyttjar hållfastheten hos höghållfasta legeringar, eftersom förhållandet mellan materialspänning och elasticitetsmodul här är störst.

Små ändringar i konstruktionen kan ofta vara tillräckliga. Ett exempel på detta visas i fig 12.7. Konsolen överst i figuren är tillverkad av stål. Om förstävningen är tunn och konsolen tillverkas av aluminium, kan en placering av förstävningen som i den undre figuren förhindra knäckning.

I fig 12.8 visas vippning. Här är styvheten i vertikalplanet stor i förhållande till vridstyvheten. Ett extra vridmoment kan lätt uppträda i osymmetriska profiler. Lasten kan då få en olycklig placering relativt skjувcentrat och ge upphov till ett extra vridmoment på balken. Fenomenet visas på en enkel, osymmetrisk profil i fig 12.9. Kontrollberäkningar bör därför göras i sådana fall.

Emellertid är det i praktiken bara några fall som denna deformations-typ är aktuell för, då materialspänningarna normalt är måttliga.

Profilpressning ger möjlighet att kombinera böjstyvheten hos I-tvärsnittet och vridstyvheten hos ett slutet tvärsnitt. Detta ger en optimal lösning som ofta är ekonomiskt försvarbar i små och stora serier.

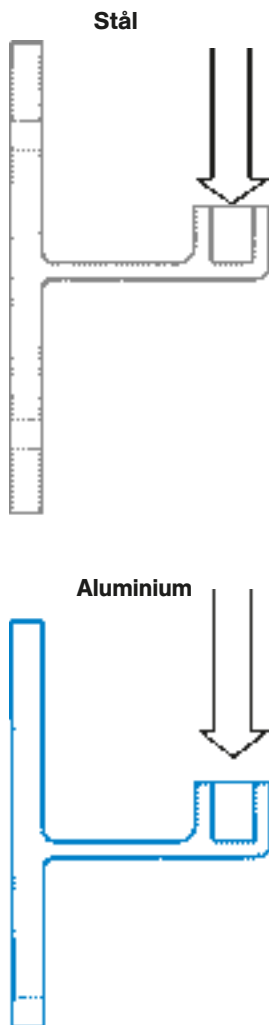


Fig 12.7 Konstruktionsprinciper för stål resp aluminium.

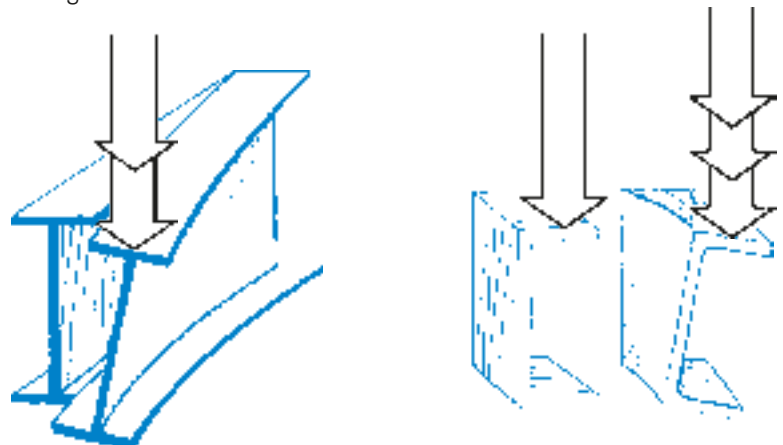


Fig 12.8 Vippning av balk.

Fig 12.9 Kontroll av skjувningscentrums placering.

12.2.4 Materialkostnader

Materialkostnaderna varierar beroende på bl.a:

- formvarutyp (plåt, band, profil, gjutgods)
- legering
- legeringstillstånd
- godstjocklek

Generellt gäller att plåt i standardtjocklekar är billigare än profiler, räknat i kronor per kilo.

Prisrelationer

Vid val av konstruktionsmaterial måste man ta hänsyn till att priset varierar för olika aluminiumkvaliteter. I grova drag kan prisrelationerna för plåt i tjockleksområdet 1–3 mm sättas till:

| Renaluminium | |
|---|---------|
| AW-1050A-H14 | 100 |
| Legerat aluminium | |
| AW-5052-H14 | 112 |
| AW-6082-T6 | 156 |
| AW-2014-T6 | 224 |
| AW-5754-F, durkplåt | 129 |
| AW-5005-H14, anodiseringskvalitet | 129 |
| AW-5005-H14, anodiserat, natur <20 µm | 170–220 |
| AW-3003-H44, lackerat på två sidor, med skyddsfolie | 170 |

För plåt med speciella krav på format och toleranser kan prisrelationerna bli annorlunda. Även för profiler varierar priset med legering och tillstånd. Det varierar inom vida gränser avseende form, vikt, måttolerans och ytbehandling.

12.2.5 Kostnader för profiler

Aluminiumprofiler är ofta ekonomiskt konkurrenskraftiga gentemot andra typer av konstruktionselement. Visserligen är priset per kg högre än för stål, men den merkostnaden kan kompenseras av lägre vikt per volymenhet, lägre bearbetningskostnad, underhållsfrihet, längre livslängd och högre återvinningsvärde.

Verktyg

Ett skäl till att använda aluminiumprofiler är den låga kostnaden för pressverktyget, *matrisen*. Priset för ett nytt verktyg är inte högre än att många företag numera beställer verktyg till sina prototyper vid produktutvecklingen. Det är både billigare och går snabbare än prototypframtagning på det konventionella sättet med skärande bearbetning. Eftersom små modifieringar kan göras i verktyget, kan många gånger det första verktyget användas även i serieproduktion.

Verktyg kostar normalt 9 000–200 000 kr. Några exempel på aktuella verktygspriser visas i fig 12.10. I verktygspriset, som är en engångskostnad, ingår korrigering, inkörning och ersättningsverktyg vid slitage.

Färdig profil

De faktorer som inverkar på kostnaden per meter färdig profil är:

- pressbarhet
- legering
- vikt per meter
- ytkrav, tolerans
- kvantitet

Konstruktören har här stora möjligheter att genom en väl övertänt konstruktion påverka de fyra första faktorerna.

Pressbarhet

Pressbarheten är ett mått på den effektivitet, bl.a presshastighet, med vilken profilen kan produceras. Den har stor betydelse för priset.

Legering

Ett högre legerat material är dels dyrare, dels mer svårpressat än t.ex det lägre legerade AW-6060. Man ska därför inte välja en legering med högre hållfasthet än nödvändigt. Det lönar sig i de flesta fall att dimensionera en profil och pressa den i en mindre hållfast, men mer lättpressad legering.

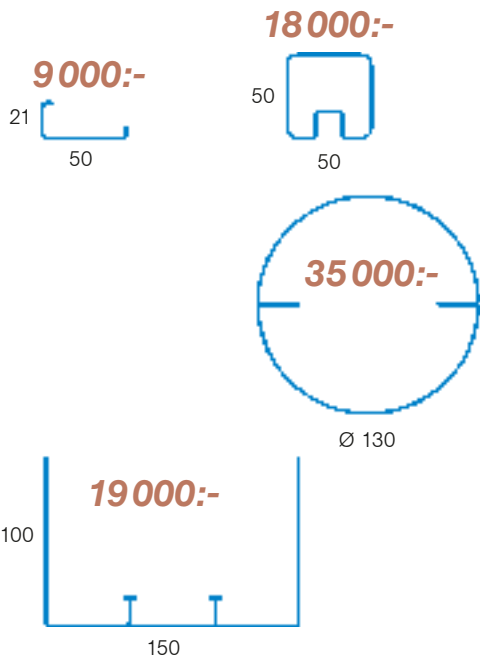


Fig 12.10 Exempel på verktygskostnader år 2018.

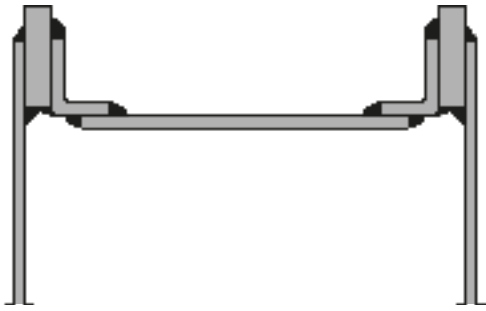


Fig 12.11 Gejder tillverkad av stål med 12 svetsar.



Fig 12.12 Likadan gejder tillverkad av aluminiumprofiler. Antalet svetsar är 3.

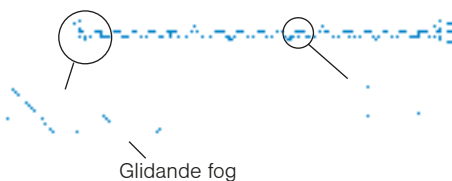
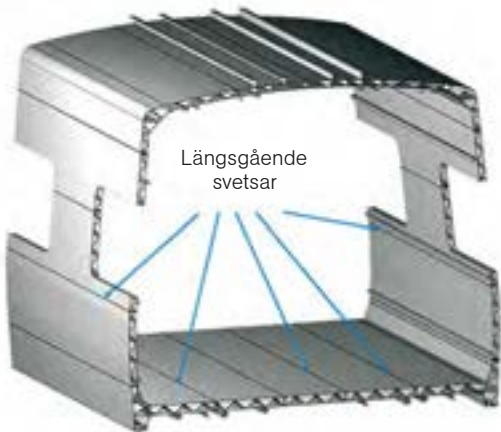


Fig 12.13 Storprofiler i tågagnar.

Vagnarna är uppbyggda av storprofiler som längsvetsas med MIG eller FSW. Genom en speciell fogutformning, som medger att profilerna kan glida i varandra, kan man innan sista svetsen läggs justera till rätt yttermått.

Toleranser och ytklasser

Snäva toleranser och höga ytkrav fordrar noggrann kontroll i alla tillverkningsled, vilket resulterar i högre priser. Specialtoleranser bör således begränsas till de för profilens funktion viktigaste måtten. Krav på högsta kvalitet bör diskuteras noga med tillverkaren.

12.2.6 Kostnadsjämförelser av aluminium- och stålkonstruktioner

Följande fem punkter kan vara till ledning vid kostnadsbedömning av en konstruktion i aluminium jämfört med en i stål:

- formgivning
- bearbetningskostnader
- färdigvikt
- underhållskostnader
- transporter

Även återvinningsvärdet och skrotpriset har betydelse.

Formgivning

En profil med komplicerad form kan ofta tillverkas direkt i aluminium. Fig 12.11 visar en gejder till en lucka. Den är tillverkad av stål och består av ett stort antal kälsvetsar och en blandning av tjockt och tunt material. Konstruktionen kräver mycket rikttningsarbete efter svetsningen. Radiografisk kontroll av svetsarna är mycket svår att utföra.

Fig 12.12 visar samma gejder gjord av aluminiumprofiler. De tre svetsarna är stumsvetsar och utförda mot gods av samma tjocklek. Rikttningsarbetet är minimalt. Kontroll med radiografi, ultraljud och sprickindikering kan utföras mycket lättare i detta fall.

Bearbetningskostnad

Aluminium har lågt formningsmotstånd vid plastisk bearbetning jämfört med flera andra metaller. Detta ger ofta lägre maskinkostnader.

Aluminium är också lätt att bearbeta med skärande verktyg. Man kan använda vanliga träbearbetningsmaskiner, t.ex bandsåg. Praktiskt taget all spånskärande bearbetning sker snabbare och billigare i aluminium än i stål. Höghastighetsbearbetning är i dag mycket vanlig för aluminium. Upp till 95% av ett aluminiumämne kan bearbetas bort för att få fram en komplicerad detalj.

Kostnaderna för spånskärande bearbetning av aluminium jämfört med stål är 30–70% för någorlunda komplicerade bärande konstruktioner. I vissa fall kan man komma under 30%. För aluminium framställs en profil direkt genom profilpressning, medan man för stål kanske måste använda både svetsning och maskinbearbetning.

Färdigvikt

Vikten av en aluminiumkonstruktion är oftast 40–60% av motsvarande stålkonstruktion. Den låga vikten ger kostnadsbesparingar både vid transport och montering, men också vid själva tillverkningen av objektet. Man kan därvid använda mindre truckar, kranar och traverser, i många fall blir de kanske helt onödiga. I bland kan den låga vikten ensamt vara den avgörande faktorn för konstruktionens ekonomi.

Underhållskostnader

Aluminium har god hårdighet mot korrosion i de flesta miljöer. Underhållskostnaderna blir därmed låga. Målning behöver därför endast utföras av dekorativa skäl.

Transporter

Det är naturligtvis ett önskemål att alla transportmedel ska kunna transportera största möjliga last till lägsta möjliga kostnad. Exempel på transportfordon, där aluminium fått stor användning, är tankbilar och -båtar, vilka används för transport av vätskor (olja, mjölk, vatten) eller pulverformiga material (spannmål, cement, plastgranulat). Även kryogena (låg temperatur) vätskor transporteras i aluminiumtankar vid -200°C till -160°C , fig 12.14. De flesta vätskor kan utan risk för korrosion transporteras i aluminiumtankar. Tankbilar kan, liksom andra aluminiumfordon, oftast användas helt omålade. Vissa syror och alkalier samt några flytande kemikalier angriper dock aluminium. För bästa korrosionsskydd kan offeranoder av magnesium eller zink användas.



Fig 12.14 Sfäriska svetsade aluminiumbehållare används i fartyg för transport av flytande naturgaser (LNG) vid -163°C eller kallare.

Det konstruktiva utförandet och beräkningarna skiljer sig inte nämnvärt mellan tankbilar utförda i olika material. Den cylindriska formen ger en vrid- och böjstiv konstruktion som stagas upp genom invändiga skott, antingen i form av skvalpskott eller mellanväggar. Tanken utförs av helsvetsad aluminiumplåt med längsgående förstyrningsbalkar på undersidan. Dessa balkar görs av pressade profiler.

Aluminiums lämplighet för transportfordon beror bl.a på materialets styrka, den goda korrosionshårdigheten samt den låga vikten. Ett exempel är säkerhetshytter för lastbilar, som byggs upp på en ram av aluminiumprofiler, fig 12.15.

De ekonomiska fördelarna med aluminium ligger givetvis i den låga vikten, som innebär att större nyttig last kan transporteras per enhet.

12.3 Konstruktionsregler för profiler

12.3.1 Att konstruera med aluminiumprofiler

Genom att tänka i profil har konstruktören unika möjligheter att åstadkomma en produkt, som från såväl teknisk som ekonomisk synpunkt uppfyller högt ställda krav.

Några av fördelarna som kan uppnås med aluminiumprofiler är:

- små dimensioner på delar och slutprodukter
- litet antal delar genom integrering av flera funktioner
- hög hållfasthet i förhållande till vikt
 - fritt val av former
 - stor frihet i val av fogningsmetod
 - kort bearbetningstid vid skärande bearbetning
 - enkel och snabb montering
 - bra produktdesign
 - slät, naturlig yta, lämplig för ytbehandling
 - låga underhålls- och reparationskostnader
 - lång livslängd genom obetydliga korrosionsskador
 - högt återvinningsvärde

Givetvis har användningen av aluminiumprofiler sina begränsningar. Som exempel på fall där man helst inte väljer profiler kan nämnas:

- profilen som behövs är alltför dyr att tillverka
- viktbesparingar är oväsentliga
- profilens måttoleranser är alltför grova
- profilens största dimensioner och godstjocklek är otillräckliga
- profilens hållfasthet är för dålig
- efterbearbetningen är för dyrbar
- formning kan vara svår att utföra
- gjutning är en lämpligare tillverkningsmetod
- profilen löser lätt ett delproblem, men blir opraktisk/oekonomisk som en del av slutprodukten

12.3.2 Placera godset där det behövs

För att rita upp en produktdetalj måste man naturligtvis göra klart för sig vilken funktion den ska ha. Med utgångspunkt från den analysen fastställs:

- var det måste finnas gods
- var material kan sparas

En aluminiumprofil kan ritas upp med godset exakt där det behövs. Dyrbar efterbearbetning kan till stor del elimineras.

Detaljer, som i andra material måste tillverkas av flera ingående delar, kan pressas i ett stycke till en väsentligt lägre kostnad och med bättre måttnoggrannhet.

I en balk, som är utsatt för böjande påkänning, koncentreras godset till de delar av tvärsnittet, där det gör störst nytta, dvs så långt från böjningscentrum som möjligt. Därigenom kompenseras för aluminiums lägre elasticitetsmodul relativt stål.



Fig 12.15 Lastbilshytt av aluminiumprofiler enligt det sk space-frame konceptet.

12.3.3 Dimensionsbegränsningar

Tvärsnittet

I Sverige kan profiler tillverkas, vilkas tvärsnitt i sin helhet ryms inom konturerna i fig 12.16. För de allra största profilerna kan svårigheter uppstå med pressningen, om tvärsnittet är mycket komplicerat.

Godstjockleken

Minsta godstjocklek bestäms av profilstorlek, -typ och legering.

Längden

Vanligen maximeras profillängden till ca 17 m. För profiler med stor vikt per meter är dock profilens totalvikt avgörande. Standard leveranslängd till kund är 6 m.

Vikten

Profiler som väger upp till 100 kg/m förekommer. En profils totalvikt begränsas av pressgötets maximivikt. I Sverige pressas profiler upp till 30 kg/m.

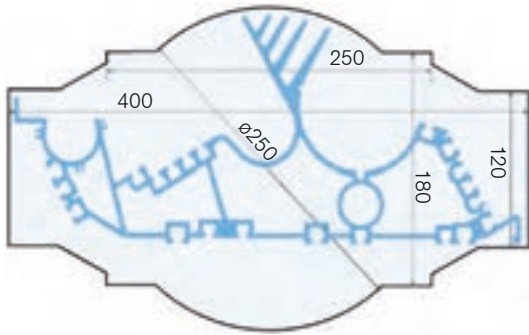


Fig 12.16 Aluminiumprofiler kan i Sverige tillverkas med ovanstående maximala mått (i mm). Det som ryms inom figuren kan i regel pressas.

12.3.4 Produktionsmässiga synpunkter på profilutformningen

Sedan man gjort klart för sig vilka funktioner som ska byggas in i profilen, bör man, för att få ned kostnaden, utforma profilen så att tillverkningen underlättas.

En profil är lättare att pressa om den:

- har jämntjockt gods
- har enkla, mjuka former
- är symmetrisk
- ryms i en omskriven cirkel med liten radie
- saknar djupa, smala gap

12.3.5 Profilutformning

På kommande sidor visas ett antal exempel på hur pressade aluminiumprofiler kan utformas. För den som vill ha ytterligare upplysningar hänvisas till Hydros skrift "Handbok för konstruktörer" på Internet.

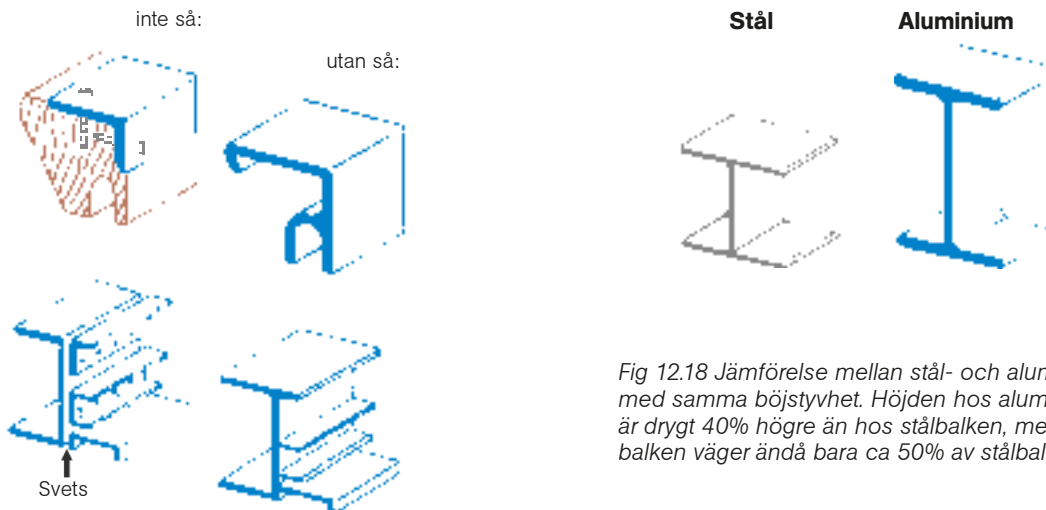
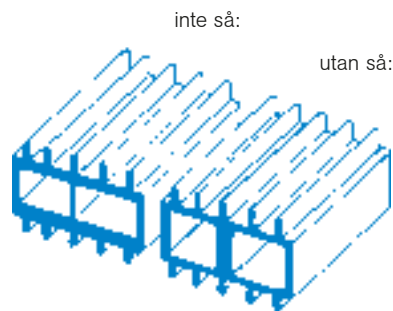
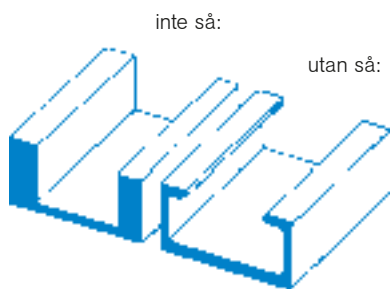


Fig 12.17 Koncentrera godset till de delar av tvärsnittet där det gör störst nytta.

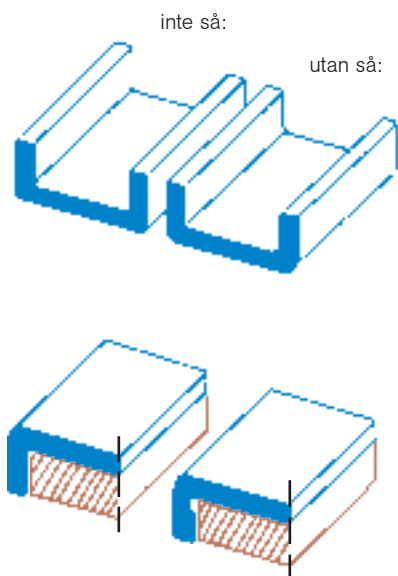
Fig 12.18 Jämförelse mellan stål- och aluminiumbalkar med samma böjstyvhet. Höjden hos aluminiumbalken är drygt 40% högre än hos stål balken, men aluminiumbalken väger ändå bara ca 50% av stål balken.

Gör profilväggarna jämntjocka



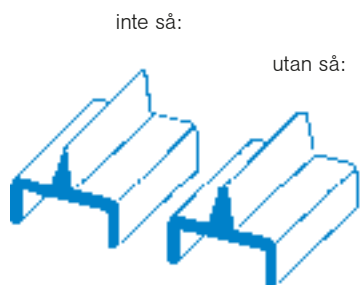
Tjocka väggar görs tunnare eller tunnare partier får mer gods. I båda fallen undviks extrema belastningar lokalt i verktyget.

Undvik skarpa hörn



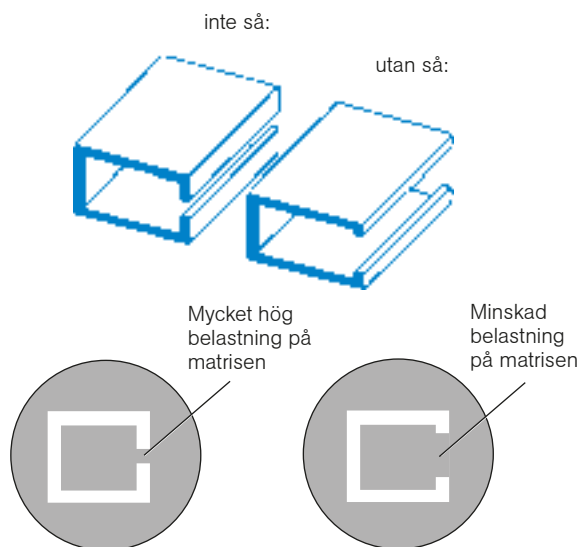
Där skarpa hörn inte krävs, ska hörnen rundas. Det gäller särskilt vid övergångar från grövre till tunnare gods. En radie på 0,5–1 mm kan oftast räcka. Skarpa invändiga hörn kan ibland krävas för inmontering av en annan detalj.

Undvik vassa spetsar



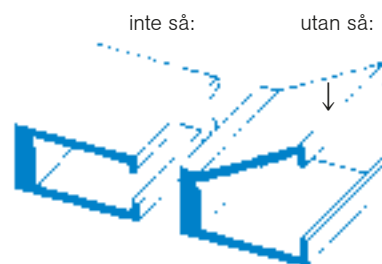
Vassa spetsar i profilen bör undvikas. Spetsen kan lätt bli vågformig och ojämn.

Undvik alltför hög belastning på matrisen



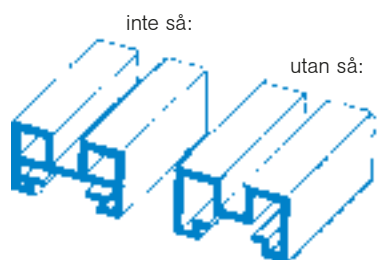
Ett djupt, smalt gap i profilen motsvaras i matrisen av en hårt belastad tunga. Förhållandet mellan djup och bredd bör inte överstiga värdet 3.

Undvik djupa, smala gap



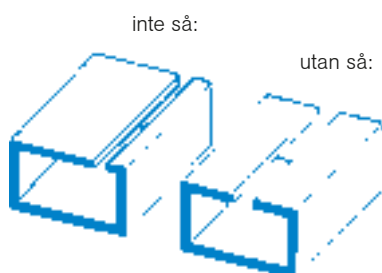
En lätt modifiering av profilutformningen är tillräcklig för att minska belastningen på tungan. Ett relativt vanligt sätt är att pressa profilen med en större öppning, vilken efter pressningen valsas ned till önskat mått. Metoden ger också snävare toleranser på gapmättet.

Undvik hålprofiler



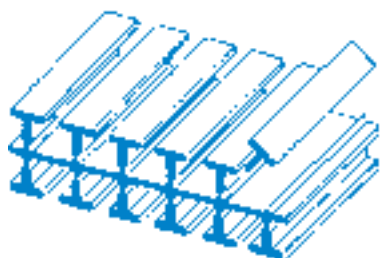
Genom att välja en massiv profil i stället för en hålprofil blir profilen billigare (lägre verktygskostnad, mindre gods och enklare tillverkning).

Gör profilen symmetrisk



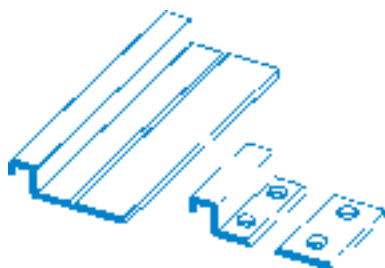
Speciellt halvöppna profiler är lätta att producera, om de är symmetriska kring någon av huvudaxlarna.

Profiler med extremt litet tvärsnitt



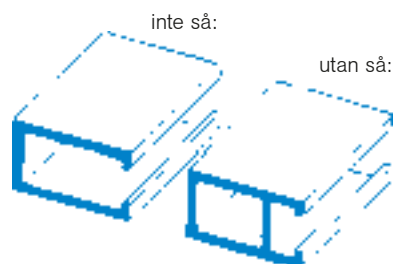
Profiler med litet tvärsnitt medför lågt kapacitetsutnyttjande i pressen. De är svåra att hantera och kan lätt deformeras. De kräver stor personalinsats i alla tillverkningsled. Allt detta medverkar till högre kostnader. Små profiler kan med fördel pressas på en brytplatta. Pressning, ytbehandling och en stor del av erforderlig bearbetning kan då ske mycket rationellt. I slutet av tillverkningskedjan bryts profilen loss från plattan, som går till omsmältning.

Pressa två profiler i en vid små dimensioner



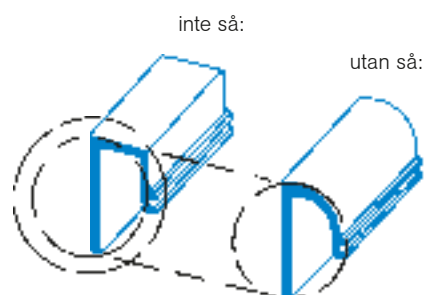
Om två eller flera små profiler med olika tvärsnitt ska användas i lika långa längder, kan de pressas som en enda profil och sedan brytas itu. Fördelarna är desamma som i bilden ovan. Dessutom elimineras brytplattan och minskas verktygskostnaderna, ett verktyg i stället för två.

Hålprofil ger bättre toleranser



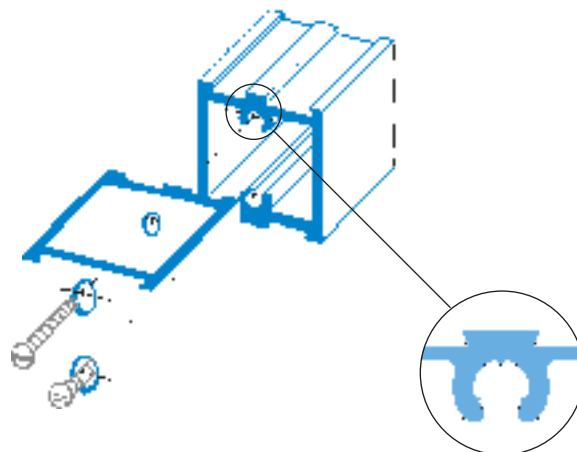
En övergång till hålprofil ger i detta fall mindre belastning på matrisen. Stödbenet ger också snävare gapmåtttoleranser.

Minska den omskrivna cirkeln



Med mindre omskriven cirkel flyttas perifera delar närmare matrisens centrum. Profilen blir därigenom mer lättpressad. I vissa fall minskar också verktygskostnaden.

Skruvfickor



För hörnförband i små och medelstora konstruktioner är skruvfickan en ekonomisk lösning. Kostnaden för att på konventionellt sätt borra och gänga ett skruvhål ökar betydligt snabbare med seriestorleken än kostnaden för skruvfickan. Skruvfickan kan gängas på vanligt sätt för maskinskruv, men också användas direkt för plåtskruv eller gängpressande skruv. I det senare fallet kan fickan förses med tre tappar, vilka gör det lättare att dra i skruven samtidigt som kraven på specialtoleranser kan släppas.

Energi och miljö

I detta kapitel omnämns bara några få aspekter på aluminium ur miljö- och energisynpunkt. En mer utförlig beskrivning finns i rapporterna GeniAl från svensktaluminium.se.



Fig 13.1 Förutom nyplantering vid restaurering av brytningsområden sker även sådd av frön som tillvaratagits i området innan brytningen påbörjades.

13.1 Aluminium en naturlig del av vår miljö

Hela 8% av jordskorpan består av aluminium i form av olika mineraler, i första hand *silikater* (aluminium-kisel-syreföreningar). Aluminiumföreningar är alltså naturliga inslag i vår miljö och förekommer i praktiskt taget allt som omger oss, även i det vi äter och dricker samt i vår egen kropp. Aluminium är efter syre och kisel det vanligaste grundämnet i jordskorpan och är oftast bundet till syre och ingår i t.ex fältspat, glimmer och lera. Aluminiumhalten i den svenska marken är enligt Naturvårdsverket i genomsnitt 7,1%.

Hur vanligt aluminium är beskrivs av att en tegelvägg innehåller mer aluminium än en vägg av profilerad aluminiumplåt. 1 m² av 6,5 cm tjockt tegel innehåller 10–20 kg aluminium i form av aluminiumoxid. 1 m² av 0,6 mm aluminiumplåt väger 1,6 kg.

13.2 Brytning av bauxit

Utgångsmaterialet för framställning av aluminium är i huvudsak *bauxit*. Medan jordskorpan medelhalt av aluminium är 8% innehåller brytvärd bauxit 20–30% aluminium.

Tillgången på bauxit är i praktiken obegränsad. Den finns i ett 5–20 m tjockt skikt nära markytan. För att klara Sveriges årsproduktion av aluminium bryts 250 000 m³ bauxit. Som jämförelse kan nämnas att vid svensk torvproduktion bryts årligen mer än 10 gånger så mycket.

För att täcka hela världens årsbehov av aluminium tas ca 50 km² markyta i anspråk. Omkring 20% av denna yta är regnskog. Brytningen av bauxit sker nära markytan och i klimat som gynnar återväxt. Återplanteringen regleras ofta av nationella lagar som säkerställer att den sker på ett miljöriktigt sätt. Tiden för återställning av såväl växt- som djurliv är i allmänhet 10–15 år.

13.3 Tillverkning av aluminiumoxid

Vid tillverkningen av aluminiumoxid enligt Bayermetoden erhålls *rödslam* som restprodukt. Slammet tas normalt tillvara i stora dränerade bassänger. Alkaliskt dräneringsvatten återförs till processen av såväl miljö- som kostnadsskäl. I dag torkas det mesta av rödslammet, där efter deponeras det och återplantering kan ske på deponin. Rödslam används även för vattenrening, för rökgasrening, för cementtillverkning, för järnframställning samt som jordförbättringsmedel.

13.4 Tillverkning av primäraluminium

Sveriges enda elektrolytverk för framställning av primäraluminium ur aluminiumoxid är Kubal i Sundsvall. Under 2000-talet har stora investeringar gjorts för att öka energiutbytet i produktionen och förbättra miljön i och utanför fabriken.

13.4.1 Energibehov vid tillverkning av primäraluminium

Vid framställningen av aluminium från oxid åtgår el-energi. Per kg aluminium (från bauxit till göt) krävs ca 16 kWh el-energi och dessutom ca 60 MJ termisk energi. Dessa siffror inkluderar även energibehovet för transport och lokaluppvärmning.

I samhällsdebatten anförs ofta att framställning av aluminium är "mycket energikrävande" i förhållande till andra material. Detta är riktigt om man räknar per kg, men ofta fel om man räknar per funktionell enhet, t.ex per m² plåtyta. Aluminium har ju låg densitet jämfört med många andra material och samma funktion kan ofta åstadkommas med lägre vikt om aluminium används.



Fig 13.2 Område för bauxitbrytning i Australien. Området i förgrunden är restaurerat och börjar återta sitt ursprungliga vegetationsskick. Redan efter 10 år är träden 6–8 meter höga tack vare de gynnsamma återväxtförhållandena.

13.5 Återvunnet aluminium som råvara

Vid sidan av primäraluminium utgör aluminium som återvunnits från uttjänta produkter (skrot) eller fabrikationsspill en allt viktigare råvarubas för nya produkter. Återvinningsgraden är hög, vilket bl.a beror på att det återvunna materialet är en utmärkt råvara med högt ekonomiskt värde. I dag utgörs en tredjedel av den totala aluminiumtillförseln av återvunnet aluminium, om några decennier beräknas den utgöra 50%.

Då aluminiumtillförseln mångdubblats sedan mitten av 1960-talet och det för vissa produkter (t.ex takplåt) kan ta 100 år eller mer innan de skrotas och återvinns, ger dagens andel omsmält aluminium ingen riktig bild av vilken återvinningsgrad som är möjlig.

En utmaning vid återvinning av aluminium är noggrannare skrotsortering. Legeringsämnen är lätta att sätta till, men svåra att ta bort ur smältan. Därför går den största delen av den återvunna metallen till gjutindustrin som kan ta emot aluminium med hög legeringshalt. Noggrannare sortering är en förutsättning för att plåt- och profilssektorn ska kunna öka andelen återvunnet aluminium i sina produkter, fig 13.4.

Allt detta material kan inte tas om hand av gjuteriindustrin utan förs tillbaka som råvara till vals- och pressverk. Därför är det av avgörande betydelse att skapa system för skrotsortering efter legering eller legeringsgrupp (1:a legeringssiffran enligt SS-EN), allt för att materialet ska kunna smältas om till samma legering. Det är även väsentligt att redan vid konstruktion av nya produkter planera för en framtida återvinning.

13.5.1 Lågt energibehov och låg miljöbelastning

Vid omsmältning av aluminium är såväl energibehov som miljöbelastning endast ca 5% av den för primäraluminium. Detta faktum är naturligtvis ett förhållande som drastiskt påverkar en produkts livscykel. Bilindustrin har med hjälp av EPS-systemet (Environmental Priority Strategies) jämfört motorhuvar av olika material, där det klart framgår att återvinningen av aluminium har en avgörande betydelse.

13.6 Energiutvinning

Tunt, valsat aluminium används ofta i förpackningar, inte minst i laminat tillsammans med papper och/eller plast. Sådana förpackningar kan, efter användning, utnyttjas för energiutvinning i moderna sopförbränningsanläggningar. Den tunna aluminiumfolien omvandlas då till oxid under stark värmeutveckling. Värmevärdet hos aluminium är ca 30 MJ/kg, vilket är ungefär detsamma som för stenkol, men dubbelt så högt som för biobränslen, fig 13.5.

Plåt och profiler av aluminium brinner däremot inte beroende på att massan är alltför stor i förhållande till ytan. Aluminiumtak och -väggar uppfyller Statens Provningsanstalts hårdaste krav och klassas som brandsäkert ytskikt, brandklass 1.

13.7 Aluminium och vår hälsa

Aluminium är den vanligaste metallen i marken, vilket gör att det finns överallt omkring oss, men i små mängder. Även maten vi äter innehåller aluminium, men oftast bara i ofarliga halter. Om du tillagar eller förvarar sura livsmedel i aluminiumkärl kan dock halten öka något i den maten. Det mänskliga intaget av aluminium från baslivsmedel i Sverige har bland vuxna uppskattats till i medeltal 0,1 mg/kg kroppsvikt/vecka. Kunskapen om hur mycket aluminium vi får i oss totalt från livsmedel är bristfällig. Den "Europeiska myndigheten för livsmedels-säkerhet" (Efsa) har satt ett tolerabelt intag (PTWI) till 1 mg per kilo kroppsvikt och vecka. Värdet har man kommit fram till genom djurförsök och med en säkerhetsfaktor på 300.

Växter, djur och människor har i miljontals år anpassat sig till vår aluminiumhaltiga miljö. 1900-talets försurning med utsläpp av svavel- och kväveföreningar från förbränning av kol och olja har emellertid stört balansen. En ökad urlakning av aluminiumjoner i marken har medfört en negativ inverkan på bl.a fiskar och växter. Detta har inte på något sätt att göra med produktion eller användning av aluminiumprodukter, utan kommer från det aluminium som finns naturligt i vår jord.



Fig 13.3 I Sverige återvanns 85% av alla aluminiumburkar under år 2014. Detta är dock en nedgång jämfört med toppåret 1996 då 92% av burkarna återfördes för omsmältning.

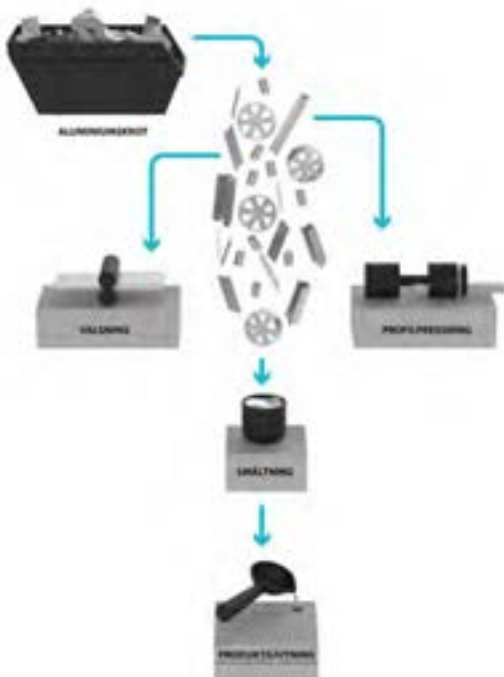


Fig 13.4 Aluminium i kretsloppssamhället.

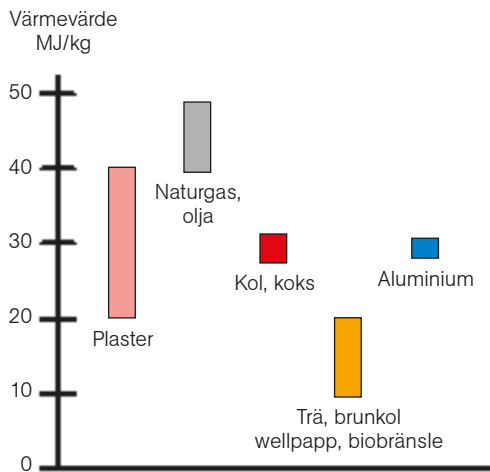


Fig 13.5 Aluminium ger vid förbränning lika mycket energi som kol och koks, och dubbelt så mycket energi som papper. Det bildas heller inga gasformiga förbränningsprodukter utan enbart aska i form av aluminiumoxid.



Fig 13.6 Stål har generellt sett större deformationspotential än aluminium. Därför har de flesta aluminiumföretag utvecklat "krocklegeringar" för att på bästa sätt kunna ta upp krockenergin. Aluminium tar upp krockenergin så bra att materialet i en speciell dubbelhåprofil kan veckas ihop vid en krock – utan att spricka – till vad som ser ut som ett ihoppressat dragspel. Deformationsförmågan är hög. Stål deformeras också, men det intressanta är energiupptagningen per viktnhet hos strukturen. Fler bilkonstruktörer vet nu att detta är ett område där aluminium ger mer för pengarna.



Fig 13.7 Krockupptagande personbilstötfångare gjord av en skräddarsydd aluminiumprofil. Den har utomordentligt god energiabsorption, vilket skyddar både förare och passagerare vid en kollision.

Forskning kring möjliga hälsoeffekter orsakade av aluminium hos personer med normal njurfunktion har koncentrerats kring demenssjukdomar, framför allt Alzheimers sjukdom. En expertgrupp inom Efsa drog 2008 slutsatsen att aluminium inte verkar vara en riskfaktor för utveckling av Alzheimers. År 2007 drog en annan internationell expertgrupp slutsatsen att bevisen för samband mellan aluminium och uppkomst av Alzheimers är dåliga.

Yrkesmässig exponering för aluminiumhaltigt damm med mycket små dammpartiklar och rök från svetsning av aluminium kan påverka hälsan. Denna risk undviks om lämpligt andningsfilter eller friskluftsmask används vid de aktuella arbetsmomenten så att exponeringsnivån inte överstiger gällande gränsvärden.

13.7.1 Hälsoeffekter

Exponering för aluminium kan ge upphov till lungfibros, sk aluminos. Vid utvecklingen av denna pneumokonios har exponeringen oftast varit blandad med kisel, varför det är oklart om det enbart varit aluminium som orsakat lungsjukdomen. I aluminiumsmältverk har man noterat ökad förekomst av sk obstruktiva lungbesvär. Även dessa besvär kan bero på andra föroreningar i denna arbetsmiljö.

13.7.2 Omsättning

Vid exponering för aluminium sker upptaget via inandningen. Bortförslingen av aluminium ur kroppen efter en kortvarig exponering sker med urinen och med en biologisk halveringstid på ca 8 timmar. Vid långvarig kraftig exponering kan man ackumulera aluminium i skelettet. Avgången från skelettdepån är däremot långsam med en halveringstid på flera år.

13.7.3 Hygieniska gränsvärden

De hygieniska gränsvärdena för aluminium vid yrkesmässig exponering är satta efter lungpåverkan som kritisk effekt. Nivågränsvärdet för inandad aluminiumdamm är 2 mg/m³.

13.8 Aluminium i personbilar

Den totala aluminiumhalten per fordon växer från 2016 till 2025. Det mesta av tillväxten förväntas vara plåt, särskilt för luckor och dörrar.

- Baserat på prognosen ökar aluminiumandelen per fordon till nästan 170 kg år 2020 och ca 195 kg år 2025.

- Användningen av aluminiumbilplåt förväntas öka med 110% under de kommande tio åren.

- Skillnaden mellan optimistiska- och pessimistiska prognoser beror till stor del på införandetakten och användningen av aluminium för luckor och dörrar, bärande delar samt chassi och upphängningsdelar.

- En stor del av tillväxten beror på en förväntad ökning av vakuumpressgjutning av aluminium, som ersätter stålsmidan (underramar, stötdämpartorn) i kaross och chassi.

- Aluminiumtillväxten kommer att fluktuera efter bilfabrikanternas förmåga att uppfylla utsläppskraven och med framtida ändringar i den europeiska koldioxidregleringen.

- Prognoser för aluminiumandelen ett visst år baseras på uppgifter om fordonproduktion av kommande modeller. Förändringar om uppdateringar av en eller flera modeller kan få stora effekter på den genomsnittliga aluminiummängden ett visst år.

- Om t.ex en bilproducent planerar att konvertera en viss modell till aluminium kort efter 2020 kommer det inte att inkluderas i 2020-prognosen utan bara i prognosen för 2025.

Ett genomsnittligt aluminiuminnehåll per fordon varierar från 62 kg för en Smart Fortwo, upp till 610 kg för en Range Rover Sport.



Fig 13.8 Mängden aluminium i en medelbil har ökat från 50 kg år 1990 till dagens 150 kg. Experter förutspår att detta kan öka till 195 kg år 2025.

Aluminium i bilar är ett utomordentligt exempel på cirkulär ekonomi. Mer än 90% av metallen återvinns efter fordonets livscykel och återanvänds för att skapa nya aluminiumprodukter.

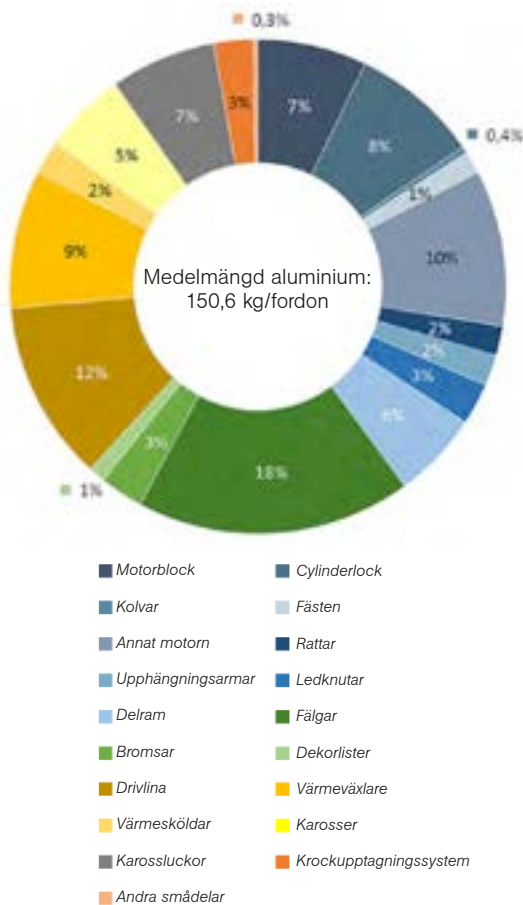


Fig 13.9 Europeisk bilproduktion – Viktfördelning hos komponenter.

Trots att det största fokuset ligger på aluminiumplåt för kaross och luckor är andelen gjutgods, mellan drivlina och hjul, nästan 50% av det totala aluminiuminnehållet.

13.8.1 Kalkyl

Aluminium kan ersätta stål i personbilar. I moderna bilar finns bl.a kolvar, motorblock, stötfångare, motorhuvar, bagageluckor, fälgar och bränslepåfyllningsrör av aluminium.

Antag att en bil minskar i vikt med 100 kg på grund av aluminiumanvändning. Minskningen ger lägre bränsleförbrukning, vilket ger både en sänkning av avgasutsläppen och en minskning av energiåtgången.

Ersätt 200 kg stål med 100 kg aluminium. Dessa siffror är realistiska och baserade på bilindustrins erfarenheter. Energiinsatsen blir då:

| | | |
|-----------|----------------------|-----------|
| Aluminium | $100 \cdot 94,4^1 =$ | 9 440 MJ |
| Stål | $200 \cdot 30 =$ | -6 000 MJ |
| | | 3 440 MJ |

Vi antar följande för bilens användning:

- körsträcka totalt 20 000 mil (1 500 mil/år i 13,3 år)
- 100 kg viktminskning sänker bensinförbrukningen med 0,046 liter/mil
- energiinnehållet i bensinen är 36 MJ/liter

Energibesparingen under bilens livslängd blir då:
 $0,046 \cdot 20\,000 \cdot 36 = 33\,120$ MJ (2490 MJ/år)

Total energivinst blir $33\,120 - 3\,440$ MJ = 29 680 MJ. Merinsatsen av energi, 3 440 MJ vid tillverkningen av bilen, tar knappt 1,5 år att tjäna in. Därefter är det en ren energivinst.

Utsläpp av koldioxid vid framställningen:

| | | |
|-----------|--|------------------------|
| Aluminium | $100 \text{ kg Al} \cdot 6,0 \text{ kg CO}_2/\text{kg Al} =$ | 600 kg CO ₂ |
| Stål | $200 \text{ kg stål} \cdot 1,8 \text{ kg CO}_2/\text{kg stål} =$ | 360 kg CO ₂ |

Utsläppet av koldioxid blir alltså 240 kg högre vid övergång till aluminium.

Minskade utsläpp av koldioxid vid körning under bilens livslängd (liter/mil · mil (total körsträcka) · emissionsfaktorn²⁾ i kg CO₂/liter):

$$0,046 \cdot 20\,000 \cdot 2,85 = 2\,620 \text{ kg CO}_2$$

Vinsten över bilens livslängd blir:

$$2\,620 - 240 = 2\,380 \text{ kg CO}_2$$

Med 4 000 000 bilar i Sverige erhålls en minskning av CO₂-utsläppet på 0,72 Mton/år, vilket är ca 1% av det totala CO₂-utsläppet i landet.

1) Energiförbehovet för framställning av primäraluminium är 132 MJ/kg och 6,6 MJ/kg för återvunnen aluminium. I bilar ingår både primärmetall och återvunnen metall, därav ovanstående genomsnittsvärden. Här har antagits 70% primärmetall och 30% återvunnen metall.

2) Emissionsfaktorn varierar mellan 2,33 och 2,95 kg CO₂/liter bensin beroende på mest konservativa respektive mest optimistiska betraktelsesättet. Här har 2,85 använts.

