

Aluminium ontwerpwijzer



Voorwoord

Deze ontwerpwijzer biedt u als ontwerper handige informatie om het bijzondere materiaal aluminium toe te passen in uw ontwerp. Met deze fiches krijgen ontwerpers een goed overzicht met informatie die benodigd is om een product van aluminium te ontwerpen.

Deze uitgave is een onderdeel van het project Metallicity en is gesubsidieerd door het Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie (IWT). Het project is een samenwerkingsverband van de drie kennisinstellingen Clusta, Aluminium Center Belgium en Aluminium Centrum en heeft als doel de ontwerpmogelijkheden met metalen te stimuleren.

Content

Voorwoord	1
Content	2
Belangrijkste kenmerken van het materiaal aluminium	3
Ontwerpen in extrusieprofielen	4
Vloeibaar vormgeven van aluminium	6
Krachtenspel in aluminium producten	8
Verbindingsmogelijkheden van aluminium	10
Corrosietypen bij ontwerpen met aluminium	13
Duurzaam ontwerpen met aluminium	15
Oppervlaktebehandelingen voor aluminium in een ontwerp	18
Bewerkingsmogelijkheden van aluminium	20
Vervormen van aluminium	22

Belangrijkste kenmerken van het materiaal aluminium

Aluminium is een bijzonder interessant materiaal voor ontwerpers. De eigenschappen van het materiaal geven de ontwerper een grote vrijheid in het ontwerpen van een product. De esthetische waarde van een product wordt, naast de functionaliteit, steeds belangrijker voor een succesvol product.

Aluminium heeft een aantal kenmerkende eigenschappen die het metaal zo speciaal maken. Hieronder staan de hoofdeigenschappen van aluminium kort uitgelegd.

Licht

Aluminium is een licht metaal met een dichtheid van $2,7 \cdot 10^3$ kg/m. Dat is ongeveer een derde van het gewicht van staal.

Sterk

Afhankelijk van de soort legering varieert de sterkte van aluminium. De verhouding sterkte versus gewicht is gunstig en met deze eigenschap is aluminium geschikt voor veel verschillende toepassingen.

Weerbestendig

Aluminium heeft als eigenschap dat zich van nature een beschermende oxidelaag vormt.

Duurzaam

Aan het einde van de gebruiksduur is aluminium met zeer weinig energie en behoud van kwaliteit te recyclen. Het omsmelten kost slechts 5% van de energie die oorspronkelijk nodig is om primair aluminium te produceren.

Goed bewerkbaar

Aluminium is uitstekend te verspanen, goed lasbaar en er staan vele bewerkingstechnieken en oppervlaktebehandelingen ter beschikking. Verspanende bewerkingsprocessen in aluminium hebben 70% minder bewerkingstijd dan staal.

Goed geleidend

Aluminium is zeer geschikt voor het geleiden van elektriciteit en warmte. Binnen deze eigenschap is de verhouding geleidbaarheid/dichtheid twee keer gunstiger dan die van koper.

Grote vormvrijheid

Door middel van extrusie en walsen kan aan aluminium profielen en platen elke gewenste vorm worden gegeven. Het metaal heeft als eigenschap een lage smelttemperatuur en is daardoor uitstekend vorm te geven door middel van gieten.

Decoratief

Met behulp van een anodiseer- of lakbehandeling kan het oppervlak van aluminium worden verfraaid en zorgt dit voor een nog betere bescherming.

Niet giftig en dampdicht

Aluminium geeft geen giftige stoffen af en is volledig dampdicht. Vanwege deze eigenschap wordt het veel gebruikt voor verpakkingen van consumptieartikelen en geneesmiddelen.

In overvloed aanwezig

De aardkorst bestaat voor 8% uit aluminium. Na zuurstof en silicium is aluminium het meest voorkomende element op aarde.



Figuur 1: de grondstof bauxiet

Ontwerpen in extrusieprofielen

Aluminium geeft de ontwerper een enorme vormvrijheid. Een profiel met allerlei geïntegreerde functies en een complexe vorm kan door het extrusieproces geproduceerd worden.

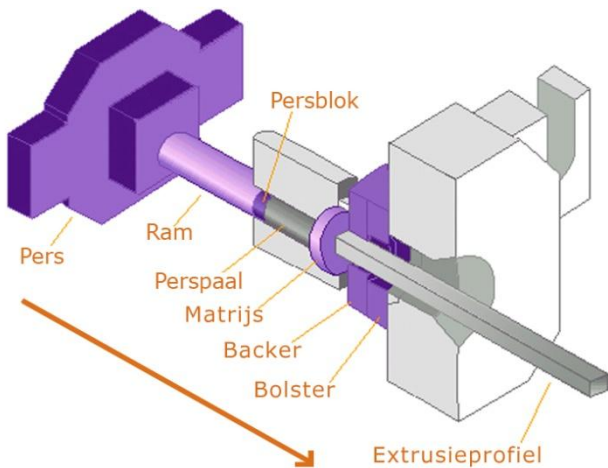
Wat is extruderen?

Aluminium extrusie is een vormgevingstechniek waarbij een ronde aluminium perspaal (billet) voorverwarmd door een vorm (matrijs) geperst wordt. Extruderen is vaak een discontinu proces. In de matrijs zitten één of meerdere soms complex gevormde gaten die het uiteindelijk gevormde staafmateriaal, het extrusieprofiel, zijn vorm geeft. Dit kan een massief of hol profiel zijn.

Het proces

Het aluminium zit opgesloten in de container welke aan één zijde is afgesloten door de matrijs en aan de andere zijde wordt afgesloten gedurende het proces door de ram die het aluminium onder druk zet. Via de open zijde wordt de billet in de container geschoven. Hierna zal de ram door middel van een hydraulische cilinder de warme billet door de matrijs persen. In Figuur 2 is het principe van het extruderen weergegeven waarbij de ram het metaal door de matrijs perst. Dit systeem van extruderen wordt directe-extrusie genoemd. Twee andere vormen van extruderen zijn indirecte-extrusie en hydrostatische-extrusie.

Tijdens het bewegen van de billet in de richting van de matrijs zal tussen de billet en de containerwand wrijving optreden. Hierdoor zal de hydraulische cilinder 30% meer perskracht moeten leveren om deze wrijving te overwinnen.



Figuur 2: schematische weergave extrusieproces

Functionele toepassingen

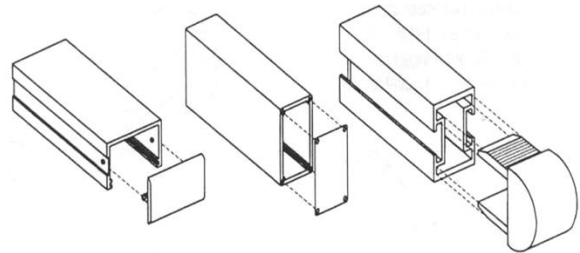
Bij het ontwerpen van een aluminium profiel kan men van tevoren bepalen waar en hoe het gebruikt wordt. Dure nabewerkingen kunnen hierdoor grotendeels of geheel achterwege blijven. Onderdelen, die bij een ander soort materiaal uit meerdere delen worden samengesteld, kunnen bij aluminium uit één stuk worden geproduceerd. Dit gaat veelal met een grotere nauwkeurigheid tegen lagere kosten dan bij de keus voor een alternatief

materiaal. Onderdelen die anders machinaal door bijvoorbeeld verspaning gemaakt worden, kunnen vaak door middel van eenvoudige bewerkingen aan een aluminiumprofiel, goedkoper worden gemaakt. Het ontwerpen in profielen is een unieke mogelijkheid om een product te ontwikkelen dat zowel in technisch en esthetisch opzicht als in prijs aan de eisen voldoet. Het toepassen van profielen levert belangrijke voordelen op zoals:

- een laag totaal gewicht
- een gunstige verhouding tussen sterkte en gewicht
- bijna onbeperkte vrijheid van vormgeving in profielen
- het combineren van functies in het profiel
- minder mechanische bewerkingen
- energie besparende constructies

Profielen afsluiten

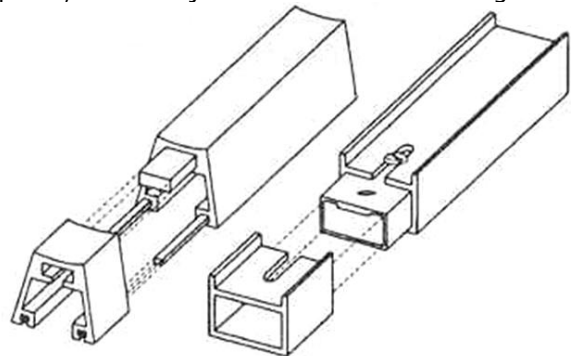
De eindafsluiting van een profiel kan op verschillende manieren en uit verschillende materialen worden gemaakt. Deze delen worden vastgeschroefd, geperst, geklonken of gelast. De meest gebruikte manier om een kokerprofiel van eindstukken te voorzien is een deksel van plaat of kunststof dat op de schroefkanalen van het profiel wordt vastgeschroefd (Figuur 3).



Figuur 3: afsluitmogelijkheden profielen

Profielen samenvoegen

Bij het verlengen van een profiel door samenvoegen van meerdere delen is het mooier om verbindingsschakels onzichtbaar aan de binnenzijde van het profiel aan te brengen. Het verbindingdeel is een kort gezaagd profiel, dat precies in het hoofdprofiel past. De afmetingen en toleranties dienen per toepassing te worden bepaald, afhankelijk van de vorm en de lengte.

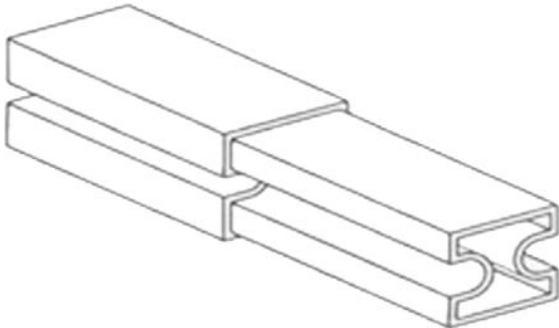


Figuur 4: profielen samenvoegen

Telescoopfuncties

Profielen kunnen ook in elkaar geschoven worden tot een soort telescoopfunctie zoals in Figuur 5 is

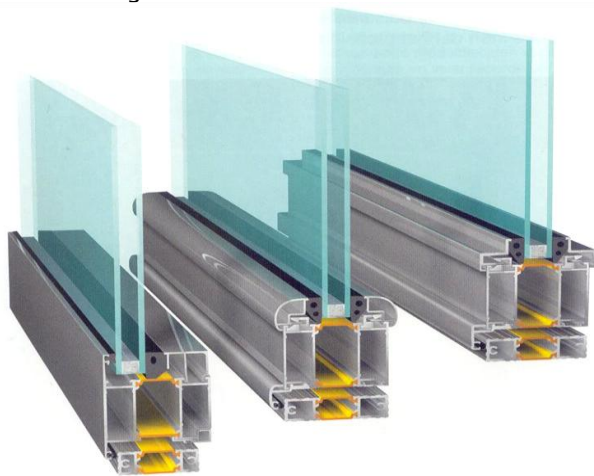
weergegeven. Dit kan onder andere toegepast worden bij instelbare producten. De afmetingen en tolerantie dienen bij elk geval apart te worden bepaald, al naar gelang de vorm en de lengte van de bij elkaar horende delen. Hierbij moet rekening gehouden worden met een zekere speling, en bij regelmatig bewegende delen moet een glijlaag worden aangebracht.



Figuur 5: telescoopfunctie

Isolerende werking

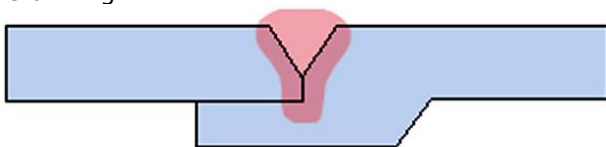
Bij koelruimtes en kozijnen kan het zijn dat de binnenkant gescheiden moet zijn van de buitenkant in verband met de goede geleidbaarheid van aluminium voor warmte en kou. Meestal wordt er dan een polyamide steeg of een kunststof isolator tussen gegoten, deze houdt ook de profielen bij elkaar. Bij het ontwerp van dit profiel zal de opname van de isolator in de geometrie van het profiel worden meegenomen.



Figuur 6: isolerende werking in profielen

Lasbadondersteuning

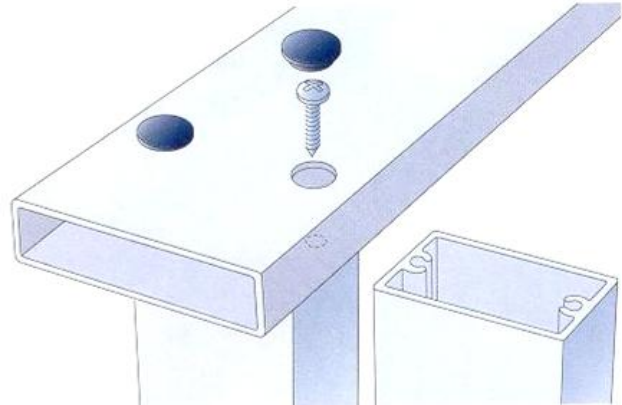
Indien profielen aan elkaar gelast moeten worden, is het aan te bevelen om gebruik te maken van een lasbadondersteuning, lasnaadvoorbereiding en positionering aan één kant van het profiel. Ook de verzwakking van de door warmte beïnvloede zone kan opgevangen worden door een plaatselijke verdikking.



Figuur 7: voorbeeld lasbadondersteuning

Schroefoog

Voor hoekverbindingen in kleinere en middelgrote constructies is het meeextruderen van een schroefoog een voordelige oplossing. In Figuur 8 is zo'n schroefoog te zien. Metaalschroeven en zelftappende schroeven kunnen direct worden ingedraaid. Ook kan de schroefgoot voorzien worden van 'ribben' voor de schroefdraad.



Figuur 8: schroefogen in profiel

Hoekverbindingen

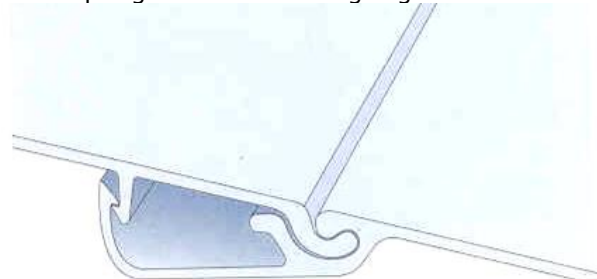
Hoekverbindingen kunnen op verschillende manieren worden gemaakt. Hiervoor wordt vaak gebruik gemaakt van een speciaal hoekstuk. Dit hoekstuk kan een gegoten deel zijn of een kort gezaagd profiel.



Figuur 9: hoekverbindingen voor bijvoorbeeld een lijst

Klikverbindingen

Omdat aluminium relatief elastisch is, kunnen er klikverbindingen in worden aangebracht. Deze zijn snel te monteren zonder gereedschappen. Het is afhankelijk van de vorm van de 'haak' of de verbinding naderhand weer losgemaakt moet kunnen worden of niet. Afmetingen en toleranties moeten per geval worden vastgelegd.



Figuur 10: klikverbindingen

Vloeibaar vormgeven van aluminium

Het vloeibaar vormgeven is een manier van produceren die ook wel gieten wordt genoemd. Hierbij ontstaat een product door een vloeibaar metaal in een vorm te brengen en daarna te laten stollen.

Vrijheid van vormgeving

Bij vloeibare vormgeving kan men de uiteindelijke vorm zeer dicht benaderen en daardoor de vereiste bewerkingen tot een minimum beperken. Van alle fabricageprocessen geeft het gieten de grootste vrijheid bij het ontwerpen van een product. Functie-integratie in een onderdeel is in de gietvorm precies aan te passen. Deze vrijheid van vormgeving, die het gietproces biedt, maakt het dikwijls mogelijk het aantal onderdelen van een product te verminderen.

Zowel functioneel als decoratief worden gietstukken in nagenoeg alle industriële sectoren en artikelen toegepast.

Verloren vorm versus permanente vorm

Het gieten van een aluminium product kan volgens verschillende productiemethoden:

- verloren-vorm-gietmethode
- permanente-vorm-gietmethode

Onder verloren-vorm-gieten vallen de gietmethodes zandgieten, verloren-was-gieten, verloren-schuimgieten en vacuümfolie gieten. Interessant aan verloren-vorm-gietmethodes is dat deze technieken kunnen worden ingezet voor de productie van enkelstuks en kleine series tot grote series. In tegenstelling tot permanente-vorm-gietmethodes vallen investeringen voor gereedschapskosten zoals modelplaten mee. Tevens is het mogelijk zeer complexe inwendige productvormen te realiseren.

Bij permanente-vorm-gietmethodes wordt een vorm (matrijs) meerdere malen gebruikt om vloeibaar aluminium in die vorm te gieten. Coquillegieten, hogedruk-gieten en lagedruk-gieten behoren tot deze gietmethode.

Verloren vorm gietmethoden

Zandgieten

Bij zandgieten stolt vloeibaar aluminium in een matrijs die is gemaakt van zand. De standaard gietvorm wordt gevormd door een model, met dezelfde uitwendige afmetingen als het te gieten product, in te pakken in een zandbed. Het model wordt daarna verwijderd en de zo ontstane holte wordt gevuld met vloeibaar aluminium. Zandgieten wordt onder andere toegepast in onderdelen voor de transportsector, buitenmeubilair (Figuur 11) en warmte-wisselaars. Het meest belangrijke voordeel is dat zowel kleine als grote gietstukken mogelijk zijn. Het grootste nadeel is de grove zandkorrelige oppervlaktestructuur van het product.



Figuur 11: ontwerp straatverlichting gefabriceerd door Metaalgietterij Bruijs BV

Lost foam gieten

Bij de lost foam technologie worden producten gegoten met behulp van schuimmodellen. Het voorbehandelde schuimmodel wordt in een vormkast ingebed in los zand, dat door trillen wordt verdicht. Vervolgens wordt via een giettrechter vloeibaar metaal op het schuim gegoten. Onder invloed van de hoge temperatuur vergast het schuimmodel. Zodra het metaal gestold is, kan het product gemakkelijk uit de vormkast verwijderd worden. Voorbeelden waarin dit proces wordt toegepast zijn knooppunten en motoronderdelen (Figuur 12). Het meest belangrijke voordeel is dat gecompliceerde gietstukken uit één stuk kunnen worden gegoten. Het grootste nadeel is dat de kwaliteit van het gietstuk afhankelijk is van de kwaliteit van het schuimmodel.

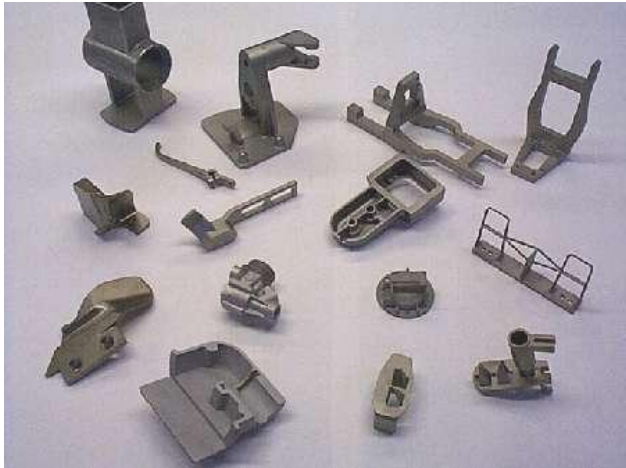


Figuur 12: dieseloliepomp 6 cilinder dieselmotor m.b.v. verloren-schuim-model van Lovink Aluminium BV

Lost wax gieten

Het uitgangspunt van het verloren was gietproces is een nauwkeurige matrijs die meestal uit aluminium is vervaardigd. In deze matrijs wordt de was gespoten, waardoor een wasmodel met een uitstekende contourscherpte ontstaat. Met uitstoters wordt het wasmodel uit de matrijs verwijderd. Een aantal van deze wasmodellen wordt samengevoegd tot een zogenaamde wasboom, met daarop een giettrechter waarin later het metaal gegoten kan worden. Het verschil

met schuimmodellen is dat bij wasmodellen de was eerst wordt uitgestookt en de holle ruimte die het achter laat daarna wordt gevuld met vloeibaar aluminium. De verloren wasmethode leent zich voor het gieten van zowel kleine als grote series. Verloren wasgietwerk heeft een zeer breed toepassingsgebied gevonden: lucht- en ruimtevaart, automotive, (fijn)mechanische industrie, wapenindustrie, medische toepassingen en vrijetijdsartikelen (Figuur 13). Het meest belangrijke voordeel is dat de detaillering, complexiteit en maattolerantie zeer hoog zijn. Het grootste nadeel is dat dit proces veelal alleen voor kleine gietstukken geschikt is.



Figuur 13: productvoorbeelden gemaakt door middel van verloren was gieten (bron: Precisiewerk Zierikzee)

Vacuümfolie gieten

Het uitgangspunt van vacuümfoliegieten is een modelplaat waarin kleine gaatjes zijn geboord. Van deze modelplaat wordt door middel van vacuümvormen een kopie gemaakt in een kunststoffolie (bijvoorbeeld een polyetheenfolie van 0,05-0,1 mm), hierbij wordt de folie aan de bovenzijde verwarmd terwijl aan de zijde van de modelplaat een vacuüm wordt getrokken. De film neemt hierbij exact de contouren van het model aan. Na de afkoeling wordt de verwarmingsinstallatie verwijderd en wordt een vormkast, waarin een zuigkamer is aangebracht, over het model geplaatst. De vormkast wordt gevuld met droog zilverzand, zonder bindmiddel. Dit vormzand wordt door vibreren verdicht. Na het aanbrengen van een giettrechter wordt de kast met kunststoffolie bedekt en wordt in de vormkast een vacuüm getrokken waardoor de vorm stabiel blijft. Tijdens het gieten zal de kunststoffolie verdampen en voor een reducerende atmosfeer in de vormholte zorgen. Door na het stollen van het gietstuk de onderdruk in de vorm op te heffen valt de vorm uit elkaar en wordt een schoon gietstuk verkregen. Het zand is niet verontreinigd met metaaldeeltjes en kan na afkoeling worden hergebruikt. Het meest belangrijke voordeel is de hoge nauwkeurigheid waardoor bewerkingen zijn uit te sparen. Het grootste nadeel is dat de productprijs relatief hoog is.

Permanente vorm gietmethoden

Door de goede gietbaarheid van een aantal gietlegeringen en de goede beheersbaarheid van het smeltbad is het mogelijk om vloeibaar aluminium direct in een permanente of duurzame vorm te gieten. Een methode waarbij gietstukken met een gemiddeld gewicht en grootte kunnen worden gegoten met duurzame vormen is de z.g. *coquille gietmethode*. Met coquille wordt de metalen vorm aangeduid waarin het gesmolten metaal wordt ingegoten. Wat betreft de uitvoering lijkt het coquillegieten erg veel op het verloren-vorm-gieten, waarbij echter het tijdrovende vormen wordt voorkomen. Bij het coquillegieten wordt het vloeibare metaal met behulp van de zwaartekracht in de vorm gebracht.

Indien het vloeibare metaal met behulp van een kleine overdruk in de vorm geperst wordt spreken we van *lagedruk-gieten*. Wanneer we vloeibaar aluminium onder een zeer hoge druk in een permanente vorm persen spreken we van *hogedruk-gieten*. Spuitgieten is ook een nog veel gebruikte term, maar hogedruk-gieten is de enige juiste voor aluminium. Door de hoge druk wordt een uitstekende vormvulling en scherpe aftekening van de matrijs verkregen. Het hogedruk-gieten blijft beperkt tot zink-, aluminium- en magnesiumlegeringen. Enkele voorbeelden zijn deurbeslagen, behuizingen en motoronderdelen.



Figuur 14: lagedruk gietproduct (bron: MGG Group)

Voldoende kennis over giettechnieken biedt aan ontwerpers en constructeurs extra mogelijkheden binnen het ontwerpproces op functioneel, decoratief en economisch gebied. Bij het overwegen van het inzetten van gietonderdelen is het advies om een gieterij vanaf het eerste stadium bij het ontwerp te betrekken.

Krachtspel in aluminium producten

Indien voor een product of een constructie een bepaalde sterkte wordt gevraagd, moet de ontwerper hier rekening mee houden. Aluminium is in veel legeringen verkrijgbaar met ieder een eigen chemische samenstelling. Afhankelijk van de samenstelling zijn deze legeringen in twee hoofdgroepen in te delen.

Er wordt onderscheid gemaakt in aluminiumlegeringen die **niet-precipitatiehardend** (niet-veredelbaar) zijn en aluminiumlegeringen die wel **precipitatiehardend** (veredelbaar) zijn. Precipitatiehardend wordt in de praktijk ook wel 'veredelen' of 'verouderen' genoemd. Door veredeling, worden de sterkte-eigenschappen van veredeldbare legeringen aanzienlijk verhoogd.

De uitwendige krachten, welke op een aluminium onderdeel werken, worden in de doorsnede van een onderdeel in de volgende inwendige krachten onderscheiden: normaal- en afschuifkrachten, buigende momenten en torsiemomenten. Deze resulteren in de belastingsoorten trek, druk, afschuiving, buiging en torsie. Spanningen loodrecht op een doorsnede worden aangeduid als normaalspanning (trek, druk en buiging). Spanningen in het vlak van doorsnede als tangentiële spanning (schuif en torsiespanning).

Benaming	Formule					
Trekspanning	$\sigma_t = \frac{F_t}{A}$					
Drukspanning	$\sigma_d = \frac{F_d}{A}$					
Buigspanning	$\sigma_b = \frac{M_b}{W_x} \quad W_x = \frac{I_x}{e}$					
Schuifspanning	$\tau_{sm} = \frac{F_s}{A} \quad \tau_{zy \max} = k_s \tau_s$					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Doorsnede</th> <th>Rechthoek</th> <th>Cirkel</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>k_s</td> <td>3/2</td> <td>4/3</td> </tr> </tbody> </table>	Doorsnede	Rechthoek	Cirkel	k_s	3/2
Doorsnede	Rechthoek	Cirkel				
k_s	3/2	4/3				
Doorsnede (buiging met afschuiving)	$\tau_{zy} = \frac{F_d(z) \cdot H_x(y)}{I_x \cdot b(y)}$ <p>met $H_x(y) = \int_A y \cdot dA$ resp. $\sum y_{zi} \cdot A_i$</p> $I_x = \int_A y^2 \cdot dA$					

Tabel 1: verschillende uitwendige krachten

Er zijn statische en dynamische belastingen. Een statische belasting is een mechanische belasting die een bouwwerk of constructie niet in beweging brengt. In de praktijk zullen er weinig belastingen zijn waarvoor dit geldt, bijna alle belastingen (hoe klein ook) zullen een constructie min of meer in beweging brengen. Slechts het eigen gewicht en

de afwerking van een bouwwerk zijn naar deze definitie statische belastingen.



Figuur 15: helikopterdek van Bayards Aluminium Constructies BV

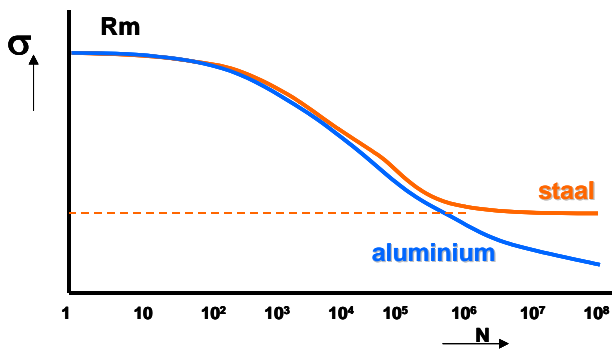
Een dynamische belasting is een mechanische belasting die een bouwwerk in beweging brengt. Dat wil zeggen dat de vervormingen van de constructie afwisselend groter en kleiner worden. Dynamische belastingen veroorzaken spanningswisselingen in de constructie. Deze spanningswisselingen kunnen door vermoeiing aanleiding geven tot breuk van het materiaal.

Vermoeiing van het onderdeel ontstaat door een ongelijkmatige spanningsverdeling over metallurgische of geometrische kerven, als gevolg van voortdurende spanningswisselingen die door microscheuren ongelijkmatig worden verdeeld. Het materiaal is niet bestand tegen deze spanningspieken en resulteert in microscheurtjes die uiteindelijk tot een vermoeiingsbreuk leiden.

In de praktijk is de belastingsintensiteit op een onderdeel bijna nooit regelmatig. Veelal treden sterke variaties op in spanningsfrequentie en -amplitude. Als gevolg hiervan is het niet mogelijk met behulp van algemene belastingsgegevens de te verwachten levensduur van een product exact te bepalen. Van aluminium zijn in beperkte mate vermoeiingsgegevens bekend die in het algemeen sterk uiteen lopen. Voor het bepalen van de exacte levensverwachting zijn veel gegevens nodig rondom de bedrijfsomstandigheden. In de ontwerpfase wordt overwegend de vermoeiingssterkte gebruikt.

Voor het berekenen van een dynamisch belast onderdeel is het van belang te weten welke maximale spanning een materiaal kan verdragen, zonder dat het onderdeel bezwijkt aan de gevolgen van vermoeiing. De vermoeiingssterkte ligt beduidend lager dan de maximaal toelaatbare spanning bij statisch belaste onderdelen, die goed tot uitdrukking komt in de diagrammen van Wöhler (Figuur 16). Bij de spanningsintensiteit waar de lijn van de teruglopende sterkte afvlakt en horizontaal gaat lopen wordt de vermoeiingssterkte genoemd.

Aluminium is gevoeliger voor vermoeiing dan staal en de ontwerper moet hier rekening mee houden.



Figuur 16: Wöhlerkromme van staal en aluminium. Daar waar de lijn van de teruglopende sterkte horizontaal loopt, wordt het materiaal niet zwakker en wordt de vermoeiingssterkte genoemd

Vuistregel

Er bestaat geen algemeen geldend wiskundig verband tussen de waarden voor de vermoeiingssterkte en de sterkte R_m en $R_{p0.2}$. Toch kunnen, afhankelijk van het materiaal bepaalde benaderingswaarden bepaald worden. Als vuistregel geldt bij zwelbelastingen $\sigma_t \approx 2/3 \times R_{p0.2}$. Voor zuivere wisselende belastingen geldt: $\sigma_t \approx 1/3 \times R_{p0.2}$.

Een lasverbinding heeft negatieve gevolgen voor het dynamisch gedrag van een onderdeel, doordat de vermoeiingssterkte van het gelaste materiaal beduidend lager is dan die van het basismetaal.

Gevolgen bij krachtenspel

Een ontwerper moet bij het ontwikkelen van een product of constructie rekening houden met de gevolgen die kunnen optreden als er een kracht op het product komt te staan.

Knik

Een knik is een plaatselijke scherpe verbuiging, een plastische vervorming veroorzaakt door een uitwendige kracht. Een dergelijk knik kan veroorzaakt worden door bijvoorbeeld een driepunts-buigproef. Bij een knik blijft het verband (gedeeltelijk) intact, in tegenstelling tot een breuk. Een slanke constructie die in de lengterichting op druk wordt belast, zal bij een bepaalde kracht, de *knikgrens*, bezwijken doordat meer verbuiging een groter buigend moment veroorzaakt.

Plooi

Plooien is een verschijnsel waarbij een vlak plaatselijk opbolt als gevolg van drukspanningen in het vlak.

Plooien ontstaan doordat de drukspanningen dusdanig groot zijn dat het materiaal plastisch vervormd terwijl er geen ruimte voor is. Hierdoor wijkt het materiaal zijwaarts uit en bolt dus op. Plooien is te voorkomen door het plooivlak te versterken. Door de extra verstevigingen kan de constructie grotere drukspanningen weerstaan.

Torsie

Torsiespanning, ook wel wringspanning genoemd, is een mechanische spanning die in een voorwerp wordt opgewekt doordat op dat voorwerp een wringend moment wordt uitgeoefend.

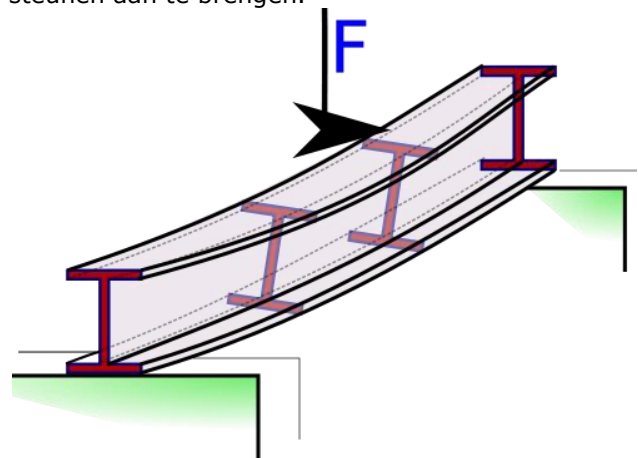
Bijvoorbeeld een aandrijf-as wordt torderend belast omdat krachten worden overgebracht van een aandrijfmotor naar de aangedreven onderdelen die weerstand bieden aan de aandrijving. Als een aandrijf-as niet goed is ontworpen, de doorsnede niet voldoende is, of het gekozen materiaal niet sterk genoeg is, dan kan de as breken.

Een eenvoudig voorbeeld, ter illustratie, is een handdoek waarbij men met elke hand de uiteinden van de handdoek beetpakt en deze in een tegenovergestelde draai beweging opwindt. Een natte handdoek wordt zo uitgewrongen. Men kan zo de kracht voelen die in de handdoek opgewekt wordt.

Kip

Het kippen (Figuur 17) van een ligger is een instabiliteitsverschijnsel. Het treedt op wanneer de ligger op buiging in het vlak van de ligger wordt belast. De gedrukte flens van het profiel gaat zijdelings uitbuigen (knikken) in combinatie met het roteren om de lengte-as van de ligger.

Kip is vooral een probleem bij liggers met een relatief grote sterkte om de sterke as, en een relatief kleine torsiestijfheid, of buigstijfheid om de zwakke as. Bijvoorbeeld bij smalle profielen. Kip kan worden voorkomen door zijdelingse steunen aan te brengen.



Figuur 17: kip bij een I-profiel

Torsieknik

Op druk en buiging belaste staven kunnen in verschillende vormen bezwijken door knikinstabiliteit. Wanneer de bezwijkvorm bestaat uit een verplaatsing in combinatie met een rotatie van de doorsnede, is de staaf gevoelig voor torsieknik. Indien de bezwijkvorm uitsluitend bestaat uit een verplaatsing zonder rotatie, is dat niet het geval. Of een staaf gevoelig is voor torsieknik moet worden aangetoond via de toetsingsregels voor kipstabiliteit. Indien onder de optredende momenten voor de staaf geldt $\omega_{kip} = 1$, is de staaf niet gevoelig voor torsieknik. Bedenk dat bij lagere waarden ($\omega_{kip} < 1$) de staaf wél gevoelig is voor torsieknik.

Verbindingsmogelijkheden van aluminium

Afhankelijk van de eisen die worden gesteld aan de verbinding is aluminium op verschillende manieren aan elkaar te verbinden. De ontwerper moet weten of het product nog demonteerbaar moet zijn, of dat het product door middel van vaste verbindingen kan worden verbonden.

Verbindingen zijn in een aantal groepen in te delen, te weten:

- Losneembare verbindingen
- Beperkt losneembare verbindingen
- Vaste verbindingen

Losneembare verbindingen

Bout en moerverbindingen worden gemonteerd in voorgeboorde gaten. Bij dunne platen is het noodzakelijk om de schroefdraad tot onder de kop te hebben, de zogenaamde tapbouten.

Bij deze verbinding hebben we een zeskante boutkop en ook zeskante moeren.

Codering: soprал P40

Deze bout wordt voor algemene toepassingen gebruikt, waar geen zeer hoge mechanische eisen aan worden gesteld, maar waar wel een hoge weerstand tegen corrosie nodig is.

Codering: soprал P60

Met zijn uitstekende mechanische eigenschappen, die overeenkomen met de staalklasse 5.8 en de roestvast- staal klasse 50, zijn deze bouten geschikt voor onder andere aluminium constructies. De weerstand tegen corrosie is van deze bouten ook erg groot.



Figuur 18: aluminium bout en moer

Schroeven zijn er in twee hoofdvormen, de zelfborende schroeven en de zelftappende schroeven.

De meeste schroeven worden gecombineerd met ringen om de draagkracht van de legering te vergroten of het waterdicht maken van de verbinding.

Ook worden er wel kunststof ringen toegepast voor een aanvullende corrosiewering.

Zelfborende schroeven boren zelf in één arbeidsgang een gat in het materiaal en vormt de schroefdraad.

Deze schroeven worden gemaakt van gehard verzinkt koolstofstaal en van RVS (Waarbij een speciale punt is aangebracht van gehard koolstofstaal).

Zelftappende schroeven worden toegepast in een voorgeboord gat waar draad is in getapt.

Draadeind is een bevestigingsmethode waarbij, als de onderplaat dik genoeg is, draad in de onderplaat wordt getapt.

Of als deze onderplaat niet dik genoeg is wordt er aan deze onderplaat een moer gemonteerd, waar het draadeind weer ingeschroefd kan worden.

Snelsluitingen

Kwartsagsluitingen en camloc sluitingen

Dit type sluitingen is ontworpen om afgesloten ruimten snel en eenvoudig toegankelijk te maken.

Door deze sluiting een kwartslag te draaien komt deze los uit zijn gesloten stand. Het sluiten van het geheel gebeurt door de sluiting weer een kwartslag te draaien.

Voor de bouten en draadeinden zijn er diverse moeren beschikbaar om de 'losneembare verbinding' vast te draaien. Hieronder staan een aantal moeren genoemd:

- Klinkmoer
- Zetmoer (zelfponsende moer)
- Kooimoer (Figuur 19)
- Plaatmoer
- Vleugelmoer
- Blindklinkmoer
- Heli-coil



Figuur 19: kooimoer

Beperkt losneembare verbindingen

In alle gevallen waar de versterking of de warmtebehandeling van te verbinden delen van aluminium niet mag verminderen wegens het verlies aan sterkte en waar een warmtebehandeling van het geheel achteraf niet mogelijk is, kunnen lassen en solderen niet worden gebruikt. Hiervoor moeten andere verbindingstechnieken worden toegepast. In de vliegtuigbouw wordt hierdoor veelal geklonken en gelijmd.

Blindklinknagel

Dit is een stift met een stuikkop waarop een holle nagelbuis is gemonteerd. Vlak onder de kop zit een inkeping in de stift. Deze inkeping dient voor het afbreken van de stift op de juiste plaats als de juiste breukspanning is bereikt.

Deze verbindingmethode is geschikt als de achterzijde van de constructie niet of moeilijk is te bereiken. Zoals bij holle profielen.

Om een optimale verbinding te bereiken moet het juiste klembereik worden aangehouden. Hierbij moet de totale te klinken materiaaldikte bij voorkeur in het onderste gedeelte van het klembereik liggen.

Deze verbinding kan zowel trekkracht als schuifkracht opnemen.

Bij vele van deze nagelsoorten kan een hoge afschuifkracht worden behaald omdat de stift over de volle lengte in de nagelbus blijft zitten.

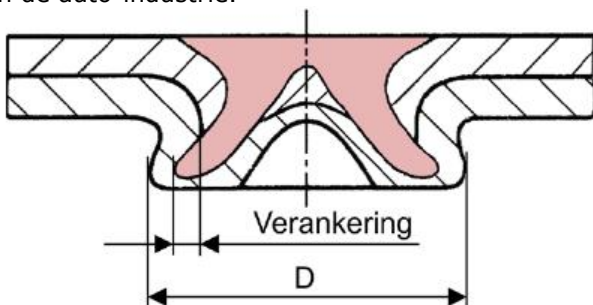
Ook zijn deze nagels trillingsvast omdat de verbinding geen draaiende delen bevat.

Er zijn verschillende modellen in de handel die niet gas- en waterdicht zijn en er zijn modellen die gas- en waterdicht zijn.

Ponsklinken (dunne plaat)

Bij deze methode worden dunne platen aan elkaar verbonden. De nagel wordt op de te verbinden plaatsen geplaatst en door de platen geperst waardoor hij zijn eigen gat ponsst.

Daarna worden de platen door de boven en onderstempel vervormd waardoor ze om de voorgevormde nagel vloeien. Deze constructie wordt toegepast bij de bouw van luchtkanalen en in de auto-industrie.



Figuur 20: ponsklinken

Klinkbout

Een klinkbout wordt vaak gebruikt in plaats van bout en moerverbindingen. Met één type bout kunnen verschillende plaatdiktes worden bevestigd. De klinkbout is trillingsbestendig en is waterdicht. Deze verbinding is los te maken door de ring door te knippen. Hiervoor is een ringenknipper in de handel zodat de plaat niet beschadigt. Deze constructie wordt gebruikt in de carrosseriebouw, containerbouw, huishoudelijke apparaten, e.d.

Blindklinkbout

De blindklinkbout combineert de eigenschappen van de blindklinknagel en de klinkbout.

Dit systeem is speciaal voor de zwaardere constructies omdat hij een enorm klembereik heeft en goed tegen trillingen bestand is. Deze bevestiging wordt toegepast in bijvoorbeeld vrachtwagens, bussen, auto's en containers.

Lijmen

Lijmen wordt veel toegepast bij auto's, vliegtuigen en boten. Lijmen geeft gedurende lange tijd een betrouwbare en krachtige verbinding. Lijmen heeft diverse andere verbindingsmethoden vervangen.

Door te lijmen nemen de massa's minder toe dan bij lassen of solderen.

Om lijm en metaal goed te laten hechten ondergaan de delen achtereenvolgens de onderstaande voorbehandelingen: ontvetten, etsen, spoelen, eventueel anodiseren voor een betere oxidelaag te verkrijgen. Door het onderdeel hierna te drogen is het gereed om te gaan lijmen.

In het algemeen is het wenselijk na de voorbehandeling en vóór het lijmen het metaaloppervlak tegen corrosie te beschermen. De te lijmen oppervlakken mogen dan ook niet meer met de blote handen worden aangeraakt. Men draagt meestal witte handschoenen en schone werpakken en werkt in een stofvrije ruimte, zowel bij het aftekenen als bij het lijmen.

Enkele redenen waarom vaak gekozen wordt voor een lijmverbinding zijn:

- Lichter construeren, integratie van delen;
- Grote vlakken aan elkaar verbinden;
- Combinatie van verbindende en afdichtende functies;
- Kortere doorlooptijd en lagere assemblagekosten;
- Ongelijksoortige materialen verbinden.

De keuze van een toe te passen lijmsoort is alleen goed te maken, wanneer de specificaties van te stellen eisen zo compleet mogelijk zijn. Deze specificaties dienen minstens te bevatten:

- Omgevingscondities waaraan de verbinding wordt blootgesteld (bedrijfstemperatuur, relatieve vochtigheid, oplosmiddelen, chemicaliën, enz.);
- Aard van de belasting (trek-, afschuif-, stoot-, kruip- of wisselbelasting);
- Afmetingen en vorm van te lijmen delen;
- Beschikbare productiefaciliteiten (pers, oven, autoclaaf, etc.).

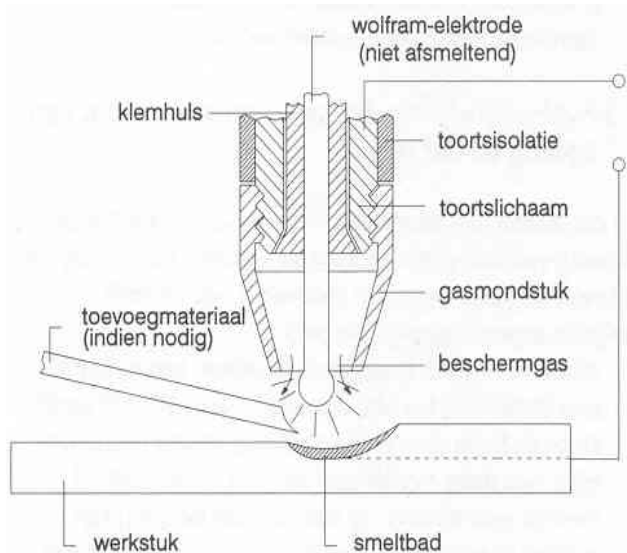
Vaste verbindingen

Lassen

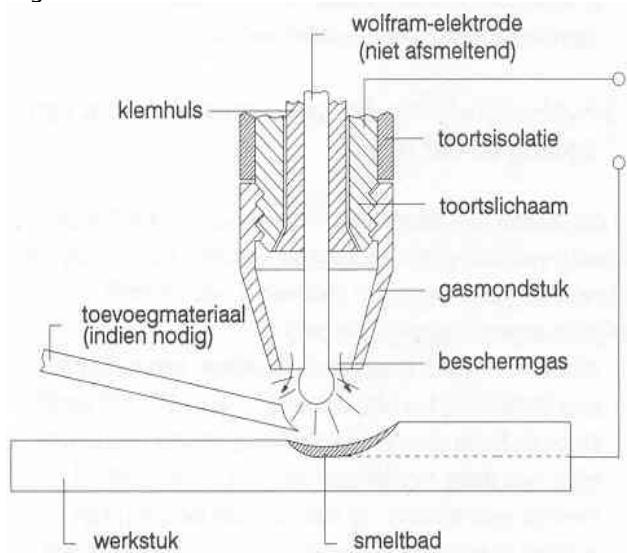
Er zijn verschillende lastechnieken die toegepast kunnen worden om aluminium aan elkaar te verbinden.

TIG-lassen

Het TIG-lassen is een lasprocédé waarbij een boog wordt getrokken tussen een niet afsmeltende elektrode en het werkstuk. Het smeltbad en de elektrode worden beschermd door een inert (neutraal) gas of gasmengsel. De naam TIG is een afkorting van het Engelse Tungsten Inert Gas (tungsten = wolfram). Als inerte gassen worden in hoofdzaak argon en in sommige gevallen helium of een mengsel van beide gassen gebruikt. Wisselstroom is tot op heden de meest toegepaste stroomsoort voor het lassen van aluminium. In



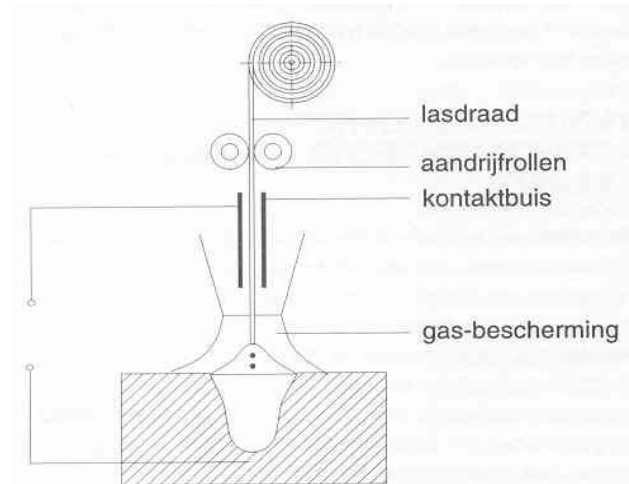
Figuur 21 is schematisch een TIG-installatie afgebeeld.



Figuur 21: schematische afbeelding TIG-lasinstallatie

MIG-lassen

Het MIG-lassen (Metal Inert Gas), is een procédé waarbij een boog wordt onderhouden tussen het werkstuk en een continu aangevoerde lasdraad, waarbij de boog is omgeven door een beschermend neutraal (inert) gas. Het lastoevoegmateriaal (de lasdraad) is op de positieve pool van de gelijkstroombron aangesloten en wordt door een draadaanvoermechanisme met een constante snelheid door de contactbuis naar het smeltbad gevoerd (Figuur 22).



Figuur 22: schematische afbeelding MIG-lasinstallatie

Weerstandslassen

Weerstandslassen is een warmdrukasmethode. De belangrijkste weerstandslasmethode is het puntlassen. Hierbij wordt de voor het lassen nodige kracht en stroom op de lasplaats geconcentreerd met behulp van twee goed geleidende stiften, elektroden genaamd, waardoor een plaatselijke hechte verbinding van de te puntlassen onderdelen wordt verkregen. Het weerstandslassen van aluminium is geschikt voor materiaaldiktes van 0,025-6 mm. De dikteverhouding tussen de te verbinden delen mag hoogstens 1: 3 zijn.

Wrijvingsroerlassen (Friction Stir Welding)

Het is gebaseerd op het in relatief koude toestand vermengen van het materiaal van de te lassen delen. Dit wordt bereikt door een roterende stift door het materiaal te laten lopen. De wrijvingswarmte is voldoende om de materialen plastisch met elkaar te laten vermengen. Het proces heeft daarom de naam: Friction Stir Welding, of 'wrijving roer lassen'.



Figuur 23: friction stir welding van 2 platen

Deze nieuwe lastechniek maakt lichtere constructies mogelijk, met de mogelijkheid tot het lassen van kleine wanddiktes, zonder verlies aan sterkte, met weinig tot geen voorbereiding voor oppervlaktebehandeling.

Friction Stir Welding is een milieuvriendelijk proces. Er wordt geen toevoegmateriaal en beschermgas gebruikt. Tijdens de werking ontstaan geen dampen of rook. Er zijn geen rondvliegende metaal spetters noch vlamboog. Het proces is daarenboven geluidsarm.

Aandachtspunten

- Door de hoge reflectiegraad van aluminium zal niet alleen de lasser, maar zullen ook omstanders zich moeten beschermen tegen de hoge de stralingsintensiteit.
- Gebruik voor het lassen van aluminium een daarvoor geschikte stroombron en beschermgas.
- Zorg voor een schone werkomgeving
- Veredelde materialen verliezen rondom de las een aanzienlijk deel van de mechanische eigenschappen, soms wel 50%.
- Lasfouten ontstaan veelal in de vorm van porositeiten. Deze zijn door eenvoudige maatregelen veelal te voorkomen.
- Sommige legeringen uit de 6xxx-groep zijn gevoelig voor warmscheuren.

Solderen

Naast lassen is er nog de mogelijkheid om aluminium te solderen. De metalen smelten in tegenstelling tot lassen niet bij het solderen. Het is nog steeds een veelgebruikte vorm van verbinden, vooral in de elektronica, fiets en auto-industrie.

Corrosietypen bij ontwerpen met aluminium

Definitie van corrosie

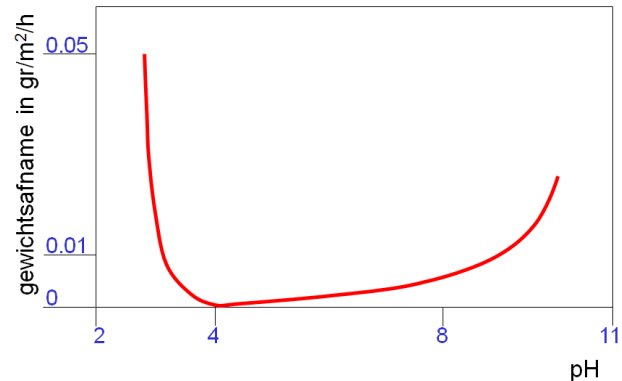
Onder corrosie wordt een van het oppervlak uitgaande ongewenste chemische of elektrochemische reactie verstaan van een metaal met (een component uit) het omringende milieu. In tegenstelling tot staal, waarbij de oxidehuid poreus is en de uitzettingscoëfficiënt niet overeenkomt met het basismetaleel, is de oxidehuid van aluminium zeer gesloten. Afhankelijk van parameters zoals milieu, toegepaste legering, optredende spanningen en dergelijke kunnen diverse vormen van corrosie het aluminiumproduct aantasten.

Er zijn verschillende soorten corrosie waar een ontwerper rekening mee moet houden. De ontwerper moet zorgen dat iedere vorm van corrosie wordt uitgesloten in het product of in een constructie. Hieronder staan de verschillende corrosiemogelijkheden:

- Putcorrosie
- Galvanische corrosie
- Spleetcorrosie
- Interkristallijne corrosie
- Spanningscorrosie

Daarnaast komen de corrosievormen filiforme corrosie en ondercorrosie voor bij aluminium dat is voorzien van deklagen.

Aluminium en aluminium legeringen hebben, dankzij de vorming van een goed hechtende en dichte aluminiumoxidelaag, een relatief goede weerstand tegen corrosie. Het gevormde aluminiumoxide lost in zowel zure (pH < 4) als basische (pH > 8) milieus op. Nadat de oxidelaag is opgelost, gaat de aantasting verder op het metaal, waardoor oppervlakken min of meer gelijkmatig worden aangetast. In Figuur 24 is de gewichtsafname afgezet tegen de pH-waarde.



Figuur 24: gewichtsafname afgezet tegen de pH-waarde

Onder 'normale' (atmosferische) omstandigheden, met een zuurgraad tussen de pH 4 en 8 is aluminium dan ook 'corrosiebestendig'. Maak aluminium ook altijd schoon met een pH-neutraal middel.

Putvormige corrosie (pitting)

Lokale aantasting is kenmerkend voor deze corrosievorm, terwijl de rest van het oppervlak onaantast blijft. Pitting ontstaat doordat de beschermende oxidelaag plaatselijk verstoord raakt, waardoor aluminium aan het corrosieve milieu wordt blootgesteld. Pitting ontstaat over het algemeen door:

- Mechanische beschadigingen aan het oppervlak;
- Aanwezigheid van chloorionen in de atmosfeer;
- Een heterogene structuur, komt vooral voor bij koperhoudende legeringen;
- Hechting van vreemde deeltjes op het oppervlak, door bijvoorbeeld slijpbewerkingen;

Oppervlaktevervuiling, waardoor een verschil in zuurstofconcentratie ontstaat.

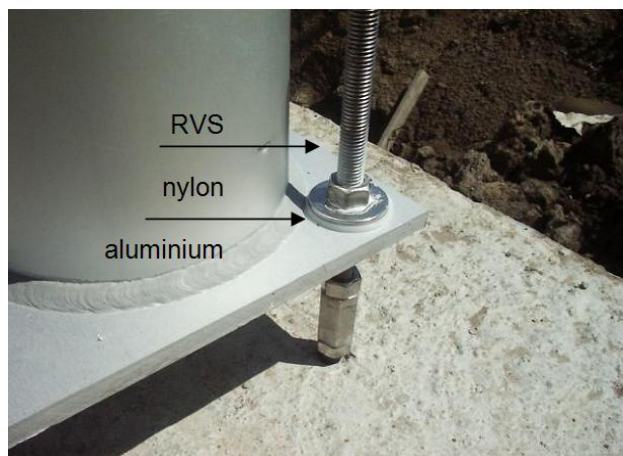
Hoewel pitting in het algemeen niet leidt tot schade aan het functioneren van het onderdeel, kan de corrosie versterkt worden doordat het milieu in de corrosieput verzuurd. Om pitting te voorkomen kan het oppervlak worden beschermd door:

- Anodiseren
- Platteren met zuiver aluminium, chromateren of fosforteren.

Vooral anodiseren wordt vaak toegepast. Belangrijk is dat de anodiseerlaag niet beschadigd raakt en regelmatig gereinigd wordt.

Galvanische corrosie of contactcorrosie

Indien twee verschillende metalen met elkaar in contact komen en zijn bedekt of ondergedompeld in een elektrisch geleidende vloeistof (een elektrolyt), dan zal als gevolg van het potentiaalverschil een elektrisch stroompje gaan lopen en het minst edele metaal in oplossing gaan (aangetast worden).



Figuur 25: voorkomen van galvanische of contactcorrosie

Gezien de lage edelheidswaarde is dit veelal aluminium. De grondpotential van aluminium is ongeveer $-0,87V$. Galvanische corrosie is uitstekend te voorkomen, door:

- De metalen elektrisch van elkaar te isoleren, door gebruik te maken van kunststof, zoals PVC of nylon;
- De metalen zo te kiezen dat het verschil in grondpotential niet groter is dan 0,2 volt. Veelal wordt om die reden gebruik gemaakt van RVS bevestigingsmaterialen, uit de austenitische RVS soorten, groep 300, zoals 304 en 316.

Spleetcorrosie

Het probleem van spleetcorrosie doet zich vooral voor bij spleten tussen de 0,2 en 0,5mm waarbij de verhouding tussen spleethoogte en diepte van maatgevend belang is op het corrosiegedrag. Water aan de buitenzijde van de spleet dringt door capillaire werking de spleet binnen. Diep in de spleet wordt zuurstof verbruikt door beginnende corrosie. Doordat de buitenzijde van de spleet wordt belucht ontstaat een elektrolytische corrosiecel. Het probleem kan bijvoorbeeld optreden bij een stapel platen, profielen, bij bout- en flensconstructies, evenals in lasnaden van gelaste constructies. Oplossing voor deze corrosievorm wordt gevonden in de detaillering

van het ontwerp door het beperken van contactvlakken en het vergroten van spleten.

Overige vormen

Naast bovengenoemde vormen komen ook onderstaande hoofdvormen van corrosie voor:

- Interkristallijne corrosie (aantasting langs de korrelgrenzen, veroorzaakt door bijvoorbeeld laswarmte).
- Spanningscorrosie (interkristallijne aantasting, veroorzaakt door lasspanningen).
- Laminaire corrosie (laagvormige interkristallijne aantasting, veroorzaakt door sterke koudevervorming en onjuiste warmtebehandelingen).

Tabel 2: corrosie van aluminium en aluminiumlegeringen ten gevolge van het contact met andere metalen

- Deze combinaties zullen niet leiden tot extra corrosie van aluminium en aluminiumlegeringen.
- Combinaties in deze categorie zullen leiden tot enige extra corrosie van aluminium en aluminiumlegeringen, vaak is dit nog toelaatbaar.
- De extra corrosie die aluminium en aluminiumlegeringen ondergaan is ernstig. Beschermende maatregelen moeten genomen worden.
- De extra corrosie is zo ernstig dat het contact tussen aluminium en aluminiumlegeringen met het betreffende metaal vermeden moet worden.

	sterk	matig	zwak
magnesium			X
mangaan			X
silicium		X	
koper	X		
zink	X		
chroom			X
titaan			X
ijzer		X	

Tabel 3: invloed legeringselementen op corrosie

De verschillende legeringselementen hebben ieder een eigen invloed op de corrosie-eigenschappen van aluminium. Zo zijn zink en koper twee elementen die het corrosiegedrag sterk negatief beïnvloeden en is magnesium als hoofdelement in een legering heel goed corrosiebestendig. Deze worden dan ook veel toegepast in zeeklimaten.

Wat kan de gebruiker doen?

Om corrosie te voorkomen kan de gebruiker van aluminium een aantal maatregelen nemen. Het toepassen van beschermende deklagen, zoals anodiseerlagen, verflagen of poedercoatings kan tot de mogelijkheden behoren. Het uitgebreide gebruik, voor toepassingen buitenshuis, vooral in de architectuur, als ook voor allerlei

binnentoeepassingen, toont aan dat hiermee goede resultaten zijn te behalen. Vuil op aluminium bevordert ook corrosie. Om de levensduur van aluminium in de praktijk te verlengen, is regelmatig reinigen noodzakelijk. Niet alleen voor blank, onbeschermd aluminium maar ook voor geanodiseerd en gecoat aluminium.

De ontwerper dient met alle corrosiemogelijkheden rekening te houden, zodat het ontworpen product een zo lang mogelijke levensduur heeft.

In onderstaande tabel staan diverse metalen met daarachter de reactie die het geeft als het in contact komt met aluminium.

Aluminium in contact met:	Milieu				
	atmosferisch			ondergedompeld	
	landelijk	industrie	zee	zoetwater	zeewater
aluminiumbrons	B	D	D	D	D
messing	B	D	D	D	D
cadmium	A	A	A	A	A
gietijzer	A	B	C	B	D
austenitisch gietijzer	B	C	D	C	D
koper	B	D	D	D	D
(fosfor) brons	B	D	D	D	D
lood	A	A	C	C	D
magnesium en legeringen	A	B	C	B	C
nikkel	B	C	D	D	D
nikkel/koper leg.	B	D	D	C	D
nikkel/chroom/ijzer leg.	B	B	D	C	D
nikkel/chroom/molydeen leg.	B	B	D	D	D
nieuwzilver	B	D	D	C	D
austenitisch roestvast staal	A	B	C	C	D
ferritisch roestvast staal	A	B	C	C	D
martensitisch roestvast staal	A	B	C	C	D
ongelegeerd staal	B	B	D	C	D
zink	A	A	A	A	A

Duurzaam ontwerpen met aluminium

Metalen hebben een enorme potentie om een bijdrage te leveren aan duurzaamheid. Dit past volledig in het maatschappelijke streven naar een meer duurzame samenleving. Dit wordt geconcretiseerd door de praktijk van de productontwikkeling met als drivers "innovatie, design en versterking van de concurrentiepositie". Deze "drivers" zijn dagelijkse kost voor de product ontwikkelaars en designers in zowel MKB bedrijven als bij grotere concerns. In deze nieuwsbrief wordt dit onderwerp van diverse kanten belicht.

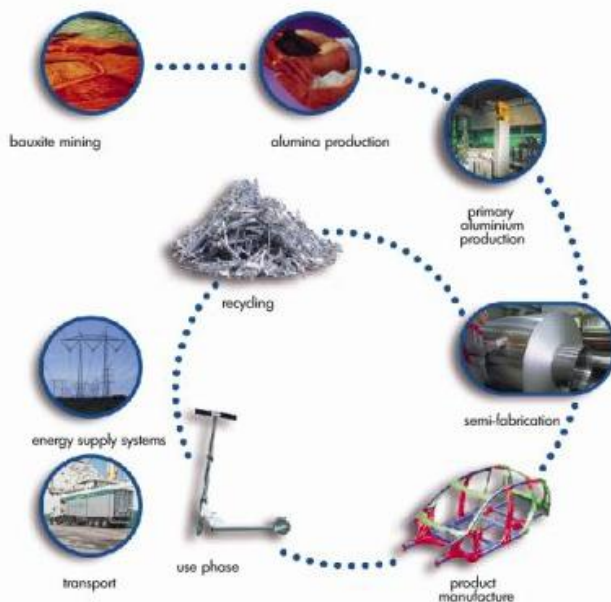
De gestage groei van het aluminiumverbruik in de afgelopen jaren zet zich onverminderd door en wordt verder aangeslingerd door het toenemende besef dat je met aluminium uitstekend kunt innoveren en invulling kan geven aan het maatschappelijke streven naar duurzaamheid. Vooral MKB bedrijven hebben behoefte aan kennis en kunde op het gebied van de aluminium-technologie om de potentie van dit materiaal optimaal te kunnen benutten.

In elk vakblad maar ook in de dagbladen wordt veelvuldig gesproken over innovatie. Het is een

containerbegrip geworden dat te pas en te onpas wordt gebruikt. Deze media aandacht heeft tot gevolg dat elk bedrijf, groot of klein, de focus richt op mogelijkheden om door innovatie de concurrentiepositie te verbeteren. Zowel strategisch op langere termijn maar bij het MKB vooral ook op korte termijn.

De aluminiumindustrie kan in deze behoefte voorzien en voor haar klanten per direct innovaties concreetiseren omdat innoveren behoort tot de houding van de bedrijfstak en de potentie van het materiaal.

Naast innovatie heeft ook duurzaamheid en duurzaam ondernemen aan relevantie gewonnen. Bedrijven zijn zich in toenemende mate bewust van hun verantwoordelijkheid om een bijdrage te leveren aan het maatschappelijke streven naar een meer duurzame samenleving. Dit begint bij duurzaam materiaal gebruik en aluminium scoort hierbij zeer goed omdat aluminium keer op keer met behoud van kwaliteit wordt gerecycled. Het begrip "duurzaamheid" heeft een brede context. Hieronder valt ook gewichtreductie en daarmee brandstofbesparing op automotive- en transporttoepassingen. In toenemende mate worden in deze sector lichtgewicht aluminiumconstructies en aluminium componenten toegepast. En duurzaamheid heeft ook te maken met lange levensduur en beperkte onderhouds-inspanningen. Deze aspecten zijn in veel marktsegmenten van belang. Meer duurzaamheid is op meer peilers gestoeld. Het design maakt een product aantrekkelijk en een mooi design en een optimale functionaliteit zijn randvoorwaarden voor een langere gebruiksduur.



Figuur 26: Life Cycle Assessment (LCA) van aluminium

Aluminium is licht in gewicht, sterk en duurzaam en in een breed scala aan halffabricaten te leveren. De plaat- en giettoepassingen zijn identiek aan wat de maakindustrie kent vanuit de staalervaring. De grote potentie zit in de toepassing van extrusie profielen die de ontwerper/constructeur een

enorme vormvrijheid biedt en de mogelijkheid tal van functies in het profiel te integreren. Deze leveringsvorm kent de staalwereld niet en is daarom voor bedrijven met een staalhistorie onbekend. Producten kunnen worden geïnnoveerd door vooral een juiste toepassing van de aluminium profiel technologie veelal in combinatie met de overige leveringsvarianten. De praktijk kent talloze aansprekende voorbeelden. Het voorbeeld van treinstellen is illustratief. De eerste generatie hoge snelheidstreinen zijn gemaakt van staal. De huidige generatie evenals het sprintertype zijn vervaardigd van aluminium.



Figuur 27: nieuwe hogesnelheidstrein de "Fyra" voor het traject tussen Amsterdam en Brussel

Het materiaal aluminium past ook in de huidige trends naar meer design en het gebruik van materialen met een maatschappelijk toegevoegde waarde. Dit is zowel van belang bij consumenten- als bij industriële producten. Voorbeelden van meer design in de consumentensfeer is de aluminium uitvoering van Senseo koffiezetapparatuur (Figuur 28). De maatschappelijke meerwaarde is ontleend aan het feit dat aluminium weinig onderhoud vergt en zonder verlies van kwaliteit keer op keer wordt gerecycled. Ook is bij alles wat beweegt zoals het vermelde voorbeeld van de hoge snelheidstrein het lage gewicht relevant omdat dit minder energie vergt of de persoonlijke mobiliteit vergroot.

De innovatiepotentie is op basis van het voorgaande te benutten en kansrijk bij innovaties van producten waarbij een of meerder van de volgende aspecten van belang zijn:

- Gewichtsreductie (o.a. licht gewicht constructies);
- Reductie van het aantal componenten en montagekosten. (intelligent ontwerpen);
- Recycling met behoud van kwaliteit (design for recycling);
- Reductie van onderhoudskosten en verlenging van levensduur;

- Design en uitstraling.



Figuur 28: aluminium Senseo koffiezetapparaat

Deze aspecten spelen een dominante rol bij de maakindustrie die zich richt op bouw, en infrastructuur, logistieke en transporttoepassingen, life science, instrumenten en medische apparatuur en in meer algemene zin bij industriële- en consumenten toepassingen met een hoge mate van functionaliteit, complexiteit, intelligentie, duurzaamheid en design.

Kampioen recyclen

Aluminium wordt zeer breed en in nagenoeg alle marktsegmenten toegepast. Het bedrijfsleven heeft aluminium leren kennen als een materiaal waarmee slimme, fraaie, innovatieve en duurzame producten kunnen worden gerealiseerd die de concurrentiepositie versterkt. De klant/consument waardeert deze producten naast de functionaliteit en het lichte gewicht ook om de vormgeving en duurzaamheid. De overheid, het bedrijfsleven en NGO's onderkennen dat aluminium uitstekend past bij het maatschappelijke streven naar een meer duurzame samenleving.

De waardering is onder andere gebaseerd op het feit dat aluminium met behoud van kwaliteit, dus zonder down-grading, keer op keer met een zeer lage milieubelasting wordt gerecycled. De recycling vergt slechts 5 procent van de energie die nodig was voor de primaire productie van aluminium. Aluminiumschroot is zeer waardevol en wordt nog afgezien van de duurzaamheids argumenten vanwege deze economische waarde marktgedreven in tal van marktsegmenten voor nagenoeg 100 % ingezameld en gerecycled. Denk hierbij aan de bouwsector, automotive- en transportindustrie en tal van industriële- en consumentenproducten.

Aandachtspunten voor aluminium in het milieu:

- Scheiding van bauxiet in aluinaarde en reststoffen (zand en metaaloxiden) vindt plaats door het oplossen van bauxiet in natronloog. Het natronloog wordt teruggewonnen, er blijven echter resten over in het residu. Na een periode van 5 à 10 jaar is het natronloog door CO₂ uit de lucht en het regenwater geneutraliseerd tot water en soda. De pH is dan weer neutraal.
- Bij het elektrolyse proces in moderne installaties worden de vrijkomende gassen voor 96 tot 99% opgevangen en weer in het proces teruggevoerd.
- Spoelwater dat gebruikt wordt in de diverse oppervlaktebehandelingen van aluminium producten wordt na zuivering hergebruikt.
- Aluminium corrodeert niet door regenwater, zodat geen emissies ontstaan naar bodem of oppervlaktewater.
- Door de corrosiebestendigheid van aluminium producten is er relatief weinig onderhoud nodig aan aluminium producten.
- Indien aluminium onderdelen worden gebruikt als bewegende delen is er winst in het energiegebruik tijdens het gebruik. Een auto met onderdelen van aluminium is bijvoorbeeld lichter dan een auto met onderdelen van conventionele materialen. Door de gewichtsbesparing is er minder brandstof nodig.

Oppervlaktebehandelingen voor aluminium in een ontwerp

Ondanks het feit dat aluminium veel onedeler is dan staal is het corrosiegedrag veel beter. Een staalplaat die men 's nachts buiten laat staan, zal door de dauw 's morgens geheel geroest zijn.

Een plaat aluminium blijft echter onveranderd en eventuele aantasting door de atmosfeer maakt zich pas na langere tijd, soms maanden of zelfs een jaar zichtbaar. Zowel blank staal als blank aluminium zullen in de atmosfeer direct beginnen te oxideren. Door zijn onedele karakter oxideert aluminium sneller dan staal. IJzeroxiden en hydroxiden vormen echter een poreuze laag, waardoorheen de zuurstof uit de lucht vrij toegang heeft tot het onderliggende staal, zodat de corrosie ongehinderd voortgang vindt. Aluminiumoxide daarentegen vormt een geheel gesloten laag, die verdere toetreding van zuurstof en andere bestanddelen uit de lucht verhindert, zodat de oxidatie stopt.

Om corrosie te voorkomen kan de gebruiker van aluminium een aantal maatregelen nemen. Het toepassen van beschermende deklagen, zoals anodiseerlagen, verflagen of poedercoatings kan tot de mogelijkheden behoren. Het uitgebreide gebruik, voor toepassingen buitenshuis, vooral in de architectuur, als ook voor allerlei binnentoepassingen, toont aan dat hiermee goede resultaten zijn te behalen.

Om de levensduur van aluminium in de praktijk te verlengen, is regelmatig reinigen noodzakelijk. Niet alleen voor blank, onbeschermd aluminium maar ook voor geanodiseerd en gecoat aluminium is een regelmatige reiniging van essentieel belang voor een goed uiterlijk en lange levensduur. Enkele belangrijke aspecten voor het bepalen van de oppervlaktebehandeling zijn:

- de omgeving waarin het product zich bevindt;
- uit welke legering het product is gemaakt;
- overige kleine hoeveelheden legerings-elementen;
- overweging uit esthetisch oogpunt (kleur & verfraaiing);
- de toepassing van het product.

Voorbehandeling

Voordat aluminium een oppervlaktebehandeling kan ondergaan moet het ontvet en gereinigd worden. Doet men dit niet, dan ontstaan er complicaties bij het aanbrengen van de oppervlaktebehandeling. Aluminium is een materiaal dat zichzelf voorziet van een beschermende oxidehuid. Die natuurlijke oxidehuid moet vooraf verwijderd worden door middel van beitsen.

Er zijn diverse oppervlaktebehandelingen voor aluminium met ieder zijn eigen toepassing en resultaat. Om tot een juiste keuze te komen is het

verstandig om van te voren goed overleg te plegen met de fabrikant van de beschermingen.

Anodiseren

Anodiseren van aluminium is een bewerking, waarbij door een elektrochemische behandeling een kunstmatige oxidelaag op het oppervlak wordt gevormd. Afhankelijk van het toepassingsgebied past men anodiseerlagen toe van 5 tot 25 micrometer dik, waarbij de dunnere laagdikten dienst doen voor toepassingen binnenshuis en de dikkere voor buiten vooral in de architectuur. Hardanodiseren geschiedt met laagdikten van 60 tot 100 micrometer, dit wordt vooral gebruikt voor technische toepassingen waar een harde en slijtvaste laag gewenst is. Een anodiseerlaag treedt voor 2/3 het aluminium in en 1/3 van de laag komt 'bovenop' het aluminium.



Figuur 29: geanodiseerd aluminium voor iPods

Voor het vervaardigen van anodiseerlagen zijn dus de volgende behandelingen nodig:

- voorbehandelen, eventueel ontvetten, matbeitsen, glansbeitsen of polijsten
- spoelen
- anodiseren
- grondig spoelen
- eventueel inkleuren
- sealen

Anodiseren kan in een blanke laag, zodat de grijze kleur van het aluminium te zien blijft, maar het kan ook in een andere gewenste kleur. Dit noemt men kleuranodiseren. Inkleuren met organische kleurstoffen voert men uit na het anodiseren en spoelen, maar vóór het sealen. Bij anodiseren blijft de huid, de structuur, van het aluminium altijd zichtbaar. Dit kan esthetisch van grote waarde zijn voor een product. Naast een gewone aluminium oppervlakte zijn er nog extra mechanische bewerkingen zoals mat beitsen, glansen, stralen of bijvoorbeeld borstelen voorbehandelingen die een oppervlakte vóór het anodiseren een extra esthetische waarde kunnen geven.

Een andere toepassing is het hardanodiseren, deze wordt vooral gebruikt in de industrie voor technische toepassingen. Hardanodiseren maakt het mogelijk harde en dikke anodiseerlagen van 60 tot 100 micrometer dikte te krijgen. Hardanodiseerlagen dienen vooral voor het aanbrengen van slijtvaste lagen op technische onderdelen, bijvoorbeeld zuigers, cilinders, tandwielen, schokdempers, tandriemschijven en scheepsbeslag. Door hardanodiseren is aluminium

meer slijtvast te maken dan gehard staal of hardchroom. Het voordeel van gewichtsbesparing van aluminium blijft bestaan.

Lassen dient te gebeuren voor het anodiseren. Het juiste toevoegmateriaal zorgt ervoor dat verkleuring na het anodiseren in de laszones vermijd wordt.

Klempunten zijn noodzakelijk om een product te kunnen anodiseren. Profielen kunnen aan de uiteinden geklemd worden. Kleine delen kunnen in eventuele aanwezige gaten opgehangen worden. Het is noodzakelijk zichtzijden aan te geven. Ook gaten of zijden welke niet voor klemmen mogen worden gebruikt. En rond een scherpe hoek af met minimaal 0,5mm voor een betere dekking.

Lakbedekkingen en poedercoatings

Lakbedekkingen en poedercoatings worden steeds vaker voor buitentoepassing in gebruik genomen. Om voor buitentoepassingen lakbedekkingen en poedercoatings van goede kwaliteit te verkrijgen is een speciale voorbehandeling nodig. Enkele voorbehandelingen zijn:

- dun anodiseren
- fosfateren
- groen chromateren
- geel chromateren
- chroomvrij voorbehandelen

Van deze soorten wordt vooral geel (zeswaardig) chromateren op grote schaal toegepast. Moderne voorbehandelingen in opkomst zijn chroomvrij en dunanodiseren met goede corrosiewerende eigenschappen.

Lakbedekkingen op aluminium

Het lakken van profielen biedt een groot aanbod van kleuren. Om een hoge kwaliteit van de gelakte oppervlakten te bereiken dienen voorbehandeling, applicatie en uitharding correct te worden uitgevoerd. De voorbehandeling is van essentiële betekenis.

Lakbedekkingen op aluminium voor buitentoepassingen worden meestal toegepast als een laksysteem in meerdere lagen. Vaak wordt als grondlaag een moffelbare epoxy lak gebruikt en als toplaag kiest men voor een acrylaat, of een polyurethaanlak. Lakbedekkingen worden meestal door spuiten aangebracht (vaak elektrostatisch spuiten) en daarna gemoffeld. Voor profielen wordt voornamelijk polyester poeder gebruikt. Voor binnentoepassingen worden ook wel alkydlakken gebruikt.

Poedercoatings

Poedercoatings worden ook aangebracht door middel van elektrostatisch spuiten. Het poeder/lucht mengsel wordt elektrostatisch opgeladen en door een geaard profiel aangetrokken zodat het poeder aan het werkstuk blijft plakken, waarna het vervolgens door een oven gaat waar het uitvloeit tot een hechte laag en

vervolgens polymeriseerd. De meest toegepaste poedercoatings op aluminium voor buiten zijn momenteel polyester/ TGIC systemen, polyurethaan en PVDF.



Figuur 30: lakstraat

De laatste tijd is steeds meer sprake van meerlagen poedercoatings, waardoor een betere randbescherming wordt verkregen en waardoor ook de corrosiewerende eigenschappen verbeteren.

Emaileren

Moderne emaillelagen op aluminium hebben een goede weerstand tegen een alkalische en zure omgeving en ze worden door weersomstandigheden nagenoeg niet veranderd. Emaillelagen op aluminium hebben een goede hechting, en kunnen in lichte mate vervormen zonder te scheuren of af te springen. De plaatsen waar eventueel beschadiging optreedt, zal geen ernstige corrosie ontstaan, omdat aluminium al een corrosievast materiaal is. Emaille op aluminium zijn bestand tegen zoet en zout water, wasmiddelen, oplosmiddelen, alkalische stoffen en corrosieve industriegassen. Daarom wordt geëmailleerde aluminium onderdelen veelal in de procesindustrie gebruikt.

Coilcoating

Als aluminium band continu wordt gecoat in speciale installaties spreekt men van coil coating. Er ontstaat dan een gelakt halffabricaat op rol, dat later door vervormen tot producten kan worden verwerkt. Coilcoat producten worden onder nauwkeurig beheerste omstandigheden vervaardigd en ze munten uit door een zeer stabiele kwaliteit.

Kwaliteitseisen

Voor de oppervlaktebehandelingen van aluminium zijn kwaliteitslabels opgesteld. Voor anodiseren is er de Qualanod (www.qualanod.net) en voor lakken Qualicoat (www.qualicoat.net).

Bewerkingsmogelijkheden van aluminium

Aluminium laat zich over het algemeen gemakkelijker verspanen dan staal, omdat het veel zachter is. Bij het verspanen van aluminium is, ten opzichte van staal met een vergelijkbare sterkte, ongeveer 2 tot 3 keer minder vermogen nodig. Gereedschappen voor het verspanen van aluminium hebben een andere geometrie dan die van staal. Het gereedschap moet scherper zijn en de spaanhoek veel groter. Wanneer er een coating wordt gebruikt, moet deze lage wrijvingseigenschappen hebben.

Aluminium kan het beste in harde of koud versterkte toestand verspaand worden, omdat dan de minste problemen ontstaan met het breken van de spanen. In onbehandelde of zachte toestand ontstaan vrijwel altijd problemen met het breken van de spanen en/of het 'klevan' op de snijkanten (opbouwsnijkant), wat een (zeer) slechte oppervlaktekwaliteit tot gevolg kan hebben. Deze problemen zijn vaak moeilijk te overwinnen of te beheersen.

Vooral AlSi-legeringen zijn bijzonder gevoelig voor vorming van een opbouwsnijkant. Vanaf 5% silicium moet al met het ontstaan van een opbouwsnijkant rekening worden gehouden. Het meest gevoelig zijn legering met 8 tot 12% silicium. Bij een groter aandeel silicium vermindert de neiging tot vorming van een opbouwsnijkant en bij circa 22% silicium is deze neiging geheel verdwenen.

De ontwerper moet dus de juiste aluminium-legering kiezen om een goed verspanbaar product te produceren.

Machines

Om problemen zoals het moeilijk breken van spanen en opbouwsnijkanten te overwinnen dienen snelheden veel hoger te liggen dan gebruikelijk bij staal. Dit vraagt een vrij groot vermogen, een hoog toerenbereik en grote voedingsnelheden van de toe te passen machine.



Figuur 31: cnc-bewerkingsmachine

Snijmaterialen

Snijmaterialen moeten hard, slijtvast en taai zijn. Voor het verspanen van aluminium worden hoofdzakelijk drie soorten snijmaterialen gebruikt:

- Snelstaal HSS
- Hardmetaal HM
- Keramische snijmaterialen

Er zijn diverse verspanende bewerkingen met aluminium mogelijk. Welke bewerking is goed voor welk eindresultaat? Hieronder staan de diverse mogelijkheden om aluminium te verspanen:

- draaien
- frezen
- boren
- slijpen
- tappen
- ruimen
- kotten

Draaien

Draaien (Figuur 32) is een van de belangrijkste bewerkingshandelingen voor het verwijderen van materiaal door een snijgereedschap. Met draaien is het mogelijk draaiende stukken te realiseren d.m.v. een snijgereedschap met één enkele snijkant.



Figuur 32: draaien van aluminium

Algemeen geldt dat aluminium alleen in geharde of koud versterkte toestand gedraaid moet worden. Veel legeringen kunnen zonder koelsmeermiddel worden gedraaid. Dit geldt niet voor legeringen met een hoog siliciumgehalte. Legeringen in een zachte toestand (code O of W) dienen verspaand te worden door een gereedschap met scherpe snijkanten. Het is verstandig te kiezen voor hardmetalen gereedschappen met een spaanhoek (γ) van 10° tot 20° .

De spaanhoek wordt bepaald door het siliciumgehalte. Om het opbouwen van een valse snijkant tegen te gaan, moet een lagere snijsnelheid dan 100m/min worden vermeden. Een goede spaanafvoer is belangrijk.

Frezen

Frezen (Figuur 33) is een van de meest gebruikte bewerkingsprocessen in de industrie. Er kunnen veel verschillende vormen worden gecreëerd omdat het snijgereedschap uit verschillende snijkanten bestaat, die aan een draaibeweging en toevoerbeweging worden onderworpen.



Figuur 33: frezen van aluminium

De spaanvorm bij het frezen is gunstig, omdat de spanen in de spaankamers van de frees sterk worden gebogen en daardoor meervoudig breken. Wel verdient het spaanlossend vermogen van de frees bijzondere aandacht.

Opbouwsnijkanten bemoeilijken het spaanlossend vermogen. In zachte en onbehandelde toestand zijn grote spaanhoeken, zeer scherpe snijkanten en soms ook smering vereist. Bij een legering met een siliciumpercentage hoger dan 10% is een emulsie noodzakelijk.

Een volle straal emulsie op het verspanend gereedschap veroorzaakt grote thermische schokken, waardoor scheurtjes kunnen ontstaan in de snijplaatjes. Dit kan de standtijd van de frees sterk bekorten. Droog verspanen of gebruik maken van een gedoseerde hoeveelheid snijolie verdient aanbeveling.

Boren

Boren is een van de belangrijkste axiale bewerkingen waarbij materiaal met snijgereedschap wordt verwijderd. Er kan een cilindrisch gat in een blok materiaal worden gemaakt met een boor, die wordt onderworpen aan een draaibeweging rond de aslijn en een toevoerbeweging langs de aslijn. Het grootste probleem is de spanen uit het snijgebied afvoeren, in dit geval uit het gat. Dit probleem is te verhelpen door smeermiddel te sprayen of door het midden van het gereedschap (onder druk) aan te brengen.

Boren is ten opzichte van draaien en frezen een ongunstig proces. Een afwijkende gatmaat en een slechte oppervlaktekwaliteit zijn veel voorkomende problemen.

De geometrie van een boor voor aluminium is wezenlijk anders dan die voor staal of kunststof.

Hoe harder het aluminium is, hoe beter de oppervlaktekwaliteit wordt. Een goed smerende en koelende emulsie of snijolie verbetert de oppervlaktekwaliteit aanzienlijk.

Een goed smerend koelsmeermiddel heeft een gunstige invloed op de wrijving en de spaanafvoer. Bij diepere gaten ($>3 \times \text{Diameter}$) is toevoer door inwendige koelkanalen, direct naar de boorpunt, noodzakelijk om een goede spaanafvoer en kwaliteit te verkrijgen. Als de kwaliteit van de gaten niet belangrijk is kan droog geboord worden, mits de spanen voldoende vaak worden gelost.

Slijpen

Slijpen is een verspaningstechniek waarbij materiaal wordt afgenomen met behulp van gereedschap dat voorzien is van zeer veel snijkanten zonder vastgelegde vorm. Er zijn allerlei methoden om te slijpen, zoals schuurbandslijpen en honen.

Tappen

Draadtappen is een bewerking die naast het boren of ruimen kan worden uitgevoerd om een schroefdraad in een gat voor montage doeleinden te creëren.

Ondanks het feit dat de vorm van voorbewerkte delen de eindvorm steeds dichter benadert (bijna eindvorm) door het smeden, gieten, etc. blijft boren, ruimen en draadtappen nog altijd nodig. Dit zijn vaak de laatste bewerkingen die worden uitgevoerd. Draadtappen is daarbij essentieel omdat het op waardevolle delen wordt uitgevoerd die tienduizenden euro's waard kunnen zijn (aan ruw materiaal én voorbewerking). Daarom is de productiviteit niet zo belangrijk als bij andere typen bewerkingen, de nadruk ligt op procesbetrouwbaarheid.

Ruimen

Ruimen is een bewerking waarbij er een gat wordt bewerkt dat al is voorgeboord. Dit is een bewerking waarvan men een bepaalde kwaliteit t.a.v. van dimensie en geometrie en een glad oppervlakte verwacht te bereiken. Dit is waarom de nadruk minder op productiviteit ligt, zoals bij andere bewerkingen, maar meer op kwaliteit, procesbetrouwbaarheid en repeteerbaarheid van resultaten.

Kotteren

Kotteren is een verspaningstechniek. Het is een vorm van draaien waarbij het product stilstaat en het gereedschap draait. Het kottergereedschap is excentrisch bevestigd op de draaiende as, waardoor het een cirkelbeweging beschrijft met de beitel naar buiten. Er zijn twee vormen van kotteren: het langskotteren, waarbij de cirkel die het gereedschap beschrijft hetzelfde blijft en het gereedschap steeds verder een bestaand gat wordt ingevoerd en het vlakkotteren, waarbij het gereedschap steeds verder naar buiten gedrukt wordt en niet richting het werkstuk, waardoor een steeds groter rond vlak wordt gemaakt.

Vervormen van aluminium

Vervormen is de vorm van het uitgangsmateriaal aanpassen aan het doel, door middel van niet verspanende bewerkingen.

Deze technieken kunnen zowel warm als koud worden uitgevoerd. Bij het omvormen van aluminium of aluminiumlegeringen moet met een aantal verschijnselen rekening worden gehouden. Wordt een basismateriaal koud vervormd, dan zal als gevolg hiervan een koude deformatie en dus een versteviging optreden.

Vervormbaarheid is één van de belangrijkste eigenschappen van aluminium en zijn (kneed)legeringen waarvoor de plastische vervorming de belangrijkste stap is in de halffabricaat productie, verdere verwerking en toepassing en het gedrag van onderdelen in gebruik zijn van belang.

Aluminium kan warm en koud worden vervormd. De meeste buigprocessen worden bij kamertemperatuur uitgevoerd. Door koudvervormen ontstaat er in het aluminium een toename van de sterkte, ook wel koudversterken genoemd. Hierdoor treedt plaatselijk een afname op van de koudvervormbaarheid. Door zachtgloeien van sommige legeringen bij 300 tot 450 °C kan koudversterken weer teniet worden gedaan. Ook materiaal wat door middel van een warmtebehandeling harder is gemaakt, kan op deze manier weer in een zachte toestand worden gebracht. In zachte toestand heeft het aluminium de laagste sterkte en is dan het beste koud te vervormen.

Zware omvormwerkzaamheden worden warm uitgevoerd vanaf 300 - 450°C. voorzichtigheid is wel geboden omdat aan het aluminium niet te zien is of het warm of koud is.

De toelaatbare kleinste buigradius is afhankelijk van:

- de legering;
- materiaaltoestand (zacht, hard of uitgehard);
- plaatdikte/profiel dikte;
- buigrichting, in samenhang met de materiaaltextuur van de walsrichting.

Bij warmvormen zijn kleinere buigradii mogelijk dan bij het buigen in koude toestand. Tevens geldt dat hoe hoger het aluminium gelegeerd is, des te groter de minimum buigradius is.

Er zijn verschillende mogelijkheden om aluminium te vervormen. De volgende vervormingen worden kort toegelicht:

- Walsen;
- Extruderen;
- Forceren;
- Buigen;
- Zetten/Kanten;
- Dieptrekken;

- Rubberpersen;
- Rolvormen;
- Slagextrusie;
- Smeden;
- Superplastisch omvormen;
- Hydroforming.

Walsen

Walsen is een belangrijke techniek als het gaat om het geschikt maken van aluminium voor derden. Halffabricaten vinden hun toepassing binnen de verpakking- of plaatverwerkende industrie.

Bijkomend voordeel is dat bij walsen de eigenschappen en structuur van het aluminium sterk verbeteren.

Walsen kan als techniek worden opgesplitst in:

- warm walsen;
- koud walsen.

Walsproducten zijn halffabricaten en komen in alle sectoren terug, zoals de transportsector, denk aan lucht en ruimtevaartindustrie, automotive, scheepvaart. Ook in de verpakkingindustrie en in de bouw vindt het een toepassingsgebied. Denk bij bouw toepassingen aan gevelbeplating, daken of warmtewisselaars.

Walsproducten vormen het uitgangsmateriaal voor bedrijven die gespecialiseerd zijn in dieptrekken, forceren, hydroforming, rubberpersen en rolvormen, buigen en dergelijke omvorm-technieken.

Extruderen (zie ook extrusie-fiche)

De term extrusie wordt gebruikt voor zowel het proces als het product. Extruderen is het persen van een voorverwarmde ronde extrusiepaal (billet), door een matrijs, direct extruderen genoemd en resulteert in een lange lengte die op elke willekeurige lengte kan worden afgekort.

Profielen worden gebruikt in lange lengtes of korte stukken in: bouwproducten, constructies, auto's of componenten. Extrusies kunnen eveneens gebruikt worden als uitgangsmateriaal voor smeedstukken.

In de extrusie worden maar weinig producten van ongelegeerd aluminium gemaakt. Bij extrusie wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van aluminium uit de hoofdgroep EN AW-6xxx. Technisch zuivere aluminiumlegeringen hebben een te geringe eindsterkte.

Extrusie geeft een enorme vrijheid in de vormgeving. Door mini-extrusie met enkele tonnen perskracht zijn profielen te extruderen die slechts enkele mm² doorsnede bedragen. Met de grootste persen van zo'n 10.000 ton zijn profielen tot zo'n 800 mm breed te realiseren. Door slimme klik- en lasverbindingen zijn profielen uiterst economisch samen te bouwen tot zeer sterke, maar vooral lichte constructies.

Voordelen van extrusie:

- Grote vormvrijheid;
- Lage matrijskosten;
- Lange lengtes.

Forceren

Forceren is een spaanloze machinale bewerking, waarmee een grote verscheidenheid aan cilindervormige producten kan worden vervaardigd. Veel producten die te groot of te diep zijn om met behulp van dieptrekken te vervaardigen kunnen, wanneer ze cilindervormig zijn, met behulp van forceertechnieken worden gefabriceerd. Forceren wordt meestal toegepast bij relatief kleine series. Een serie van 5000 stuks vormt doorgaans het grensgebied tussen forceren en dieptrekken. Forceren kan handmatig en semiautomatisch worden uitgevoerd.

Voor het forceren van aluminium soorten met een hoge treksterkte zijn speciale forceertechnieken nodig. Wanneer een product gebonden is aan nauwe toleranties, is een forceertechniek meestal uitgesloten. Forceren wordt als productietechniek vaak toegepast als een snelle levering noodzakelijk is daar het gereedschap voor het forceren relatief eenvoudig te maken is.

Forceren (Figuur 34) wordt als productietechniek vaak toegepast als een snelle levering noodzakelijk is. Forceergereedschap is goedkoop en relatief simpel te maken. Dit is bijvoorbeeld van belang voor het maken van prototypes. Het moet dan uiteraard wel gaan om cilindrische producten. Er worden op deze wijze lampenkappen vervaardigd. In de bouw vindt het een toepassing, bijvoorbeeld als rookgasafvoeren.



Figuur 34: geforceerde producten van aluminium

Buigen

Buigen is een techniek, waarbij het materiaal met behulp van diverse soorten gereedschap gedwongen wordt een bepaalde radius aan te nemen. Onder invloed van een buigmoment zal het materiaal aan de ene zijde plaatselijk rekken en aan de andere zijde stuiken. Er zijn vele manieren ontwikkeld die elk geschikt zijn voor hun specifieke toepassing zoals rolbuigen, persbuigen, zwenkbuigen, trekbuigen, strekbuigen, glijsteen buigmethode en strijkbuigen.

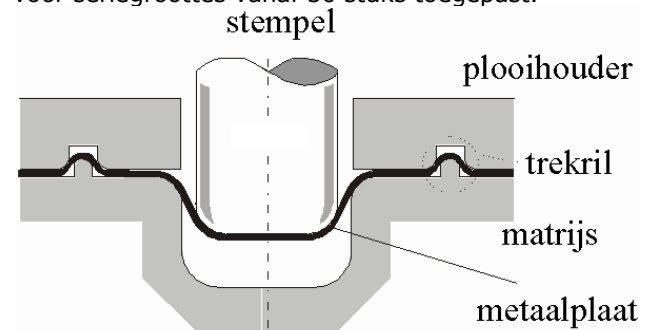
Zetten/kanten

Zetten en kanten, zijn technieken die worden toegepast voor het vervormen van aluminium plaatmateriaal en zijn buigtechnieken. Een aluminium plaat kan gebogen worden met behulp van een zetmachine of een kantomachine. Bij de zetmachine wordt het materiaal geklemd onder een bovenbalk. Met behulp van de zetbalk wordt het materiaal vervolgens onder de juiste hoek gebogen.

Bij het kanten wordt het materiaal omgezet door middel van een persbewerking. Hierbij wordt een aluminium plaat op een onderbalk gelegd waarin een sleuf met een bepaalde vorm, diepte en hoek is aangebracht. Vervolgens wordt met behulp van hydraulische cilinders een drukk balk naar beneden bewogen die het materiaal in de gewenste hoek doorzet.

Dieptrekken

Dieptrekken is een techniek die vrij veel wordt toegepast voor vervormen van een vlakke plaat tot een hol lichaam. Deze techniek wordt toegepast bij vervaardiging van bijvoorbeeld verpakkingen, spuitbussen, flessensluitingen, biervaten, pannen of in de vorm van halffabricaten. Dieptrekken wordt voor seriegroottes vanaf 50 stuks toegepast.



Figuur 35: schematische afbeelding van dieptrekproces

Rubberpersen

Rubberpersen is een relatief onbekende techniek en wordt binnen de plaatverwerkende industrie slechts op zeer kleine schaal toegepast. Met een betrekkelijk goedkoop gereedschap en een korte levertijd is het mogelijk complexe plaatdelen te vormen. Bij kleine seriefabricage en prototypebouw van dunne plaatwerkproducten biedt het gebruik van rubber vele mogelijkheden als omvormgereedschap. Door het flexibele karakter van rubber kan het vorm gebonden gereedschap vaak eenvoudig worden uitgevoerd. Combinatie van meerdere omvormbewerkingen in één persgang is in veel gevallen mogelijk.

Afhankelijk van samenstelling en toestand is rubberpersen een techniek die geschikt is voor het persen van aluminiumplaat tot 3 mm dik. De vloeigrens van het materiaal is hierbij de doorslaggevende factor. Deze is voor aluminium te verlagen door een warmtebehandeling.

Rubberpersen is rendabeler dan dieptrekken bij kleinere productaantallen.

Rolvormen

Rolvormen is een interessante en productieve techniek voor het maken van langgerekte onderdelen uit plaatmateriaal en wordt hoofdzakelijk toegepast in de bouw voor dakbedekking, hemelwaterafvoer en wandbeplating.

Rolvormen is een techniek die vergelijkbaar is met walsen. Als uitgangsmateriaal wordt een coil (rol) aluminium gebruikt. De profilering wordt aangebracht door het materiaal door een rij walsen te leiden, de profileerstraat. Deze walsen dwingen het materiaal in een aantal stappen de gewenste vorm aan te nemen.



Figuur 36: rolvormen van aluminium

Slagextrusie

Slagextrusie is een koudvormtechniek, waarbij een platine, een massief stuk uitgangsmateriaal, omgevormd wordt tot een hol, busvormig lichaam. Deze techniek genereert een minimum aan afval, omdat het benodigde materiaalvolume relatief nauwkeurig te berekenen is. Er is meestal geen verspanende nabewerking nodig, aangezien de maatnauwkeurigheid groot is. Denk aan maatafwijkingen tot ca. 0.2 mm afhankelijk van de geometrie van het product.

Het uitgangsmateriaal (de platine) wordt in de matrijs gelegd. Door de slag van de pers wordt het materiaal in de plastische fase gebracht. Omdat dit proces vaak bij zeer hoge snelheden plaatsvindt, spreekt men van slagextrusie.

Smeden

Smeden in aluminium maakt het mogelijk, zeer lichte en mechanisch hoogwaardige producten te maken.

Bij koudsmeden of koudpersen, wordt een aluminiumstaaf bij kamertemperatuur tot de gewenste vorm gesmeed/geperst. Om de definitieve vorm te bereiken kunnen meerdere

stappen en tussengloeien/ zachtgloeien stappen nodig zijn.

De koud gesmede producten zijn gewoonlijk niet zo complex als degene die door warmsmeedwerk gerealiseerd kunnen worden. In de meeste gevallen ontstaat geen smeedbraam, maar het vervormde materiaal heeft enige ruimte om naar buiten de matrijsholte te vloeien.

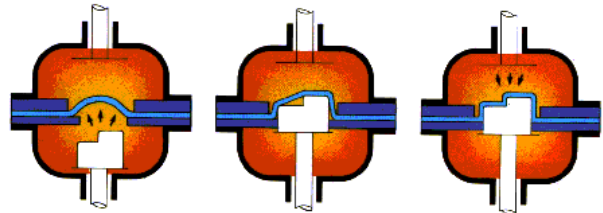
Het is over het algemeen waar dat bijna alle processen van massief omvormen theoretisch bij verschillende temperaturen kunnen worden gedaan.

Als de staaf of het werkstuk niet voorafgaand aan het persen wordt verwarmd, wordt de gebruikte methode **koud omvormen (persstuk)** genoemd.

Opnieuw afhankelijk van het materiaal dat wordt gebruikt is de smeedbaarheid bij halfwarm- en warmsmeden twee tot zes keer hoger dan bij koudpersen/smeden.

Superplastisch vervormen

Superplastisch vervormen is een warmstrekproces waarbij de blenk om of in een enkel matrijsdeel wordt gedrapeerd. De kracht die hiervoor nodig is wordt geleverd door lucht onder een hoge druk. Het uitgangsmateriaal wordt opgerekt en daarmee wordt de dikte van het uitgangsmateriaal gereduceerd. Het omliggende aluminium neemt de vervorming over, waardoor het materiaal niet insnoert. Deze techniek wordt veel toegepast in de lucht- en ruimtevaart, de bouw, de automotive, de medische wereld en in de elektrotechniek.



Figuur 37: superplastisch vervormen

Hydroforming

Hydroforming is een techniek vergelijkbaar met dieptrekken en rubberpersen. Aluminium plaatmateriaal wordt volgens deze techniek omgevormd met behulp van een enkel matrijsdeel, waarin alle geometrische informatie is vastgelegd. Holle profielen met behulp van een boven- en een ondermatrijs. Deze techniek met behulp van vloeistofdruk maakt het mogelijk zeer complexe geometrie te realiseren.

Buisprofielen kunnen met behulp van deze techniek op een eenvoudige manier omgevormd worden tot de meest ingewikkelde contouren. Hiertoe wordt een matrijs gebruikt die om de buis past, en waarin de geometrische informatie ligt opgeslagen. Door het profiel af te sluiten ter hoogte van de matrijs en de buis te vullen met vloeistof is het mogelijk de buis plaatselijk op te blazen. Een toepassingsgebied voor hydroforming is de automotive en de fietsindustrie.

Deze uitgave is een onderdeel van het project Metallicity en is gesubsidieerd door het Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie (IWT). Het project is een samenwerkingsverband van de drie kennisinstellingen Clusta, Aluminium Center Belgium en Aluminium Centrum en heeft als doel de ontwerpmogelijkheden met metalen te stimuleren.

Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie

Het agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie zag het licht in 1991. Het overheidsagentschap ondersteunt innovatie in Vlaanderen op verschillende manieren. Het IWT verdeelt elk jaar een groot bedrag aan subsidies. In 2008 was dat 297 miljoen euro. De subsidies gaan hoofdzakelijk naar projecten die worden ingediend door kleine en grote bedrijven, universiteiten, hogescholen en andere Vlaamse innovatieve spelers; hetzij individueel, hetzij gezamenlijk.

Een deel van het budget wijst het IWT zelf toe, via eigen steunprogramma's. Voor het resterende deel treden we op als tussenpersoon: we nemen de voorbereiding, de opvolging en het financieel beheer ervan voor onze rekening in naam van de Vlaamse Regering.

Koning Albert II-laan 35, bus 16
1030 Brussel
tel.: + 32 (0)2 432 42 00
fax: + 32 (0)2 432 43 99
email: info@iwt.be
<http://www.iwt.be>



Koepelorganisatie van de verwerkende nijverheid van aluminium.

Het Aluminium Center is een organisatie voor de aluminiumproducerende, verwerkende en toepassende industrie. Ze heeft tot doel het bevorderen van het verwerken en toepassen van aluminium. Haar middelen zijn innovatie en overdracht van kennis en informatie. Hiermede streeft het centrum niet alleen naar meer verbruik van een eeuwig recycleerbaar materiaal, maar tevens naar een betere milieuomgeving.

De toepassingen van aluminium zijn veelzijdig en quasi onbeperkt. Vandaag vindt het zijn toepassing in diverse sectoren: van producenten van halfproducten, de bouw, het transport, de verwerkende industrie, de oppervlaktebehandelaars, de productontwikkelaars, de recyclage, enz.. Door de nauwe contacten dat het centrum onderhoudt met de industrie, zorgen we voor uitwisseling van kennis en toepassingsgebieden.

Z1 Research Park 310
B - 1731 Zellik
Tel. +32 (0)2 481 00 26
Fax. +32 (0)2 481 00 29
Email. info@aluminiumcenter.be
www.aluminiumcenter.be



Clusta slaat bruggen tussen de verschillende spelers in de staalplaatverwerkende industrie.

U hebt een vraag of een probleem? Dan brengen wij een netwerk van kennis, ervaring en contacten in beweging. Op voorwaarde natuurlijk dat staalplaat er een rol in speelt. Zo verlenen wij objectief en onbevooroordeeld advies over de meest uiteenlopende technische vraagstukken zoals corrosie, oppervlaktebehandeling, verbindingstechnieken, materiaalkeuze, breukproblemen, ontwerp.

Clusta vzw.
Technisch contactcentrum
Technologiepark 903
9052 Zwijnaarde
Tel.: +32(0)9 264.58.05
Fax: 09/264.58.44
E-mail nadia.werkers@clusta.be
<http://www.clusta.be>



CLUSTA

Uw kennispartner op het gebied van aluminium

Het Aluminium Centrum is een koepelorganisatie voor de aluminium producerende, verwerkende en toepassende industrie in Nederland en fungeert als kennis- en informatiecentrum. De organisatie heeft tot doel het bevorderen van de toepassing van aluminium in Nederland. Door middel van kennisoverdracht, promotie en onderzoek streeft het Aluminium Centrum naar een toename van het aluminiumgebruik en een versterking van de positie van aluminium in de sectoren bouw, transport, verpakkingen en overige industriële en consumententoepassingen.

Aluminium Centrum
Voorveste 2
NL- 3992 DC Houten
Tel. +32(0)30 638 55 66
E-mail. info@aluminiumcentrum.nl
<http://www.aluminiumcentrum.nl>



Ontwerpwijzer 2010