

Lassen van aluminium en aluminiumlegeringen

vm 83

VWM

Lassen van aluminium en aluminiumlegeringen

vm 83



Vereniging FME-CWM
vereniging van ondernemers in de
technologisch-industriële sector

Boerhaavelaan 40

Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
Telefoon: (079) 353 11 00
Telefax: (079) 353 13 65
E-mail: info@fme.nl
Internet: <http://www.fme.nl>

© Vereniging FME-CWM/januari 2010 (3^e herziene druk)

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke ander wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel grote zorg is besteed aan de waarborging van een correcte en, waar nodig, volledige uiteenzetting van relevante informatie, wijzen de bij de totstandkoming van de onderhavige publicatie betrokkenen alle aansprakelijkheid voor schade als gevolg van onjuistheden en/of onvolkomenheden in deze publicatie van de hand.

Vereniging FME-CWM
afdeling Techniek en Innovatie
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
telefoon: 079 - 353 11 00
telefax: 079 - 353 13 65
e-mail: info@fme.nl
internet: <http://www.fme.nl>

Lassen van aluminium en aluminiumlegeringen

toelichting:

Deze voorlichtingspublicatie is een herziening van de in 1991 verschenen publicatie VM 83 en is tot stand gekomen door samenwerking van de Vereniging FME-CWM, M2i (Materials Innovation Institute v/h het Netherlands Institute for Metals Research (NIMR)), het Nederlands Instituut voor Lastechniek en het Aluminium Centrum.

De publicatie volgt in hoofdlijnen de vroegere indeling, maar is wat de inhoud betreft aangepast aan de meest recente ontwikkelingen op het gebied van aluminium en lasprocessen. Bij de hoofdstukindeling is rekening gehouden met het gebruik ervan op verschillende plaatsen binnen het bedrijf.

De eerste vijf hoofdstukken zijn speciaal bedoeld om te gebruiken in de tekenkamer en bij de werkvoorbewerking, terwijl de hoofdstukken zes tot en met elf meer zijn bedoeld voor de uitvoering en niet alleen voor diegenen die verantwoordelijk zijn voor de uitvoering van laswerk, maar ook voor de lassers zelf. Er is daarom meer informatie over de lasprocessen zelf gegeven en er is getracht in deze publicatie zoveel informatie hierover te geven, dat het raadplegen van andere bronnen beperkt kan blijven. Dat betekent niet dat alle benodigde kennis over dit onderwerp in deze publicatie is opgenomen.

Deze publicatie is tevens bedoeld om in het onderwijs te worden gebruikt, aangezien vergelijkbare leerstof voor het reguliere onderwijs in Nederland niet voorhanden is.

samengesteld door:

Ben Stoop en Ton Gales (TNO).

Begeleid door: Rein van de Velde (Aluminium Centrum), Jeroen Olde Benneker (M2i) en Frans Soetens (TNO).

Eindredactie: Peter Boers (Vereniging FME-CWM).

technische informatie:

Nederlandse Instituut voor Lastechniek (NIL)

- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| - bezoekadres | Boerhaavelaan 40, Zoetermeer |
| - correspondentie-adres | Postbus 190, 2700 AD ZOETERMEER |
| - telefoon | 088 - 400 85 60 |
| - telefax | 079 - 353 11 78 |
| - e-mail | info@nil.nl |
| - website | www.nil.nl |

Aluminium Centrum (AC)

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| - bezoekadres | Voorveste 2, 3992 DC Houten |
| - correspondentie-adres | Postbus 107, 3990 DC HOUTEN |
| - telefoon | 030 - 638 55 66 |
| - telefax | 030 - 638 55 67 |
| - e-mail | info@aluminiumcentrum.nl |
| - website | www.aluminiumcentrum.nl |

informatie over en bestelling van VM-publicaties, TI-bladen en praktijkaanbevelingen:

Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| - bezoekadres | Boerhaavelaan 40, Zoetermeer |
| - correspondentie-adres | Postbus 190, 2700 AD ZOETERMEER |
| - telefoon | 079 - 353 11 00 |
| - telefax | 079 - 353 13 65 |
| - e-mail | info@fme.nl |
| - website | www.fme.nl |

Inhoud

	blz.		blz.
1 Inleiding	6	6 Oppervlaktebehandelingen voor en na het lassen	31
1.1 Eigenschappen van aluminium	6	6.1 Algemeen	31
1.2 Aluminium voor gelaste constructies	6	6.2 Ontvetten	31
1.3 De indeling van lasbaar aluminium	6	6.3 Het verwijderen van de oxidehuid	31
1.4 Toestandsaanduiding van aluminium	8	6.4 Nabehandeling van het oppervlak	31
1.5 Materiaalkeuze in verband met de toepassing	12		
2 Eigenschappen in verband met het lassen	13	7 Lasprocessen voor het lassen van aluminium	33
2.1 Fysische eigenschappen werkstukmateriaal	13	7.1 Keuze van het lasproces	33
2.2 Mechanische eigenschappen werkstukmateriaal	13	7.2 Het TIG-lasproces	34
2.3 Mechanische eigenschappen van de verbinding	13	7.2.1 TIG-lassen algemeen	34
2.3.1 Warmtebehandelingen	15	7.2.2 TIG-wisselstroomlassen	35
2.3.2 Aluminium bij lage en hoge temperaturen	15	7.2.3 TIG-gelijkstroomlassen	35
2.4 Corrosiebestendigheid	16	7.2.4 TIG-lasapparatuur	36
2.4.1 Algemeen	16	7.2.5 Beschermgassen	36
2.4.2 Corrosieverschijnselen	16	7.2.6 Elektroden	37
2.4.3 Corrosievormen	16	7.2.7 Lastoevoegmateriaal	37
2.4.4 Maatregelen om corrosie te voorkomen	17	7.2.8 Lasnaadvormen	37
		7.2.9 Ontsteken van de boog	40
3 Aluminium kneedlegeringen	18	7.2.10 Lasuitvoering	40
3.1 Algemeen	18	7.2.11 Lasfouten	40
3.2 Groep 1xxx	18	7.3 Het MIG-lassen	41
3.3 Groep 2xxx	18	7.3.1 Algemeen	41
3.4 Groep 3xxx	18	7.3.2 Materiaaltransport in de boog	41
3.5 Groep 5xxx	18	7.3.3 MIG-lasapparatuur	42
3.6 Groep 6xxx	19	7.3.4 Lasuitvoering	44
3.7 Groep 7xxx	19	7.3.5 Storingen bij het MIG-lassen	44
3.8 Groep 8xxx lithiumhoudende legeringen	19	7.4 Algemene aanwijzingen voor het TIG- en MIG-lassen (voor en na het lassen)	44
4 Aluminiumgietlegeringen	20	7.4.1 Controle van de lasinstallatie	44
4.1 Inleiding	20	7.4.2 De lasnaadvoorbewerking	45
4.2 Soorten gietlegeringen geschikt voor lassen	20	7.4.3 Reinigen voor het lassen	45
4.3 Warmtebehandelingen	20	7.4.4 Opspannen, stellen en hechten	45
4.4 Reparatielassen	21	7.4.5 Voorwarmen	45
4.5 Herkenning van het materiaal in de praktijk	22	7.5 Nabehandeling	45
4.6 Toevoegmateriaal	22	7.6 Lasfouten, oorzaken en remedies	46
4.7 Maatregelen voor het lassen	22	7.6.1 Porositeit	46
4.8 Eigenschappen van de verbinding	22	7.6.2 Insluitsels	47
4.9 Corrosiebestendigheid	22	7.6.3 Scheuren	47
4.10 Lassen van giet- aan kneedmateriaal	23	7.6.4 Overige lasfouten	48
5 Constructieve uitvoering	24	7.7 Weerstandlassen	49
5.1 Algemeen	24	7.7.1 Algemeen	49
5.2 Toepassingsgebieden	24	7.7.2 Lasbaarheid	49
5.3 Lasverbindingen	24	7.7.3 Apparatuur	49
5.3.1 Keuze van de verbinding en de daarvoor gebruikte aanduidingen	24	7.7.4 Elektroden	49
5.4 Typen lasverbindingen	24	7.7.5 Lasuitvoering	50
5.4.1 Ongelijke materiaaldikte	24	7.8 Bijzondere lasprocessen	50
5.4.2 Ongelijke breedte	25	7.8.1 Wrijvingsroerlassen (Friction Stir Welding)	50
5.4.3 Hoekverbindingen	25	7.8.2 Stiftlassen	51
5.4.4 T- en kruisverbindingen	26	7.8.3 Plasmalassen	51
5.4.5 Plaatveldverstijvingen	26	7.8.4 Elektronenbundel- en laserlassen	52
5.4.6 Hoekverstijvingen	26	7.8.5 Ultrasoonlassen	54
5.4.7 Ingelaste nokken, flenzen en stompen	27	7.8.6 Wrijvingslassen	54
5.4.8 Pijp-en flensverbindingen	28	7.8.7 Kouddruklassen	54
5.4.9 Romp/bodem en romp/plaatverbindingen	28	7.8.8 Explosielassen	54
5.4.10 Pijp-plaatverbindingen	28		
5.5 Samenvatting	29		

	blz.
8 Lasnaadvoorbewerking	56
8.1 Verspanende bewerkingen	56
8.1.1 Inleiding	56
8.1.2 Verspanen van aluminium	56
8.1.3 Richtlijnen voor het aanbrengen van lasnaadkanten door middel van verspanende bewerkingen	57
8.2 Snijden	57
8.2.1 Inleiding	57
8.2.2 Plasmasnijden	57
8.2.3 Uitvoering van het plasmasnijden	59
8.2.4 Plasmagutsen	59
8.2.5 Effect van het snijden en gutsen op de materiaaleigenschappen	59
8.3 Bijzondere snijprocédés	59
8.3.1 Lasersnijden	59
8.3.2 Waterstraalsnijden	59
8.3.3 Vonkeroderen	60
9 Kwaliteitsbeheersing bij het lassen (lasvoorschriften en keuringen)	61
9.1 Inleiding	61
9.2 Materialen	61
9.3 Lasmethodebeschrijving	62
9.4 Lasmethodekwalificatie	62
9.5 Lasserskwalificaties	62
9.6 Controle en keuringen productielaswerk	62
9.6.1 Visueel onderzoek	63
9.6.2 Penetrant onderzoek	63
9.6.3 Radiografisch onderzoek (Röntgen- en gamma-onderzoek)	64
9.6.4 Ultrasoon onderzoek	64
9.6.5 Onderzoek op gasdichtheid	64
9.6.6 Destructief onderzoek	64
9.6.7 Metallografisch onderzoek	65
9.6.8 Chemisch onderzoek	65
9.6.9 Corrosieproeven	65
9.7 Reparaties	65
10 Economie van het lassen	66
10.1 Kostenindeling	66
10.2 Voorbewerking	66
10.3 Personeel	66
10.4 Materiaal	66
10.5 Machine en gereedschap	66
10.6 Inschakelduur	66
10.7 Neersmeltsnelheid	66
10.8 Nabewerking	66
10.9 Controle en reparatie	66
10.10 Berekening van de laskosten	67
10.11 Concluderende opmerkingen ten aanzien van een economische keuze	67
11 Gezondheid en veiligheid	68
11.1 Inleiding	68
11.2 Beperking van de emissie	69
11.3 Industriële ventilatie	69
11.4 Afscherming van de mens	69
11.4.1 Persoonlijke bescherming	69
11.4.2 Straling	69
11.4.3 Heet metaal	69
11.4.4 Brandgevaar	70
11.4.5 Lasdampen	70
11.4.6 Dampen van reinigingsmiddelen	70
11.4.7 Geluid	70
11.5 Aanbevelingen	70
Bijlage 1 - "Lasmethodebeschrijving"	71
Bijlage 2 - "Lasmethodekwalificatie-certificaat" (Welding Procedure Qualification Record)	72
Trefwoorden	75
Literatuur	76
Bronverwijzing figuren	76

Hoofdstuk 1

Inleiding

1.1 Eigenschappen van aluminium

Aluminium is naast staal het meest toegepaste metaal. De wereldproductie van aluminium bedraagt op dit moment ca. 35,2¹⁾ miljoen ton per jaar (met een verwachte groei voor 2006-2007 van 7,8%). Bovendien wordt gemiddeld 12 miljoen ton per jaar door terugwinning hergebruikt (voor Nederland bedraagt het terugwinpercentage zelfs 75% van het verbruik).

Ongelegeerd aluminium bezit slechts een geringe mechanische sterkte en is daarom minder geschikt als constructiemateriaal. Aluminium kan echter met bepaalde elementen zodanig worden gelegeerd, dat typen kunnen worden gerealiseerd die, met behoud van de lage dichtheid, constructief belangrijke eigenschappen bezitten. De gunstige eigenschappen kunnen als volgt worden samengevat:

- ▶ De geringe dichtheid (2700 kg/m³) kan in relatie tot de mechanische eigenschappen ten opzichte van ongelegeerd staal een gunstige sterkte/gewicht verhouding betekenen. Daardoor kunnen ten opzicht van staal belangrijke gewichtsbesparingen worden verkregen. Dit komt vooral tot uiting in de toepassingen in de lucht- en ruimtevaart, het weg- en railtransport, de scheepsbouw en in brugconstructies.
- ▶ De oxidehuid geeft een goede bescherming tegen weersinvloeden en verschillende vormen van corrosie. Hierdoor kunnen de onderhoudskosten relatief laag zijn.
- ▶ Geen achteruitgang van de taaiheid bij lage temperaturen, zodat het materiaal goed geschikt is voor bijvoorbeeld de opslag en het transport van vloeibare gasen en andere cryogene toepassingen.
- ▶ Vergelijken met andere metalen is de vormgeving van aluminium gemakkelijk; het is met behulp van de bekende fabricagetechnieken goed en snel te verwerken. Bovendien kunnen legeringen met een hoge sterkte goed tot ingewikkelde profielen worden geëxtrudeerd. Dit geeft constructieve mogelijkheden die bij andere metalen niet uitvoerbaar zijn.
- ▶ Aluminium is een uitstekende geleider van elektriciteit, koude en warmte; het heeft een groot reflecterend vermogen voor licht en warmte, is niet magnetisch en niet giftig voor de mens.

De bovengenoemde eigenschappen en vooral als deze in combinatie benut kunnen worden, maken het aantrekkelijk om aluminium als constructiemateriaal te kiezen. Er zijn ook beperkingen van aluminium te noemen. Enige daarvan zijn:

- ▶ de lage waarde van de elasticiteitsmodulus (70 GPa), die circa 1/3 is van staal. Door gebruik te maken van extrusieprofielen met verstijvingen, kan voor een deel aan dit bezwaar worden tegemoet gekomen;
- ▶ door het lage smeltpunt is de sterkte bij hogere temperaturen gering;
- ▶ bij het ontwerpen van constructies die aan wisselende belasting zijn onderworpen, moet rekening worden gehouden met de lage vermoeiingssterkte van de lasverbindingen vooral bij ongunstige geometrieën.

1.2 Aluminium voor gelaste constructies

In de loop der jaren is een groot aantal aluminiumlegeringen ontwikkeld. Enkele daarvan worden niet in gelaste constructies toegepast, gezien de lasproblemen die daarbij kunnen optreden. Het zijn meestal legeringen die speciaal zijn ontwikkeld voor de vliegtuigindustrie en die worden verbonden door klinken, lijmen of een combinatie van beiden. Er is echter een nieuw lasproces (friction stir welding, wrijvings-

roerlassen) waarmee het mogelijk is ook moeilijk lasbare legeringen met succes te lassen.

In deze voorlichtingspublicatie wordt de term "aluminium" gebruikt als aanduiding van aluminium en zijn legeringen. Dit heeft zowel betrekking op kneed- als op gietlegeringen. Omdat de aanpak bij het lassen van kneedlegeringen (te gebruiken materialen) verschilt met die van gietlegeringen, worden deze in twee aparte hoofdstukken besproken.

In de groep van goed lasbare aluminiumlegeringen zijn binnen de specifieke legeringsgroepen een groot aantal varianten, met geringe verschillen in samenstelling, verkrijgbaar. De aanduiding van deze legeringen is weergegeven conform de Europese norm voor het aanduiden van aluminium en aluminiumlegeringen: NEN-EN 573.

De legeringen kunnen worden onderverdeeld in een aantal karakteristieke groepen:

- ▶ ongelegeerd aluminium;
- ▶ gelegeerde typen waarvan de mechanische eigenschappen mede door een koudvervorming worden bepaald (deformatie);
- ▶ gelegeerde typen die hun sterkte voornamelijk danken aan een warmtebehandeling (veredelen).

1.3 De indeling van lasbaar aluminium

Binnen Europa wordt gebruik gemaakt van de codering van kneedaluminium volgens de aanduidingen zoals weergegeven in de NEN-EN 573 Aluminium en aluminiumlegeringen. Deze norm is opgedeeld in 4 delen:

NEN-EN 573 1: Deel 1: Numeriek aanduidingssysteem.

NEN-EN 573 2: Deel 2: Aanduiding gebaseerd op chemische symbolen.

NEN-EN 573 3: Deel 3: Chemische samenstelling.

NEN-EN 573 4: Deel 4: Productvormen.

De NEN-EN 573 biedt de mogelijkheid aluminium op twee manieren aan te duiden:

- 1) Aanduiding door middel van getallen (numeriek aanduidingssysteem).
- 2) Aanduiding door middel van chemische symbolen.

1) Aanduiding door middel van getallen (numeriek aanduidingssysteem)

De aanduidingen zoals die gehanteerd worden zijn vrijwel volledig overgenomen van de aanduidingen zoals die gehanteerd worden volgens het Internationale Registernummer en is een code bestaande uit 4 cijfers, waarvan het eerste cijfer de legeringsgroep aangeeft. In dit numerieke systeem zijn 9 groepen gedefinieerd (1xxx t/m 9xxx). Het derde en vierde cijfer geven de volgorde van aangemelde en geaccepteerde legeringen weer. Hierdoor onderscheiden de diverse legeringen in de groep zich van elkaar. Het tweede cijfer geeft aan of de bestaande legering is gemodificeerd, waarbij 0 de oorspronkelijke legering is en de cijfers 1 t/m 9 modificaties voorstellen.

De aanduiding volgens de NEN-EN 573 is achtereenvolgens samengesteld uit:

- ▶ het voorvoegsel EN gevolgd door een spatie;
- ▶ de letter A voor aluminium;
- ▶ de letter W voor kneedproducten;
- ▶ een liggend streepje;
- ▶ vier cijfers die betrekking hebben op de chemische samenstelling;
- ▶ indien noodzakelijk, een letter die aangeeft dat het een nationale variant is.

Voorbeelden van dergelijke aanduidingen zijn:

EN AW-1050

EN AW-5083

1) Niveau 2006 (publicatie EAA sustainability of European aluminiumindustry 2006)

Groepen van kneedlegeringen

De eerste van de vier cijfers in het systeem geeft de legeringsgroep aan.

De norm gaat er vanuit dat een legeringselement elk element is dat met opzet is toegevoegd voor een specifiek doel met uitzondering van korrelverfijners, deze zijn met onder- en bovengrenzen gespecificeerd.

Groep 1xxx

In de 1xxx groep, geven de laatste twee cijfers het minimumpercentage aluminium aan. Deze twee cijfers zijn gelijk aan de twee cijfers rechts van de decimale komma in het minimumpercentage aluminium, indien dit tot op 0,01 % nauwkeurig wordt uitgedrukt.

Voorbeelden van dergelijke aanduidingen zijn:

- EN AW-1050 is ongelegeerd aluminium met een zuiverheidsgraad van 99,50%.
- EN AW-1099 is ongelegeerd aluminium met een zuiverheidsgraad van 99,99%.

Het tweede cijfer van de aanduiding geeft een wijziging aan in de grenzen voor de verontreinigingen of de legeringselementen. Indien dit tweede cijfer in de aanduiding nul is, wijst dit op ongelegeerd aluminium met natuurlijke grenzen voor onzuiverheden. De cijfers 1 t/m 8, die achtereenvolgens worden gebruikt, indien dat noodzakelijk is, wijzen op een speciale controle van een of meer onzuiverheden of legeringselementen.

De groepen 2xxx tot en met 8xxx

In de groepen 2xxx t/m 8xxx hebben de laatste twee cijfers geen bijzondere betekenis maar dienen alleen om de verschillende aluminiumlegeringen in de groep te identificeren.

Het tweede cijfer duidt op legeringswijzigingen. Indien het tweede cijfer een nul is, wijst dit op de oorspronkelijke legering. Elke modificatie zorgt ervoor dat het cijfer met 1 wordt opgehoogd.

Voorbeelden van dergelijke aanduidingen zijn:

- EN AW-5083 = oorspronkelijke legering.
- EN AW-5183 = qua chemische samenstelling iets gewijzigde legering ten opzichte van de EN AW-5083

Nationale variaties

Nationale variaties worden geïdentificeerd door een letter achter de vier cijfers. De elkaar opvolgende letters worden in alfabetische volgorde toegepast te beginnen met A voor de eerste nationale wijziging die wordt geregistreerd; de letters I, O en Q worden niet gebruikt.

De acht groepen kunnen als volgt beknopt worden omschreven:

- 1xxx: Aluminium met minder dan 1 % andere elementen. Corrosiebestendig, maar de sterkte is gering;
- 2xxx: Aluminium gelegeerd met koper. Dit zijn hoogsterke legeringen, die voornamelijk in de vliegtuigbouw worden gebruikt. Met enkele uitzonderingen zijn ze slecht lasbaar;
- 3xxx: Aluminium gelegeerd met mangaan. Een groep legeringen met matige sterkte, geschikt voor algemeen gebruik;
- 4xxx: Aluminium gelegeerd met silicium. Het smeltpuntverlagende effect van dit element maken deze legeringen geschikt voor lastoevoegmateriaal en soldeerdraad;
- 5xxx: Aluminium gelegeerd met magnesium. Goede lasbaarheid en corrosiebestendigheid in zeewater, samen met een gunstige sterkte zijn kenmerkend voor deze groep legeringen;
- 6xxx: Aluminium gelegeerd met magnesium en silicium. Goede extrusie-eigenschappen en lasbaarheid in combinatie met een redelijke sterkte, maken deze typen geschikt voor dragende constructies; deze legeringen worden veel toegepast in bouwconstructies.
- 7xxx: Aluminium gelegeerd met zink, magnesium en soms koper. Een groep hoogsterke legeringen met veelal

een grotere gevoeligheid voor (spannings)corrosie. Typen zijn ontwikkeld die minder gevoelig zijn en toch een hoge sterkte bezitten. De koperhoudende typen zijn niet goed lasbaar;

8xxx: Aluminium gelegeerd met andere elementen.

Voor deze groep is geen algemene karakteristiek te geven. Bijvoorbeeld aluminium gelegeerd met lithium valt in deze groep.

Voor de groepen 1xxx, 3xxx, en 5xxx kunnen de mechanische eigenschappen (treksterkte en rekgrens) worden verhoogd door koud vervormen. Een verhoging kan ook worden bereikt bij de 2xxx, 6xxx en de 7xxx groepen, maar dan door een warmtebehandeling en/of een koudvervorming. Door het lassen zal een gedeelte van die verhoogde eigenschappen in de zone naast de las verloren gaan. Bij de warmtebehandelde typen van de 7xxx groep kunnen die eigenschappen zich gedeeltelijk herstellen.

2) Aanduiding door middel van chemische symbolen

Deze manier van aanduiden van aluminium is gebaseerd op de chemische symbolen van de elementen, gewoonlijk gevolgd door getallen die de zuiverheid van het aluminium aangeven of het nominale gehalte van het betreffende element. De gebruikte chemische symbolen zijn die van de internationale nomenclatuur.

De getallen of cijfers die de zuiverheid van aluminium aangeven, of het nominale gehalte van het betreffende element, zijn gebaseerd op de grenzen voor de chemische samenstelling zoals in EN 573-3 gegeven.

Gewoonlijk worden alle aanduidingen die overeenkomen met deze codering tussen vierkante haakjes geplaatst, gevolgd door de viercijferige aanduiding.

Indien, bij uitzondering, alleen de aanduiding die gebaseerd is op het gebruik van chemische symbolen wordt toegepast, moet eerst het voorvoegsel EN worden gehanteerd gevolgd door een spatie, dan de letter A voor aluminium en de letter W (Wrought) voor de aanduiding voor kneedproducten dan wel voor gietblokken bestemd om te worden vervormd. De letter W moet van de daaropvolgende aanduiding worden gescheiden door een liggend streepje.

Voorbeelden van dergelijke aanduidingen zijn:

Normaal gebruik: EN AW-5052 of
EN AW-5052[Al Mg2,5];

Bij uitzondering: EN AW-AI Mg2,5.

De gangbare in gebruik zijnde aanduidingen en de overeenkomstige grenzen voor de chemische samenstelling zijn in de EN 573-3 gegeven.

■ Regels voor de gecodeerde aanduiding van ongelegeerd kneedaluminium

Aanduidingen voor ongelegeerd aluminium moeten bestaan uit het internationale chemische symbool voor het metaal (Al) gevolgd door een percentage dat de zuiverheid aangeeft. Indien nodig uitgedrukt in één of meer decimale plaatsen.

Voorbeelden van dergelijke aanduidingen zijn:

- EN AW-1199[Al 99,99];
- EN AW-1070A[Al 99,7].

Het symbool Al wordt van het zuiverheidspercentage door een spatie gescheiden.

Indien er een element aan ongelegeerd aluminium in een laag percentage wordt toegevoegd, moet het symbool voor dit element zonder spatie achter het percentage dat de zuiverheid aangeeft worden geplaatst.

Een voorbeeld van een dergelijke aanduiding is:

- EN AW-1100[Al 99,0Cu].

■ Regels voor de gecodeerde aanduiding van kneedaluminiumlegeringen

Een legering wordt aangeduid door het symbool Al, gevolgd door de symbolen van het belangrijkste legeringselement of de elementen. Deze symbolen worden gewoonlijk gevolgd door getallen die het massapercentage

van het betreffende element uitdrukken.
Het symbool Al wordt van de rest van de aanduiding gescheiden door een spatie.
Indien verschillende legeringselementen nodig zijn in de aanduiding, moeten zij in volgorde van afnemend nominaal gehalte worden gerangschikt.

Voorbeelden van dergelijke aanduidingen zijn:

- EN AW-6061 [Al Mg1SiCu];
- EN AW-2014 [Al Cu4SiMg].

Indien de gehalten gelijk zijn, worden de legeringselementen in alfabetische volgorde van de symbolen gerangschikt.

Een voorbeeld van een dergelijke aanduiding is:

- EN AW-2011 [Al Cu6BiPb].

De chemische symbolen voor legeringselementen moeten tot maximaal vier elementen worden beperkt.

Een voorbeeld van een dergelijke aanduiding is:

- EN AW-7050[Al Zn6CuMgZr].

■ *Regels voor het onderscheiden van twee legeringen met gelijksoortige samenstellingen*

Er moet voor worden gezorgd dat de meest eenvoudige aanduiding wordt gebruikt.

Het primaire legeringselement wordt afgerond op een heel getal en in sommige gevallen op 0,5 of 0,1%. In situaties waarin dit relevant is, kan hiervoor de NEN-EN 573 worden geraadpleegd.

Voorbeelden van dergelijke aanduidingen zijn:

- EN AW-5251 [Al Mg2];
- EN AW-5052 [Al Mg2,5];
- EN AW-6063 [Al Mg0,7Si].

De secundaire legeringselementen worden afgerond op een heel getal en in sommige gevallen op 0,5 of 0,1%. In situaties waarin dit relevant is, kan hiervoor de NEN-EN 573 worden geraadpleegd.

Voorbeelden van dergelijke aanduidingen zijn:

- EN AW-3103 [Al Mn1];
- EN AW-3005 [Al Mn1Mg0,5];
- EN AW-3004 [Al Mn1Mg1].

Indien de hiervoor genoemde voorzieningen onvoldoende de verschillen tussen de legeringen aangeven, moet een achtervoegsel worden gebruikt: (A), (B), (G), enz., volgens de datum van voorlegging aan GEN. De eerste legering die wordt voorgelegd krijgt geen achtervoegsel. Dit achtervoegsel wordt tussen ronde haakjes geplaatst om verwarring met de chemische symbolen te vermijden.

Voorbeelden van dergelijke aanduidingen zijn:

- EN AW-2014 [Al Gu4SiMg];
- EN AW-2014A [Al Gu4SiMg(A)].

■ *Speciaal gebruik van bepaalde soorten kneedaluminium en kneedaluminiumlegeringen*

Dit gebruik moet beperkt blijven tot gevallen waarbij de voorziene toepassing, specifieke grenzen voor de chemische samenstelling voor tenminste één element vereist. Een letter voorafgaande aan de chemische samenstelling kan dan worden gebruikt. De letter E is gereserveerd voor elektrische toepassingen.

Voorbeelden van dergelijke aanduidingen zijn:

- EN AW-1350 [EAl 99,5];
- EN AW-6101 [EAl MgSi];
- EN AW-1050A [Al 99,5] elektrische toepassingen

■ *Legeringen vervaardigd uit aluminium met een hoge zuiverheid*

In bepaalde legeringen is het basismetaal van een zeer hoge zuiverheid, bijv. Al 99,85%. Het is dan noodzakelijk om het gespecificeerde hoge gehalte volledig te vermelden. Dit gehalte wordt in twee decimale plaatsen gegeven; de legeringselementen worden vermeld als hiervoor genoemd.

Een voorbeeld van een dergelijke aanduiding is:

- EN AW-5305 [Al 99,85Mg1].

1.4 Toestandsaanduiding van aluminium

Eigenschappen van aluminiumlegeringen worden niet alleen bepaald door de legeringselementen, maar ook de toestand waarin het materiaal verkeert, is bepalend voor de eigenschappen van het materiaal. Veranderingen in de toestand komen tot stand door het materiaal koud te deformeren of het een (warmte)behandeling te laten ondergaan of een combinatie van beiden.

Aanduiding van de toestand van aluminium

Om aan te geven in welke toestand het aluminium verkeert, worden achter de codering die het legeringstype aangeeft (4-cijferige aanduiding), nog één of meerdere letters of cijfers geplaatst. Deze aanduidingen zijn opgenomen in de NEN-EN 515-1995. In tabel 1.1 zijn de belangrijkste letter-coderingen met hun betekenis weergegeven.

tabel 1.1 Toestandsaanduidingen conform NEN-EN 515-1995

Toestandsaanduidingen	
F	ongecontroleerde toestand
O	zachtgegloeide toestand
H	verstevigd door koude deformatie. Deze codering wordt gevolgd door twee of drie cijfers. Bijvoorbeeld H111
AQ	zachte, niet stabiele toestand die ontstaat direct na oplosgloeien en afschrikken.
W	een niet stabiele toestand die enige tijd na de AQ toestand ontstaat.
T	een toestand die wordt verkregen door oplosgloeien, afschrikken en precipitatieharding. Deze codering wordt gevolgd door 1, 2 of meerdere cijfers. Bijvoorbeeld T651

F-toestand

Deze toestand ontstaat na de productie van een halffabrikaat. Het gaat hierbij om een ongecontroleerde toestand, waarbij de mechanische eigenschappen niet worden gegarandeerd. De sterkte-eigenschappen zijn beter dan in zachtgegloeide toestand.

O-toestand

Na zachtgloeien ontstaat deze toestand. Na deze behandeling is het materiaal zeer goed vervormbaar.

H-toestand

Deze toestand wordt bereikt nadat het materiaal door koudvervorming is verstevigd. De aanduiding H wordt gevolgd door maximaal twee cijfers (zie tabel 1.2).

tabel 1.2 H-codering (koud verstevigd) conform de NEN-EN 515-1995

H-cijferaanduiding		
cijfer	opties	betekenis
eerste cijfer	1 t/m 3	de toegepaste vervorming
tweede cijfer	1 t/m 9	de mate van versteving

AQ-toestand

Alleen precipitatie hardende legeringen zijn tijdelijk in deze toestand. Deze niet-stabiele toestand ontstaat direct na het oplosgloeien. Tijdens deze toestand is het materiaal goed vervormbaar. Na verloop van tijd zal het materiaal uitharden en overgaan in de W-toestand.

W-toestand

Door een natuurlijke precipitatieharding zal het materiaal na verloop van tijd overgaan van de AQ-toestand naar de W-toestand. De hardheid van de legering in deze toestand is het gemiddelde tussen een zachtgegloeide toestand en de maximale hardheid. Een extra warmtebehandeling kan noodzakelijk zijn om de maximale hardheid te bereiken.

T-toestand

Deze toestand wordt bereikt nadat volledige precipitatie-uitharding heeft plaatsgevonden. Deze toestand kan worden verkregen door:

- natuurlijke precipitatieharding;
- kunstmatige precipitatieharding.

De aanduiding T wordt altijd gevolgd door één of twee cijfers en in enkele gevallen uit meer. Hieruit kunnen we opmaken op welke manier de T-toestand is bereikt.

Figuur 1.1 geeft volgens de EN norm aan in welke leveringstoestand het materiaal is en welke behandeling het heeft ondergaan.

voorbeeld

De legering die in de NEN-EN 572-3 en NEN-EN 515-1995 wordt aangeduid als 6063-T6.

Uit de eerste vier cijfers kan het volgende worden afgeleid:

- 6 staat voor de 6xxx groep. Een legering met als hoofdlegeringselementen: magnesium en silicium. (Al-Mg-Si);
- 0 staat voor een oorspronkelijke legering waarin geen wijzigingen zijn aangebracht.
- 63 is een willekeurig getal (door de fabrikant bepaald) en staat voor de geregistreerde legering, die de volgende legeringselementen bevat:
 - 0,2% - 0,6% Si;
 - 0,35% Fe;
 - 0,1% Cu;
 - 0,1% Mn;
 - 0,45% - 0,9% Mg;
 - 0,1% Cr;
 - 0,15% Zn.

De aanduiding T6 geeft aan dat de toestand van het materiaal verkregen is door oplosgloeien, afschrikken en precipitatieharding (zie figuur 1.1).

Thermisch veredeldbare - EN niet thermisch veredeldbare LEGERINGEN

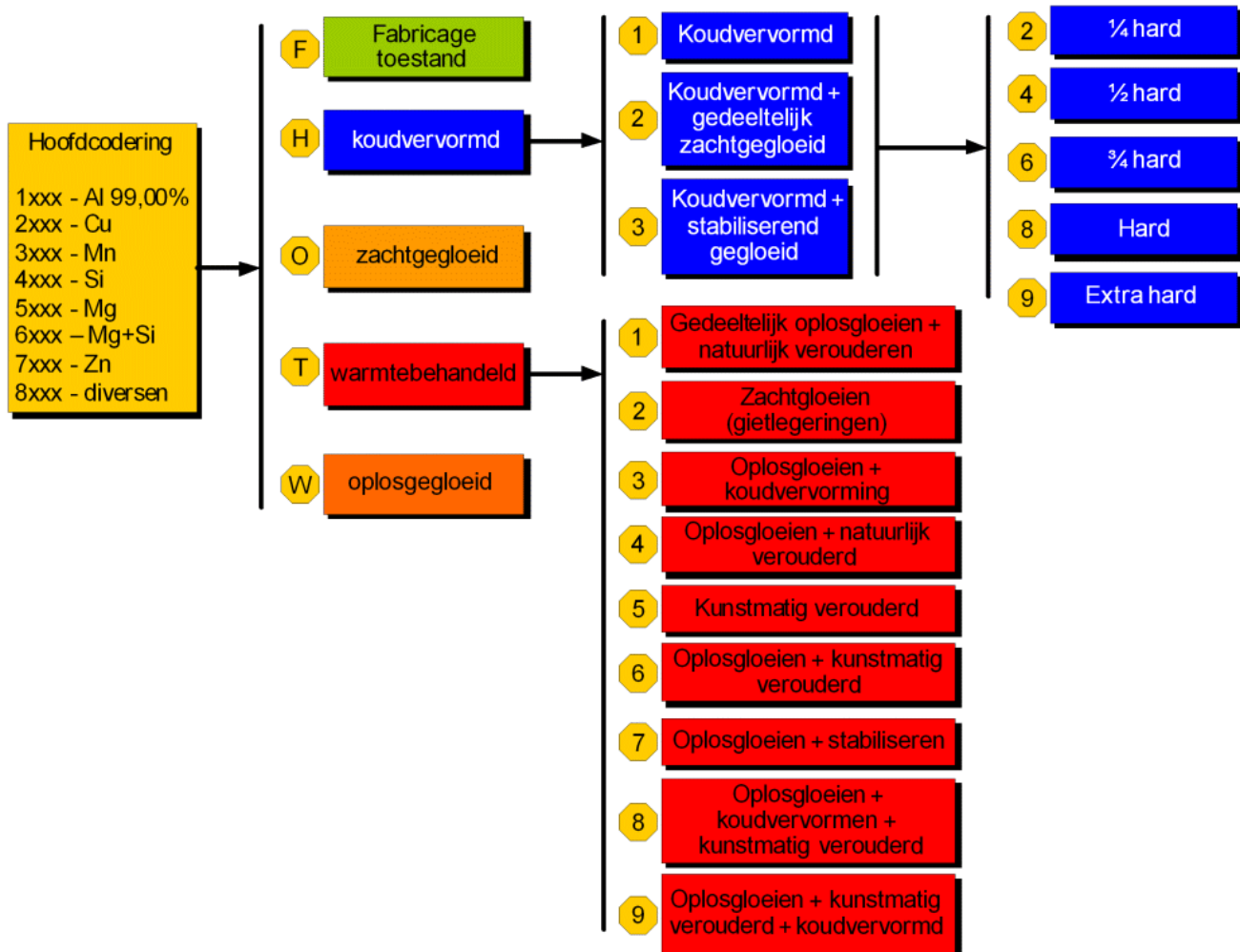
Er zijn groepen legeringen die hun sterkte vooral ontleen aan opgeloste legeringsatomen. Bij veredeldbare legeringen wordt de sterkte bepaald door een warmtebehandeling zoals precipitatieharding. Voorbeelden hiervan zijn met koper, zink of magnesium en silicium gelegeerd aluminium.

PRECIPITATIEHARDING

Aluminiumlegeringen die een hoge sterkte moeten krijgen, ondergaan een speciale warmtebehandeling. Deze heet precipitatieharding. Hierdoor nemen de sterkte en hardheid toe, zonder een grote afname van de breukrek. Precipitatieharding is alleen mogelijk wanneer het toestandsdiagram van de legering een lijn van teruglopende oplosbaarheid vertoont. Precipitatieharding bestaat meestal uit drie fasen.

1. oplosgloeien/homogeniseren;
2. afschrikken;
3. stabiliserend gloeien (veredelen).

In tabellen 1.3 t/m 1.7 zijn de meest gangbare aluminiumlegeringen opgenomen die gebruikt worden voor gelaste constructies in Nederland. Voor een uitgebreider overzicht ook van aluminiumsoorten waaraan niet gelast wordt, wordt verwezen naar de norm NEN-EN 573-3 [1] en het "Aluminium Taschenbuch" [2].



figuur 1.1 Schema van de toestandsaanduiding conform de NEN-EN 515-1995

tabel 1.3 Aluminium - 1xxx groep [1], [2]

legeringsaanduiding		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ga	V	opmerkingen	Ti	andere ¹⁾		Al (min.)
numeriek	chemische symbolen													ieder	totaal ²⁾	
EN AW-1098	EN AW-Al 99,98	0,010	0,006	0,003	–	–	–	–	0,015	–	–	–	0,003	0,003	–	99,98 ³⁾
EN AW-1198	EN AW-Al 99,98(A)	0,010	0,006	0,006	0,006	–	–	–	0,010	0,006	–	–	0,006	0,003	–	99,98 ³⁾
EN AW-1090	EN AW-Al 99,90	0,07	0,07	0,02	0,01	0,01	–	–	0,03	0,03	0,05	–	0,01	0,01	–	99,90 ⁴⁾
EN AW-1085	EN AW-Al 99,85	0,10	0,12	0,13	0,02	0,02	–	–	0,03	0,03	0,05	–	0,02	0,01	–	99,85 ⁴⁾
EN AW-1080A	EN AW-Al 99,8(A)	0,15	0,15	0,03	0,02	0,02	–	–	0,06	0,03	–	–	0,02	0,02	–	99,80 ⁴⁾
EN AW-1070A	EN AW-Al 99,7	0,20	0,25	0,03	0,03	0,03	–	–	0,07	–	–	–	0,03	0,03	–	99,70 ⁴⁾
EN AW-1060	EN AW-Al 99,6	0,25	0,35	0,05	0,03	0,03	–	–	0,05	–	0,05	–	0,05	0,03	–	99,60 ⁴⁾
EN AW-1050A	EN AW-Al 99,5	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	–	–	0,07	–	–	–	–	0,03	–	99,50 ⁴⁾
EN AW-1350	EN AW-EAl 99,5	0,10	0,40	0,05	0,01	–	0,01	–	0,05	0,03	–	0,05 B, 0,02 V + Ti	–	0,03	0,10	99,50 ⁴⁾
EN AW-1350A	EN AW-EAl 99,5(A)	0,25	0,40	0,02	–	0,05	–	–	0,05	–	–	0,03 Cr + Mn + Ti + V	–	0,03	–	99,50 ⁴⁾
EN AW-1450	EN AW-Al 99,5Ti	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	–	–	0,07	–	–	–	0,10-0,20	0,03	–	99,50 ⁴⁾
EN AW-1200	EN AW-Al 99,0	1,00 Si + Fe		0,05	0,05	–	–	–	0,10	–	–	–	0,05	0,05	–	99,00 ⁴⁾
EN AW-1200A	EN AW-Al 99,0(A)	1,00 Si + Fe		0,10	0,30	0,30	0,10	–	0,10	–	–	–	–	0,05	0,15	99,00 ⁴⁾
EN AW-1100	EN AW-Al 99,0Cu	0,95 Si + Fe		0,05-0,20	0,05	–	–	–	0,10	–	–	⁵⁾	–	0,05	0,15	99,00 ⁴⁾

1) Met inbegrip van de in de tabel genoemde elementen waarvoor geen specifieke grens is vermeld.
2) De som van deze "andere" metallische elementen waarvan het gehalte van ieder 0,010 % of meer bedraagt, wordt tot op de tweede decimale plaats vóór het bepalen van de som uitgedrukt.
3) Voor ongelegeerd aluminium dat door een raffinage-proces is gemaakt, is het aluminiumgehalte het verschil tussen 100,00% en de som van alle andere metallische elementen die in hoeveelheden van 0,0010 % of meer aanwezig zijn. Elk gehalte wordt uitgedrukt in drie decimalen voor de som wordt bepaald, wat voor het aftrekken op twee decimalen wordt afgerond.
4) Voor ongelegeerd aluminium dat niet door een raffinage-proces is gemaakt, is het aluminiumgehalte het verschil tussen 100,00% en de som van alle andere metallische elementen die in hoeveelheden van 0,010% of meer aanwezig zijn. Elk gehalte wordt uitgedrukt in twee decimalen voor de som wordt bepaald.
5) 0,0008 maximum Be, alleen voor laselektroden en lastoevoegmateriaal.

tabel 1.4 Aluminium - 3xxx groep [1], [2]

legeringsaanduiding		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ga	V	opmerkingen	Ti	andere ¹⁾		Al (min.)
numeriek	chemische symbolen													ieder	totaal ²⁾	
EN AW-3002	EN AW-Al Mn0,2Mg0,1	0,08	0,10	0,15	0,05-0,25	0,05-0,20	–	–	0,05	–	0,05	–	0,03	0,03	0,10	rest
EN AW-3102	EN AW-Al Mn0,2	0,40	0,07	0,10	0,05-0,40	–	–	–	0,30	–	–	–	0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-3103	EN AW-Al Mn1	0,50	0,7	0,10	0,9-1,5	0,30	0,10	–	0,20	–	–	0,10 Zr + Ti	–	0,05	0,15	rest
EN AW-3103A	EN AW-Al Mn1(A)	0,50	0,7	0,10	0,7-1,4	0,30	0,10	–	0,20	–	–	0,10 r + Ti	0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-3004	EN AW-Al Mn1Mg1	0,30	0,7	0,25	1,0-1,5	0,8-1,3	–	–	0,25	–	–	–	–	0,05	0,15	rest
EN AW-3104	EN AW-Al Mn1Mg1Cu	0,6	0,8	0,05-0,25	0,8-1,4	0,8-1,3	–	–	0,25	0,05	0,05	–	0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-3005	EN AW-Al Mn1Mg0,5	0,6	0,7	0,30	1,0-1,5	0,20-0,6	0,10	–	0,25	–	–	–	0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-3105	EN AW-Al Mn0,5Mg0,5	0,6	0,7	0,30	0,30-0,8	0,20-0,8	0,20	–	0,40	–	–	–	0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-3105A	EN AW-Al Mn0,5Mg0,5(A)	0,6	0,7	0,30	0,30-0,8	0,20-0,8	0,20	–	0,25	–	–	–	0,10	0,05	0,15	rest

1) Met inbegrip van de in de tabel genoemde elementen waarvoor geen specifieke grens is vermeld.
2) De som van deze "andere" metallische elementen waarvan het gehalte van ieder 0,010 % of meer bedraagt, wordt tot op de tweede decimale plaats vóór het bepalen van de som uitgedrukt.

tabel 1.5 Aluminium - 5xxx groep [1], [2]

legeringsaanduiding		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ga	V	opmerkingen	Ti	andere ¹⁾		Al (min.)
numeriek	chemische symbolen													ieder	totaal ²⁾	
EN AW-5005	EN AW-Al Mg1(B)	0,30	0,7	0,20	0,20	0,50-1,1	0,10		0,25					0,05	0,15	rest
EN AW-5005A	EN AW-Al Mg1(C)	0,30	0,45	0,05	0,15	0,7-1,1	0,10	–	0,20					0,05	0,15	rest
EN AW-5010	EN AW-Al Mg0,5Mn	0,40	0,7	0,25	0,10-0,30	0,20-0,6	0,15		0,30				0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-5018	EN AW-Al Mg3Mn0,4	0,25	0,40	0,05	0,20-0,6	2,6-3,6	0,30	–	0,20			0,20-0,6 Mn + Cr ³⁾	0,15	0,05	0,15	rest
EN AW-5019	EN AW-Al Mg5	0,40	0,50	0,10	0,10-0,6	4,5-5,6	0,20		0,20			0,10-0,6 Mn + Cr	0,20	0,05	0,15	rest
EN AW-5040	EN AW-Al Mg1,5Mn	0,30	0,7	0,25	0,9-1,4	1,0-1,5	0,10-0,30	–	0,25					0,05	0,15	rest
EN AW-5042	EN AW-Al Mg3,5Mn	0,20	0,35	0,15	0,20-0,50	3,0-4,0	0,10	–	0,25				0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-5049	EN AW-Al Mg2Mn0,8	0,40	0,50	0,10	0,50-1,1	1,6-2,5	0,30	–	0,20				0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-5052	EN AW-Al Mg2,5	0,25	0,40	0,10	0,10	2,2-2,8	0,15-0,35	–	0,10					0,05	0,15	rest
EN AW-5154A	EN AW-Al Mg3,5(A)	0,50	0,50	0,10	0,50	3,1-3,9	0,25	–	0,20			0,10-0,50 Mn + Cr ³⁾	0,20	0,05	0,15	rest
EN AW-5154B	EN AW-Al Mg3,5Mn0,3	0,35	0,45	0,05	0,15-0,45	3,2-3,8	0,10	0,01	0,15				0,15	0,05	0,15	rest
EN AW-5354	EN AW-Al Mg2,5MnZr	0,25	0,40	0,05	0,50-1,0	2,4-3,0	0,05-0,20	–	0,25			0,10-0,20 Zr	0,15	0,05	0,15	rest
EN AW-5454	EN AW-Al Mg3Mn	0,25	0,40	0,10	0,50-1,0	2,4-3,0	0,05-0,20	–	0,25				0,20	0,05	0,15	rest
EN AW-5554	EN AW-Al Mg3Mn(A)	0,25	0,40	0,10	0,50-1,0	2,4-3,0	0,05-0,20	–	0,25			³⁾	0,05-0,20	0,05	0,15	rest
EN AW-5654	EN AW-Al Mg3,5Cr	0,45Si + Fe	0,05	0,01	3,1-3,9	0,15-0,35	–	0,20				³⁾	0,05-0,15	0,05	0,15	rest
EN AW-5754	EN AW-Al Mg3	0,40	0,40	0,10	0,50	2,6-3,6	0,30		0,20			0,10-0,6 Mn + Cr	0,15	0,05	0,15	rest
EN AW-5356	EN AW-Al Mg5Cr(A)	0,25	0,40	0,10	0,05-0,20	4,5-5,5	0,05-0,20		0,10			³⁾	0,06-0,20	0,05	0,15	rest
EN AW-5456A	EN AW-Al Mg5Mn1(A)	0,25	0,40	0,05	0,7-1,1	4,5-5,2	0,05-0,25	–	0,25			³⁾	0,15	0,05	0,15	rest
EN AW-5556A	EN AW-Al Mg5Mn	0,25	0,40	0,10	0,6-1,0	5,0-5,5	0,05-0,20	–	0,20			³⁾	0,05-0,20	0,05	0,15	rest
EN AW-5657	EN AW-Al 99,85Mg1(A)	0,08	0,10	0,10	0,03	0,6-1,0			0,05	0,03	0,05			0,02	0,05	rest
EN AW-5058	EN AW-Al Mg5Pb1,5	0,40	0,50	0,10	0,20	4,5-5,6	0,10	–	0,20			1,2-1,8 Pb	0,20	0,05	0,15	rest
EN AW-5082	EN AW-Al Mg4,5	0,20	0,35	0,15	0,15	4,0-5,0	0,15	–	0,25				0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-5182	EN AW-Al Mg4,5Mn0,4	0,20	0,35	0,15	0,20-0,50	4,0-5,0	0,10	–	0,25				0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-5083	EN AW-Al Mg4,5Mn0,7	0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,05-0,25	–	0,25				0,15	0,05	0,15	rest
EN AW-5183	EN AW-Al Mg4,5Mn0,7(A)	0,40	0,40	0,10	0,50-1,0	4,3-5,2	0,05-0,25		0,25			³⁾	0,15	0,05	0,15	rest
EN AW-5263A	EN AW-Al Mg4,5Mn0,7(B)	0,30	0,30	0,03	0,50-1,0	4,5-5,1	0,05	0,03	0,10				0,03	0,05	0,15	rest
EN AW-5086	EN AW-Al Mg4	0,40	0,50	0,10	0,20-0,7	3,5-4,5	0,05-0,25	–	0,25			0,05 Zr ⁴⁾	0,15	0,05	0,15	rest
EN AW-5087	EN AW-Al Mg4,5MnZr	0,25	0,40	0,05	0,7-1,1	4,5-5,2	0,05-0,25	–	0,25			0,10-0,20 Zr	0,15	0,05	0,15	rest

1) Met inbegrip van de in de tabel genoemde elementen waarvoor geen specifieke grens is vermeld.
2) De som van deze "andere" metallische elementen waarvan het gehalte van ieder 0,010 % of meer bedraagt, wordt tot op de tweede decimale plaats vóór het bepalen van de som uitgedrukt.
3) 0,0008 maximum Be, alleen voor laselektroden en lastoevoegmateriaal.
4) 0,003 max. Pb.

tabel 1.6 Aluminium - 6xxx groep [1], [2]

legeringsaanduiding		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ga	V	opmerkingen	Ti	andere ¹⁾		Al (min.)
numeriek	chemische symbolen													ieder	totaal ²⁾	
EN AW-6101	EN AW-EAl MgSi	0,30-0,7	0,50	0,10	0,03	0,35-0,8	0,03		0,10			0,06B		0,03	0,10	rest
EN AW-6101A	EN AW-EAl MgSi(A)	0,30-0,7	0,40	0,05	–	0,40-0,9	–	–						0,03	0,10	rest
EN AW-6101B	EN AW-EAl MgSi(B)	0,30-0,6	0,10-0,30	0,05	0,05	0,35-0,6	–	–	0,10					0,03	0,10	rest
EN AW-6003	EN AW-Al Mg1Si0,8	0,35-1,0	0,6	0,10	0,8	0,8-1,5	0,35		0,20				0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-6005	EN AW-Al SiMg	0,6-0,9	0,35	0,10	0,10	0,40-0,6	0,10	–	0,10				0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-6005A	EN AW-Al SiMg(A)	0,50-0,9	0,35	0,30	0,50	0,40-0,7	0,30	–	0,20			0,12-0,50 Mn + Cr	0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-6005B	EN AW-Al SiMg(B)	0,45-0,8	0,30	0,10	0,10	0,40-0,8	0,10	–	0,10				0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-6106	EN AW-Al MgSiMn	0,30-0,6	0,35	0,25	0,05-0,20	0,40-0,8	0,20	–	0,10					0,05	0,10	rest
EN AW-6011	EN AW-Al Mg0,9Si0,9Cu	0,6-1,2	1,0	0,40-0,9	0,08	0,6-1,2	0,30	0,20	1,5				0,20	0,05	0,15	rest
EN AW-6012	EN AW-Al MgSiPb	0,6-1,4	0,50	0,10	0,40-1,0	0,6-1,2	0,30	–	0,30			0,7Bi; 0,40-2,0Pb	0,20	0,05	0,15	rest
EN AW-6013	EN AW-Al Mg1Si0,8CuMn	0,6-1,0	0,50	0,6-1,1	0,20-0,8	0,8-1,2	0,10	–	0,25				0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-6015	EN AW-Al Mg1Si0,3Cu	0,20-0,40	0,10-0,30	0,10-0,25	0,10	0,8-1,1	0,10	–	0,10				0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-6018	EN AW-Al Mg1SiPbMn	0,50-1,2	0,7	0,15-0,40	0,30-0,8	0,6-1,2	0,10	–	0,30			³⁾	0,20	0,05	0,15	rest
EN AW-6351	EN AW-Al Si1Mg0,5Mn	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-0,8	0,40-0,8			0,20				0,20	0,05	0,15	rest
EN AW-6056	EN AW-Al SiMgCuMn	0,7-1,3	0,50	0,50-1,1	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25	–	0,10-0,7					0,05	0,15	rest
EN AW-6060	EN AW-Al MgSi	0,30-0,6	0,10-0,30	0,10	0,10	0,35-0,6	0,05	–	0,15				0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-6061	EN AW-Al Mg1SiCu	0,40-0,8	0,7	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35		0,25				0,15	0,05	0,15	rest
EN AW-6061A	EN AW-Al Mg1SiCu(A)	0,40-0,8	0,7	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35	–	0,25			⁴⁾	0,15	0,05	0,15	rest
EN AW-6063	EN AW-Al Mg0,7Si	0,20-0,6	0,35	0,10	0,10	0,45-0,9	0,10	–	0,10				0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-6063A	EN AW-Al Mg0,7Si(A)	0,30-0,6	0,15-0,35	0,10	0,15	0,6-0,9	0,05		0,15			–	0,10	0,02	0,05	rest
EN AW-6081	EN AW-Al Si0,9MgMn	0,7-1,1	0,50	0,10	0,10-0,45	0,6-1,0	0,10	–	0,20				0,15	0,05	0,15	rest
EN AW-6082	EN AW-Al SiMgMn	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25	–	0,20				0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-6082A	EN AW-Al Si1MgMn(A)	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25		0,20			⁴⁾	0,10	0,05	0,15	rest

1) Met inbegrip van de in de tabel genoemde elementen waarvoor geen specifieke grens is vermeld.
2) De som van deze "andere" metallische elementen waarvan het gehalte van ieder 0,010 % of meer bedraagt, wordt tot op de tweede decimale plaats vóór het bepalen van de som uitgedrukt.
3) 0,40-0,7 Bi; 0,40-1,2 Pb.
4) 0,003 max. Pb.

tabel 1.7 Aluminium - 7xxx groep [1], [2]

legeringsaanduiding		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ga	V	opmerkingen	Ti	andere ¹⁾		Al (min.)
numeriek	chemische symbolen													ieder	totaal ²⁾	
EN AW-7003	EN AW-Al Zn6Mg0,8Zr	0,30	0,35	0,20	0,30	0,50-1,0	0,20		5,0-6,5			0,05-0,25Zr	0,20	0,05	0,15	rest
EN AW-7005	EN AW-Al Zn4,5Mg1,5Mn	0,35	0,40	0,10	0,20-0,7	1,0-1,8	0,06-0,20	-	4,0-5,0	0,10		0,08-0,20Zr	0,01-0,06	0,05	0,15	rest
EN AW-7108	EN AW-Al Zn5Mg1Zr	0,10	0,05	0,05	0,7-1,4	-	-		4,5-5,5	0,20	0,20	0,12-0,25Zr	0,05	0,05	0,15	rest
EN AW-7009	EN AW-Al Zn5,5MgCuAg	0,6-1,3	0,10	2,1-2,9	0,10-0,25	-	5,5-6,5	0,12	0,15	1,5-2,0		³⁾	0,20	0,05	0,15	rest
EN AW-7010	EN AW-Al Zn6MgCu	0,10	2,1-2,6	0,05	0,05	5,7-6,7						0,10-0,16Zr	0,06	0,05	0,15	rest
EN AW-7012	EN AW-Al Zn6Mg2Cu	0,15	0,25	0,8-1,2	0,08-0,15	1,8-2,2	0,04		5,8-6,5			0,10-0,18Zr	0,02-0,08	0,05	0,15	rest
EN AW-7015	EN AW-Al Zn5Mg1,5CuZr	0,20	0,30	0,06-0,15	0,10	1,3-2,1	0,15	-	4,6-5,2			0,10-0,20Zr	0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-7016	EN AW-Al Zn4,5Mg1Cu	0,10	0,12	0,45-1,0	0,03	0,8-1,4	-	-	4,0-5,0	-	0,05		0,03	0,03	0,10	rest
EN AW-7116	EN AW-Al Zn4,5Mg1Cu0,8	0,15	0,30	0,50-1,1	0,05	0,8-1,4	-	-	4,2-5,2	0,03	0,05		0,05	0,05	0,15	rest
EN AW-7020	EN AW-Al Zn4,5Mg1	0,35	0,40	0,20	0,05-0,50	1,0-1,4	0,10-0,35	-	4,0-5,0			⁴⁾		0,05	0,15	rest
EN AW-7021	EN AW-Al Zn5,5Mg1,5	0,25	0,40	0,25	0,10	1,2-1,8	0,05		5,0-6,0			0,08-0,18Zr	0,10	0,05	0,15	rest
EN AW-7022	EN AW-Al Zn5Mg3Cu	0,50	0,50	0,50-1,0	0,10-0,40	2,6-3,7	0,10-0,30	-	4,3-5,2			0,20Ti+Zr	0,05	0,05	0,15	rest
EN AW-7026	EN AW-Al Zn5Mg1,5Cu	0,08	0,12	0,6-0,9	0,05-0,20	1,5-1,9	-	-	4,6-5,2			0,09-0,14Zr	0,05	0,03	0,10	rest
EN AW-7029	EN AW-Al Zn4,5Mg1,5Cu	0,10	0,12	0,50-0,9	0,03	1,3-2,0	-	-	4,2-5,2	-	0,05		0,05	0,03	0,10	rest
EN AW-7129	EN AW-Al Zn4,5Mg1,5Cu(A)	0,15	0,30	0,50-0,9	0,10	1,3-2,0	0,10	-	4,2-5,2	0,03	0,05			0,05	0,15	rest
EN AW-7030	EN AW-Al Zn5,5Mg1Cu	0,20	0,30	0,20-0,40	0,05	1,0-1,5	0,04		4,8-5,9	0,03		0,03Zr	0,03	0,05	0,15	rest
EN AW-7039	EN AW-Al Zn4Mg3	0,30	0,40	0,10	0,10-0,40	2,3-3,3	0,15-0,25	-	3,5-4,5			0,25Zr+Ti	0,10	0,05	0,15	rest

1) Met inbegrip van de in de tabel genoemde elementen waarvoor geen specifieke grens is vermeld.
2) De som van deze "andere" metallische elementen waarvan het gehalte van ieder 0,010 % of meer bedraagt, wordt tot op de tweede decimale plaats vóór het bepalen van de som uitgedrukt.
3) 0,25-0,40 Ag.
4) 0,08-0,20Zr; 0,08-0,25Zr+Ti.

1.5 Materiaalkeuze in verband met de toepassing

Tabel 1.8 geeft een overzicht voor de materiaalkeuze in verband met de toepassing. In deze tabel is een selectie gemaakt uit tabellen 1.3 t/m 1.7 van de meest gangbare legeringen in Nederland. Deze materialen zijn vaak leverbaar in de vorm van staf, buizen, platen, profielen, smeedstukken en draad (zie ook tabel 2.2). In hoofdstuk 3, "Technologische bijzonderheden", wordt per groep meer gedetailleerd ingegaan op de toepassingen.

tabel 1.8 Materiaalkeuze in verband met de toepassing

intern. registratienummer	soort toepassing
1050A, 1200	tankbekledingen voor chemische en levensmiddelenindustrie, bijvoorbeeld voor zuivelbedrijven en bierbrouwerijen; verpakkingindustrie; huishoudelijke artikelen, zoals keukengerei; elektrotechnische industrie: kabels, klemmen, verbindingstukken, enz.; lasdraad
3103	dakbedekking; golfplaten; sandwich-panelen, goten en afvoerpijpen voor gebouwen
5052, 5251	tanks; panelen en diverse andere constructies in contact met zeewater en zeelucht; rioolzuiveringsinstallaties
5083	scheepsbouw; tanks en leidingen voor transport en opslag van vloeibare gassen bij lage temperatuur; pantserplaat
5086	scheepsbouw en carrosseriebouw
5454	scheepsbouw; carrosseriebouw en transport; rioolzuiveringsinstallaties; lasdraad
6005A	algemeen constructiemateriaal; dakconstructies; lichtmasten; pijpleidingen; masten voor zeilschepen
6060, 6063	bouwconstructies, ramen, deuren en gevelbekledingen; buizen voor irrigatie, lichtmasten
6061	algemeen constructiemateriaal voor wisselend belaste verbindingen; bruggen; wagonbouw; masten voor zeilschepen
6082	algemeen constructiemateriaal voor wisselend belaste verbindingen; bruggen; wagonbouw; containerbouw
7005	gelaste frames voor fietsen en motoren
7020	niet-maritieme lasconstructies; voertuigbouw; pantserplaat

Hoofdstuk 2

Eigenschappen in verband met het lassen

2.1 Fysische eigenschappen werkstukmateriaal

Bij het lassen van aluminium moet de uitvoering - bij toepassing van hetzelfde lasproces - anders zijn dan bij het lassen van staal. De reden daarvan is het verschil in fysische eigenschappen, namelijk:

- ▶ Aluminium wordt in vaste en vloeibare toestand in lucht altijd met een oxidehuid bedekt. Deze oxidehuid heeft een smeltpunt van meer dan 2000 °C. Door de hoge temperaturen bij het lassen neemt de dikte van deze oxidehuid bovendien snel toe. Deze oxidehuid kan in lucht niet worden verwijderd. Wel kan hij mechanisch of chemisch zo dun mogelijk worden gemaakt. Wegens de iets hogere dichtheid van het aluminiumoxide ten opzichte van aluminium zelf (3700 t.o.v. 2700 kg/m³), zakken delen van de oxidehuid in het smeltbad omlaag en leiden tot een ongewenste kwaliteit van de lasverbinding, doordat zij insluitsels en/of bindingsfouten vormen;
- ▶ het smeltpunt van zuiver aluminium is 658 °C. Het smelttraject van de eerder genoemde aluminiumlegeringen ligt tussen 575 en 655 °C. Het smeltpunt kondigt zich niet aan door kleurverandering, zoals dit bij staal en roestvast staal wel het geval is;
- ▶ de smeltwarmte van aluminium bedraagt per volume-eenheid 2/3 van die van staal, de warmtegeleiding van aluminium is echter ongeveer 5 × zo groot als die van staal, hierdoor is 20-30% meer vermogen nodig bij het lassen ten opzichte van staal (bij gelijke plaatdikte en naadvorm). Tevens volgt uit het grote warmtegeleidingsvermogen van aluminiumlegeringen, dat het voorwarmen van dikke werkstukken nodig kan zijn;
- ▶ de totale volumevermindering tijdens stollen en afkoelen tot de omgevingstemperatuur bedraagt voor aluminium ca. 9% en voor staal ca. 7%. Het gevolg hiervan is dat, bij gelijke plaatdikte en naadvorm, de krimpvervormingen bij aluminium groter zijn dan bij staal. Tabel 2.1 geeft de gemiddelde waarden van enige kenmerkende fysische eigenschappen van zuiver aluminium, aluminiumlegeringen en ongelegeerd staal, terwijl tevens enkele waarden van aluminiumoxide zijn opgenomen.

2.2 Mechanische eigenschappen werkstukmateriaal

Door een combinatie van warmtevervormen, koudtevervormen en warmtebehandelingen die het aluminium tijdens het fabricageproces kan ondergaan, is het verkrijgbaar in een aantal leveringstoestanden met zeer uiteenlopende eigenschappen. Tabel 2.2, mechanische eigenschappen van alu-

minium, geeft hiervan een overzicht. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen koudtevervormde niet-thermisch veredeldbare (gewalste) typen, aangeduid met de letter H met daarachter een cijfer dat de walsgraad aangeeft en de thermisch veredeldbare legeringen die worden aangeduid met de letter T met een cijfer dat het type warmtebehandeling aangeeft.

2.3 Mechanische eigenschappen van de verbinding

De volgende factoren hebben invloed op de mechanische eigenschappen van de lasverbinding:

- ▶ de vakbekwaamheid van de lasser (kwaliteit van het laswerk);
- ▶ de ingebrachte hoeveelheid warmte;
- ▶ het toegepaste lasproces;
- ▶ de leveringstoestand van het werkstukmateriaal;
- ▶ de voorbereiding van de lasnaad;
- ▶ het type lastoevoegmateriaal;
- ▶ de dikte van het werkstukmateriaal.

Bij het lassen wordt het werkstukmateriaal naast de lasnaad altijd, gedurende kortere of langere tijd, verhit op een temperatuur die varieert van kamertemperatuur tot de temperatuur waarbij het werkstuk smelt.

Tengevolge van deze temperatuurvariaties zal, afhankelijk van de soort en de leveringstoestand, de sterkte van de lasverbinding (las en warmte-beïnvloede zone) meestal lager zijn dan die van het basismateriaal. Door de overdikte van de las en de doorlassingen kan in veel gevallen een gelijke sterkte van de verbinding aan die van het basismateriaal worden verkregen. De grootste invloed heeft de hoeveelheid ingebrachte warmte per lengte-eenheid. Uit het oogpunt van het behoud van de mechanische eigenschappen verdient een snel lasproces, zoals bijvoorbeeld het MIG-lassen, de voorkeur boven een relatief langzaam proces als het TIG-lassen.

Een tweede belangrijke factor is de keuze van het toevoegmateriaal. Meestal heeft het lasmetaal in de verbinding de laagste sterkte en niet de warmte-beïnvloede zone. De mechanische eigenschappen zijn daarom mede te beïnvloeden door de keuze van het toevoegmateriaal. Een toevoegmateriaal met een hoog Mg-gehalte kan bijvoorbeeld bij de 5xxx-typen uit oogpunt van sterkte de voorkeur verdienen.

Welke rekensterkte gekozen gaat worden, hangt ook af van de plaats van de las in de constructie en hoe deze wordt belast. Codes en normen geven daar voorschriften en richtlijnen voor. Gebruik kan worden gemaakt van de NEN 6710-1991 "Aluminiumconstructies TGB 1990²⁾", en van de NEN EN 1999 1-1 2007 "Eurocode 9: Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies deel 1t/m 5" (zie tabel 2.3).

tabel 2.1 Kenmerkende fysische eigenschappen

eigenschappen		aluminium	aluminiumlegering	ongelegeerd staal	aluminiumoxide
dichtheid	[kg/m ³]	2700	2600...2800	7850	3960
smeltpunt, smelttraject	[°C]	658	575...655	ca. 1500	2060
lineaire uitzettingscoëfficiënt	[m/m.K × 10 ⁻⁶]	23,7	22,5...24	12...15	–
gem. soortelijke warmte	[kJ/kg.K]	0,963	0,879...0,963	0,419	–
latente smeltwarmte	[kJ/kg]	393,5	387...393,5	205	–
totale warmtetoevoer tot het smelten	[kJ/kg]	1046,5	1046,5	879	–
warmtegeleidingscoëfficiënt	[W/m.K]	226	113...218	46	–
slink ¹⁾	[%]	7	4...6	3...5	–
krimp ²⁾	[%]	1,8	0,5...1,5	–	–

1) Volumevermindering tijdens het stollen.
 2) Volumevermindering tijdens het afkoelen van gestolde toestand tot kamertemperatuur (vanaf solidustemperatuur).

2) Met ingang van 2010 vervalt de TGB Aluminium constructies en is dan vervangen door Eurocode 9.

tabel 2.2 Mechanische eigenschappen van basismaterialen en levervormen

gemiddelde mechanische eigenschappen						levervormen				
type	hardheids-toestand ¹⁾	0,2% rekgrens	treksterkte	breekrek	Brinell hardheid	plaat	pijp	extrusies	gewalste	
		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]					staf	draad
EN AW-1050A	O	30	70	43	19	X	X	2)		
	H14	90	100	12	26	X	X		X	
	H18	125	130	6	35	X	X			
EN AW-1200	O	35	90	35	23	X	X		X	X
	H14	115	125	9	32	X	X		X	X
	H18	150	165	5	44	X	X		X	
EN AW-3103	O	40	110	30	28	X	X	2)	X	X
	H14	145	150	8	40	X	X		X	X
	H18	185	200	4	55	X	X			X
EN AW-5052	O	90	195	25	47	X	X	2)	X	X
	H32	195	230	12	60	X	X		X	X
	H34	215	260	10	68	X	X			X
EN AW-5083	O	145	290	20		X	X			
	H32	230	315	14		X	X			
EN AW-5086	O	115	260	22		X	X			
	H32	205	290	12		X	X			
EN AW-5251	O	60	210	20		X	X		X	
	H32	140	205	10		X	X		X	
	H34	170	225	5		X	X		X	
EN AW-5454	O	115	250	22	62	X	X			
	H32	205	275	10	73	X	X			
	H34	140	305	10	81	X	X			
EN AW-5754	O	80	210	20		X	X		X	X
	H32	165	240	9		X	X		X	X
	H34	190	260	5		X	X		X	X
EN AW-6005A	T5/T6	230	275	8	85		X	X		
EN AW-6060	T5/T6	160	200	14	60			X		
EN AW-6061	T4	130	200	18	65	X	X	X	X	X
	T5/T6	260	290	10	90	X	X	X	X	X
EN AW-6063	T5/T6	190	225	12	70		X	X		
EN AW-6082	T4	110	205	14	75	X	X	X	X	X
	T6 ³⁾	200	275	12	90	X	X	X	X	X
	T6	260	310	10	100	X	X	X	X	X
EN AW-7020	T6	320	380	12	125	X	X	X	X	X

1) Verklaring van de toegepaste aanduidingen voor de hardheidstoestand:
O gegloeide toestand.
H14, H18 Koudvervormd, hardheidstoestand respectievelijk ca. half en maximaal hard.
H32, H34 koudvervormd en gestabiliseerd, hardheidstoestand respectievelijk ca. 1/4- en 1/2-hard.
T4 oplosgegloeid en bij kamertemperatuur (natuurlijk) gehard.
T5/T6 oplosgegloeid, afgeschrikt en daarna kunstmatig gehard.
2) In de typen 1xxx, 3xxx en 5xxx kunnen extrusies worden geleverd in de F-toestand (toestand na het extruderen of warmwalsen, zonder nabehandeling).
3) Eigenschappen afhankelijk van levervorm, plaat of profiel.

tabel 2.3 Rekenwaarden van enkele aluminiumlegeringen conform de NEN 6710-1991

Aanduiding volgens NEN-EN 573-3 en NEN-EN 515-1995		Geëxtrudeerde profielen	Walsproducten (plaat en band) ¹⁾	mechanische eigenschappen			rekenwaarden
legering	toestand			$\sigma_{0,2; rep}$ ²⁾	$\sigma_t; rep$ ³⁾	$\epsilon_u; rep$ ⁴⁾	$\sigma_{0,2;d}$ ⁵⁾
				[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	[N/mm ²]
EN AW-AI 3003	H12		X	90	125	7	90
EN AW-AI 5083	O	X	X	125/140 ⁶⁾	270	12	125/140 ⁶⁾
EN AW-AI 5454	H34		X	200	270	10	200
EN AW-AI 2024	T4		X	290	440	14	290
EN AW-AI 6061	T6	X	X	240	260	8	210
EN AW-AI 6063	T5	X	X	160	215	12	160
EN AW-AI 6005A	T6	X		215	260	8	210
EN AW-AI 6082	T6	X	X	260	310	10	250
EN AW-AI 7003	T6	X	X	260	310	10	250
EN AW-AI 7020	T6	X	X	290	350	10	280
EN AW-AI 7075	T6	X	X	460	350	7	425

1) Een aantal legeringen is eveneens leverbaar in de vorm van buizen, stangen, rond en draad.

2) Representatieve 0,2% rekgrens.

3) Representatieve treksterkte.

4) Representatieve waarde rek na breuk.

5) 0,2% rekgrens tengevolge van de belasting (normaalspanning).

6) De waarde 140 N/mm² geldt voor geëxtrudeerde profielen.

In tabel 2.3 is een overzicht gegeven van de toelaatbare rekensterkten van de een aantal veel voorkomende legeringstypen. In de tabellen 2.4 en 2.5 (eveneens uit NEN 6710-1001) is een overzicht gegeven van de toelaatbare rekensterkten van de warmte-beïnvloede zone respectievelijk het lasmetaal voor zowel het TIG- als het MIG-lassen. Het is ook mogelijk om de tabellen uit Eurocode 9 te gebruiken.

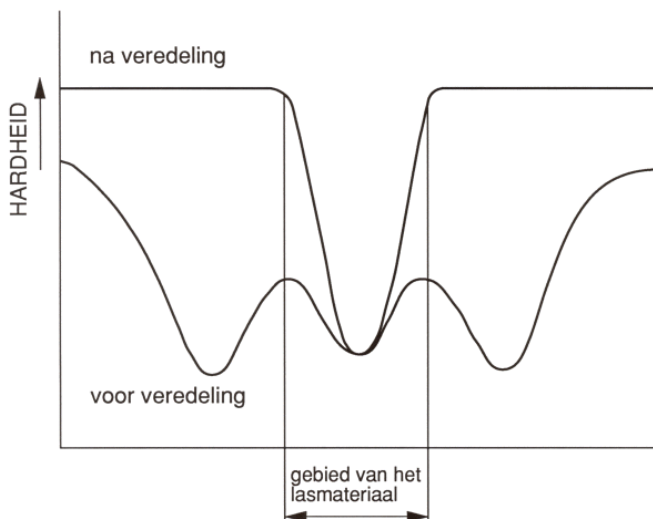
tabel 2.4 Representatieve waarden van de (reken)sterkte van legeringen in de warmte-beïnvloede zone

las-proces	representatieve waarde $f_{wz,rep}$ in N/mm ² (WBZ)							
	legering							
	EN AW-Al 3003 H12	EN AW-Al 5083 O	EN AW-Al 5454 H34	EN AW-Al 6061 T6	EN AW-Al 6063 T5	EN AW-Al 6082 T6	EN AW-Al 7003 T6	EN AW-Al 7020 T6
MIG	110	270	220	180	140	200	280	310
TIG	110	270	220	160	130	160	220	220

tabel 2.5 Representatieve waarden van de (reken)sterkte van het lasmetaal

toevoeg-metaal	representatieve waarde $f_{l,rep}$ in N/mm ² (lasmetaal)							
	legering							
	EN AW-Al 3003 H12	EN AW-Al 5083 O	EN AW-Al 5454 H34	EN AW-Al 6061 T6	EN AW-Al 6063 T5	EN AW-Al 6082 T6	EN AW-Al 7003 T6	EN AW-Al 7020 T6
ER 5356	n.v.t.	240	220	190	160	210	230	260
ER 4043	95	n.v.t.	n.v.t.	170	150	190	210	210

De sterkte van legeringen die voornamelijk wordt verkregen door koudvervorming, meestal het walsen, zal na het lassen niet eenvoudig meer kunnen worden hersteld. De sterkte van precipitatiegehard werkstukmateriaal, kan in principe voor een deel worden hersteld. Figuur 2.1 geeft weer hoe de hardheid (dus ook de sterkte) van een precipitatiegehard materiaal verloopt.



figuur 2.1 Invloed van een veredeling op een type AlMgSi

Een uitzondering onder de veredelbare legeringen is de 7xxx groep. Hiervan zullen de mechanische eigenschappen zich voor een deel weer kunnen herstellen door een natuurlijke veredeling (bij kamertemperatuur). Daarvoor is voor het type 7020 een periode van ca. 2 tot maximaal 3 maanden nodig, waarna ca. 80% van de oorspronkelijke sterkte weer aanwezig is.

Speciaal in de 7xxx groep zijn legeringen ontwikkeld met een ingewikkelde gecombineerde warmte-/walsbehandeling. Door het lassen zullen deze eigenschappen worden verstoord. In verband met de zeer uiteenlopende warmtebehandelingen bij de verschillende veredelbare aluminiumlegeringen wordt geadviseerd hierover de leverancier c.q. de fabrikant te raadplegen.

2.3.1 Warmtebehandelingen

Het zal niet vaak voorkomen dat gelaste aluminiumconstructies warmtebehandeld zullen worden. Het is uiteraard wel mogelijk na het lassen zo'n behandeling uit te voeren bij de veredelbare typen. Het voordeel is dan, dat de oorspronkelijke eigenschappen nagenoeg hersteld kunnen worden. Het nadeel is echter dat dan rekening moet worden gehouden met vervormingen van het product of de gelaste onderdelen.

Een veredeling bestaat uit drie fasen:

1. Het oplosgloeien. Hierbij wordt gegloeid op een temperatuur die, afhankelijk van het toegepaste type, kan variëren van ca. 460 tot 550 °C. Bij deze behandeling worden legeringselementen in oplossing gebracht.
2. Hierna schrikt men het materiaal in water of met lucht-circulatie af.
3. Afhankelijk van het gekozen type worden legeringselementen gedeeltelijk weer uitgescheiden met een precipitatieharding (stabiliserend gloeien). Hiervan kan de temperatuur variëren van kamertemperatuur (de 7xxx-legeringen) tot ca. 180 °C (onder andere bij de 6xxx-legeringen).

Voor elk type (veredelbare) aluminiumlegering is een specifieke warmtebehandeling noodzakelijk. Informatie hierover is te vinden in de Aluminium Standards and Data en bij de leveranciers.

In constructies waarbij door het lassen grote spanningen zijn ingebracht, kan het spanningsarm gloeien worden toegepast. Dat is nuttig als het legeringstype gevoelig is voor spanningscorrosie (zie § 2.4 "Corrosiebestendigheid"). Deze warmtebehandeling wordt uitgevoerd op een temperatuur tussen de ca. 230 en 250 °C.

Het zachtgloeien kan van pas komen als de vervormingsmogelijkheid van het materiaal verbruikt is. Om te voorkomen dat het materiaal dan gaat scheuren, kan het worden teruggebracht in de zachtgegloeide toestand. De warmtebehandelingstemperatuur hiervan ligt boven de grens waarop de structuur rekristalliseert en ligt meestal tussen ca. 320 en 400 °C. Er dient wel rekening te worden gehouden met het feit dat het materiaal zich dan inderdaad in de zachtgegloeide toestand bevindt. Bij het niet zorgvuldig genoeg zachtgloeien kan een ongewenste korrelgroei ontstaan en deze behandeling moet dan ook met zorg worden uitgevoerd. Beter is het de uitgangstoestand dusdanig te kiezen, dat de benodigde vervormingen zonder een zachtgloeibehandeling kunnen worden uitgevoerd. Voor al deze warmtebehandelingen geldt dat een oven met luchtcirculatie nodig is.

2.3.2 Aluminium bij lage en hoge temperaturen

Aluminium is bijzonder geschikt als constructiemateriaal bij lage temperatuur, omdat er geen verlies van kerftaaiheid optreedt. De treksterkte en rekgrens nemen bij aluminium toe met dalende temperatuur; bovendien is de rekvermindering gering.

Tanks voor opslag en transport van tot vloeistof verdichte gassen, zoals aardgas, stikstof en zuurstof worden vaak (als gelaste constructie) in aluminium uitgevoerd. De meest gebruikte legering voor deze toepassing is EN AW-5083.

Daarentegen nemen de rekgrens en treksterkte bij stijgende temperatuur vrij snel af, zodat zeker bij brand een aluminiumconstructie eerder zal bezwijken dan een stalen constructie. In tabel 2.6 zijn de mechanische eigenschappen weergegeven van EN AW-5083 vanaf -195 tot 370 °C.

tabel 2.6 Invloed van de temperatuur op de mechanische eigenschappen van type EN AW-5083

temperatuur	treksterkte	0,2% rekgrens	rek
[°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]
-195	405	165	36
-80	295	145	30
-30	290	145	27
100	275	145	36
150	215	130	50
260	115	75	80
370	41	29	130

2.4 Corrosiebestendigheid

2.4.1 Algemeen

Aluminium en aluminiumlegeringen zijn in lucht altijd met een dunne afsluitende oxidehuid bedekt, die verder oxideren van het metaal sterk belemmert. Deze oxidehuid is zeer hecht met het onderliggende metaal verbonden en vormt een isolerende laag met een hoge elektrische weerstand. Zonder die oxidehuid zou aluminium dan ook snel corroderen. In dit opzicht biedt aluminium een groot voordeel ten opzichte van staal, dat door zijn niet-afsluitende oxidehuid niet wordt beschermd. Na een beschadiging van het oppervlak zal bij aluminium de oxidehuid zich weer snel herstellen.

2.4.2 Corrosieverschijnselen

In principe zijn corrosieverschijnselen van elektrochemische aard. Er is een potentiaalverschil nodig en een elektrisch geleidend medium (elektrolyt) dat het contact tussen de negatieve en de positieve pool tot stand brengt, waardoor een stroomkring wordt gevormd. Het potentiaalverschil ontstaat op het grensvlak metaal-vloeistof tengevolge van:

1. galvanische werking;
2. legeringsbestanddelen van onderling verschillende potentiaal;
3. onderbroken oxidehuid;
4. materiaalspanningen;
5. verschillen in beluchting (onder andere spleetcorrosie);
6. onzuiverheden in het metaal;
7. verschillen in concentratie en elektrische geleidbaarheid van de elektrolyt.

Door het lassen kunnen de eerste vijf genoemde factoren een rol gaan spelen en wel om de volgende redenen:

- verschillende type aluminiumlegeringen kunnen aan elkaar worden verbonden;
- het toevoegmateriaal hoeft niet van dezelfde chemische samenstelling te zijn als het werkstukmateriaal;
- de oxidehuid wordt verstoord;
- er ontstaan lasspanningen;
- in een lasconstructie kunnen spleten voorkomen.

Van de hierna te bespreken corrosievormen zullen de meeste met name in gelaste constructies kunnen voorkomen.

2.4.3 Corrosievormen

De natuurlijk aanwezige oxidehuid kan op een aantal manieren worden aangetast. De aantasting kan echter na enige tijd stabiel worden door het vormen van een nieuwe oxidehuid. Dit kan plaatsvinden in zowel een industrie- als zeeklimaat. Bij aluminium kunnen als hoofdvormen van corrosie worden onderscheiden:

algemene corrosie

De oxidehuid wordt door het milieu opgelost, waardoor over het totale metaaloppervlak een gelijkmatige aantasting optreedt. Dit vindt vooral plaats bij blootstelling van aluminium aan sterke logen en zuren.

putcorrosie

Deze vorm kan optreden door plaatselijke potentiaalverschillen en kan vlak op of naast de las ontstaan. Oorzaken kunnen zijn aan het oppervlak hechtende vreemde deeltjes (bijvoorbeeld tengevolge van het slijpen), verstoring van de oxidehuid en het gebruik van lasmetaal van een met het werkstuk verschillende samenstelling.

interkristallijne corrosie

Door de invloed van de laswarmte kunnen, voornamelijk in de veredelbare typen, uitscheidingen op de kristalgrenzen ontstaan met mogelijke potentiaalverschillen. Onder invloed van het milieu kan het metaal langs de korrelgrenzen worden aangetast. Ook lasspanningen kunnen aanleiding geven tot problemen. Onder invloed van dergelijke spanningen kan een interkristallijne aantasting plaatsvinden, die dan spanningscorrosie wordt genoemd.

laminaire corrosie

Bij bepaalde legeringen, zoals de typen in de 5xxx en de 7xxx groep, kan een laagvormige (interkristallijne) aantasting parallel met het oppervlak (uitgaande van de snijkanten) plaatsvinden. Dit is een gevolg van inwendige materiaalspanningen meestal veroorzaakt door een sterke koudvervorming en een minder juiste warmtebehandeling. Deze vorm van corrosie kan bijvoorbeeld optreden bij het maken van buitenhoeklassen in dikke platen. Vooral als deze niet geheel worden gevuld, staan de plaatkanten bloot aan grote spanningen in combinatie met het milieu.

Tabel 2.7 toont de corrosievormen die bij verschillende typen aluminiumlegeringen kunnen ontstaan, wanneer deze onder ongunstige condities worden toegepast.

tabel 2.7 Mogelijke corrosievormen van een aantal aluminiumsoorten

type (EN AW)	algemene corrosie	put-corrosie	inter-kristallijne corrosie	spannings-corrosie	laminaire corrosie
1050A	★	o	o	o	o
1200	★	o	o	o	o
3103	★	o	o	o	o
5052	★	★	o	o	o
5083	★	★	o ¹⁾	o ¹⁾	o ¹⁾
5086	★	★	o ¹⁾	o ¹⁾	o ¹⁾
5251	★	★	o	o	o
5454	★	★	o	o	o
5754	★	★	o	o	o
6005A	★	★	o	o	o
6060	★	★	o	o	o
6061	★	★	o	o	o
6063	★	★	o	o	o
6082	★	★	★	o	o
7020	★	★	★	★	★

Indicaties in algemene zin voor de gevoeligheid voor corrosie:
 ★ = gevoelig voor de betreffende corrosievorm
 o = ongevoelig voor de betreffende corrosievorm
¹⁾ geldt voor zeewatermilieu en/of lagere temperaturen dan 75 °C

spleetcorrosie

Het is soms niet te vermijden dat in een gelaste constructie spleten ontstaan. Een voorbeeld is het lassen van pijpen in pijpplaten en bij overlappen. Als de spleten onvoldoende worden belucht, kan aantasting plaatsvinden.

galvanische corrosie

Bij aanwezigheid van een elektrolyt, bijvoorbeeld vochtige lucht, kan aluminium verbonden met metalen als koper,

messing, lood, nikkel of ijzer versneld worden aangetast. Het verbinden van dergelijke ongelijksoortige metalen zal praktisch alleen door mechanische middelen gebeuren en bij uitzondering door het lassen. In beide gevallen moeten speciale beschermende maatregelen worden getroffen. Dit is het geval bij Triclad materiaal waar twee verschillende aluminiumlegeringen aan staal verbonden zijn.

2.4.4 *Maatregelen om corrosie te voorkomen*

Maatregelen om achteruitgang van de corrosiebestendigheid van een gelaste verbinding zoveel mogelijk tegen te gaan, zijn:

1. juiste materiaalkeuze, zowel voor het werkstuk- als het lastoevoegmateriaal;
2. het realiseren van 'spleetvrije' constructies (of bewust ruime spleten toepassen);
3. de spanningen in het werkstuk zo laag mogelijk houden door het kiezen van een goede lasvolgorde en het lassen met zo min mogelijk in te brengen warmte uitvoeren;
4. het oppervlak voorzien van een afdeklaag.

Hoofdstuk 3

Aluminium kneedlegeringen

3.1 Algemeen

Van een aantal aluminiumlegeringen, waarvan in tabel 1.8 al enige toepassingen zijn genoemd, zullen in dit hoofdstuk enige bijzonderheden worden vermeld. Deze hebben betrekking op de specifieke eigenschappen van de materialen en punten die van belang zijn bij de verwerking. De aluminiumlegeringen zullen in groepen worden behandeld. Er is namelijk binnen een groep een zekere mate van overeenkomst met betrekking tot de eigenschappen. Daar waar er verschillen zijn zal dat worden aangegeven.

3.2 Groep 1xxx

Met deze groep wordt zuiver aluminium met een aluminiumgehalte van 99% of meer aangeduid. In de meeste gevallen zijn geringe hoeveelheden verontreinigingen aanwezig, zoals Fe, Si, Mn, Mg en Cu. Omdat geen legeringselementen zijn toegevoegd, is dit de enige groep waarvan aluminium het hoofdbestanddeel vormt.

De typen worden gekenmerkt door een uitstekende corrosiebestendigheid en een hoge warmte- en elektrische geleidbaarheid. De vervormbaarheid is zeer goed, maar de mechanische eigenschappen zijn laag. Koudvervorming verhoogt de sterkte, maar deze gaat door het lassen in de warmte-beïnvloede zone weer grotendeels verloren.

Door de matige sterkte worden deze soorten niet als constructiemateriaal toegepast. Wel worden ze als bekledingsmateriaal, vanwege bescherming tegen corrosie, op andere aluminiumlegeringen aangebracht (clad-materialen).

De lasbaarheid van de materialen is goed, hoewel het type EN AW-1050A [Al 99.5] iets scheur gevoeliger is dan type EN AW-1200. In de praktijk zal dit nauwelijks van belang blijken te zijn. Als toevoegmateriaal worden lasdraden met een identieke chemische samenstelling gebruikt. Het lasbad gedraagt zich wat "stroperig", wanneer dat wordt vergeleken met die van aluminiumlegeringen.

Toepassingen vinden plaats als bekleding van tanks voor opslag en transport van chemicaliën, elektriciteitsvoorziening en als verpakkingsmateriaal in de vorm van folie, bakjes, enz.

3.3 Groep 2xxx

De legeringen in deze groep worden weinig voor booggelaste constructies gebruikt vanwege hun warmescheur gevoeligheid bij het smeltlassen. Deze gevoeligheid wordt voornamelijk veroorzaakt door het element koper; de legeringen met meer dan 3% Cu zijn hier het meest gevoelig voor. Het zijn materialen die vanwege hun hoge sterkte vooral in de vliegtuigbouw worden gebruikt en dan zijn voorzien van een aluminium clad-laag. Ze worden meestal geklonken of gelijmd.

Een uitzondering voor wat betreft de lasbaarheid is het type EN AW-2219, een materiaal met 6,3% Cu en 0,3% Mn. Het is een type dat geschikt is voor toepassing tot ca. 320 °C en wordt onder andere gebruikt voor brandstoftanks van ruimtevoertuigen. De corrosie-eigenschappen zijn zeer matig als gevolg van de aanwezigheid van koper. Als toevoegmateriaal wordt een overeenkomstig type (EN AW-2319) gebruikt.

3.4 Groep 3xxx

Mangaan is voor deze groep het belangrijkste legeringselement. De typen uit deze groep hebben een goede corrosiebestendigheid en zijn wat dit betreft met de typen uit de 1xxx groep te vergelijken. De mechanische eigenschappen liggen echter hoger en ze worden daarom als een con-

structiemateriaal gebruikt voor lichtbelaste constructies. De treksterkte van de lasverbinding ligt ca. 40% hoger dan die bij de 1xxx groep.

De typen zijn uitstekend lasbaar, maar het lasbad vloeit, net als bij de 1xxx-serie, wat traag. Als toevoegmateriaal kan worden gekozen voor een identieke lasdraad of een EN AW4043 (AlSi5) type afhankelijk van de toepassing (zie hoofdstuk 6, "Lasprocessen").

De toepassing van de 3xxx serie is onder andere dakbedekking, gevelbekleding, warmtewisselaars en voor matig belaste onderdelen in de scheeps- en carrosseriebouw.

3.5 Groep 5xxx

De materialen in deze groep hebben naast goede mechanische eigenschappen eveneens een goede corrosiebestendigheid in met name zeewater. Ze hebben hun mechanische sterkte voornamelijk te danken aan het element magnesium (Mg). Dit varieert van ca. 1,7 tot 5%. Ze hebben een brede toepassing, zoals onder andere in de scheeps- en carrosseriebouw, voor opslagtanks en leidingssystemen. Het type EN AW-5083 bijvoorbeeld heeft bekendheid gekregen voor zijn gebruik bij lage temperaturen. Het combineert dan een goede sterkte en ductiliteit. De 5xxx groep is van de koudvervormde typen het meest toegepast.

De 5xxx groep behoort tot de categorie van de walsharde legeringen en wordt in verschillende hardheden geleverd. Gebruikelijk is om de legering in de kwart- tot halfharde conditie te bewerken. Het is dan nog mogelijk vervormingen (buigen en zetten) goed uit te voeren. Bovendien zijn de rekgrenzen en de treksterkte dan reeds op een relatief hoog niveau. In de zachtgegloeide toestand is de rekgrens laag en in die toestand moet het als constructiemateriaal niet worden toegepast.

Hoewel de corrosiebestendigheid van de typen met meer dan 3,5% Mg onder andere in een zeewatermilieu zeer goed is, moeten toepassingen in corrosieve milieus boven een temperatuur van ca. 75 °C worden vermeden. De mogelijkheid van het optreden van spanningscorrosie is dan aanwezig. Een warmtebehandeling gedurende 1 uur op 250 °C zal de kans op deze corrosievorm verkleinen.

De legeringen uit deze groep zijn goed lasbaar, maar bij een Mg-gehalte van ca. 1,2% is er sprake van een verhoogde gevoeligheid voor warmescheuren. Het element mangaan (Mn) en ook in zekere mate Fe en Si beperken de gevoeligheid voor warmescheuren tot een smal gebied van het Mg-gehalte, zoals hierboven aangegeven.

Ook zal porositeit bij de meeste lasprocessen, door opname van waterstof en door het verdampen van magnesium, meestal niet te vermijden zijn. Om het uitdampen van magnesium te compenseren, zal het toevoegmateriaal altijd een hoger Mg-gehalte moeten hebben dan het basismateriaal. Als opvolger van de bekende EN AW-5083 zijn hoogsterke varianten uitgebracht: EN AW-5383 en EN AW-5059. De sterkte en rekgrenzen zijn hierdoor hoger (zie tabel 3.1).

tabel 3.1 Overzicht van aantal legeringen uit groep 5xxx met hun eigenschappen

legering	rekgrens	treksterkte	breekrek
	[MPa]	[MPa]	[%]
EN AW-5083 H0	125	270	15
EN AW-5083 H321	215	300	10
EN AW-5059 H116	270	370	10
EN AW-5059 H321	270	370	10
EN AW-5383 H0	145	290	17
EN AW-5383 H116	220	305	10
EN AW-5383 H321	220	305	10

Deze legeringen bevatten een iets hoger gehalte aan legeringselementen en korrelverfijners. Met deze legeringen kan lichter worden geconstrueerd (dunnere plaat gebrui-

ken, minder verstijvers plaatsen). Voor de EN AW-5383 en EN AW-5059 legeringen worden doorgaans conventionele lastoevoegmaterialen (EN AW-5183 en EN AW5356) gebruikt, omdat speciale lastoevoegmaterialen hiervoor nog niet ontwikkeld zijn.

3.6 Groep 6xxx

De legeringen uit de 6xxx groep laten zich zeer uitstekend extruderen. Vrijwel elk profiel of elke buis is vervaardigd van een legering uit de 6xxx serie.

Deze legeringen bevatten toevoegingen van de elementen Si en Mg, in zodanige op elkaar afgestemde hoeveelheden, dat het 'magnesium-silicide' (Mg_2Si) wordt gevormd. Het gevolg van deze toevoegingen is, dat deze soorten door een geschikte warmtebehandeling aanzienlijk in sterkte toenemen.

Naast deze hoofdlegeringselementen worden in geringe mate Mn en/of Cr toegevoegd. Belangrijke typen in deze groep zijn de typen: EN AW-6063, EN AW-6061, EN AW-6082 en EN AW-6005A. Ze worden daar toegepast waar een goede sterkte, corrosiebestendigheid en vervormbaarheid zijn gewenst.

Vervormingen kunnen goed worden uitgevoerd in de zachtgegloeide of de T4-toestand en het materiaal kan vervolgens door een aanvullende warmtebehandeling in de T5/T6-toestand worden gebracht. Legeringen kunnen worden geëxtrudeerd in de vorm van zeer ingewikkelde profielen met geringe wanddikten.

De lasbaarheid is over het algemeen goed. Wel is de warm-scheurgevoeligheid groter dan bij de legeringen van de 5xxx-groep. Typen met gemiddeld 0,7% Mg en Si (EN AW-6063) blijken het meest scheurgevoelig te zijn. Een goed alternatief is het type EN AW-6082. Ook beperkt koperhoudende typen zoals de EN AW-6061 zijn meer warm-scheurgevoelig dan de andere typen.

De warm-scheurgevoeligheid wordt belangrijk beïnvloed door de mate waarin het lasdeel kan uitzetten en krimpen. Hoofdstuk 4 "Constructieve uitvoeringen" geeft hierover aanwijzingen. Door het kiezen van het toevoegmateriaal van het type EN AW-4043 (AlSi5) kan de scheurgevoeligheid worden teruggedrongen. Gebruikelijker is gebruik te maken van de groep van AlMg5-toevoegmaterialen met gemiddeld 5% Mg en toevoegingen van elementen om de lasbaarheid te verbeteren en een hogere sterkte van het lasmetaal te bereiken. Rekening moet dan worden gehouden met kleurverschil na het anodiseren.

Door het lassen zal in de warmte-beïnvloede zone een belangrijk deel van de, door een warmtebehandeling verkregen, sterkte verloren gaan. Een warmtebehandeling kan dit gedeeltelijk herstellen, maar het product leent zich daarvoor niet altijd.

Het toepassingsgebied van de 6xxx is breed en wordt in belangrijke mate bepaald door overwegingen bij het kiezen voor de profielvorm die gerealiseerd wordt door het extrusieproces. Toepassingen liggen op het gebied van de voertuigbouw, bouwconstructies, scheeps- en wagonbouw.

3.7 Groep 7xxx

In deze groep worden de gunstige mechanische eigenschappen verkregen door een warmtebehandeling en is zink (Zn) het belangrijkste legeringselement. Hier worden elementen als Mg, Cu, Cr en Zr aan toegevoegd. Er is een groep van AlZnMg- en één van AlZnMgCu-legeringen. De laatste geeft de meeste problemen bij het lassen. Van de eerste groep is er een aantal legeringen die redelijk tot goed lasbaar zijn. Het grootste probleem vormt de gevoeligheid voor spanningscorrosie. Deze kan binnen de perken worden gehouden door het toevoegen van elementen als borium en zirconium in combinatie met een complexe wals/extrusie-warmtebehandelingscyclus.

Een groot voordeel van deze groep legeringen zijn de gunstige mechanische eigenschappen. Deze kunnen na het lassen, door een natuurlijke veroudering, weer voor een

deel (70 à 80%) worden hersteld. Dit onderscheidt hen van de 6xxx groep. Het herstel vergt bij kamertemperatuur ca. 1 tot 3 maanden, maar deze tijd kan bij een verhoogde temperatuur belangrijk worden bekort.

Behalve het in tabel 1.7 genoemde type EN AW-7020, is er een aantal legeringen die niet mank gaat aan bovengenoemde bezwaren, zoals de gevoeligheid voor spanningscorrosie. Eén van die legeringen is het type EN AW-7475, weliswaar een koperhoudend materiaal, maar goed lasbaar. Een treksterkte van ca. 550 N/mm² bij een rek van 9% zijn gangbare waarden.

Het toepassingsgebied van de legeringen zal dezelfde kunnen zijn als die voor de groep 6xxx, echter voor zwaarder belaste constructies. Vanwege hun gunstige ballistische eigenschappen worden de materialen ook toegepast in pantservoertuigen.

3.8 Groep 8xxx lithiumhoudende legeringen

Wanneer het element lithium (Li) wordt toegevoegd aan een aluminiumlegering, dan nemen de sterkte-eigenschappen belangrijk toe. Lithium wordt toegevoegd aan legeringen van de groepen 2xxx, 5xxx en 7xxx. De groep 8xxx is bedoeld om de specifieke Al-Li legeringen aan te geven. De soortelijke massa van lithium is gering en bedraagt ca. 500 kg/m³. Bij een toevoeging van 2,5% Li kan het gewicht met ca. 10% afnemen, terwijl de elasticiteitsmodulus kan toenemen met 10%.

De materialen worden nog hoofdzakelijk in de vliegtuig-industrie gebruikt. Klinken en lijmen zijn voorlopig nog de enige verbindingsmethoden om profijt te kunnen trekken van de eigenschappen. Zelfs met hoogwaardige lasprocessen als het elektronenbundel- en het laserlassen moet rekening worden gehouden met een teruggang van 20 tot 50% van de mechanische eigenschappen. Nieuwe lastechnieken zoals wrijvingsroerlassen hebben een geringere reductie in mechanische eigenschappen.

Zowel in de groep 2xxx, 5xxx, 7xxx als in de groep 8xxx, komen materialen voor die zogenaamd superplastische eigenschappen bezitten. Dat wil zeggen dat deze legeringen zeer grote rekpercentages kunnen vertonen.

Hoofdstuk 4

Aluminiumgietlegeringen

4.1 Inleiding

Speciaal voor vormgieten samengestelde aluminiumlegeringen zijn uitermate geschikt voor het maken van werkstukken met ingewikkelde vormen. De relatief hoge sterkte, het lage gewicht en de goede corrosiebestendigheid van een aantal aluminiumgietlegeringen zijn belangrijke factoren bij de materiaalkeuze.

Aluminiumgietlegeringen zijn er in een grote verscheidenheid. Een aantal is redelijk tot goed te lassen. Naast het legeringstype is de fabricagemethode van het gietstuk een factor voor de beoordeling van de lasbaarheid van aluminiumgietstukken. Gietstukken in aluminium worden meestal gefabriceerd volgens de methoden:

1. *Spuitsgieten*

Het meeste vormgietwerk in aluminium wordt gemaakt volgens het spuitgietproces. Bij grote aantallen is deze methode het laagst in prijs en zijn de vormvastheid en maatnauwkeurigheid zeer goed. Lassen van spuitgegoten aluminium wordt nauwelijks toegepast, ook al omdat in het werkstuk vaak gietholten voorkomen die niet nadelig zijn voor het functioneren van het gietstuk maar een handicap kunnen vormen bij het lassen.

2. *Kokillegieten*

Na spuitgieten de meest gebruikte methode voor minder grote aantallen. Kwalitatief hoogwaardig ook voor werkstukken met dunne wanden. In daarvoor geschikte legeringen uitstekend lasbaar.

3. *Zandgieten*

Wordt het meest toegepast voor geringe aantallen, waarbij de vormkosten een grote rol spelen bij de prijsvorming. Meestal werkstukken met grotere wanddikten. In daarvoor geschikte legeringen uitstekend lasbaar.

Het lassen van gegoten aluminium betreft overwegend reparatiewerk. Daaronder wordt ook begrepen het herstellen door middel van lassen van kleinere gietfouten in nieuw gegoten werkstukken.

Daarnaast komt ook constructielassen regelmatig voor, bijvoorbeeld het aan elkaar bevestigen door middel van lassen van meerdere gietstukken tot één constructie, maar ook

het aan elkaar bevestigen door lassen van een gegoten deel aan een onderdeel vervaardigd uit plaat of profiel.

4.2 Soorten gietlegeringen geschikt voor lassen

Een aanzienlijk aantal aluminiumgietlegeringen is niet of minder geschikt om te worden gelast. Derhalve zijn in tabel 4.1 alleen die soorten opgenomen die wel gelast kunnen worden. Ook de vele spuitgietlegeringen zijn niet opgenomen, omdat ze in veel gevallen niet goed lasbaar zijn. Het is gebruikelijk de gietlegeringen te benoemen volgens het EN 1780 of DIN 1725. Alternatief kan de numerieke codering volgens VDG worden gebruikt.

In de tabel is dan ook de aanduidingsmethode en de chemische samenstelling overeenkomstig EN 1706:1998 "Chemische samenstelling en mechanische eigenschappen", EN 1780, VDG en DIN 1725 gebruikt. Tabel 4.2 geeft een overzicht van de toepassingen en enkele eigenschappen.

4.3 Warmtebehandelingen

Afhankelijk van de eisen die men aan het gietstuk stelt, gebruikt men dit in een onveredelde toestand of veredeld (het gietstuk heeft dan een warmtebehandeling ondergaan). Gietstukken zijn derhalve in de volgende toestanden verkrijgbaar:

- onveredeld, zonder verdere warmtebehandeling;
- veredeld, afhankelijk van de soort legering wordt het gietstuk homogeen gegloeid bij een temperatuur van 450-550 °C en in koud of warm water dan wel in olie afgeschrikt;
- volveredeld, na homogeen gloeien en afschrikken ondergaat het gietstuk een precipitatieharding. Het wordt dan gegloeid bij een temperatuur van 100-200 °C, gedurende 1/2 tot 24 uur. Temperatuur en gloeiduur zijn afhankelijk van de soort legering en de toepassing.

Volveredelen is alleen mogelijk bij de legeringen AlMg3Si, AlSi5Mg, AlSi7Mg, AlSi10Mg en AlSi10MgCu.

Voor lassen is het belangrijk om te weten of het gietstuk al dan niet veredeld is en in welke veredelingsstoestand het zich bevindt. Bij veredeld materiaal moet ermee rekening worden gehouden, dat de mechanische eigenschappen in de las en in een zone naast de las negatief worden beïnvloed door de laswarmte. De mechanische eigenschappen van gietmateriaal in verschillende leveringsstoestanden zijn vermeld in tabel 4.3.

tabel 4.1 Chemische samenstelling van gietlegeringen geschikt voor het lassen

legering	belangrijkste elementen	andere elementen	smelttraject	lasbaarheid
	[%]	[%]	[°C]	
G-AlMg3	Mg: 2,5 - 3,5	Si max. 0,5; Fe max. 0,5; Cu max. 0,05; Mn 0 - 0,4; Zn max. 0,10	580 - 650	voldoende
G-AlMg3Si	Mg: 2,5 - 3,5 Si: 0,9 - 1,3	Fe max. 0,5; Cu max. 0,05; Mn 0 - 0,4; Zn max. 0,10	580 - 650	goed
G-AlSi5Mg	Si: 5,0 - 6,0 Mg: 0,4 - 0,8	Fe max. 0,5; Cu max. 0,05; Mn 0 - 0,4; Zn max. 0,10	560 - 630	goed
G-AlSi7Mg	Si: 6,5 - 7,5 Mg: 0,20 - 0,40	Fe max. 0,18; Cu max. 0,05; Mn 0 - 0,5; Zn max. 0,07	550 - 625	goed
G-AlSi10Mg	Si: 9,0 - 11,0 Mg: 0,20 - 0,50	Fe max. 0,5; Cu max. 0,05; Mn 0 - 0,4; Zn max. 0,10	575 - 620	uitstekend
G-AlSi10MgCu	Si: 9,0 - 11,0 Mg: 0,20 - 0,50 Cu: max. 0,3	Fe max. 0,6; Mn 0,2 - 0,5; Zn max. 0,3	570 - 620	uitstekend
G-AlSi12	Si: 11,0 - 13,5	Fe max. 0,5; Cu max. 0,05; Mn 0 - 0,4; Mg max. 0,05 Zn max. 0,10	575 - 585	uitstekend
G-AlSi12Cu	Si: 11,0 - 13,0 Cu: max. 1,0	Fe max. 0,8; Mn 0,2 - 0,5; Mg max. 0,05; Zn max. 0,5	575 - 585	uitstekend
G-AlSi6Cu4	Si: 5,0 - 7,0 Cu: 3,0 - 5,0	Fe max. 1,0; Mn 0,3 - 0,6; Mg 0,1 - 0,3; Zn max. 2,0	510 - 620	zeer goed
G-AlSi8Cu3	Si: 7,5 - 9,5 Cu: 2,0 - 3,5	Fe max. 0,8; Mn 0,2 - 0,5; Mg 0 - 0,3; Zn max. 1,2	510 - 610	uitstekend

tabel 4.2 Overzicht van de toepassingen en eigenschappen van gietlegeringen

Legering	Toepassing en enkele eigenschappen
G-AlMg3	Voor gietstukken waarbij een decoratief oppervlak gewenst is, zeer goede corrosiebestendigheid ook in zeewater. Binnen- en buitentoeepassingen in de scheepsbouw en architectuur, huishoudapparatuur, voedingsmiddelen industrie, bekledingen.
G-AlMg3Si	Toepassingen en eigenschappen als bij G-AlMg3 maar de gietbaarheid is wat beter. Daarnaast is deze legering door een warmtebehandeling veredelbaar met als gevolg dat de mechanische eigenschappen wat beter zijn.
G-AlSi5Mg	Goede corrosiebestendigheid, betere mechanische eigenschappen na veredelen. Toepassingen in de chemische- en voedingsmiddelenindustrie, bouwbeslag.
G-AlSi7Mg	Zeer geschikt materiaal voor wat grotere wanddikten, hoge sterkte en taaiheid na veredelen, goed corrosiebestendig. Toepassingen in de vliegtuigbouw en de scheepsbouw.
G-AlSi10Mg	Voor ingewikkeld dunwandig gietwerk met grote sterkte na een geëigende warmtebehandeling, goede corrosiebestendigheid. Voor hoogbelaste machine-onderdelen zoals cilinderkoppen, assen, remcilinders.
G-AlSi10MgCu	Als bij G-AlSi10Mg, indien er lagere eisen gesteld worden voor de corrosiebestendigheid.
G-AlSi12	Eutectische legering voor universele toepassingen, moeilijke dunwandige gietstukken, zeer goede corrosiebestendigheid. Onderdelen voor machines, cilinderkoppen, motorblokken, pomphuisen, vliegwielen.
G-AlSi12Cu	Als bij G-AlSi12 indien er lagere eisen worden gesteld aan de corrosiebestendigheid.
G-AlSi6Cu4	Voor veel doelen toepasbaar, hoge sterkte bij hogere temperatuur. Niet geschikt bij hoge eisen aan de corrosiebestendigheid. Onderdelen voor machines en motoren, elektrotechnische onderdelen.
G-AlSi8Cu3	Voor veel uiteenlopende toepassingen, ook voor ingewikkelde dunwandige gietstukken, hoge sterkte ook bij hogere temperaturen, matige corrosiebestendigheid. Gecomplexeerde machine- en motoronderdelen, elektrotechniek, elektromotoren.

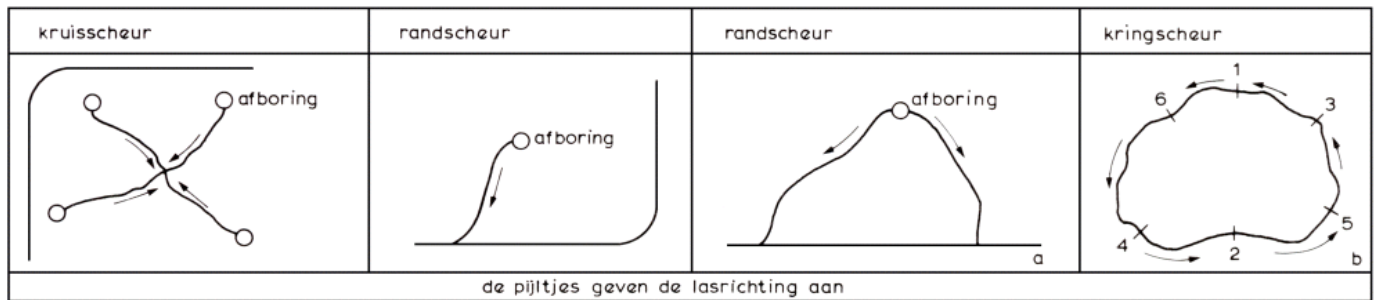
tabel 4.3 Mechanische eigenschappen van gietlegeringen in verschillende leveringstoestanden

legering	gietmethode	leveringstoestand	rekgrens	treksterkte	rek	hardheid Brinell
			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	
G-AlMg3	zandgieten		70 - 100	140 - 190	3 - 8	50 - 60
	kokillegieten		70 - 100	150 - 200	5 - 12	50 - 60
G-AlMg3Si	zandgieten	giettoestand	80 - 100	140 - 190	3 - 8	50 - 60
	zandgieten	volveredeld	120 - 160	200 - 280	2 - 8	65 - 90
	kokillegieten	giettoestand	80 - 100	150 - 200	4 - 10	50 - 65
	kokillegieten	volveredeld	120 - 180	220 - 300	3 - 10	65 - 90
G-AlSi5Mg	zandgieten	giettoestand	100 - 130	140 - 180	1 - 3	55 - 70
	zandgieten	veredeld	150 - 180	180 - 250	2 - 5	70 - 85
	zandgieten	volveredeld	220 - 290	240 - 300	0,5 - 2	80 - 110
	kokillegieten	giettoestand	120 - 160	160 - 200	1,5 - 4	60 - 75
	kokillegieten	veredeld	160 - 190	210 - 270	2 - 8	70 - 90
G-AlSi7Mg	zandgieten	volveredeld	190 - 240	230 - 310	2 - 5	75 - 105
	kokillegieten	volveredeld	200 - 280	250 - 340	5 - 9	80 - 105
G-AlSi10Mg	zandgieten	giettoestand	80 - 110	170 - 220	2 - 8	50 - 60
	zandgieten	volveredeld	180 - 260	220 - 320	1 - 4	80 - 110
	kokillegieten	giettoestand	90 - 120	180 - 240	2 - 6	60 - 80
	kokillegieten	volveredeld	210 - 280	240 - 320	1 - 4	85 - 115
G-AlSi10MgCu	zandgieten	giettoestand	80 - 110	180 - 240	1 - 4	55 - 65
	zandgieten	volveredeld	180 - 260	220 - 320	1 - 3	80 - 110
	kokillegieten	giettoestand	90 - 140	200 - 260	1 - 3	65 - 85
	kokillegieten	volveredeld	210 - 280	240 - 320	1 - 3	85 - 115
G-AlSi12	zandgieten	giettoestand	70 - 100	160 - 210	5 - 10	45 - 60
	zandgieten	veredeld	80 - 110	160 - 210	6 - 12	50 - 60
	kokillegieten	giettoestand	80 - 110	180 - 240	6 - 12	50 - 60
	kokillegieten	veredeld	80 - 110	180 - 240	6 - 12	50 - 60
G-AlSi12Cu	zandgieten	giettoestand	80 - 100	150 - 200	1 - 4	50 - 65
	kokillegieten	giettoestand	90 - 120	180 - 260	2 - 4	55 - 75
G-AlSi6Cu4	zandgieten	giettoestand	100 - 150	160 - 200	1 - 3	60 - 80
	kokillegieten	giettoestand	120 - 180	180 - 240	1 - 3	70 - 100
G-AlSi8Cu3	zandgieten	giettoestand	100 - 150	160 - 200	1 - 3	65 - 90
	kokillegieten	giettoestand	110 - 160	170 - 220	1 - 3	70 - 100

4.4 Reparatielassen

Beschadigde gietstukken kunnen door lassen worden gerepareerd. Voorwarmen van het gietstuk is meestal gewenst, afboren van scheuruiteinden wordt aanbevolen. Ook kleine gietfouten, die nogal eens voorkomen bij het fabricageproces, kunnen vaak door middel van lassen worden weggewerkt. Voor het afboren van scheuren en de lasvolgorde wordt verwezen naar figuur 4.1.

Zowel het TIG- als het MIG-lassen kan worden toegepast. Het TIG-lassen heeft bij deze vorm van reparatielassen de voorkeur, omdat dan gegoten staven van dezelfde legering als het gietstuk als toevoegmetaal kunnen worden toegepast. Bij de voorbereiding voor het lassen van gescheurde gietstukken is een goede naadvoorbereiding zeer belangrijk. Absoluut noodzakelijk is het dat olie- en vetresten zorgvuldig worden verwijderd. Het is aan te bevelen een kelknaad te gebruiken.



figuur 4.1 Repareren van scheuren

4.5 Herkenning van het materiaal in de praktijk

Voor het lassen van gietstukken van aluminium moet men weten of men met ongelegeerd, gelegeerd aluminium of magnesiumlegering te maken heeft en met welk legerings-type. Indien men daarover in het onzekere verkeert, moet men onderzoek doen met een zogenaamde 'druppelproef' (zie tabel 4.4).

tabel 4.4 Overzicht van de druppelproef

natrium-hydroxide-proef	bevindingen		salpeter-zuurproef	bevindingen		mogelijke legerings-typen
	aanwezig	afwezig		aanwezig	afwezig	
geen reactie			heftige reactie			Mg-legeringen
witte vlek	Si (< 2%) Mn	Cu Zn				AlMg AlMn AlMgSi
zwarte of grijze vlek	Cu		verkleuring verdwijnt	Cu Zn	Si	Al-legeringen met Mg en vrij veel Cu of Zn
	Zn Si		verkleuring blijft	Si		Al-legeringen met hoog gehalte aan Si

Uitvoering druppelproef

- Op een blank gepolijst gedeelte van het materiaal brengt men 1 of 2 druppels van een 20-procentige oplossing van natriumhydroxide (NaOH: natronloog, handelskwaliteit) en wacht 5 tot 10 minuten. Geeft de druppel in die tijd:
 - geen reactie, dan heeft men te maken met magnesium of een magnesiumlegering;
 - wel reactie (gasblaasjes), dan is het aluminium of een aluminiumlegering.

Spoelt men de druppel af met water en de achterblijvende vlek is:

 - wit, dan bevat de legering geen koper of zink en minder dan 2% silicium;
 - zwart of grijs, dan zijn koper, zink en silicium in belangrijke mate als legeringsbestanddeel aanwezig.
- Brengt men nu, na drogen met filterpapier, een druppel sterk salpeterzuur (HNO_3 , handelskwaliteit) op de gekleurde vlek, en:
 - wordt deze blank, dan wijst dit op de aanwezigheid van koper of zink;
 - verdwijnt de verkleuring niet, dan heeft men te doen met een hoog gehalte aan silicium.

Voor een juiste bepaling van de chemische samenstelling van het materiaal moet een chemische analyse worden uitgevoerd. Dit kan bij vele keuringsinstanties, onderzoeksinstellingen en universiteiten.

4.6 Toevoegmateriaal

Het te gebruiken toevoegmateriaal hangt af van de chemische samenstelling van het gietstuk, voor een keuze zie tabel 4.5. In tabel 7.6 is de chemische samenstelling van de verschillende te gebruiken toevoegmaterialen weergegeven.

4.7 Maatregelen voor het lassen

Het te lassen werkstuk dient grondig te worden gereinigd. Bij reparatielassen van gebruikte gietstukken is dit meestal een groot probleem, omdat deze sterk verontreinigd kunnen zijn, vooral als er diepe scheuren aanwezig zijn. Blijven er resten van vet of olie achter, dan is het onmogelijk om ter plaatse een goede las te maken. Uitslijpen of uitslijpen van scheuren is dan ook beslist noodzakelijk. Na het uitslijpen altijd controleren met penetrant of de scheur voldoende diep is uitgeslepen. Bij voorkeur wordt overigens gefreesd met bijvoorbeeld een luchttoel, omdat bij het slijpen de kans bestaat dat de scheur wordt 'dichtgesmeerd'.

Gietstukken met een ingewikkelde vorm en ongelijke wanddikte zijn gevoelig voor scheurvorming door lasspanningen. In veel gevallen is het dan ook noodzakelijk om het gehele gietstuk voor te warmen. Is dit laatste niet mogelijk, dan in ieder geval plaatselijk voorwarmen. De voorwarmtemperatuur bedraagt 150-200 °C afhankelijk van de legering en de vorm van het gietstuk.

Tijdens lassen verdient het de voorkeur het gietstuk op de voorwarmtemperatuur te houden. Is het een groot gietstuk, dan zal veelal tijdens het lassen moeten worden bijverwarmd. Na het lassen moet het werkstuk langzaam en gelijkmatig afkoelen, bij voorkeur in een oven of bijvoorbeeld afdekken met isolatiemateriaal.

4.8 Eigenschappen van de verbinding

De invloed van de ingebrachte warmte op de mechanische eigenschappen is afhankelijk van de legering en of het gietstuk al dan niet een warmtebehandeling heeft ondergaan. Bij reparatielassen van nieuwe gietstukken is lassen voor de warmtebehandeling gewenst, de las krijgt dan bij de warmtebehandeling dezelfde of nagenoeg dezelfde sterkte als de rest van het gietstuk. Gietwerk kan hollen hebben met gasinsluitingen en tijdens het lassen komt het ingesloten gas vrij. Het is praktisch uitgesloten om dan lassen zonder poreusheid te verkrijgen. Gietstukken die een warmtebehandeling hebben ondergaan en worden gelast in de veredelde of volveredelde toestand, verliezen in de las een deel van hun sterkte. Wordt het gietstuk na het lassen opnieuw warmtebehandeld, dan kunnen de oorspronkelijke mechanische eigenschappen geheel of grotendeels weer worden hersteld.

4.9 Corrosiebestendigheid

De corrosiebestendigheid van gietstukken kan door het lasproces nadelig worden beïnvloed. Door structuurverandering in de las, maar ook door een afwijkende samenstelling van gietstuk en toevoegmetaal, zijn in een vochtige omgeving potentiaalverschillen tussen las en gietstuk mogelijk.

Corrosie kan dan optreden in de las of in het gietstuk op de overgang van las en gietstuk.

Om dit verschijnsel te voorkomen of te beperken, is het noodzakelijk dat de chemische samenstelling van toevoegmetaal en gietstuk zoveel mogelijk overeenkomt. Ook een warmtebehandeling na lassen kan ertoe bijdragen deze gevoeligheid voor aantasting terug te dringen.

tabel 4.5 Toevoegmateriaalkeuze voor gietlegeringen

legering	G-AlMg3	G-AlMg3Si	G-AlMg5Mg	G-AlMg7Mg	G-AlMg10Mg	G-AlSi12	G-AlSi12Cu	G-AlSi6Cu4	G-AlSi8Cu3
G-AlMg3	EN AW-5654								
G-AlMg3Si	EN AW-5654	EN AW-5654 EN AW-5356	EN AW-5356						
G-AlMg5Mg			EN AW-4043						
G-AlMg7Mg			EN AW-4043	EN AW-4043					
G-AlMg10Mg			EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047				
G-AlSi12			EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047			
G-AlSi12Cu			EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047		
G-AlSi6Cu4			EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047	
G-AlSi8Cu3			EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047	EN AW-4047

4.10 *Lassen van giet- aan kneedmateriaal*

Dit komt voor bij constructies waarbij een gietstuk gelast dient te worden aan plaat of profiel. De sterkte-eigenschappen van een dergelijke verbinding zijn afhankelijk van de materiaaldikte, verschil in samenstelling, lasnaadvorm en lasproces. Problemen kunnen ontstaan bij combinaties van de legeringselementen Mg en Si, bijvoorbeeld plaat of profiel in een Mg-houdende legering en het gietstuk in Si-houdende soort.

De mechanische eigenschappen van de verbinding kunnen minder goed zijn, daarnaast is de kans op scheurvorming aanzienlijk.

Hoofdstuk 5

Constructieve uitvoering

5.1 Algemeen

In het ontwerpstadium van een constructie moet rekening worden gehouden met de specifieke eigenschappen van het werkstukmateriaal. De keuze van de te gebruiken legeringen is afhankelijk van de vereiste sterkte en stijfheid, de bewerkbaarheid en het al dan niet onderhevig zijn aan corrosie onder bedrijfsomstandigheden. Er dient zo te worden geconstrueerd dat de door het lassen veroorzaakte sterktevermindering van het materiaal de eigenschappen van de constructie niet beïnvloedt. Bij een juiste toepassing van aluminium en aluminiumlegeringen dient men uit te gaan van de typerende voor- en nadelen.

VOORDELEN

- ▶ lage soortelijke massa;
- ▶ gunstige verhouding sterkte ten opzichte van het gewicht;
- ▶ grote taaiheid op kamertemperatuur en bij afnemende temperatuur vanwege het ontbreken van een taai-bros overgangstemperatuur (zie tabel 2.6);
- ▶ groot thermisch en elektrisch geleidingsvermogen;
- ▶ zeer goed bestand tegen atmosferische corrosie, corrosie door zeewater en een aantal agressieve producten, voornamelijk oxiderende zuren. De mate van corrosiebestendigheid hangt af van de gekozen legering;
- ▶ goede vervormbaarheid.

NADELEN

- ▶ de rekgrens is betrekkelijk laag. De rekgrens en de treksterkte kunnen worden verbeterd door koudvervormen of, bij de thermisch veredeldbare legeringen, door een warmtebehandeling. De rekgrens wordt in de verbinding negatief beïnvloed door de toegevoerde warmte tijdens het lassen;
- ▶ de elasticiteitsmodulus is vrij laag, wat ongunstig is voor de stijfheid van de constructie;
- ▶ grote uitzettingscoëfficiënt. Temperatuurspanningen in statisch onbepaalde constructies worden echter gereduceerd door de lage elasticiteitsmodulus;
- ▶ de mechanische eigenschappen verminderen bij toenemende temperatuur. Hiermee moet rekening worden gehouden bij temperaturen boven 100 °C;
- ▶ bij het in contact brengen met andere metalen bestaat een gevaar voor galvanische corrosie, indien het in elektrisch geleidend contact is met meer edele metalen (potentiaalverschil).

5.2 Toepassingsgebieden

Uitgaande van de in 5.1 genoemde voor- en nadelen zijn de belangrijkste toepassingsgebieden:

- ▶ *Algemene constructies*
Niet verplaatsbare constructies (hoofddraagconstructies, raamwerken, vakwerken, e.d.). Voornamelijk lichte constructies en constructies die zijn blootgesteld aan atmosferische corrosie of aan corrosie door zeewater. Ook constructies die moeilijk te onderhouden zijn: Helikopterdekken, bruggen, lichtmasten, verkeersborden, enz.

Verder niet-primair dragende delen van grote constructies (bijvoorbeeld vloerliggers, vloerplaten enz.). Radarinstallaties.

Werktuigbouwkundige onderdelen. Geringere massa van bewegende delen van machines. Verplaatsbare constructies. Een gering eigen gewicht is hier belangrijk: hijs- en losmasten, loopbruggen, enz.

- ▶ *Transport*
Het lage gewicht ontlast de dragende delen en de onderbouw en vermindert de massa, waardoor een kleinere

kracht nodig is voor een verplaatsing of een grotere versnelling mogelijk is bij snelheidsverandering zoals bij: Hijswerktuigen, carrosserie- en motoronderdelen ten behoeve van het weg- en railtransport, vliegtuigbouw, scheeps- en jachtbouw, dekluisen voor de binnenvaart, vrachtcontainers, raketten en satellieten.

Door het geringe gewicht verbetert de stabiliteit van de constructie (laag zwaartepunt) bijvoorbeeld: scheepsdekhuizen en de bovenbouw van voertuigen.

- ▶ *Elektriciteitsvoorziening en elektronica*
Stroomgeleiders, hoogspanningskabels, fundaties, omkastingen en schakelmateriaal.
- ▶ *Chemische en agrarische industrie*
Gebruik wordt gemaakt van de goede bestandheid tegen corrosie bij contact met agressieve chemicaliën e.d.: Reservoirs, verzamel-, transport- of distributiepijpleidingen, warmtewisselaars, chemische reactoren, cryogene toepassingen, tuinbouwkassen.
- ▶ *Woning- en utiliteitsbouw*
Gevels, puien, spanten, kozijnen, raamlijsten, overkappingen, complete daken. Toepassing van zowel de goede thermische geleiding als de corrosiebestendigheid, bijvoorbeeld zonnepanelen voor verwarming van gebouwen.
- ▶ *Huishoudelijke- en kantoorartikelen*
Pannen, huishoudapparatuur, bureaus, kasten en meubilair.
- ▶ *Verpakkingsmiddelen*
Blikjes, containers en folie.

5.3 Lasverbindingen

Deze paragraaf is beperkt tot de lasverbindingen die door TIG- en MIG-booglassen kunnen worden gemaakt. De belangrijkste voordelen van deze lasprocessen boven mechanische verbindingen als klinken, bouten en voorspanbouten zijn:

- ▶ verbeterde vormgeving. De mogelijkheid om ingewikkelde verbindingen te maken, welke met mechanische verbindingsmiddelen niet gerealiseerd zouden kunnen worden;
- ▶ reductie van de afmetingen van de verbindingen. Hierdoor is minder materiaal nodig (gewichtsbeparing);
- ▶ goede blijvende afdichting (gas- en vloeistofdicht).

Wel is het zo dat door combinatie van een lasproces met mechanische verbindingsmiddelen een goed evenwicht kan worden gevonden tussen economie en kwaliteit.

5.3.1 Keuze van de verbinding en de daarvoor gebruikte aanduidingen

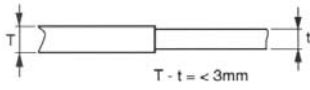
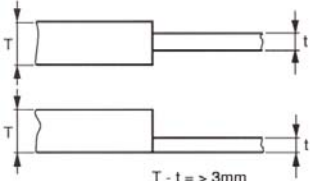
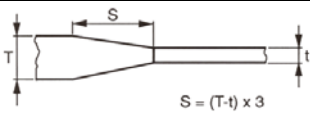
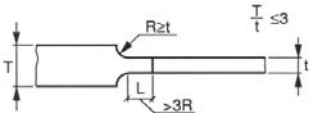
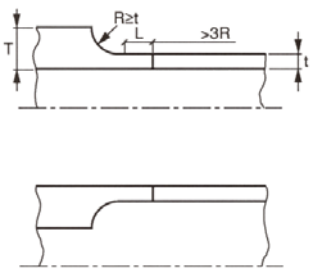
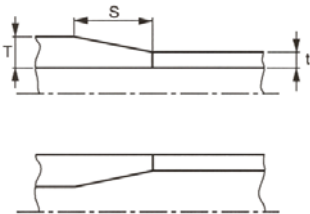
De mogelijke toepassing van een gelaste constructie moet in al haar details zorgvuldig worden bestudeerd. Deze hangt af van elk der samenstellende delen en hun onderlinge verbindingen. Om de beoordeling hiervan te vereenvoudigen geven de tabellen 5.1 t/m 5.10 de belangrijkste typen verbindingen. Voor elke verbinding is een indicatie voor de statische- en de vermoeiingssterkte en de bewerkingskosten gegeven. Deze indicaties hebben betrekking op het constructiedetail zelf en niet op de toe te passen lasnaadvormen in dat detail. Voor een waardering hiervoor wordt verwezen naar hoofdstuk 7 "Lasprocessen" onder "lasnaadvormen". Aan elk van deze rubrieken wordt een van de volgende waarderingen gegeven die een globale indicatie aanduiden: 1 = laag, 2 = gemiddeld en 3 = hoog.

5.4 Typen lasverbindingen

5.4.1 Ongelijke materiaaldikte (tabel 5.1)

Het verschil in uitvoering van stompe lassen voor onderdelen van verschillende dikten kan ook worden toegepast op delen van verschillende breedte of bij hoeklasverbindingen.

tabel 5.1 Lasverbindingen 1.1 t/m 1.6

Lasverbindingen bij ongelijke materiaaldikte		statische sterkte	vermoegingssterkte	bewerkingskosten	opmerkingen
1.1		2	1	1	Niet toepassen bij verbindingen die rechtstreeks worden belast.
1.2		2	1	1	Niet toepassen bij verbindingen die rechtstreeks worden belast.
1.3		3	3	2	
1.4		3	3	3	
1.5		3	2	3	Toepassen bij symmetrisch onderdeel (I-balk, kokerligger of buis). Secundaire spanningen heffen elkaar op.
1.6		3	2	2	Toepassen bij symmetrisch onderdeel (I-balk, kokerligger of buis). Secundaire spanningen heffen elkaar op.
Beoordeling: 1 = laag 2 = gemiddeld 3 = hoog					

Daarbij heeft een uitvoering volgens 1.1 de laagste bewerkingskosten, maar is niet geschikt voor een wisselende belasting.

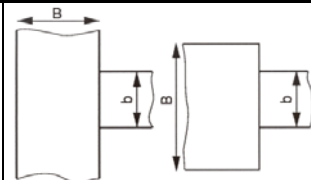
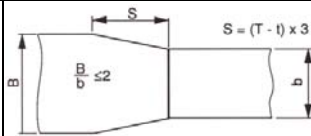
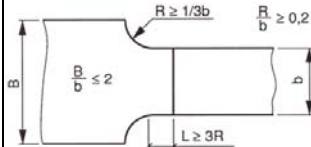
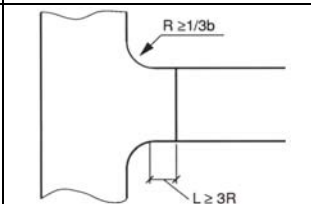
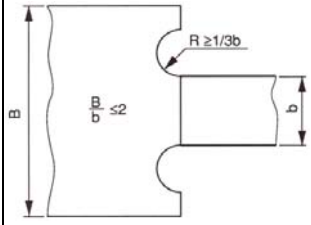
Uitvoering 1.4 is duurder, maar is beter geschikt dan 1.1 t/m 1.3 voor onderdelen van verschillende dikten die wisselend worden belast. Het dikste deel is over een zekere lengte gereduceerd tot de dikte t van het dunste deel. Hierdoor wordt door beide delen evenveel warmte geabsorbeerd. De overgang van t naar T is uitgevoerd met een grote afrondingsstraal r (eventueel gevolgd door een helling w). Daartussen ligt uitvoering 1.3, waarbij de verbinding van t en T door een helling van 25% inclusief de las tot stand wordt gebracht.

5.4.2 Ongelijke breedte (tabel 5.2)

De te verbinden delen hebben hierbij een gelijke dikte. De bewerkingskosten nemen vanaf uitvoering 2.1 tot 2.4 toe. In de langsrichting werkende krachten worden vanaf het ene deel beter op het andere overgebracht, wat weer belangrijk is bij op vermoeiing belaste constructies.

Uitvoering 2.1 geeft fabricageproblemen en leidt tot vervormingen.

tabel 5.2 Lasverbindingen 2.1 t/m 2.5

Lasverbindingen bij ongelijke breedte		statische sterkte	vermoegingssterkte	bewerkingskosten	opmerkingen
2.1		2	1	1	Delen hebben gelijke dikte.
2.2		3	2	2	Delen hebben gelijke dikte.
2.3		3	3	3	Delen hebben gelijke dikte.
2.4		3	3	3	Delen hebben gelijke dikte.
2.5		3	3	2	Delen hebben gelijke dikte.
Beoordeling: 1 = laag 2 = gemiddeld 3 = hoog					

5.4.3 Hoekverbindingen (tabel 5.3)

Hoekverbindingen worden in constructies veel toegepast. De uitvoeringen 3.1 t/m 3.3 en 3.5 zijn specifiek bedoeld voor rechte delen en de andere zijn toepassingen in bijvoorbeeld vaten (opslagtanks).

De voorbeelden 3.2 en 3.3, bestaande uit gebogen delen, zijn vooral economisch voor balkvormige constructies. Geëxtrudeerde hoekprofielen maken buigen overbodig, doch vragen een extra lasverbinding. Voor een optimale oplossing van een bodemconstructie is 3.2 tevens goed geschikt. Overlappen zijn minder stijf dan de voorgaande, behalve in wanden die zelf stijf zijn door hun grote kromming (buizen). De enkele overlappas, indien eenzijdig gelast (voorbeeld 3.8), is veel slapper dan de tweezijdig gelaste uitvoering en bovendien niet bruikbaar voor buizen. De corrosiegevoeligheid van deze verbindingen is groot.

Uitwendige hoeklassen, zonder tegenlas (uitvoering 3.5), zijn eenvoudig te maken doch zijn niet erg goed bestand tegen krachten loodrecht op de lasrichting en kunnen daarom bijvoorbeeld niet worden toegepast in drukvaten.

tabel 5.3 Lasverbindingen 3.1 t/m 3.8

Lasverbindingen bij hoekverbindingen		statische sterkte vermoegingssterkte bewerkingskosten			opmerkingen
3.1		1	1	1	
3.2		3	3	2	Geschikt voor zowel wand-bodemverbinding als hoekverbinding.
3.3		3	2	3	Hier wordt gebruik gemaakt van geëxtrudeerde hoekprofielen.
3.4		2	1	1	Wand-bodemverbinding. Niet toepassen in drukvaten.
3.5		2	1	1	Wand-bodemverbinding. Niet toepassen in drukvaten.
3.6		2	1	2	
3.7		2	1	3	
3.8		2	1	2	Kan één- en tweezijdig worden gelast.
Beoordeling: 1 = laag 2 = gemiddeld 3 = hoog					

Bij een cilindrisch vat zonder overdruk kan het vlakke front worden vervangen door een bolle bodem (voorbeeld 3.6). De kromming hiervan zorgt ervoor dat de vervormingen gering zijn. Nog minder vervorming geeft uitvoering 3.7 doch de mechanische sterkte is lager.

5.4.4 T- en kruisverbindingen (tabel 5.4)

T-profielen maken het mogelijk lassen te leggen op plaatsen die gunstiger zijn en geven minder lasvervorming dan plaat-aansluitingen. Uitstekende randen (voorbeelden 4.2 en 4.7) maken het mogelijk bepaalde vormen en ingewikkelde kokers met stompe lassen uit te voeren. Geëxtrudeerde T- en kruisprofielen (voorbeeld 4.3) kunnen worden toegepast om onderdelen met stompe lassen aan elkaar te verbinden. Dit vereist echter meer lassen.

tabel 5.4 Lasverbindingen 3.1 t/m 3.8

Lasverbindingen bij T- en kruisverbindingen		statische sterkte vermoegingssterkte bewerkingskosten			opmerkingen
4.1		2	1	1	
4.2		3	2	2	Bij deze verbinding wordt gebruikgemaakt van een extrusieprofiel.
4.3		3	2	3	Bij deze verbinding wordt gebruikgemaakt van een extrusieprofiel.
4.4		3	2	3	Bij deze verbinding wordt gebruikgemaakt van een extrusieprofiel.
4.5		2	1	1	
4.6		3	3	3	Bij deze verbinding wordt gebruikgemaakt van een extrusieprofiel.
4.7		3	2	2	Bij deze verbinding wordt gebruikgemaakt van een extrusieprofiel.
Beoordeling: 1 = laag 2 = gemiddeld 3 = hoog					

5.4.5 Plaatveldverstijvingen (tabel 5.5)

Voor het verstijven van plaatvelden zijn enkele oplossingen mogelijk. Als een koker wordt gelast die niet van binnen toegankelijk is (voorbeeld 5.1), dan komen alleen eenzijdige hoeklassen in aanmerking.

Het verbinden van de dwarsverstijving door hoeklassen is erg simpel en goedkoop. Er treden echter vervormingen op en het is noodzakelijk de lasuiteinden zorgvuldig af te werken. Het voorbuigen van de doorgaande plaat, hoewel moeilijk voor dikke platen (voorbeeld 5.3), vereenvoudigt het lassen, vermindert de vervormingen en verbetert de mechanische eigenschappen. Deze oplossing wordt vooral gebruikt om schotten te bevestigen aan dunwandige drukvaten. Als het vlakke front vervangen wordt door een holle bodem kan de las, zonder tegenlas, toch een behoorlijke corrosiebestandheid hebben aan de achterkant dank zij de betere inbranding (tankconstructies).

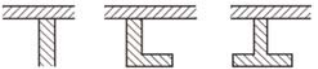
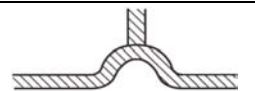
5.4.6 Hoekverstijvingen (tabel 5.6)

Voor één van de uitvoeringen van 6.1 t/m 6.3 is geen uitgesproken voorkeur te geven. Bij een belasting op vermoei-

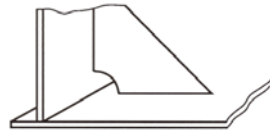
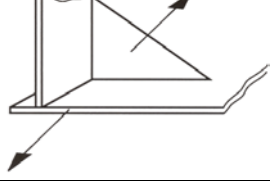
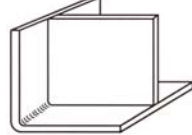
ing is er een voorkeur voor 6.3 (zie tekst), maar uit het oogpunt van lasuitvoering is deze uitvoering minder geslaagd. Hier bestaat gevaar voor scheuren door de concentratie van lassen in de hoek. Voorbeeld 6.1 is wat dat betreft het beste, maar kan echter duurder zijn. Dit is afhankelijk van de toegepaste bewerkingsmethode om de platen voor te bewerken.

De halfronde uitsparing vereenvoudigt het lassen. Als het schot van 6.4 gelast wordt aan de gebogen plaat, zullen zich bij het lassen dezelfde moeilijkheden als bij 6.3 kunnen voordoen.

tabel 5.5 Lasverbindingen 5.1 t/m 5.3

Lasverbindingen bij plaatveldverstijvingen		statische sterkte	vermoegingssterkte	bewerkingskosten	opmerkingen
5.1		2	1	1	
5.2		2	1	2	
5.3		2	2	3	
Beoordeling: 1 = laag 2 = gemiddeld 3 = hoog					

tabel 5.6 Lasverbindingen 6.1 t/m 6.4

Lasverbindingen bij hoekverstijvingen		statische sterkte	vermoegingssterkte	bewerkingskosten	opmerkingen
6.1		2	2	1	
6.2		2	2	1	
6.3		1	1	1	Bij vermoeiing en ononderbroken lassen en belasting in pijlrichting, voorkeur voor detail 6.3 boven 6.1 en 6.2.
6.4		3	2	2	
Beoordeling: 1 = laag 2 = gemiddeld 3 = hoog					

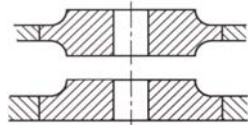
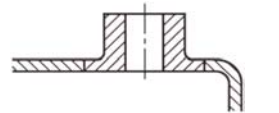
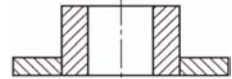
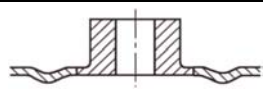
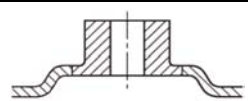
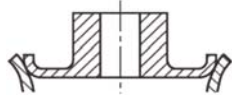
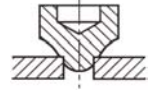
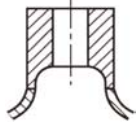
5.4.7 Ingelaste nokken, flenzen en stompen (tabel 5.7)

Een oplossing waarbij delen rechtstreeks in de wand zijn opgenomen (voorbeeld 7.1) heeft als nadeel dat er vervormingen en kans op scheuren kunnen optreden. Is het uitstekende deel dicht bij een hoek geplaatst (voorbeeld 7.2), dan kan gebruik worden gemaakt van de toename in vervormingscapaciteit.

Doorgelaste tubelures beperken de krimpvervorming, maar de krimpspanning wordt belangrijker naarmate de flens dikker is. Dikke onderdelen zijn gemakkelijker te lassen (vooral als eenzijdig wordt gelast) en de vervormingen zijn minder als een voorbewerking wordt toegepast. Voorbeelden 7.4 t/m 7.6 zijn vooral geschikt voor dunne delen. Zij beperken de spanningen, vervormingen en de kans op scheuren, terwijl ze bovendien gemakkelijker zijn te lassen. Bij voorbeelden 7.4 en 7.5 is de plaat tweemaal omgezet, zodat de te lassen plaat thermisch beter geïsoleerd is.

Aanbevolen wordt niet doorgelaste nokken (voorbeelden 7.7 en 7.8) uit te draaien, opdat de veelal niet foutloze grondnaad verwijderd wordt. Voorbeeld 7.7 is voorzien van een inwendige centreerring die het aanbrengen vereenvoudigt. Voorbeeld 7.8 is geschikt voor dunne delen.

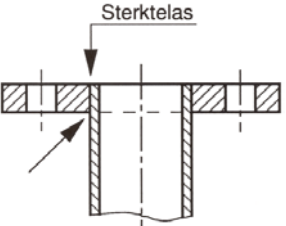
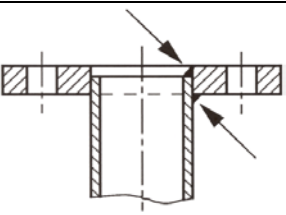
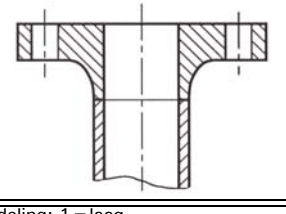
tabel 5.7 Lasverbindingen 7.1 t/m 7.8

Lasverbindingen bij ingelaste nokken, flenzen en stompen		statische sterkte	vermoegingssterkte	bewerkingskosten	opmerkingen
7.1		3	3	2	
7.2		3	3	2	
7.3		3	2	1	
7.4		3	3	3	
7.5		3	3	3	
7.6		2	1	3	
7.7		3	3	2	Na het lassen doorboren
7.8		3	3	2	
Beoordeling: 1 = laag 2 = gemiddeld 3 = hoog					

5.4.8 *Pijp- en flensverbindingen* (tabel 5.8)

De uitvoeringen van 8.1 en 8.2 zijn relatief goedkoop en hebben een acceptabele sterkte. Bij uitvoering 8.3 wordt de belasting van flens naar pijp geleidelijk overgebracht en heeft uit het oogpunt van sterkte de voorkeur. Indien gesmede flenzen niet beschikbaar zijn, kunnen voorlasflenzen van voldoende diameter uit platen worden opgebouwd.

tabel 5.8 Lasverbindingen 8.1 t/m 8.3

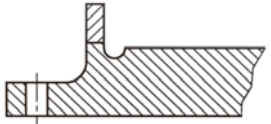
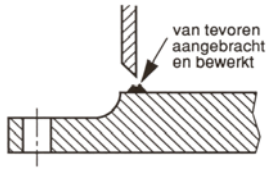
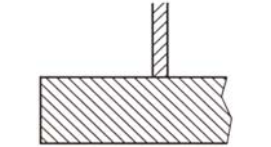
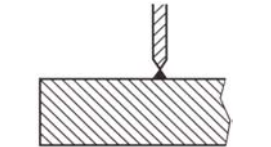
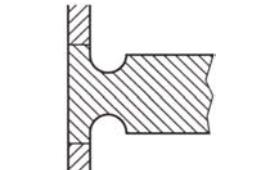
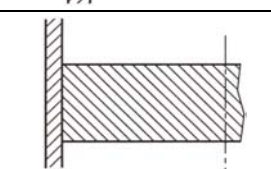
Lasverbindingen bij pijp- en flensverbindingen		statische sterkte	vermoegingssterkte	bewerkingskosten	opmerkingen
8.1		2	2	1	Keuze mogelijk van te maken lasverbinding (zie pijlrichting)
8.2		2	2	1	Keuze mogelijk van te maken lasverbinding (zie pijlrichting)
8.3		3	3	2	
Beoordeling: 1 = laag 2 = gemiddeld 3 = hoog					

5.4.9 *Romp/bodem- en romp/plaatverbindingen* (tabel 5.9)

Uitvoering 9.1 wordt gekenmerkt door een compensatie-groef, welke het dikke gedeelte thermisch isoleert. Het materiaal moet ultrasoon worden onderzocht voor bewerking of met een penetrant na bewerking, zodat eventuele dubbelingen worden vermeden.

Voorbeelden 9.2 t/m 9.4 kennen dit probleem niet, maar zijn minder eenvoudig te lassen. Een vooraf aangebrachte opdikking zal voor voorbeelden 9.2 en 9.4 deze moeilijkheid grotendeels opheffen. Voorbeeld 9.6 is een tussenbodem of een uitwendige ring die op de romp moet worden gelast. De tussenbodem is ongunstiger dan een ring, omdat bij verwarming de romp de neiging heeft zich van de tussenbodem te verwijderen. Bij de uitwendige ring is dit juist tegengesteld.

tabel 5.9 Lasverbindingen 9.1 t/m 9.6

Lasverbindingen bij romp/bodem- en romp/pijpplaatverbindingen		statische sterkte	vermoegingssterkte	bewerkingskosten	opmerkingen
9.1		3	3	2	
9.2	 van tevoren aangebracht en bewerkt	3	2	3	
9.3		2	1	1	
9.4		2	1	3	
9.5		3	3	3	
9.6		2	1	1	
Beoordeling: 1 = laag 2 = gemiddeld 3 = hoog					

5.4.10 *Pijp-plaatverbindingen* (tabel 5.10)

Voorbeelden 10.1 t/m 10.5 zijn voorzien van een dikke pijpplaat die geschikt is voor hoge drukken of voor het overbrengen van einddrukken die niet door de pijpen worden opgenomen (bijvoorbeeld haarspeldpijpen). Met uitzondering van uitvoering 10.5 zijn het alle verbindingen met blijvende spleten. Voorbeelden 10.1 t/m 10.3 vereisen geen lasvoorbewerking. Voorbeeld 10.4 is voorbewerkt om een beter doorgevoerde las te verkrijgen. Het gebruik van geschikte hulpapparatuur wordt voor deze uitvoering aanbevolen.

Voor de uitvoering van 10.5 zijn speciale laspistolen ontwikkeld en moeten stroombronnen worden gebruikt die te programmeren zijn. Het lasproces zelf kan niet door de operator worden geobserveerd.

tabel 5.10 Lasverbindingen 10.1 t/m 10.5

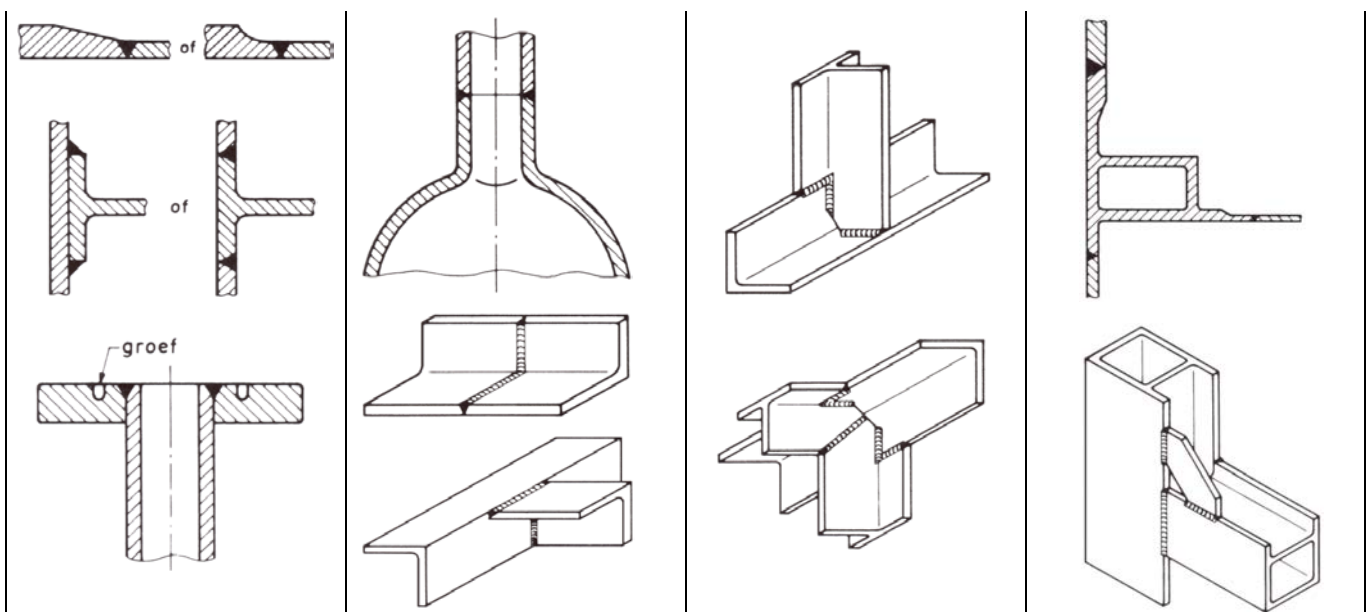
Lasverbindingen bij pijp-pijpplaat-verbindingen		statische sterkte	vermoegingssterkte	bewerkingskosten	opmerkingen
10.1		2	1	1	
10.2		2	1	1	
10.3		2	1	1	
10.4		2	1	1	
10.5		3	3	2	Voorbewerking voor het 'internal-bore' lassen. Toepassen als een spleetvrije verbinding noodzakelijk is. Lassen vindt vanaf de binnenzijde plaats.
Beoordeling: 1 = laag 2 = gemiddeld 3 = hoog					

5.5 Samenvatting

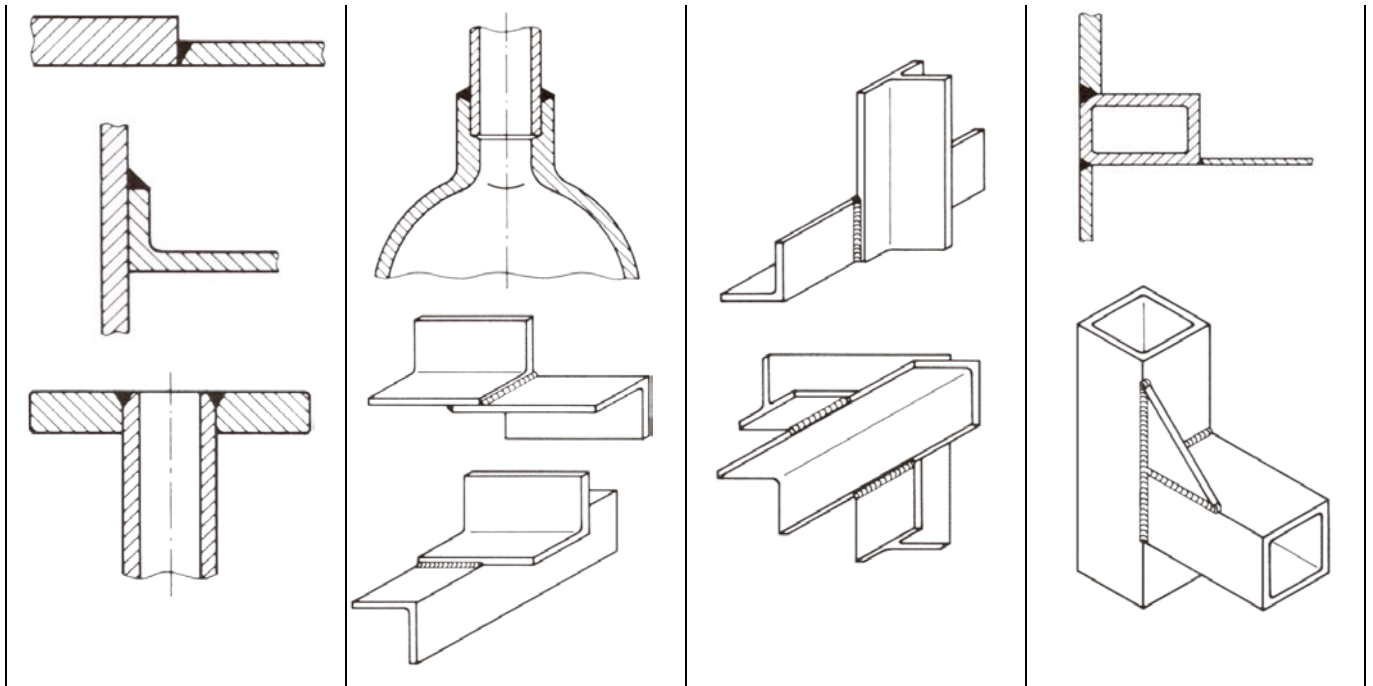
Voor een goede lasuitvoering moet men bij het ontwerp van een constructie in aluminium als richtlijnen in acht nemen:

- construeer (naar vorm en afmeting) zo, dat zo min mogelijk hoeft te worden gelast en dan nog zo, dat met eenvoudigheid uit te voeren lassen kan worden volstaan;
- maak zoveel mogelijk gebruik van geëxtrudeerde (speciale) profielen, waardoor veel laswerk kan worden vermeden;
- maak zoveel mogelijk gebruik van buigtechnieken om met zogenaamde doorgaande spanten te kunnen werken;
- plaats bij het construeren de lasnaden zoveel mogelijk in de minst belaste zones;
- vermijd het optreden van spanningsconcentraties ter plaatse van de gelaste verbinding (geen ingewikkelde lasknooppunten), vooral indien sprake is van wisselende belasting (vermoeiing) ref EN 1999-1-3 (lit lijst);
- het maken van een gecombineerde las- en klinkverbinding is onjuist; elke plaats van de naad moet goed bereikbaar zijn (denk aan de afmeting van de lastoorts);
- maak de constructie zo dat de invloed van de krimp en de vervorming gering is en maak de plaatindelingen bij voorkeur zo dat zoveel mogelijk in horizontale positie kan worden gelast respectievelijk horizontaal in het verticale vlak;
- geef de lasvolgorde en, indien nodig, de lasrichting zodanig aan dat de krimp gering blijft en de krimpspanningen zo laag mogelijk worden; bij voorkeur dient van binnen naar buiten te worden gelast.

De figuren 5.1 en 5.2 tonen nog enkele al dan niet aanbevolen lasuitvoeringen.



figuur 5.1 Aanbevolen lasuitvoeringen



figuur 5.2 Niet-aanbevolen lasuitvoeringen

Hoofdstuk 6

Oppervlaktebehandelingen voor en na het lassen

6.1 Algemeen

Aluminium en aluminiumlegeringen vormen aan het oppervlak (onmiddellijk) een goed hechtende en dichte oxidehuid. De dikte van de laag is 0,01 μm , na 1 tot 2 jaren oplopende tot 0,1 μm . De dikte van de oxidehuid is eveneens afhankelijk van de temperatuur, de legering en van het milieu. Zo vormt zich onder gelijke condities, op bijvoorbeeld legeringen uit de 1xxx en de 3xxx groep een minder dikke oxidehuid dan op de typen in de 5xxx, 6xxx of de 7xxx groep. Deze oxidehuid geeft het materiaal onder normale gebruiksomstandigheden voldoende bescherming tegen aantasting. De oxidehuid geeft aluminium zijn gunstige eigenschappen in corrosieve milieus, maar kan gelijktijdig een probleem vormen bij het lassen. Het is een hoogsmeltend bestanddeel. Problemen kunnen ook ontstaan als verontreinigingen voor het lassen niet goed worden verwijderd. Het devies is dan ook altijd: schoon, schoon en nog eens schoon! Bijzondere aan het materiaal gestelde eisen, zoals bij het gebruik voor decoratieve doeleinden en in aantastende milieus, leiden ertoe dat in vele gevallen na het smeltlassen of hardsolderen een oppervlaktebehandeling op het materiaal wordt toegepast.

Om een goede las te krijgen, zijn de voorbehandelingen onafhankelijk van het gebruiksdoel van de gelaste constructie. Dat is niet het geval voor de nabehandeling. Afhankelijk van de eisen en het gebruiksdoel past men voor een dergelijke behandeling één van de volgende, vaak in combinatie met elkaar voorkomende, bewerkingen toe. Dit zijn mechanische en/of chemische behandelingen en als nabehandeling het aanbrengen van een beschermende laag.

In verband met de grote verscheidenheid in werkwijzen en hulpmiddelen en het op elkaar afgestemd moeten zijn van gecombineerde bewerkingen, wordt aangeraden hierover de leverancier te raadplegen.

Voorafgaand aan het mechanisch verwijderen van de oxidehuid moet altijd eerst worden ontvet, om te voorkomen dat vet en vuil op het oppervlak ingewreven worden. Het ontvetten voorafgaand aan het voor- en nabehandelen zijn in principe aan elkaar gelijk.

6.2 Ontvetten

Hiervoor staat een groot assortiment aan middelen ter beschikking. Zij kunnen worden onderverdeeld in:

- brandbare, zoals, benzol, ether, aceton en wasbenzine. Aan het gebruik hiervan zijn risico's verbonden, zowel in verband met het brandgevaar als voor de gezondheid en moeten daarom worden vermeden of onder goed gecontroleerde omstandigheden worden gebruikt. Afzuiging, bij gebruik in een werkruimte, is altijd noodzakelijk;
- niet brandbare, zoals tri- en tetra-perchloorethyleen. Hoewel deze in afgesloten verdampingsinstallaties worden gebruikt, moet om gezondheidsoverwegingen de toepassing hiervan worden ontraden. Onder invloed van de lasboog kan het zeer giftige fosgeengas (COCl_2) ontstaan.
- alkalische middelen. Deze gaan de bovengenoemde middelen steeds meer vervangen en bestaan uit natriumfosfaten, -silicaten en -carbonaten, met daaraan een bevochtiger toegevoegd. Ze zijn effectief en voor het gebruik hoeven geen bijzondere beschermende maatregelen worden genomen. Wel moeten de resten zorgvuldig worden afgespoeld. De voorschriften geven aan dat de middelen in water van 70 °C moeten worden opgelost en gebruikt. Het wordt aangeraden voor de keuze en het gebruik van de middelen te rade te gaan bij de leveranciers.

Het afspoelen kan plaatsvinden met leidingwater en moet altijd worden uitgevoerd vóór het lassen. Als laatste spoel-

bewerking voor het opbrengen van een bescherm laag dient met demi-water te worden nagespoeld. Het oppervlak moet goed worden gedroogd.

Voor constructies die onderworpen worden aan een keuring, is het beter de eenmaal ontvette oppervlakken niet meer met de handen aan te raken. Dat geldt zeker voor lassen die radiografisch onderzocht zullen worden. Restanten van vet kunnen aanleiding geven tot porositeit in de las. Voor constructies die niet onderhevig zijn aan een keuring kan de lasnaadvoorbewerking (plaatselijk) met een droge doek worden schoongemaakt.

6.3 Het verwijderen van de oxidehuid

Eerder is aangegeven dat het noodzakelijk is de oxidehuid altijd vlak voor het lassen (maximaal enkele uren) te verwijderen. Het verwijderen kan op twee manieren gebeuren:

- mechanisch;
- chemisch.

Mechanisch

Vijlen met een ruwe (bastaard) vijl is een redelijke methode. Voor het verwijderen van de oxidehuid op het oppervlak van de plaat is borstelen (mechanisch of met de hand) een veel betere werkwijze. Daarvoor is het gebruik van roestvast stalen borstels noodzakelijk.

Schuren met schuurpapier is minder aan te bevelen, omdat het risico aanwezig is dat schuurkorreltjes in het relatief zachte oppervlak worden gedrukt. Datzelfde geldt voor het gebruik van slijpschijven. Er zijn echter speciaal voor aluminium geschikte schijfmateriaal in de handel. Verspanende bewerkingen als frezen, schaven en draaien zijn ook goed bruikbaar, maar zijn minder economisch. Wanneer koelvloeistoffen bij het verspanen worden gebruikt, moet hierna weer worden ontvet.

Wanneer over het verwijderen van de oxidehuid wordt gesproken, dan wordt niet alleen de lasnaad zelf bedoeld, maar ook een zone van enkele centimeters ernaast. Dit is om te voorkomen dat eventueel aanwezige verontreinigingen (vet en dergelijke) tijdens het lassen toch van invloed zijn.

Chemisch

Het beitsen is een zeer effectieve methode om de oxidehuid te verwijderen. Een duidelijk nadeel is dat er agressieve chemicaliën worden gebruikt. Een aluminium oxidehuid is taai en laat zich alleen door daarvoor geschikte middelen verwijderen. Deze zijn veelal op een basis van fosforzuur, fluoriden bevattende middelen en natronloog. Daarom is het beitsen praktisch alleen goed uit te voeren als het werkstuk in een bad kan worden gedompeld. In principe is het mogelijk middelen op basis van fosforzuur met een kwast aan te brengen. Dat kan koud gebeuren. Wordt in een bad gewerkt, dan gebeurt dat bij een wat verhoogde temperatuur (tot ca. 50 °C).

Voor het werken met beitsvloeistoffen moeten geschikte beschermende middelen, zoals kleding, schoeisel en oogbescherming alsmede afzuigapparatuur worden gebruikt.

6.4 Nabehandeling van het oppervlak

Dat kan een chemische, of elektrochemische (beide ter versterking van de natuurlijke oxidehuid) of een lakbehandeling zijn. Dat zijn specialistische behandelingen en hierover zullen alleen enige richtlijnen worden gegeven. Voor het uitvoeren van de nabehandelingen moet een strak voorgescreven werkwijze worden gehanteerd.

Chemische behandeling

Voor het versterken van de oxidehuid kunnen deze middelen goed worden toegepast. Er zijn tal van middelen waarmee een praktisch kleurloze tot een bruingekleurde laag wordt verkregen. Tot de gekleurde lagen behoren onder andere de chromaatlagen, die ook een goede ondergrond vormen voor een daarna op te brengen laksysteem. De chromaatlagen zijn 1 tot 4 μm dik.

Lasverbindingen zullen over het algemeen geen moeilijkheden opleveren tijdens de behandeling. Wel kan er een licht kleuronderscheid ontstaan tussen de las en de rest van het werkstuk.

Elektrochemische behandeling

Bij deze behandeling, die anodiseren wordt genoemd, wordt de oxidehuid anodisch versterkt in een bad van zwavelzuur en soms in chroom- of oxaalzuur. Een anodiseerlaag is 2 tot 25 µm dik en de door het proces ontstane poriën worden tijdens de behandeling kleurloos gedicht of kunnen met een kleurstof worden opgevuld (het zogenaamde "sealen"). Daarmee zijn kleureffecten te verkrijgen. Ook is de laag hard en biedt daardoor een goede weerstand tegen slijtage.

Bij lasverbindingen kunnen kleurverschillen tussen las en werkstuk ontstaan. Deze afwijkingen zijn het minst bij de ongelegeerde soorten zoals de typen EN AW-1050A en 1200.

Bij de met magnesium gelegeerde typen nemen de kleurverschillen toe met oplopend Mg-gehalte.

Het sterkst treedt dit verschijnsel op bij de veredelbare legeringen in de 6xxx groep.

Naarmate sneller kan worden gelast zullen de verkleurings-effecten ook minder zijn. Het is namelijk de verandering in de structuur van het materiaal dat het verschijnsel veroorzaakt. Ook het toevoegmateriaal heeft een belangrijke invloed. Met name het gebruik van Si-houdende lasdraden geeft een donkergrijze tot zwarte tekening. Een met de legering van het werkstukmateriaal overeenkomende lasdraad geeft het minste verschil te zien.

Natlak- en poederlaksystemen

Voor een optimale bescherming kan het aluminium worden voorzien van één of meerdere natlak- of poederlaklagen. Het aanbrengen van een laklaag kan met de hand plaatsvinden. Voor massafabricage wordt gebruikgemaakt van spuiten of het dompelen in baden. De hiervoor genoemde oppervlaktebehandelingen zijn een onderdeel van de bewerkingen die het werkstuk moet ondergaan. Dat zijn: alkalisch ontvetten - spoelen - beitsen - spoelen - chromateren - spoelen.

Lassen moeten goed glad worden afgewerkt voor een optimaal resultaat. Scherpe kanten, ontstaan door knippen en dergelijke, moeten worden vermeden. Ook mag de constructie geen openingen hebben waaruit de middelen niet gemakkelijk kunnen worden verwijderd.

Voor binnen toepassingen worden de volgende systemen gebruikt:

- een moffellak op basis van acrylaathars (2 lagen bestaande uit primer en aflakken met een laagdikte van 30 µm;
- een epoxypoederlaag met een laagdikte van minimaal 50 µm.

Voor buitentoepassingen worden 2-componenten polyester- en epoxypoederlagen gebruikt met een laagdikte van 80 µm. Voorts, voor grote constructies, speciaal daarvoor ontwikkelde verfsystemen.

Voor aluminium en aluminiumlegeringen mogen geen systemen worden gebruikt die in een oven boven de 200 °C moeten uitharden.

Hoofdstuk 7

Lasprocessen voor het lassen van aluminium

7.1 *Keuze van het lasproces*

Bij de keuze van het meest geschikte lasproces voor een bepaalde lasverbinding in een aluminium constructie speelt een aantal factoren een rol. Deze zijn deels van technologische, deels van economische en/of logistieke aard. Te noemen zijn in dat verband:

- Economie
 - laslengte
 - seriegrootte
 - materiaaldikte
- Kwaliteitseisen
 - sterkte (statisch, maar ook vermoeiing, zie EN 1090-3)
 - homogeniteit
 - corrosiebestendigheid
- Beschikbaarheid
 - lasapparatuur
 - hulpapparatuur
 - vakmanschap
 - kwalificaties

- Toepasbaarheid-constructief
 - afmetingen
 - vorm
 - bereikbaarheid
 - laspositie
 - nabehandeling
- Toepasbaarheid-lastechnisch
 - type aluminiumlegering
 - materiaaldikte
 - laspositie
 - wel of geen toevoegmateriaal
 - bereikbaarheid van de lasplaats
- Bouwplaats
 - binnen
 - buiten
- Werkomstandigheden
 - veiligheid
 - milieu-eisen

Deze opsomming geeft al aan dat de keuze van het lasproces complex is en dat hier nauwelijks algemene regels voor te geven zijn. Tabel 7.1 geeft een overzicht van de beschikbare lasprocessen met richtlijnen voor het toepasingsgebied, materiaaldikten en lasposities. De minimaal te lassen plaatdikte is uitsluitend gebaseerd op technische overwegingen en voor een aantal processen geldt dit ook voor de maximum plaatdikte. In het merendeel van de gevallen is de maximale plaatdikte echter gebaseerd op economische overwegingen.

tabel 7.1 Overzicht van de lasprocessen voor het lassen van aluminium

lasproces	materiaaldikte [mm]		posities van de naad				toepassing
	min.	max.	PA	PF	PE	Alle	
TIG-booglassen							
wisselstroom	0,5	6	+	+	+	+	Algemeen: dunne plaatconstructies, grondnaden bij eenzijdig lassen Uitsluitend gemechaniseerd toe te passen
gelijkstroom	0,5	25	+	+	-	-	
MIG-booglassen							
kortsluitbooglassen	1	4	+	+	+	+	Niet aan te bevelen. Grote kans op bindingsfouten
sproei-booglassen	4	#	+	o	o	o	Algemeen: dunne en dikke plaatconstructies, gemechaniseerd en geautomatiseerd lassen
pulserend lassen	1	#	+	+	+	+	
weerstandlassen							
puntlassen	0,025	6	+	+	+	+ ¹⁾	Dunne plaatconstructies
rolnaadlassen	0,25	4,5	+	-	-	-	Dunne plaatconstructies
afbrandstuiklassen	1	²⁾	+	-	-	-	Staf, draad en profielen
Bijzondere lasprocessen							
wrijvingsroerlassen	0,5	70	+	+	+	+	Lange rechte lasnaden
stiftlassen							
zonder beschermgas	Ø 0,8	Ø 6,4	+	+	+	+	Aanlassen van bouten, stiften en draadbussen
met beschermgas	Ø 4,5	Ø 12,5	+	+	+	+	
plasmalassen							
plasma key-hole	3	20	+	+	o	o	Tot ca. 12 mm zonder naadvoorbewerking
elektronenbundellassen	0,2	150	+	+	+	+	Hoogwaardige constructies; lucht- en ruimtevaart, massafabricage. Dikke plaat in horizontale positie
laserlassen							
CO ₂ -laser	0,05	0,5	+	+	+	+	Reflectie maakt inkoppeling van laserlicht moeilijk
Nd:YAG-laser	0,05	4	+	+	+	+	Geschikt voor dieplassen en vloeilassen
diodelaser	0,05	3	+	+	+	+	Best geschikt voor vloeilassen
fiberlaser	0,05	8	+	+	+	+	Geschikt voor dieplassen en vloeilassen
ultrasoonlassen	0,01	2	+	-	-	-	Lassen van folie en elektronische componenten
wrijvingslassen	5	³⁾	+	+	-	-	Lassen van ronde doorsneden
kouddruklassen	afhankelijk van installatie						Lassen van ongelijksoortige metalen, bijvoorbeeld koper aan aluminium (stroomgeleiders)
explosieflassen	0,5	10	+	+	+	+	Reactorbouw, boutlassen, pijpleidingen, cladding van plaat, verbinden van ongelijksoortige metalen
+ = mogelijk o = niet mogelijk - = niet van toepassing # = geen diktebegrenzing 1) kan met verplaatsbare machines 2) tot 600 mm ² oppervlak 3) tot 1500 mm ² oppervlak							

In Nederland worden, wat de booglasprocessen betreft, het TIG-, MIG- en puls-MIG-lassen het meest toegepast. Van de weerstandlasprocessen wordt hoofdzakelijk het puntlasproces toegepast. Wrijvingsroerlassen is een verbindingstechniek die sterk in opmars is.

Van de in tabel 7.1 opgenomen "bijzondere lasprocessen" worden sommige nog nauwelijks in onze industrie toegepast. Zij kunnen echter soms een goed alternatief vormen voor de normaal gangbare processen en soms moet hieraan zelfs de voorkeur worden gegeven.

Bij de uiteindelijke keuze voor een lasproces spelen twee factoren een zeer belangrijke rol te weten de gestelde kwaliteitseisen en de economie. Op het aspect economie wordt nader ingegaan in hoofdstuk 10 "Economie van het lassen". Bij de genoemde kwaliteitseisen vormen de mechanische eigenschappen van de lasverbinding meestal het belangrijkste onderdeel. De kwaliteitseisen zijn strenger voor op vermoeiing belaste onderdelen. In hoofdstuk 2 is onder 2.3 de invloed beschreven van de laswarmte op de mechanische eigenschappen van de verbinding.

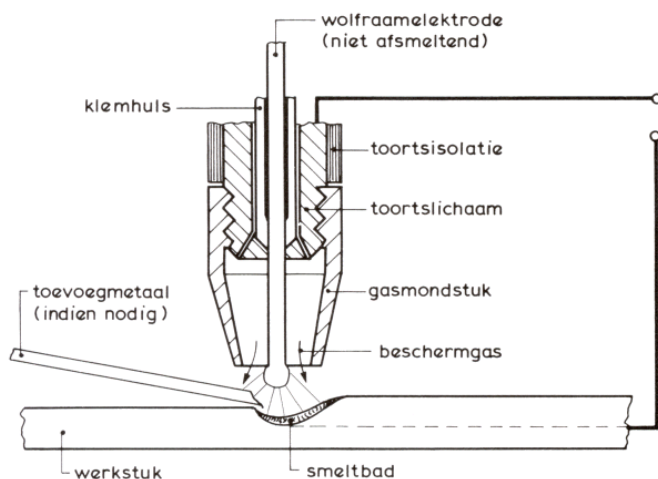
Tabel 2.4 laat zien dat voor de beide veredelbare typen (de 6xxx en de 7xxx groep) het lasproces wezenlijk van invloed is op de toelaatbare spanningen.

Een andere factor is de invloed van de laswarmte op de corrosiebestendigheid van de lasverbinding. De veredelbare typen zijn door een warmtebehandeling niet alleen in een optimale conditie gebracht voor wat betreft de mechanische eigenschappen, maar ook in een toestand met een zo gunstig mogelijke corrosiebestendigheid. Vooral voor deze typen geldt dat door de laswarmte een negatief effect kan worden verkregen.

7.2 Het TIG-lasproces

7.2.1 TIG-lassen algemeen

Het TIG-lassen is een elektrisch booglasproces, waarbij een boog wordt onderhouden tussen een niet-afsmeltende elektrode en het werkstuk, hierbij worden smeltbad en elektrode beschermd door een inert gas of gasmengsel (zie figuur 7.1 en 7.2).

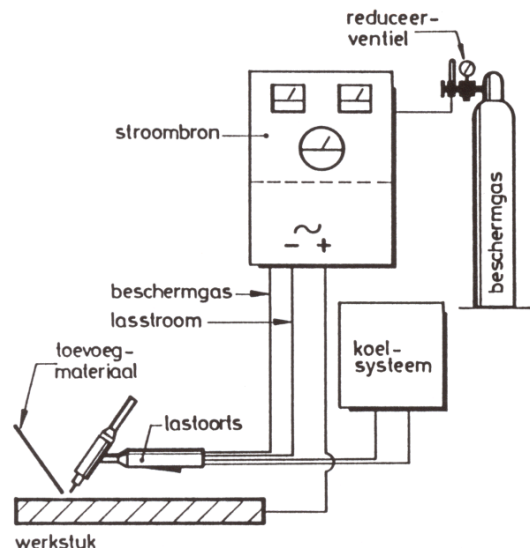


figuur 7.1 TIG-lassen met wisselstroom

De naam TIG is een afkorting van het Engelse 'Tungsten Inert Gas' (tungsten = wolfram).

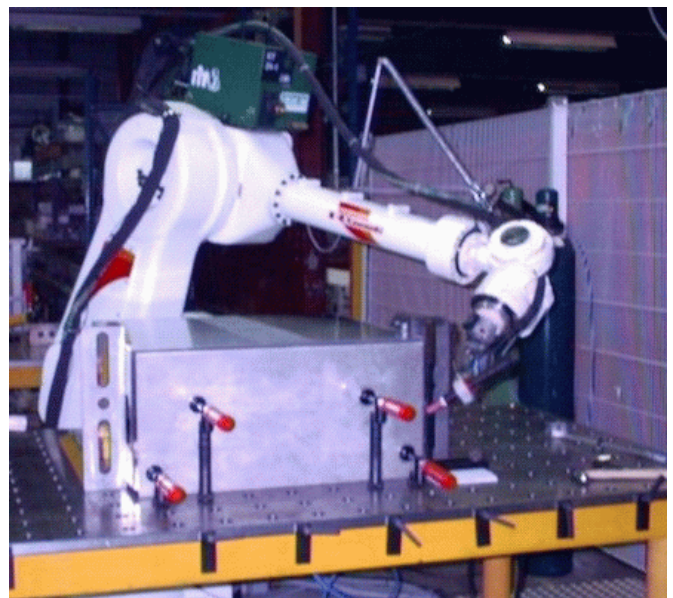
Als inerte gassen worden in hoofdzaak argon en in sommige gevallen helium of een mengsel van beide gassen gebruikt. Meestal wordt het proces handmatig uitgevoerd, waarbij de lastoorts met de hand wordt voortbewogen en met de andere hand lastoevoegmateriaal in blanke draad- of staafvorm kan worden aangevoerd.

Het TIG-lassen leent zich echter ook uitstekend voor mechanisering en automatisering, waarbij werkstuk en lastoorts ten opzichte van elkaar mechanisch worden voortbewogen en het lastoevoegmateriaal mechanisch vanaf een draad-



figuur 7.2 TIG-installatie (schematisch)

haspel wordt aangevoerd. Mechanisatie en automatisering kunnen worden uitgevoerd met behulp van simpele apparatuur als langsbewegingen of manipulatoren. Een meer geavanceerde combinatie is het koppelen van het TIG-lassen aan een robot (zie figuur 7.3).



figuur 7.3 Robot met TIG proces voorzien van koude draad-toevoer (bron: RFA Zwijndrecht)

Met behulp van een lasrobot eventueel gecombineerd met aanvullende manipulatieapparatuur kunnen lassen in 3D worden gemaakt. Een beperkende factor is dat door gebruik te maken van lastoevoegmateriaal de bereikbaarheid afneemt, immers doordat er lasdraad wordt gebruikt, neemt de omvang van de laskop toe. Een andere beperkende factor is, dat voor het op de juiste manier invoeren van de lasdraad (aan de voorkant van het smeltbad) de bereikbaarheid van de lasnaad wordt beperkt. Vaak is daarom een manipulator met synchroon bewegende externe assen nodig.

Bij de eventuele afwegingen van de lasproceskeuze tussen het TIG- of het MIG-handlassen kan het overzicht van pro's en contra's volgens tabel 7.2 behulpzaam zijn. Het lassen kan zowel met wisselstroom als met gelijkstroom worden uitgevoerd. Elke variant heeft zijn eigen toepassingsgebied.

tabel 7.2 Vergelijking handmatig TIG- en MIG-lassen (sproeihoog en pulshoog)

	TIG-lassen	MIG-lassen
Positieve aspecten of voordelen	▶ zeer geschikt voor dunne plaat ▶ zeer geschikt voor grondnaden in pijpen c.q. éézijdig gelaste naden ▶ grote uitvoeringsflexibiliteit door niet aan de boog gekoppelde toevoer van het lastoevoegmateriaal ▶ lassen in alle posities mogelijk ▶ geen spatverliezen ▶ goede mechaniseringsmogelijkheden ▶ minder kans op lasfouten bij starten of stoppen	▶ zeer geschikt voor plaatdikten vanaf 4 mm ▶ economisch aantrekkelijk proces in verband met grote neersmeltsnelheid ▶ optimaal reinigende werking van de boog door continue positieve polariteit van de draad ▶ positieve inbrandingen makkelijk bereikbaar, ook bij hoeklassen ▶ goede mechaniseringsmogelijkheden ▶ matige warmte-inbreng
Negatieve aspecten of beperkingen	▶ lage lassnelheid, c.q. lage neersmeltsnelheid ▶ grote warmte-inbreng ▶ positieve inbranding bij hoeklassen moeilijk te realiseren ▶ reinigend effect minder optimaal, waardoor nog meer aandacht aan reiniging van het werkstuk en lastoevoegmateriaal moet worden besteed ▶ gevoelig voor tocht en wind	▶ lasfouten bij starten en stoppen komen vaak voor (uitslijpen!) ▶ uit de zij en boven het hoofd zijn moeilijke lasposities voor dit proces ▶ tamelijk grote gevoeligheid voor draadaanvoerstoren ▶ gevoeliger voor porositeit ▶ gevoelig voor tocht en wind

7.2.2 TIG-wisselstroomlassen

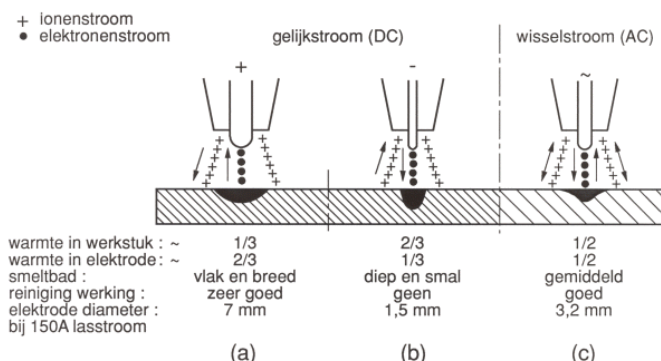
Wisselstroom is de meest toegepaste stroomsoort voor het lassen van aluminium. Hierbij wisselen per halve periode de elektrode en het werkstuk van polariteit. Deze polariteitswisseling kan tegenwoordig volledig vrij worden gekozen bij de geavanceerde apparatuur en is vaak een afgeleide van of gelijk aan de lichtnetfrequentie bij de simpeler lasapparatuur.

Toelichting:

In de fase dat de elektrode positief is, wordt het werkstukoppervlak gebombardeerd door positieve gas-ionen. Deze ionenstroom blijkt prima in staat om de oxidehuid van het aluminium te verwijderen (zie figuur 7.4a). Ondanks dat vlak voor het lassen de oxidehuid wordt verwijderd, is er altijd een dun laagje aluminiumoxide op het metaal aanwezig. Het verse aluminium is zo reactief met de zuurstof uit de omgeving dat onmiddellijk een dun oxidelaagje wordt gevormd. De stroom elektronen, dat wil zeggen de warmtedragers, is dan echter gericht naar de elektrode, waardoor deze oververhit kan worden en zelfs afsmelt, tenzij een grotere diameter wordt gekozen. De inbranding in het werkstuk is in die fase geringer (zie figuur 7.4a).

In de fase dat de elektrode negatief is, is het grootste warmtetransport naar het werkstuk (smeltbad) gericht, waardoor in die fase diepere inbranding wordt bereikt. De elektrode blijft dan relatief koud, waardoor het gevaar voor afsmelten van de elektrode niet aanwezig is (zie figuur 7.4b).

De reinigende werking van de boog ontbreekt echter. Het lassen op wisselstroom is eigenlijk een compromis tussen de voor- en nadelen van het lassen op gelijkstroom met de elektrode negatief respectievelijk positief (zie figuur 7.4c).



figuur 7.4 Invloed van de polariteit op de reinigende werking en de inbranding

Door gebruik van wisselstroom ontstaat een combinatie van een redelijke inbrandingsdiepte en een redelijke verwijdering van de oxidehuid.

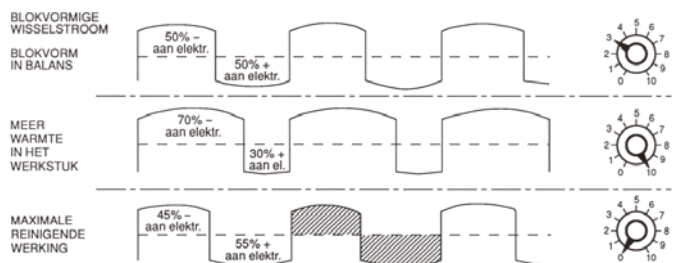
In de fase waarin de elektrode positief is, treedt het zogenaamde reinigende effect van de boog op ten aanzien van de altijd op het aluminiumoppervlak aanwezige oxidehuid; de inbranding is dan echter gering. In de fase waarin de

elektrode negatief is, is de inbranding groot, doch ontbreekt de reinigende werking van de boog.

Voor het telkens weer ontsteken van de boog wordt gebruik gemaakt van een hoogfrequente spanningsbron.

Moderne stroombronnen leveren vrijwel uitsluitend een blokvormige wisselstroom (zie figuur 7.5). Hierdoor zijn de wisselingen van plus naar min en omgekeerd (de zogenaamde nul-doorgangen) zo snel dat problemen met het 'herontsteken' van de lasboog tot het verleden behoren en de lasboog aanzienlijk stabiel is. Door middel van een zogenaamde balansknop kan de plus/min verhouding worden ingesteld. Hiermee is het mogelijk het reinigende deel van de wisselstroom, of het penetratie-bevorderende deel van de wisselstroom te verlengen of te verkorten.

De meest flexibele uitvoering van deze balansregeling wordt verkregen als niet alleen de plus/min verhouding, maar ook de frequentie, onafhankelijk van de netfrequentie traploos kan worden ingesteld. Door het opvoeren van de frequentie wordt tevens de stabiliteit van de lasboog verbeterd.



figuur 7.5 Regelbare blokvormige wisselstroom bij het TIG-lassen (balansregeling)

7.2.3 TIG-gelijkstroomlassen

Het TIG-lassen met gelijkstroom wordt in Nederland slechts op kleine schaal toegepast. Bij het TIG-lassen met gelijkstroom wordt hoofdzakelijk gelast met de elektrode aangesloten op de negatieve (-) pool. Het warmtetransport naar het werkstuk is dan het grootste, met als gevolg een smalle diepe inbranding en/of een hoge lassnelheid ten opzichte van het lassen met wisselstroom.

De reinigende werking van de boog is slecht, zodat extra veel zorg moet worden besteed aan het reinigen van de te lassen materialen voorafgaande aan het lassen. Door gebruik te maken van helium wordt een zodanig hoge oppervlaktetemperatuur verkregen dat de oxidehuid grotendeels verdampt.

Goede resultaten worden alleen bereikt bij het lassen met een korte, constante booglengte, max. 1,5 à 3 mm, een constante lassnelheid en een kleine afstand gascup - smeltbad. Dit is dan ook de reden waarom deze variant hoofdzakelijk voor het gemechaniseerd lassen wordt toegepast. Noodzaak is hierbij ook nog een automatische booglengteregeling (AVC = Arc Voltage Control) toe te passen. De

hoogfrequent spanning wordt alleen ingeschakeld voor het ontsteken van de boog.

Standaardvoorzieningen van de TIG-stroombron:

1. Installatie voor de ontsteekimpuls voor contactloos starten van de boog, daarvoor zijn twee mogelijkheden:
 - a. Hoogfrequent-installatie die echter de elektronica in de omgeving sterk kan storen;
 - b. Hoogspanningsimpulsgever, die minder kans op storingen geeft.

Als alternatief in omgevingen waar het starten met hoogfrequent of hoogspanning niet is toegestaan, kan een contactstart worden toegepast met geleidelijke toename van de stroom na kortsluiting en boogontsteking (hiervoor moet de stroombron zijn uitgerust met een speciale elektronisch voorziening).
2. Een gesloten waterkoelsysteem met koeler en pomp;
3. Een gasventiel dat de gastoevoer afsluit, indien niet wordt gelast, met timer voor de instelling van een voorspoel- en naspoeltijd;
4. Het slangenpakket (licht en soepel met een handzame watergekoelde TIG-toorts, die minimaal geschikt is voor een elektrodediameter van 3,2 mm;
5. Een gasreducerflowmeter maakt eveneens deel uit van de TIG-lasinstallatie. De flowmeter moet gelijk zijn voor het soort gas dat wordt toegepast, daar de aanwijzing sterk wordt bepaald door de soortelijke massa van het gas. Een argon flowmeter is niet geschikt voor helium.

Als aanbevolen extra's kunnen nog worden genoemd:

- Een zogenaamde kratervul of "downslope" inrichting. Dat is een elektronische regelenheid, waarmee bij het beëindigen van de las de stroom met instelbare steilheid geleidelijk afneemt, zodat het smeltbad langzaam en gelijkmatig stolt, waardoor "eindkraterscheuren" kunnen worden voorkomen;
- Een ingebouwde volt- en ampèremeter.

7.2.4 TIG-lasapparatuur

TIG-lasapparatuur bestaat uit drie hoofdcomponenten die elk weer onderverdeeld kunnen worden in afzonderlijke onderdelen:

- een stroombron;
- een lastoorts met slangenpakket;
- de gasvoorziening.

Stroombronnen voor het TIG-lassen zijn over het algemeen inverters vanwege hun handzaamheid, gunstige elektrische rendement en instelmogelijkheden. Afhankelijk van het type stroombron kunnen stroomsterkten worden ingesteld die liggen tussen de 5 en 500 ampère. Voor het handmatig lassen is een inschakelduur van 60% voldoende, terwijl voor het gemechaniseerd lassen de stroombron altijd een inschakelduur moet hebben van 100%.

Vaak worden machines voor gelijk- en wisselstroom TIG-lassen gecombineerd.

De lastoorts moet voor het lassen van aluminium worden voorzien van een groter gasmondstuk dan bij het lassen van roestvast staal en staal.

Voor het lassen van aluminium hebben vloeistofgekoelde lastoortsen de voorkeur boven gasgekoelde lastoortsen, omdat de lastoortsen zwaarder belast worden. De inschakelduur voor handtoortsen is 60%, terwijl voor het gemechaniseerd lassen altijd lastoortsen met een inschakelduur van 100% gebruikt worden.

De elektrode bestaat vrijwel altijd uit wolfram, echter ook wolfram met zirkoniumoxide toevoegingen kan worden gebruikt.

7.2.5 Beschermgassen

Het doel van het beschermgas is in eerste instantie het op hoge temperatuur gebrachte werkstukmateriaal, smeltbad en de wolfraamelektrode te beschermen tegen verbranding (oxidatie) door zuurstof uit de atmosfeer en tegen opname van stikstof en waterstof eveneens uit de atmosfeer.

Voor het TIG-lassen van aluminium kan als beschermgas worden gekozen uit argon, helium en een mengsel van argon en helium (zie tabel 7.3).

Bij het TIG-lassen met wisselstroom wordt hoofdzakelijk argon beschermgas toegepast. Argon is ten opzichte van helium relatief goedkoop, de boog ontsteekt gemakkelijk en door de hoge dichtheid geeft het een goede bescherming en is tevens minder gevoelig voor tocht. Argon beschermgas wordt in veel gevallen geleverd in stalen cilinders waar het in gasvorm is opgeslagen.

Voor een goede las kwaliteit moet de zuiverheid van argon-gas tenminste 99,99% te zijn. Voor speciale toepassingen waar hoge eisen worden gesteld is argon met een zuiverheid van 99,998% verkrijgbaar.

Helium wordt hoofdzakelijk toegepast bij het gemechaniseerd TIG-lassen met gelijkstroom, elektrode negatief. Door de hogere boogspanning wordt de boog heter, waardoor een diepere inbranding ontstaat en er met een hogere lassnelheid kan worden gelast. Omdat helium veel lichter is dan lucht, moet om een voldoende bescherming van het smeltbad te verkrijgen de gasflow 2 tot 3 maal zo hoog worden ingesteld als voor argon.

Om de gunstige eigenschappen van argon en helium zoveel mogelijk te benutten, zijn argon-heliummengsels beschikbaar (zie tabel 7.3 voor toepassing).

Als richtlijn voor het gasverbruik, afhankelijk van de mondstukopening (dus ook van smeltbadgrootte, stroomsterkte en elektrodediameter) kunnen de waarden volgens tabel 7.4 dienen. Deze richtwaarden gelden voor argon.

tabel 7.3 Overzicht voor het toepassen van beschermgassen voor TIG- en MIG-lassen

	TOEPASSING	
	TIG-lassen	MIG-lassen
Argon (99,99%)	► handmatig lassen met wisselstroom ► handmatig lassen met gelijkstroom, elektrode positief ► gemechaniseerd lassen met wisselstroom	► handmatig ► gemechaniseerd
Helium (99,99%)	► uitsluitend gemechaniseerd lassen met gelijkstroom, elektrode negatief	► niet toepassen
Argon 70% -helium 30%	► gemechaniseerd lassen met wisselstroom voor een hogere lassnelheid ► handmatig lassen met wisselstroom bij grotere materiaaldikten	► kan zowel bij handmatig als gemechaniseerd lassen leiden tot hogere lassnelheid en kleinere kans op bindingsfouten bij grotere materiaaldikten
Helium 70% -argon 30%	► gemechaniseerd lassen met gelijkstroom, elektrode negatief ► gemechaniseerd lassen met gelijkstroom van groter materiaaldikten voor een hogere lassnelheid en/of minder poreusheid	► gemechaniseerd lassen voor een hogere lassnelheid en een betere kwaliteit

tabel 7.4 Richtlijnen voor het handmatig TIG-lassen onder argon met wolfraamelektroden (stompe naden)

plaatdikte of wanddikte	stroomsterkte	elektrodediameter	gascupdiameter	lasdraaddiameter	gashoeveelheid	aantal lagen	lassnelheid
[mm]	[A]	[mm]	[mm]	[mm]	[l/min]		[cm/min]
1	60- 80	1,6	6 of 8	1,6	4 - 6	1	25 - 30
2	100-120	2,4	8	2,0 of 2,4	6 - 8	1	25 - 30
3	140-180	3,2	10	2,0 of 2,4	6 - 8	1	20 - 25
4	180-220	4	12	2,4 of 3,2	6 - 8	1 of 2	20 - 25
5	220-250	5	12	3,2	6 - 8	2	20 - 25
6	240-260	5	12	3,2	8 - 10	2 of 3	20 - 25
8	250-280	5	12	3,2 of 4,0	8 - 10	3 of 4	20 - 25
10	280-320	5 of 6	12 of 15	3,2 of 4,0	8 - 10	4 of 5	20 - 25

7.2.6 Elektroden

De volgende elektrodetypen zijn beschikbaar voor het lassen van aluminium:

TIG-lassen op wisselstroom:

- ▶ Wolfram of wolfram + ZrO_2 voor grotere boogstabiliteit, langere standtijd of hogere stroombelastbaarheid;

TIG-lassen op gelijkstroom:

- ▶ Wolfram met lanthaanoxide (La_2O_3) of ceriumoxide (CeO_2), of mengsel van oxiden van zeldzame aarden (Re oxide) ten gunste van makkelijker ontsteken, een langere standtijd en/of een betere belastbaarheid met een hogere stroom en een stabielere boog.

De samenstelling van de elektrode is herkenbaar aan de kopkleur:

- Groen: zuiver wolfram.
- Grijs: wolfram met ceriumoxide.
- Blauw: wolfram met lanthaanoxide.
- Wit: wolfram met zirconiumoxide.
- Turquoise: wolfram met oxiden van zeldzame aarden.

N.B.: Het gebruik van Thoriumhoudende elektroden is tegenwoordig verboden. Als vervangende elektroden hiervoor kunnen lanthaanoxide en/of ceriumoxide worden gebruikt.

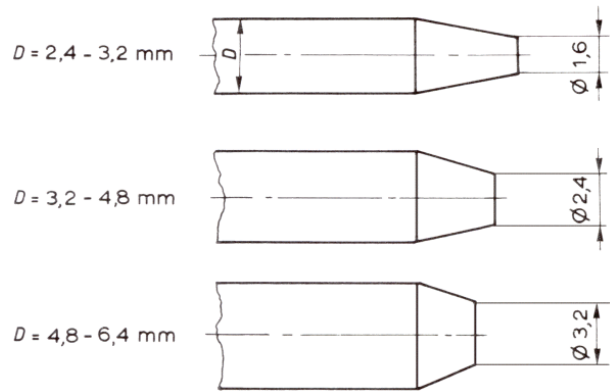
De elektrodediameters variëren van 0,5 tot 6,3 mm. De diameterkeuze is afhankelijk van de stroomsoort, polariteit en stroomsterkte.

Een te kleine diameter resulteert in oververhitting of afsmelten van de elektrode met een grote kans op wolfram-insluitingen in de las; een te grote diameter resulteert in booginstabiliteit en/of een kleinere inbranding (ongunstige breedte-diepte-verhouding van het smeltbad).

Bij het lassen met gelijkstroom moet de elektrode worden aangepunt door middel van slijpen met een tophoek volgens figuur 7.6. De slijpgroeven moeten hierbij in de lengterichting van de elektrode lopen. Bij zeer kritische toepassingen (dun materiaal, lage stroomsterken) wordt soms de elektrodepunt na het slijpen soms gepolijst. Bij het lassen met wisselstroom wordt de elektrode in de regel niet aangepunt; tijdens het lassen ontstaat door smeltverschijnselen een bolvormige top aan de elektrode met een blank spiegelend oppervlak.

Een druppelvormige top aan de elektrode wijst op overbelasting van de elektrode, zodat in dat geval een grotere elektrodediameter moet worden gekozen.

Bij het lassen moet er voor worden gezorgd dat het beschermgas voldoende lang blijft na stromen na het onderbreken van de boog, dit om de warme wolfraamelektrode tegen verbranding door contact met zuurstof uit de atmosfeer te beschermen. Verbranding is duidelijk herkenbaar aan de "donkere kleur" in plaats van de "zilverkleur" die wordt verkregen bij voldoende gasnastroom.



figuur 7.6 Elektrodevoorbewerking bij het lassen met gelijkstroom, elektrode negatief

Ook moet contact van de elektrode tijdens het lassen met het werkstuk, smeltbad of toevoegmateriaal worden vermeden. Hierdoor wordt de elektrode verontreinigd of zal de elektrode afsmelten en kan er wolfram in de las komen. Het verontreinigde deel van de elektrode moet worden afgeslepen voordat weer met lassen wordt begonnen.

7.2.7 Lastoevoegmateriaal

De keuze van het TIG-lastoevoegmateriaal is afhankelijk van het te lassen werkstukmateriaal en eventuele nabehandelingen (zie tabel 7.5 en 7.6). Voor het TIG-handlassen wordt het lastoevoegmateriaal in de vorm van staven verwerkt, die meestal een lengte van 1.000 mm hebben. De staven worden standaard in de diameters Ø 2; 3; 3,2; 4 en 5 mm geleverd.

De draaddiameter moet afgestemd zijn op de te lassen plaatdikte en stroomsterkte. Het is belangrijk dat de materiaalcodering in de toevoegdraad is gestempeld, dit om verwisseling in de praktijk te voorkomen.

Voor het gemechaniseerd TIG-lassen wordt de toevoegdraad vanaf een haspel verwerkt. De draad is verkrijgbaar in de diameters 0,8; 1,0; 1,2 en 1,6 mm, het haspelgewicht kan variëren van 300 gram tot 5 kg. De haspels moeten zijn voorzien van een etiket, waarop duidelijk het draadtype is aangegeven.

Bij levering moeten de toevoegmaterialen vrij zijn van oppervlakteverontreinigingen, zoals vet en trekzeep, daar dit anders tot porositeit in de las kan leiden.

De draden moeten schoon, droog en stofvrij worden opgeslagen, waarbij de eerst geleverde ook het eerst worden verwerkt. Door langdurige opslag onder ongunstige condities neemt de oxidelaagdikte en oppervlakteverontreiniging op de draad toe, waardoor bij verwerking lasfouten, vooral porositeit, kunnen ontstaan.

Ook bij verwerking in de werkplaats moet er op worden gelet dat de draad niet te lang aan de werkplaatscondities wordt blootgesteld en dat verontreiniging door stof, slijpsel en ferrometalen niet mogelijk is. Het beste is de draad in een gesloten draadaanvoereenheid of een aparte haspelbeschermer te plaatsen.

7.2.8 Lasnaadvormen

De keuze van de lasnaadvorm wordt (per lasproces) hoofdzakelijk bepaald door de dikte, vorm en functie van de te lassen constructiedelen. In tabel 7.7 zijn de meest voorkomende lasnaadvormen voor het TIG-lassen opgenomen. De vereiste afschuiningen kunnen door draaien, frezen, zagen, vijlen, of plasmasnijden worden aangebracht. Voor methoden van lasnaadvoorbewerking wordt verwezen naar hoofdstuk 8. Verder is het mogelijk om extrusieprofielen direct in dezelfde extrusiegang van een lasnaadvoorbewerking te voorzien. Ook is het mogelijk om extrusieprofielen van een meegeëxtrudeerde backingstrip te voorzien. Hierdoor is éézijdig doorlassen op de backingstrip mogelijk. Deze blijft onderdeel uitmaken van de constructie.

tabel 7.5 Selectietabel voor de keuze van lastoevoegmaterialen voor het TIG- en MIG-lassen ¹⁾

werkstukmateriaal	7020		6005A 6060 6063 6061 6082		5083		5086		5454		5052 5251		1050A 1200 3103	
1050A, 1200, 3103	4043	4043	5356	4043	5356	5356	5356	5356	5183	4043	5183	4043	4043	4043
	4043	5183	4043	5356	5356	5356	5356	5356	5654	5654	5654	5654	1100	1100
5052/5251	5183	5183	5183	4043	5183	5183	5183	5183	5183	5183	5183	5183		
	5556	5356	5556		5556	5356	5356	5356	5556	5356	5556	5356		
	5183	5183	4043	5183	5183	5183	5183	5183	5654	5654	5654	5654		
5454	5183	5183	5183	4043	5183	5183	5183	5183	5183	5183				
	5556	5356	5556		5556	5356	5356	5356	5556	5356				
	5183	5183	5183	5183	5654	5183	5654	5183	5654	5183				
5086	5183	5183	5183	4043	5183	5183	5183	5183						
	5556	5356	5356	5183	5356	5356	5356	5356						
	5183	5183	5183	5183	5356	5183	5183	5183						
5083	5183	5183	5183	4043	5183	5183								
	5556	5356	5556	5183	5556	5356								
	5183	5183	5183	5183	5183	5183								
6005A, 6060, 6063, 6061, 6082	5183	4043	5183	4043										
	5556	5183	5356	5183										
	5183	5183	4043	5183										
7020	5183	5183												
	5556	5356												
	5183	5183												

Keuze van lastoevoegmaterialen in afhankelijkheid van de eisen:

optimale sterkte	goede lasbaarheid
goede corrosie-eigenschappen	geschikt voor anodiseren

Opmerking 1: De keuze voor het type lastoevoegmateriaal uit het oogpunt van sterkte wordt in de 5XXX-serie bepaald door een voorkeur voor een draadtype met een hoger Mg-percentage dan het te lassen basismateriaal. Het type EN AW-5356 is voor de 5XXX-serie een goed compromis in verband met sterkte, ductiliteit en lasbaarheid (scheurgevoeligheid).

Opmerking 2: Voor het verbinden van de verschillende typen in de 5XXX-serie aan elkaar, kunnen uit het oogpunt van corrosie en kleurigheid bij het anodiseren ook de aanbevolen AlMg-typen genoemd bij sterkte en lasbaarheid in plaats van het veelal genoemde type EN AW-5183 worden gebruikt.

1) In de tabel is bij de materiaalnummers de aanduiding EN AW in verband met de ruimte voor het gemak weggelaten.

tabel 7.6 Samenstelling en normaanduidingen van lastoevoegmaterialen

materiaal	chemische samenstelling in %										andere (max.)	
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti		ieder	totaal
EN AW-1100	>99,00	0,95 Si + Fe		0,05-0,20	0,05			0,1			0,05	0,15
S-Al99,5	>99,5	0,3	0,4	0,05				0,07			0,05	0,15
EN AW-4043	rest	4,5-6,0	0,8	0,3	0,05	0,05		0,1	0,2		0,05	0,15
S-AlSi5	rest	4,5-5,5	0,4	0,05	0,1	0,1		0,2	0,25		0,05	0,15
EN AW-4047	rest	11,0-13,0	0,8	0,3	0,15	0,1		0,2			0,05	0,15
S-AlSi12	rest	11,0-13,5	0,6	0,05	0-0,5	0,05		0,1	0,15		0,05	0,15
EN AW-5654	rest	0,45 Si + Fe		0,05	0,01	3,1-3,9	0,15-0,35	0,2	0,05-0,15		0,05	0,15
S-AlMg3	rest	0,25	0,4	0,05	0-0,06	2,6-3,4	0-0,03	0,2	0,10-0,25		0,05	0,15
EN AW-5356	rest	0,25	0,4	0,1	0,05-0,20	4,5-5,5	0,05-0,20	0,1	0,06-0,20		0,05	0,15
S-AlMg5	rest	0,25	0,4	0,4	0,05	4,5-5,5	0,03	0,2	0,10-0,25		0,05	0,15
EN AW-5556	rest	0,4	0,4	0,1	0,50-1,0	4,7-5,5	0,05-0,20	0,25	0,05-0,20		0,05	0,15
EN AW-5183	rest	0,4	0,4	0,1	0,50-1,0	4,3-5,2	0,05-0,25	0,25	0,15		0,05	0,15
S-AlMg4,5Mn	rest	0,25	0,4	0,05	0,60-1,0	4,3-5,2	0,05-0,25	0,25	0,10-0,25		0,05	0,15

tabel 7.7 Lasnaadvormen voor het TIG-lassen

type	lasnaadvorm	uitvoering	voorbewerking	aanbevolen plaatdikte "t" mm	afschuining α° , β°	vooropening "b" mm	neusje "c" mm	opmerkingen	tekensymbool volgens NEN-ISO 2553 en NEN 2755	plaatdikte [mm]	BEOORDELING					
											kans op inhomogeni- teiten in lasverbinding	omvang lasspanningen of vervorming	kosten aanbrengen lasnaadvorbewerking	laskosten	statische sterkte	vermoelingsweerstand
1	randlas	éénzijdig		0,4-1,5	0	0	-	lassen zonder toevoeg- materiaal, alle posities		0,4-1,5	1	1	2	1	2	1
2	randlas	éénzijdig		≤2	0	0	-	lassen zonder toevoeg- materiaal, alle posities		≤2	1	1	1	1	2	1
3	randlas	éénzijdig		≤2	0	0	-	lassen zonder toevoeg- materiaal		≤2	1	1	2	1	2	1
4	T-naad	éénzijdig		0,6-3	0	0-2	-	bij t > 2 mm naadkanten aan doorlaszijde breken. Even- tueel lassen op backingstrip		0,6-3	2	2	1	2	3	2
5	T-naad	éénzijdig op meegelaste backingstrip		≤4	0	2-5	-	-		≤4	1	1	2	1	3	2
6	I-naad	tweezijdig		≤4	0	0-2	-	-		≤4	1	1	1	2	3	3
7	V-naad	éénzijdig of tweezijdig		3-10	50-90° *)	0-2	0-2	bij het éénzijdig lassen op backingstrip moet de voor- opening 3-5 mm zijn. Bij het tweezijdig lassen voor het tegenlassen eerst tegen- slijpen of frezen	éénzijdig	3-10	2	2	2	1	3	2
									tweezijdig	3-10	1	1	2	2		
8	V-naad	éénzijdig of tweezijdig		3-10	$\alpha = 45^\circ$ $\beta = 10^\circ$	0-2	0-2	alleen toepassen bij het las- sen in 2G positie. Bij het één- zijdig lassen op backingstrip, vooropening van 3-5 mm toepassen. Bij het tweezijdig lassen eerst tegenslijpen of frezen	éénzijdig	3-10	2	2	2	1	3	2
									tweezijdig	3-10	1	1	2	2		
9	kelknaad	éénzijdig		≥10	10-15°	0-1	1-3	speciaal aanbevolen voor al of niet gemechaniseerd las- sen van dikwandige pijpen		10-16	1	3	3	2	3	2
										>16	1	3	3	1		
10	X-naad	tweezijdig		≥10	50-90° *)	0-2	0-2	voor het tegenlassen eerst tegenslijpen of frezen		10-16	1	1	2	2	3	3
										>16	1	1	2	1		
11	halve V-naad	éénzijdig of tweezijdig		≤10	50-90° *)	2-3	0-2	bij het tweezijdig lassen voor het tegenlassen eerst tegenslijpen of frezen	éénzijdig	≤10	3	2	1	2	3	1
									tweezijdig	≤10	2	1	1	3	3	2
12	K-naad	tweezijdig		>10	50-90° *)	2-3	0-2	voor het tegenlassen eerst tegenslijpen of frezen		>10	2	1	2	3	3	2
13	hoeklas	éénzijdig of tweezijdig		1-8	-	-	-		éénzijdig	<4	1	2	1	1	1	1
									tweezijdig	4-8	1	2/3	1	1		
14	buiten hoeklas	éénzijdig of tweezijdig		1-8	-	-	-		éénzijdig	<4	2	2	1	1	2	1
									tweezijdig	4-8	2	2/3	1	1		
15	overlap- naad	éénzijdig		1-8	-	-	-	-		≤8	1	2	1	1	2	1

Beoordeling: 1 = laag/klein; 2 = gemiddeld; 3 = hoog/groot
*) Een kleinere hoek vraagt een groter vakmanschap

Beoordeling: 1 = laag/klein; 2 = gemiddeld; 3 = hoog/groot
 *) Een kleinere hoek vraagt een groter vakmanschap

Voor het éézijdig lassen kan verder gebruik worden gemaakt van backingstrips van roestvast staal, keramiek of glasvezel. Belangrijk is dat de roestvaststalen en keramische backingstrips van een groef zijn voorzien van minimaal 10 mm breed en 2 mm diep. De backingstrip kan door middel van klemmen of tape worden aangebracht. De vooropening moet bij het éézijdig doorlassen op backingstrip groter zijn dan normaal. Zoals in tabel 7.7 is aangegeven, moeten stompe naden vanaf een materiaaldikte van 3 mm zo mogelijk worden tegengelast. Om een volledige doorlassing te bereiken, moet voorafgaand aan het tegenlassen de lasnaad worden uitgeslepen of gefreesd.

In de tabel zijn tevens de te gebruiken lassymbolen aangegeven volgens NEN-ISO 2553. In aanvulling op de tabellen 5.1 t/m 5.10 in hoofdstuk 5 "Constructieve uitvoering", zijn ook hier indicaties gegeven betreffende de te verwachten kwaliteit, de mechanische sterkte en de kosten.

7.2.9 Ontsteken van de boog

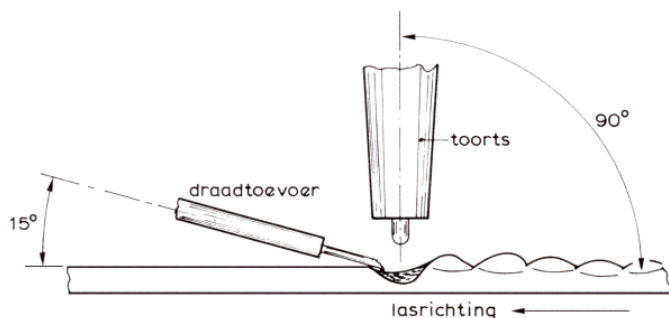
De beste methode van ontsteken van de boog bij handmatig TIG-lassen is om de toorts eerst vlak op het materiaal te leggen en dan de toorts steunend op het keramische mondstuk te kantelen en de boog te laten ontsteken door middel van de 'hoogfrequent'. Op deze manier 'vriest' de elektrode niet vast en wordt verontreiniging van de wolframelektrode met het basismateriaal, met als gevolg wolframinsluitsels in de las, voorkomen. Wanneer een nieuwe wolframelektrode wordt gebruikt is het raadzaam om van tevoren eerst de boog meerdere keren op een hulpplaatje te ontsteken, zodat de elektrodepunt zich kan vormen en wolframinsluitsels in de las worden voorkomen.

Indien de elektrode bij het ontsteken van de boog toch het werkstuk heeft geraakt, moet de contactplaats eerst worden uitgeslepen of gefreesd en de elektrode van een nieuwe punt worden voorzien (zie § 7.2.6).

De lasboog kan ook worden ontstoken met een zogenaamde hoogspanningspuls. Het voordeel hiervan is, dat er geen ongewenste elektromagnetische straling wordt verkregen, zoals bij het hoogfrequent starten wel het geval is. Een andere mogelijkheid om de TIG-boog te starten is door middel van het zogenaamde "contactstart" principe, waarbij een speciale elektronische regeling ervoor zorgt dat er contact gemaakt kan worden tussen de elektrode en het werkstuk. Hierna kan de lasboog ontsteken zonder dat het werkstuk verontreinigd wordt of de elektrode wordt beschadigd.

7.2.10 Lasuitvoering

Voordat met het lassen wordt begonnen, moet de juiste elektrode, stroomsterkte, gasflow en het type en de diameter van het toevoegmateriaal worden gekozen. Richtlijnen voor deze keuze geven tabel 7.4 t/m 7.7. Bij het gemechaniseerd TIG-lassen moeten de lastoorts en het toevoegmateriaal in de juiste positie worden opgesteld (zie figuur 7.7) en het juiste lasprogramma worden ingesteld.

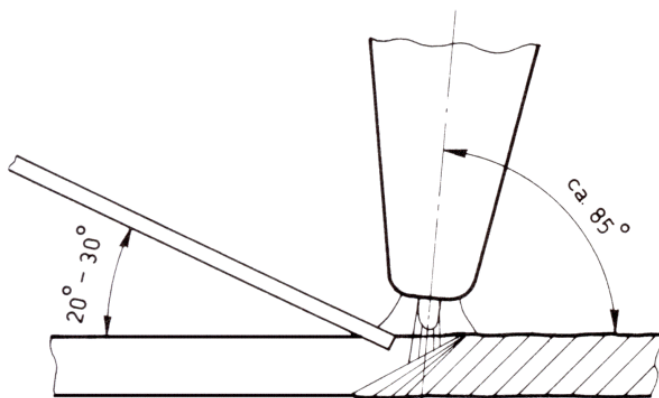


figuur 7.7 Stand van de toorts en de draadaanvoer bij het gemechaniseerd TIG-lassen met wisselstroom

De volgende aanbevelingen betreffen uitsluitend het handmatig TIG-lassen:

- ▶ de boog zoveel mogelijk op lasnaadflank of reeds gelegde las ontsteken;

- ▶ na het vormen van een smeltbad wordt de toorts met regelmatige snelheid, al dan niet onder toevoegen van lasdraad, "stekend" voortbewogen in de richting van de lasdraad. De hoek tussen lastoorts en werkstuk bedraagt $\pm 85^\circ$ (zie figuur 7.8);
- ▶ de booglengte mag tussen de 3 en 7 mm variëren;
- ▶ indien toevoegmateriaal wordt gebruikt (hetgeen bij aluminium vrijwel altijd aan te bevelen is), de lasdraad onder een hoek van 20° à 30° aan de rand van het smeltbad toevoegen (zie figuur 7.8);
- ▶ de lastoevoegdraad mag de elektrodepunt niet raken, daar anders vervuiling en afsmelten van de elektrodepunt optreedt. Tevens veroorzaakt een vervuilde elektrodepunt een instabiele boog;
- ▶ het afsmeltende einde van het toevoegmateriaal moet steeds in de beschermende gasatmosfeer van de boog blijven, daar anders oxidatie optreedt;
- ▶ de punt van het toevoegmateriaal moet tijdens het lassen in de beschermde gasatmosfeer worden gehouden;
- ▶ het uiteinde van de toevoegdraad moet na een onderbreking worden afgeknijpt, daar het hete uiteinde is geoxideerd;
- ▶ bij het verbreken van de boog: teruglopen op de reeds gelegde las- of naadflanken om kratervorming en scheuren te voorkomen;
- ▶ beter is nog om gebruik te maken van een lasinstallatie met ingebouwde kratervuller, die zorgt voor een automatische stroomafname bij het stoppen;
- ▶ bij het herstarten moet de eventueel aanwezige krater worden uitgeslepen of gefreesd, dit om eventuele kraterscheurtjes te verwijderen en om een foutloze aanvloeiing te bereiken. Hierna borstelen;
- ▶ bij het lassen in meerdere lagen moet de voorgaande laag worden geborsteld, voordat met de volgende laag wordt begonnen;
- ▶ de las moet een glanzend uiterlijk hebben met aan weerszijden van de las een zilverkleurige zone;
- ▶ met uitzondering van de AlMg-legeringen kan een dof lasuiterlijk tijdens het lassen op een onvoldoende gasbescherming wijzen;
- ▶ bij aluminiumlegeringen die een warmtebehandeling hebben ondergaan, is het belangrijk om de voorgeschreven interpasstemperatuur aan te houden;



figuur 7.8 Stand van de lasstaaf bij het horizontaal TIG-lassen met wisselstroom

7.2.11 Lasfouten

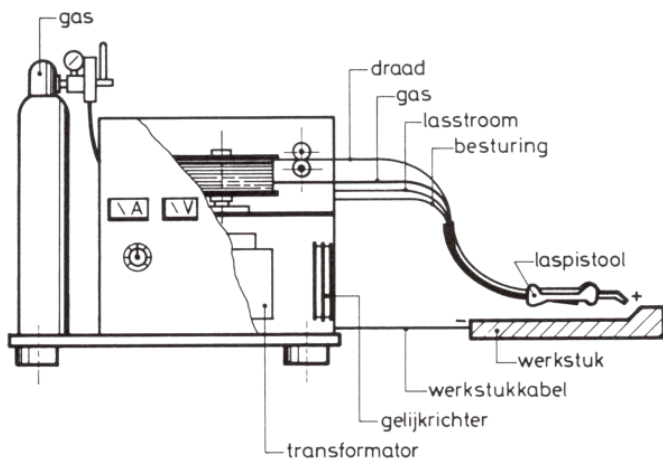
Voor de meest voorkomende lasfouten in TIG-gelaste verbindingen wordt verwezen naar § 7.6. Ook kunnen in deze paragraaf de meest voorkomende oorzaken, respectievelijk de remedies ter voorkoming, worden teruggevonden. In dat kader wordt tevens verwezen naar hoofdstuk 9, waarin ter voorkoming van lasproblemen, in een vroegtijdig stadium, met name de lasmethode en lasserskwalificatie gebaseerd op een goede lasmethodebeschrijving worden aanbevolen.

7.3 Het MIG-lassen

7.3.1 Algemeen

Het MIG-lassen (zie figuur 7.9) is een proces waarbij een boog wordt onderhouden tussen het werkstuk en een continu aangevoerde lasdraad, waarbij de boog is omgeven door een beschermend gas. Het lastoevoegmateriaal (de lasdraad) is op de positieve pool van de gelijkstroombron aangesloten en wordt door een draadaanvoermechanisme met een constante, instelbare snelheid door de contactbuis naar het smeltbad gevoerd. Door de positieve poling van de draad wordt een maximale reinigende werking van de boog en een hoge afsmeltsnelheid van de draad verkregen. Het MIG-lassen is een proces dat zowel met de hand als gemechaniseerd, bijvoorbeeld in combinatie met een lasrobot, kan worden toegepast.

Bij het MIG-lassen wordt onderscheid gemaakt in het kortsluitboog-, het sproeiboog-, het pulsbooglassen en koude varianten. Dit heeft te maken met de manier waarop het materiaaltransport naar het smeltbad verloopt. Voor een meer gedetailleerde omschrijving wordt verwezen naar de voorlichtingspublicatie VM 124 "MIG/MAG lassen en zijn varianten". Hierna is een samenvatting van het gedrag van de boog omschreven.



figuur 7.9 Schema MIG-apparatuur

7.3.2 Materiaaltransport in de boog

Kortsluitbooglassen

Kortsluitbooglassen is voor het lassen van aluminium en aluminiumlegeringen niet geschikt. Tijdens de kortsluiting bestaat er geen boog en ontbreekt de reinigende werking, waardoor aluminiumoxide-insluitsels kunnen ontstaan. Bovendien is de warmte-inbreng beperkt, hetgeen de oorzaak kan zijn van bindingsfouten.

Sproeibooglassen

Bij verhoging van de lasstroom en lasspanning tot boven een kritische waarde ontstaat een continu ontstoken (open) boog. Er vinden geen kortsluitingen meer plaats. Het draaduiteinde smelt en door elektromagnetische krachten worden druppels vloeibaar materiaal afgesplitst, die als fijne druppels in het smeltbad belanden. De boog maakt een zoemend geluid. De bovengenoemde kritische waarde noemt men de kritische stroomsterkte. Deze kritische stroomsterkte is afhankelijk van de diameter van de draad en het gebruikte gas. In tabel 7.8 is de kritische of overgangsstroomsterkte vermeld voor het MIG-lassen van aluminium onder argon voor de draaddiameters 0,8 - 2,4 mm.

Sproeibooglassen is voor aluminium uitermate geschikt. De reinigende werking van de boog geschiedt zonder onderbrekingen. De relatief hoge stroomsterkte geeft echter een hoge warmte-inbreng, zodat het lassen beperkt is tot de "onder de hand positie" (PA) en het maken van staande hoeklassen (PB). Bij dunne plaat, grondnaden in dikkere plaat of bij het lassen in positie kan het smeltbad te groot en niet te beheersen zijn. Is lassen met de sproeiboog niet

mogelijk, dan moet het pulserend MIG-lassen worden toegepast.

tabel 7.8 Kritische stroomsterkte (overgang kortsluitboog-lassen naar sproeibooglassen) voor het MIG-lassen van aluminium onder argon

draaddiameter	kritische stroomsterkte
[mm]	[A]
0,8	ca. 90
1,0	110
1,2	125
1,6	160
2,4	190

Pulserend MIG-lassen

Om bij een lagere dan de kritische stroomsterkte toch zonder kortsluitingen te kunnen lassen, wordt gebruik gemaakt van een pulserende stroom, het zogenaamd pulserend MIG-lassen. Bij het pulserend lassen wordt op een ingestelde grondstroom met een bepaalde frequentie een piekstroom gezet. De grondstroom onderhoudt de boog en ligt beneden de kritische lasstroom. De piekstroom ligt boven de kritische lasstroom. Bij elke puls wordt door de krachten die op het elektrode-eind inwerken een druppel afgesplitst en in het smeltbad geschoten. Bij het pulserend lassen wordt bij een gemiddelde stroomsterkte, die onder de kritische lasstroom ligt, in het sproeibooggebied gelast. Bij het lassen van aluminium werd vroeger vaak een vaste puls-frequentie van 50 of 100 Hz gebruikt. Tegenwoordig zijn vrijwel alle moderne puls-MIG-lasmachines voorzien van de mogelijkheid met een continu variabele puls-frequentie te werken. Wanneer hierbij de lasparameters gekoppeld zijn aan de puls-frequentie, wordt het synergisch MIG-lassen genoemd. Bij moderne synergische stroombronnen is een aantal karakteristieke lijnen voorgeprogrammeerd. De parameters volgen deze lijnen en liggen dan min of meer vast in de stroombron. De te volgen lijnen (synergische relaties) worden geselecteerd op basis van een aantal vaste voorinstellingen, zoals materiaal, draaddiameter en beschermgas. De stroombron kan hiermee zelf zijn optimale lasparameters bepalen. Fijnafstelling is nog handmatig mogelijk om de booglengte bij te regelen of de boogwarmte te variëren.

De belangrijkste voordelen van het pulserend MIG-lassen van aluminium (zie tabel 7.2) ten opzichte van het continu stroom MIG-lassen zijn:

- ▶ het lassen van dunne plaat en grondlagen in alle posities is mogelijk;
- ▶ er kan een grotere draaddiameter worden toegepast. Hierdoor neemt de gevoeligheid voor storingen in de draadaanvoer af. Dikkere draden zijn goedkoper en de oppervlakte-volume verhouding is kleiner, zodat naar verhouding de verontreinigingen afkomstig uit het oppervlak van de draad minder zijn;
- ▶ als neveneffect van de hoge piekstroom wordt de reinigende werking van de boog versterkt;
- ▶ de afbrand van legeringselementen als zink en magnesium is geringer;
- ▶ door de lagere warmte-inbreng is de vervorming minder;
- ▶ beïnvloeding van het basismateriaal door de laswarmte is kleiner, belangrijk bij "veredelde" legeringen.

Koude varianten van het MIG/MAG lassen

Koude varianten van het MIG/MAG lassen zijn gebaseerd op een betere beheersing van het traditionele kortsluitboog-lassen. De ontwikkeling van deze nieuwe varianten van het MIG/MAG lassen zijn mogelijk gemaakt door de voortschrijdende ontwikkelingen in de moderne elektronica gecombineerd met een verder gaand begrip van het MIG/MAG lassen. In de industrie zijn dit soort processen over het algemeen bekend onder hun handelsnamen, waarvan de meest bekende zijn: het STT (Surface Tension Transfer) lassen (Lincoln-Smitweld), het CMT (Cold Metal Transfer) lassen (Fronius), het ColdArc lassen (EWM) en CP (Cold

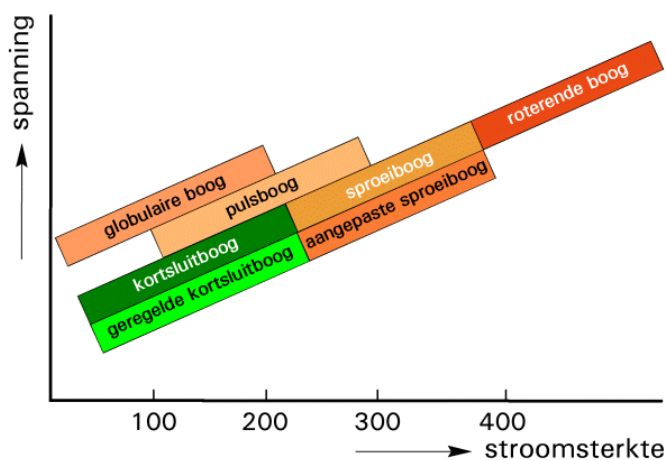
Process) lassen (Cloos). Het STT, CMT, ColdArc en CP lassen zijn ontwikkeld om bij het kortsluitbooglassen een betere kwaliteit (minder spatten, beter aangevloeide lassen, minder warmte-inbreng/vervormingen) te realiseren.

Het STT lassen wordt voornamelijk ingezet voor het lassen van ongelegeerd staal, terwijl de andere processen (CMT, ColdArc, CP) ook voor het lassen van aluminium en roestvast staal kunnen worden ingezet.

De belangrijkste toepassingen voor deze processen zijn o.a.:

- ▶ spatvrij kortsluitbooglassen;
- ▶ dunne plaat lassen (staal, aluminium, roestvaststaal);
- ▶ lassen van staal en aluminium met zeer lage warmte-inbreng;
- ▶ maken van doorlassingen in pijpen.

In figuur 7.10 is te zien dat het werkgebied voor de 'koude varianten of geregelde kortsluitbogen' van het MIG/MAG zich qua lasparameters onder het werkgebied van het MAG kortsluitbooglassen bevindt. Hiermee wordt aangetoond dat de hoeveelheid ingebrachte warmte in alle gevallen minder is dan bij het MAG kortsluitbooglassen.



figuur 7.10 Schematische ligging van het werkgebied van de 'koude' varianten van het MIG/MAG lassen (=geregelde kortsluitboog)

Figuur 7.10 geeft de positionering ten aanzien van het ontwikkelde boogvermogen aan van deze MIG/MAG varianten van het gestuurd kortsluitbooglassen.

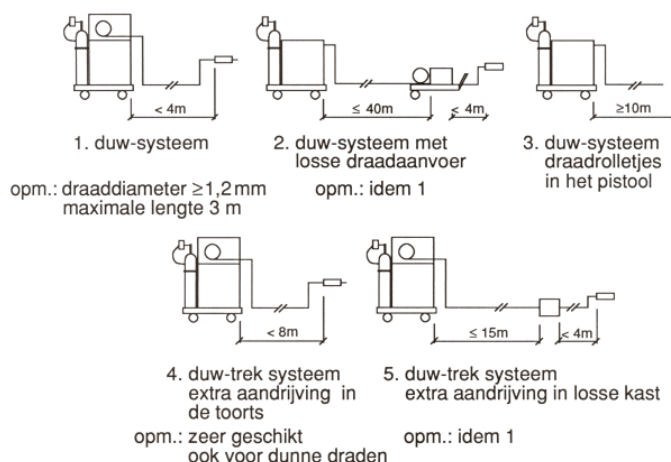
Alleen met deze processen is het mogelijk aluminium met een kortsluitboog te lassen. Waakzaamheid is echter op zijn plaats. Juist bij het gebruik van deze processen is een optimale reiniging van de te verbinden delen voorafgaande aan het lassen een noodzaak.

7.3.3 MIG-lasapparatuur

De MIG-lasapparatuur kan onder andere ingedeeld worden naar de wijze waarop de draadtoevoer plaatsvindt. De op de markt zijnde draadaanvoersystemen worden schematisch weergegeven in figuur 7.11 (nr. 1 t/m 5).

Het draadaanvoersysteem speelt bij het lassen van aluminium een belangrijke rol, omdat de aluminiumdraden betrekkelijk zacht zijn. Dit stelt beperkingen aan de lengte van het slangenpakket met name bij de "dunne" draden van 0,8 en 1,0 mm. Bij deze diameters is een duwsysteem met een slangenpakket tussen de draadhaspel en het laspistool (nr. 1) te storingsgevoelig en daarom niet toepasbaar. Voor deze draaddiameters wordt een zogenaamd (duw-trek) push-pull-systeem (nr. 4 en 5) aanbevolen, waarbij de draad niet alleen door de draadgeleider wordt geduwd, maar door middel van een aandrijfsysteem in het pistool tevens wordt getrokken, waarbij een kabelpakketlengte van circa 8 m mogelijk is. De grotere actieradius die hierdoor ontstaat is een voordeel. Als nadeel kan worden genoemd dat het laspistool zwaarder, groter en duurder is dan een normaal MIG-laspistool. Bij een draaddikte van 1,6 mm en in minder mate 1,2 mm kan een duwsysteem worden

toegepast, mits de kabelpakketlengte beperkt blijft tot 3 à 4 m. In alle gevallen moet een teflon draadgeleider worden toegepast.



figuur 7.11 Draadaanvoersystemen bij het MIG-lassen

Voor zeer dunne lasdraden en korte laslengten bestaan systemen waarbij een kleine draadhaspel (circa 0,5 kg) in het pistool is opgenomen (nr. 3). Dit systeem heeft als nadelen de geringe hoeveelheid draad op de haspel, het zware pistool, het beperkt aanbod in draadtypen en een relatief hoge prijs van het lastoevoegmateriaal. De storingsgevoeligheid is bij toepassing van dit systeem belangrijk minder. Bij de keuze van een MIG-apparaat moet rekening worden gehouden met de relatief hoge lasstromen, die benodigd zijn bij het lassen van aluminium (zie tabel 7.8). Met een apparaat dat te weinig vermogen kan leveren, kan niet in het sproeigebied worden gelast. Dit gaat ten koste van de kwaliteit van de lasverbinding. Welk vermogen de stroombron moet hebben, hangt af van het uit te voeren laswerk. Veelal zal minimaal een stroombron van 250 tot 350 A nodig zijn. Het laspistool wordt door gebruik van 100% argon als beschermgas en door het reflecterend vermogen van aluminium thermisch zwaar belast. Een watergekoeld pistool verdient de voorkeur.

Het beschermgas (zie tabel 7.3)

Voor het MIG-lassen van aluminium wordt overwegend argon als beschermgas gebruikt en slechts in speciale situaties helium-argon mengsels. Bij gelijke lasstroom en booglengte is de boogspanning bij helium hoger dan bij argon, zodat de lasboog meer vermogen heeft. Het inbrandingsprofiel is hierdoor bij helium-argon mengsels breder en minder vingervormig dan bij argon. Bij argon manifesteert deze vingervorm zich met name bij een voor de draaddiameter relatief hoge lasstroom. De invloed op de lasstroom bij verandering van de booglengte is bij argon geringer dan bij helium-argon mengsels. Dit is gunstig bij het handlassen. Helium-argon mengsels geven een heter smeltbad, hetgeen het ontgassen bevordert en de gevoeligheid voor het ontstaan van porositeit en bindingsfouten vermindert.

Lastoevoegmaterialen

In tabel 7.6 is een overzicht gegeven van de chemische samenstelling van veel gebruikte typen lastoevoegmateriaal. In tabel 7.5 is tevens aangegeven welke lasmaterialen voor welke typen basismateriaal kunnen worden gebruikt. Voor behandeling en opslag wordt verwezen naar § 7.2.7 van TIG-lassen.

Lasnaadvormen en lasparameters

In tabel 7.9 zijn de te gebruiken naadvormen van zowel stompe als voor hoeknaden voor het MIG-lassen gegeven. In de tabel zijn tevens de te gebruiken lassymbolen aangegeven volgens NEN-ISO 2553. In aanvulling op de tabellen 5.1 t/m 5.10 (hoofdstuk 5 "Constructieve uitvoering"), zijn ook hier indicaties gegeven betreffende de te verwachten kwaliteit, de mechanische sterkte en de kosten.

tabel 7.9 Lasnaadvormen voor het MIG-lassen

type	lasnaadvorm	uitvoering	voorbewerking	aanbevolen plaatdikte "t" mm	afschuining α° , β°	vooropening "b" mm	neusje "c" mm	opmerkingen	tekensymbool volgens NEN-ISO 2553 en NEN 2755	plaatdikte [mm]	BEOORDELING						
											kans op inhomogeni- teiten in lasverbinding	omvang lasspanningen of vervorming	kosten aanbrengen lasnaadvoorbewerking	laskosten	statische sterkte	vermoelingsweerstand	
1	T-naad	éénzijdig		1-3	-	0-2	-	lassen op backingstrip		1-3	1	1	1	1	3	2	
2	T-naad	éénzijdig		1-4	-	0-3	-	-		≤2 >2-4	1 2	1	1	1	3	1	
3	I-naad	tweezijdig		1-4	-	1-2	-	-		<3 3-4	1 2	1	1	1	3	3	
4	V-naad	éénzijdig of tweezijdig		3-16	50-90° *)	0-2	0-2	bij het éénzijdig lassen op backingstrip moet de voor- opening 3-5 mm zijn. Bij het tweezijdig lassen voor het tegenlassen eerst tegen- slijpen of frezen	éénzijdig tweezijdig 	≤4 >4-10 >10-16 ≤4 >4-10 >10-16	2 3 3 1 2 2	2 2 3 1 2 2	2 2 2 2 2 2	1 1 1 2 2 2	3 3	2 3	
5	kelknaad	éénzijdig		≥16	10-15°	0-1	1-3	grondlaag TIG-gelast. Kanten aan doorlaszijde breken		≥16	2	3	3	1	3	2	
6	V-naad	éénzijdig of tweezijdig		3-16	$\alpha = 45^\circ$ $\beta = 10^\circ$	0-2	0-2	alleen toepassen bij het las- sen in 2G positie. Bij het één- zijdig lassen op backingstrip moet "b" 3-5 mm zijn. Bij het tweezijdig lassen eerst tegenslijpen of frezen	éénzijdig tweezijdig 	≤4 >4-10 >10-16 ≤4 >4-10 >10-16	2 3 3 1 2 2	2 2 3 1 2 2	2 2 2 2 2 2	1 1 1 2 2 2	3 3	2 3	
7	X-naad	tweezijdig		≥12	50-90° *)	0-2	0-3	voor het tegenlassen eerst tegenslijpen of frezen		10-16 >16	1 1	3 3	3 3	2 1	3	2	
8	halve V-naad	éénzijdig of tweezijdig		≥3	50-90° *)	0-2	0-3	bij het tweezijdig lassen voor het tegenlassen eerst tegenslijpen of frezen	éénzijdig tweezijdig 	≤4 >4-10 >10 ≤4 >4-10 >10	2 3 3 1 2 2	2 3 3 1 1/2 1/2	1 2 2 3 3 3	1 2 2 3 3 3	3	1 2	
9	K-naad	tweezijdig		≥12	50-90° *)	0-2	0-3	voor het tegenlassen eerst tegenslijpen of frezen		12-16 >16	2 2	2 2	2 2	2 2	3	3	
10	hoeklas	éénzijdig of tweezijdig		>2	-	-	-	-	éénzijdig tweezijdig 	≤4 >4-10 >10 ≤4 >4-10 >10	1 2 2 1 1 2	2 3 3 1 1 2	1 1 1 2 2 2	1 1 1 2 2 2	1	1 1	
11	buiten hoeklas	éénzijdig of tweezijdig		>2	-	-	-	-	éénzijdig tweezijdig 	≤4 >4-10 >10 ≤4 >4-10 >10	2 3 3 1 1 2	2 3 3 1 1 2	1 1 1 2 2 2	1 1 1 2 2 2	2	1 1	
12	overlap- naad	éénzijdig		>2	-	-	-	-		≤10 >10	1 2	2 3	1 1	1 2	2	1	
13	dubbele kelknaad	tweezijdig		>20	15-20	0-1	0-3	voor het tegenlassen eerst tegenslijpen of frezen		>20	2	2	3	1	3	3	

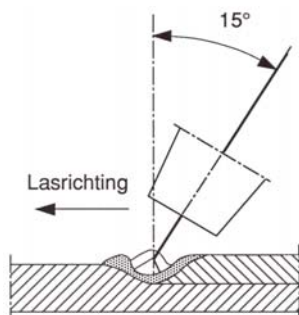
Beoordeling: 1 = laag/klein; 2 = gemiddeld; 3 = hoog/groot
*) Een kleinere hoek vraagt een groter vakmanschap

Becoördeling: 1 = laag/klein; 2 = gemiddeld; 3 = hoog/groot

*) Een kleinere hoek vraagt een groter vakmanschap

7.3.4 Lasuitvoering

Bij het lassen bedraagt de afstand tussen het gasmondstuk en het werkstuk ca. 10 mm. Er wordt altijd stekend gelast bij aluminium, dat wil zeggen dat het pistool ten opzichte van de lasrichting iets naar achteren overhelt (zie figuur 7.12). Aan te bevelen is een hoek van maximaal 15° (85°) aan te houden.



figuur 7.12 Stand van het laspistool ten opzichte van de lasrichting

Om bindingsfouten en kraterscheuren aan het begin en eind van de las te voorkomen, is het raadzaam om in- en uitloopplaatjes te gebruiken. Aan beide uiteinden van de naad worden plaatjes, van dezelfde dikte als het te lassen werkstuk, gehecht. De plaatjes moeten van voldoende lengte zijn. Bij dikke plaat of speciale naadvormen is het gewenst dat dezelfde naadvorm wordt aangebracht in de in- en uitloopplaatjes.

In die gevallen dat in- en uitloopplaatjes niet toegepast kunnen worden, wordt de boog 10 mm van het begin van de naad ontstoken. Dit om ongelijke lasrupsen en roetvorming (waardoor insluitsels kunnen ontstaan) zoveel mogelijk te voorkomen. Vervolgens loopt men weer snel terug naar het begin van de naad. Hierdoor wordt bereikt dat het startpunt enigszins wordt voorverwarmd.

Om kraterscheuren aan het eind van de las te voorkomen, is het wenselijk om de krater klein te houden door vlak voor het verbreken van de boog de lassnelheid iets te vergroten en eventueel iets terug te lopen over de reeds gelegde las.

Ook bij het hechten kan deze techniek worden toegepast. Kraterscheuren kunnen ook worden voorkomen door versneld uitlopen op het werkstukmateriaal direct naast de lasnaad.

Bij het lassen opletten dat het smeltbad niet voor de boog uitloopt, daar anders bindingsfouten kunnen ontstaan. Als de lasrups te smal is ten opzichte van de lasnaadbreedte is verkanten van de lasrupsen noodzakelijk; liever niet zwaaien. Hetzelfde geldt voor staande hoeklassen met een a-hoogte groter dan 5 mm. Iedere rups of laag voor het lassen goed borstelen.

Bij het maken van aanhechtingen in de lasnaad de kraters goed uitslijpen of frezen.

7.3.5 Storingen bij het MIG-lassen

Ondanks dat bij het MIG-lassen de juiste apparatuur wordt toegepast en met de juiste lasparameters wordt gelast, bestaat de mogelijkheid dat er storingen optreden. Tabel 7.10 geeft een overzicht van de meest voorkomende storingen, oorzaken en hoe deze kunnen worden verholpen.

7.4 Algemene aanwijzingen voor het TIG- en MIG-lassen (voor en na het lassen)

7.4.1 Controle van de lasinstallatie

Voor een goed lasresultaat is het erg belangrijk dat men de gehele lasinstallatie regelmatig controleert. Controle is zeker nodig, indien één van de volgende verschijnselen wordt waargenomen:

- ▶ verbrande elektrode;
- ▶ vervuilde of sterk geoxideerde las;
- ▶ poreusheid;
- ▶ instabiele boog;
- ▶ slecht starten.

Belangrijk om bij lasinstallaties te controleren:

- ▶ alle verbindingen van de lasstroomaansluitingen: op breuk, goed vastzitten, oxidatie of verbranding;
- ▶ de goede doorstroming door het toortspakket van gas en water. De waterdoorstroming kan men controleren door de retourleiding aan de tank los te maken. De gasdoorstroming kan men aan de gascup meten met behulp van een flowmeter;

tabel 7.10 Overzicht van de meest voorkomende storingen bij het MIG-lassen

storing	oorzaak	opheffen
geen draadaanvoer: draad slipt door draaiende aanvoerrollen	- druk op aanvoerrollen te klein - aanvoerrollen versleten - aanvoerrollen niet geschikt voor gebruikte draaddiameter	- druk op aanvoerrollen goed instellen - aanvoerrollen vervangen - aanvoerrollen aanpassen aan draaddiameter
geen draadaanvoer: draad slaat dubbel bij de aanvoerrollen	- draadvoernippel staat niet in lijn met aanvoerrollen - invoerbuis, binnenkabel en contactbuis niet geschikt voor draaddiameter - vastvriezen van draad in de contactbuis	- uitlijnen - invoerbuis, binnenkabel en contactbuis aanpassen aan draaddiameter
onregelmatige draadaanvoer	- binnenkabel vervuild - druk op draadtransportrollen te hoog (vervorming van de draad) - contactbuis en binnenkabel beschadigd - draadvoernippel staat niet in lijn met aanvoerrollen	- binnenkabel regelmatig reinigen met droge perslucht - contactbuis/binnenkabel vervangen - uitlijnen
lasstroom niet constant	- onregelmatige draadaanvoer - netspanningsvariaties	- zie onregelmatige draadaanvoer - controleer de verbindingen en bevestigingen
boog ontsteekt niet	- slechte verbindingen in laskabel en/of werkstuk kabel	- zie boven
draad smelt vast aan contactbuis	- toortsafstand te klein - booglengte te groot: spanning te hoog voor draadsnelheid - mechanische storingen in de draadaanvoer	- toortsafstand groter maken - boogspanning aanpassen aan draadsnelheid - zie: onregelmatige draadaanvoer
slechte reinigende werking van de boog	- verkeerde polariteit (-pool) - onvoldoende argonflow - spatten aan binnenkant van gasmondstuk - contactbuis uit het midden - argonstroom wordt door tocht verstoord	- ompolen draad aan + pool - gasflow verhogen - gasmondstuk schoonmaken, inspuiten met anti-spatmiddel - laspistool laten repareren - bescherming tegen tocht aanbrengen

- de afdichtingen c.q. koppelingen van het gas- en watercircuit. Een goede dagelijkse test om de gaslekage op te sporen is om de duim op de gascup te drukken nadat de elektrode is verwijderd en dan bij geopende gasklep te controleren of de flowmeter terugloopt naar de nulstand;
- de hoogfrequentinrichting van de TIG-installatie, namelijk het afstellen van de contactpunten. In de loop van de tijd zal door het vonken de afstand tussen deze punten te groot worden;
- het inwendige. Inwendig moet de stroombron, afhankelijk van de gebruikintensiteit, een paar keer per jaar met droge en schone lucht worden schoongebazen om aangezogen aluminiumstof en -slijpsel te verwijderen. Dit om kortsluiting in het elektrisch circuit te voorkomen.
- liners. Met perslucht doorblazen als de draadhaspel wordt vervangen;
- contactbuisjes. Vervangen na elke draadhaspel;
- alleen contactbuisjes gebruiken die geschikt zijn voor het lassen van aluminium (overmaat boring);
- draadaanvoerrollen. Deze moeten voorzien zijn van de juiste groef (V-90° of half rond).

7.4.2 De lasnaadvoorbewerking

De lasnaadkanten kunnen worden aangebracht door middel van verspanende bewerkingen als frezen, draaien en zagen, door plasmasnijden of door slijpen (zie hoofdstuk 8). Verspanende bewerkingen hebben hierbij de voorkeur; slijpen heeft ook bij gebruik van een voor aluminium geschikte slijpschijf als nadeel dat vuil, oxide- en materiaaldeeltjes in het oppervlak worden gedrukt. Nooit een slijpschijf gebruiken die eerder voor andere materialen werd gebruikt! Na het bewerken moeten de laskanten in alle gevallen zorgvuldig worden ontbraamd en ontvet.

7.4.3 Reinigen voor het lassen

Om de kans op lasfouten aanmerkelijk te verkleinen, moeten de laskanten zo kort mogelijk voor het lassen goed schoon en vetvrij worden gemaakt. Vooral het verwijderen van de oxidehuid verdient hierbij bijzondere aandacht. De in lucht altijd op het oppervlak aanwezige oxidehuid kan veel vocht bevatten, doordat deze min of meer hygroscopisch is. Uit vocht wordt in de boog waterstof gevormd, de belangrijkste oorzaak van porositeit in aluminiumlassen. Met het zorgvuldig oxidevrij maken van laskanten en de directe omgeving daarvan, kan dus in belangrijke mate porositeit in de lasverbinding worden voorkomen. Voorwaarde daarbij is echter wel dat ook het lastoevoegmateriaal niet te veel vocht via de oxidehuid in de lasboog brengt. Lasstaven en draadhaspels moeten om die reden dan ook in vocht-dichte verpakking en/of droge en stofvrije ruimte worden opgeslagen. De oxidehuid op laskanten kan het best worden verwijderd door middel van vijlen of roterende roestvaststalen borstels. Borstels van gewoon staal of andere materialen moeten worden afgeraden, daar de in het aluminium achterblijvende metaaldeeltjes, galvanische corrosie of scheurvorming in de las kunnen veroorzaken.

Als met perslucht aangedreven apparatuur wordt gebruikt voor borstelen of slijpen, moet er zorg voor worden gedragen dat de perslucht vrij is van vocht en/of olie.

Voor laswerk waaraan hoge kwaliteitseisen worden gesteld is het van belang dat de laskanten na het oxidevrij maken niet meer met blote handen worden aangeraakt. De vocht- en vetafzetting hierdoor kan porositeit in de las veroorzaken.

7.4.4 Opspannen, stellen en hechten

De combinatie van specifieke eigenschappen, hoge uitzettingscoëfficiënt en warmtegeleidingscoëfficiënt, alsmede lage elasticiteitsmodulus en rekgrens zal na het lassen van aluminium vervormingen veroorzaken die aanmerkelijk groter zijn dan bij het lassen van staal in vergelijkbare situaties. Om deze vervormingen zoveel mogelijk te reduceren, is het nodig om de te lassen onderdelen te hechten en/of te fixeren door middel van klemmen, aandrukken of opspannen

en bovendien de volgende aanwijzingen na te volgen:

- het aantal lassen, de lengte van de lassen en de lasdoorsnede zoveel mogelijk beperken. Dit geldt in feite voor elke lasconstructie, ongeacht het materiaal;
- zo snel mogelijk lassen;
- een lasvolgorde kiezen, waarbij de constructie zoveel mogelijk spanningsvrij kan krimpen. Deze volgorde zo symmetrisch mogelijk uitvoeren;
- inspannen van de te lassen delen in een voldoende stijve lasmal;
- de delen voorspannen in een richting tegengesteld aan de te verwachten lasspanningen. Dit vraagt ervaring en productkennis;
- bij het bevestigen van grote plaatvlakken met een plaatdikte van 3 mm en dunner aan een frame, altijd voorhechten (opspannen) met kleine hechtlassen. Altijd vanuit het midden alle richtingen uit werken. Daarna hechtlassen aanbrengen van de gewenste lengte.

Door de snelle afkoeling bij het hechten zijn deze scheur-gevoelig. Om scheuren te voorkomen moet het hechten langzamer worden uitgevoerd en moeten de hechten langer zijn dan bij het lassen van staal. Bij warm-scheur-gevoelige materialen moet bij het TIG-hechten ruim voldoende toevoegmateriaal worden gebruikt.

Bij het hechten moet een verstandige hechtvolgorde worden aangehouden: eerst moeten de beide uiteinden worden gehecht en vervolgens vanuit het midden naar de beide uiteinden worden toegewerkt. De hechtlassen moeten een lengte hebben van 30 à 50 mm bij een onderlinge afstand van 100 tot 200 mm, een en ander in samenhang met de plaatdikte en stijfheid van de constructie.

Gescheurde, te zware, of niet aangevloaide hechtlassen moeten voor het overlappen worden verwijderd. Blijft een hechtlas onderdeel van de lasnaad vormen, dan dienen koppen en kraters voor het overlappen altijd te worden uitgeslepen of uitgefreesd.

Reeds bij het lassen van kleine series is het vaak voordeliger om een lasmal te gebruiken, waarin de onderdelen zonder hechten worden gefixeerd.

7.4.5 Voorwarmen

Voorwarmen kan noodzakelijk zijn als de temperatuur van de te lassen delen lager is dan 10 °C om het condensvocht te verwijderen, of als de warmtetoevoer bij het lassen in verhouding tot de dikte van de te lassen delen onvoldoende is. Bij het TIG-lassen is dat bij een dikte van ca. 10 mm en bij het MIG-lassen bij een plaatdikte boven de 15 mm. De voorwarmtemperatuur is afhankelijk van het materiaal en de omvang van de lasconstructie en ligt meestal tussen de 80 en 150 °C.

Bij het lassen van de veredelbare aluminiumsoorten moet de voorwarmtemperatuur binnen bepaalde grenzen worden gehouden, omdat anders de mechanische eigenschappen te negatief worden beïnvloed.

Bij het gebruik van aardgas of propaan als voorwarmvlam kan vocht vrijkomen. Acetyleen met lucht geeft zeer weinig vocht. Een zone van ca. 75 mm breedte aan weerszijden van de las moet worden voorverwarmd. Er moet op gelet worden dat de voorwarmvlam niet de argonstroom verstoort als tijdens het lassen wordt bijgewarmd. Elektrisch voorwarmen, door gebruik van weerstandelementen, is ook mogelijk. De temperatuur kan hiermee beter worden geregeld dan bij gebruik van gas. Voorkeur voor het voorwarmen hebben echter heteluchtbranders (föhns). Door gebruik te maken van argon/helium mengsels (zie tabel 7.3) kunnen de eventuele voorwarmtemperaturen verlaagd worden.

7.5 Nabehandeling

Afkoelen

Laat de las rustig in lucht afkoelen. Geforceerd koelen kan aanleiding geven tot scheuren.

Warmtebehandeling

Een warmtebehandeling na het lassen is niet gebruikelijk bij aluminium. Uitzonderingen op deze regel kunnen voorkomen indien de lasverbindingen nadien nog sterke vervormingen moeten ondergaan of de sterkte in de warmte-beïnvloede zone door een herverdeling van spanningen moet worden hersteld. De voorschriften van de materiaalleverancier moeten in dat geval worden aangehouden.

Mechanische behandeling

Overdikte en/of inkarteling kunnen, indien deze ontoelaatbare afmetingen hebben, door slijpen of frezen worden verwijderd. Dit is vooral van belang bij op vermoeiing belaste lasconstructies.

Een andere mogelijkheid om de kans op het ontstaan van vermoeiingsscheuren te verminderen, is het aanbrengen van drukspanningen, bijvoorbeeld door de las en de naaste omgeving te 'shotpeenen' (glasparelstralen). Een meestal gering effect is te constateren tot plaatdikten van ca. 6 mm. Soms worden vervormde delen koud 'gestrekt'. De vervormingen zijn dan minder, maar men moet er wel rekening mee houden dat het inwendige spanningsniveau aanzienlijk is toegenomen.

7.6 Lasfouten, oorzaken en remedies

In principe kunnen alle typen lasfouten die in staal voorkomen ook in aluminium lassen aanwezig zijn. Enkele fouten daarvan komen echter meer voor in aluminium, met name porositeit, warscheuren, bindingsfouten en insluitsels van oxiden of van wolfram (afkomstig van de elektrode).

7.6.1 Porositeit

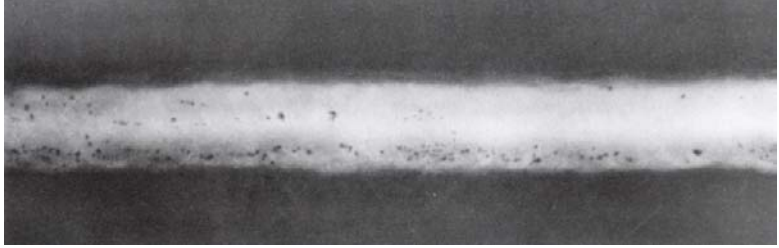
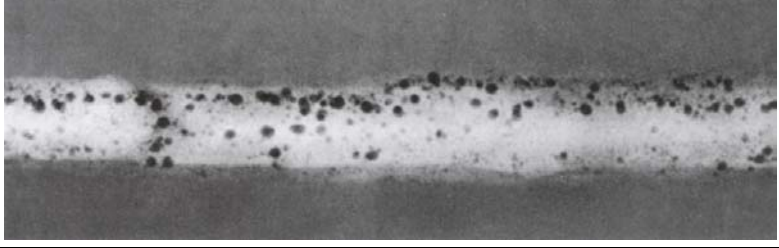
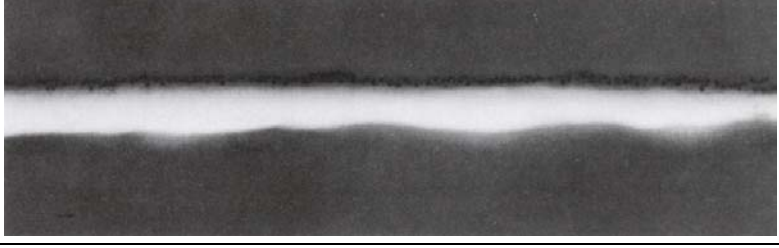
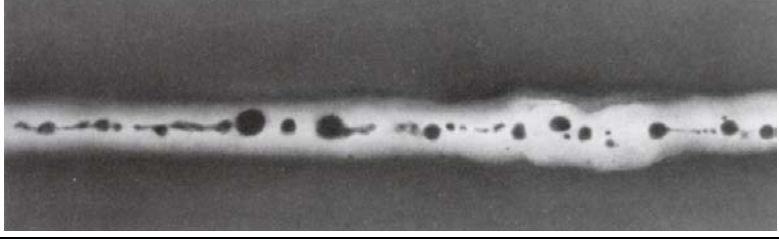
Bij het smeltlassen van aluminium is het vrijwel niet te voorkomen dat porositeit optreedt. Echter een geringe mate van porositeit leidt al tot afkeur. De mate hiervan hangt af van de zorgvuldigheid van behandelen van het werkstuk en het lasmateriaal, de lasnaadvorm, de laspositie en de lasomstandigheden (zie ook figuur 7.13).

Het ontstaan van porositeit is te wijten aan waterstof; in vloeibaar aluminium is dat in grote mate oplosbaar, bij lagere temperaturen steeds minder en in vaste fase praktisch helemaal niet. De in vloeibare fase in het lasmetaal opgeloste waterstof moet dus voor de stolling kunnen ontwijken en dat lukt in de meeste gevallen slechts in beperkte mate. De belangrijkste bronnen van waterstof zijn water (vocht), alsmede olie en vet, verf, enz., die in de boog ontleiden en zo voor de waterstofopname in het smeltbad verantwoordelijk zijn.

Vocht komt vooral voor als condens, waterdamp in de atmosfeer en in de oxidehuid op werkstukmateriaal en op lastoevoegdraad. In dit verband verdienen de volgende aandachtsgedebieden in acht te worden genomen:

► De lasdraad

Het aluminiumoxide, van nature aanwezig op aluminium, is poreus en kan veel vocht bevatten. Het lasmateriaal dient daarom goed afgesloten te worden verpakt en het liefst voorzien van een wateronttrekkend middel opgeslagen. Eenmaal op de lasapparatuur geplaatste draadrollen moeten aan het eind van de werkdag van de machine worden verwijderd en geconditioneerd worden opgeslagen. Dat betekent dat ook de atmosfeer (onder andere de

		Kleine fijn verdeelde porositeit heeft geen invloed op de mechanische eigenschappen van de lasverbinding.
		Grove porositeit, meestal veroorzaakt door vochtverontreinigde werkstukoppervlakken en/of draad, kan de mechanische eigenschappen beïnvloeden en is niet toelaatbaar.
		Porositeit aan de zijanten van de naad wijst op een slechte kwaliteit van de lasdraad of vervuilde plaatkanten. Deze porositeit treedt voornamelijk op bij de bovenste naadflank in de horizontale-verticale positie.
		Porositeit in het midden van de naad wijst meestal op onvoldoende doorlassing.

figuur 7.13 Enige voorkomende vormen van porositeit

luchtvochtigheid) van belang is. Aangenomen wordt dat door het enkele dagen opslaan van lasdraden bij een relatieve vochtigheid van meer dan 90% problemen kunnen optreden.

Door het aanraken van de lasdraad met blote handen kunnen hierop vocht en vet worden overgebracht; bij TIG-lasen daarom steeds schone, droge handschoenen dragen.

► Het oppervlak van het plaatmateriaal

Het oppervlak van het plaatmateriaal moet schoon zijn. Het is niet voldoende een lap met oplosmiddel te nemen en daarmee plaatkanten "schoon" trachten te maken. Op die manier wordt het aanwezige vuil, enz. als een dunne film over het oppervlak uitgesmeerd. Ook resten van smeermiddelen afkomstig van bewerkingen worden zo niet verwijderd. Bij nieuwbouw is het dompelen in ontvettings- en beitsbaden de aangewezen weg. Bij reparatiewerkzaamheden kan dat moeilijkheden opleveren. Het is dan afhankelijk van de toestand van de reparatieplek welke procedure moet worden gevolgd. Bij aanwezigheid van verf moet dit over voldoende breedte, 50 mm aan weerskanten van de las, mechanisch worden verwijderd. Hierbij moeten die middelen worden gebruikt, waardoor geen vreemde deeltjes in het relatief zachte aluminium worden gedrukt. Hierna overvloedig met een oplosmiddel het oppervlak reinigen en tenslotte de aanwezige oxidehuid liefst door schrapen, borstelen of schuren verwijderen. Deze werkzaamheden moeten kort voor het lassen (maximaal enkele uren) plaatsvinden. Een waarschuwing is op zijn plaats bij het gebruik van oplosmiddelen. Bekende middelen zijn per- en trichloorethyleen. Onder invloed van de boog kunnen deze ontbinden in het zeer giftige fosgeengas. Dit oplosmiddel moet daarom niet worden gebruikt. Er zijn onder andere alkalische oplosmiddelen in de handel die voldoende veilig zijn.

► Gasbescherming

Hoewel het niet aannemelijk is, is het in principe mogelijk dat zich te veel vocht in het gas bevindt. Meer voor de hand liggend is, dat het gassysteem niet dicht is en lucht wordt meegetrokken, of dat de gasbescherming door tocht en dergelijke onvoldoende is. Ook kan zich vocht ophopen in het slangenpakket, indien dit enige tijd niet is gebruikt. Om deze reden wordt bij sommige lasapparatuur buiten werktijd een lage flow van stikstof in stand gehouden, terwijl de rest van de lasapparatuur uit staat.

Samengevat kunnen de volgende punten verantwoordelijk zijn voor porositeit:

- olie, vet, vuil, vocht en dergelijke op het oppervlak van de te lassen materialen of de hulpmaterialen (bijvoorbeeld backing strips);
- oude oxidehuid op het te lassen materiaal en vochtige opslag van lastoevoegmaterialen;
- gebrekkige gasbescherming door: tocht, te weinig gasflow, turbulentie als gevolg van vervuiling van het mondstuk of een te hoge gasflow, een instabiele boog;
- inbreng van vocht door lekkage of porositeit in gasaansvoersysteem of waterleiding ingeval van watergekoeld pistool;
- te snelle afkoeling van het lasbad door onjuiste lasparameters (te lage lasstroom of te hoge lassnelheid);
- de laspositie;
- verkeerde toortsstand (altijd stekend lassen).

7.6.2 Insluitsels

Aluminiumoxide heeft een smeltpunt van ca. 2000 °C, zodat dit bij het lassen in het smeltbad terecht kan komen. Door de reinigende werking van de boog kunnen deze oxiden voor een deel worden verwijderd. Echter bij het onvoldoende weghalen van de oxidehuid voorafgaand aan het lassen, zullen resten achterblijven en als banen in de las terecht kunnen komen en eveneens op een röntgenfilm zichtbaar zijn. De oorzaken kunnen ook worden teruggevoerd op een onvoldoende gasbescherming of het niet dicht zijn van het gassysteem. Porositeit en oxide-insluitels treden dan ook meestal gelijktijdig op.

Bij het leggen van grondlagen kan de oxidehuid doorzakken in de doorlassing, waardoor op de röntgenfilm een aantekening ontstaat die voor een onvoldoende doorlassing kan doorgaan. In figuur 7.14 is dat weergegeven. De remedie is het breken (afschuiven) van de kanten aan de onderzijde van de plaat, waardoor de oxide beter kan wegvloeien.



figuur 7.14 Effect van het optreden van een doorzakkende oxidehuid. De remedie is het breken van de las-kanten aan de onderzijde

Andere vormen van insluitels zijn:

- wolfraaminsluitels tengevolge van contact tussen wolfraamelektrode en smeltbad of toevoegmateriaal, te hoge lasstroom in verhouding met de diameter van de elektrode, te hoge startstroom, verkeerde keuze van de wolfraamelektrode;
- staalinsluitels tengevolge van het gebruik van stalen gereedschappen, bijvoorbeeld een staalborstel;
- koperinsluitels door te heet geworden backingstrip of contact tussen draad, mondstuk en werkstuk.

7.6.3 Scheuren

Porositeit kan tot een zeker niveau worden geaccepteerd. Dit is zeker niet het geval voor scheuren. Wanneer deze na het lassen worden geconstateerd, zal dit gedeelte van de las gerepareerd moeten worden. Scheuren zullen meestal aan het oppervlak zichtbaar zijn en zij kunnen met eenvoudige detectiemiddelen worden vastgesteld. Magnetisch onderzoek voor de detectie van scheuren is uiteraard niet mogelijk. Een goede methode is onder andere het toepassen van penetrantvloeistoffen, die in de scheuren kunnen dringen en met een zogenaamde ontwikkelaar zichtbaar kunnen worden gemaakt.

Scheuren (zie ook figuur 7.15) kunnen voorkomen als:

► Kraterscheuren

Deze zijn specifiek voor het niet goed eindigen van de las door het niet opvullen van de krater met lasmetaal. Op de lasapparatuur is een zogenaamde krater vulinstelling wenselijk, waardoor bij het beëindigen van de las bij afnemende stroom de lasdraad met afnemende snelheid wordt toegevoerd. Hierdoor wordt een holle stolkrater voorkomen. De scheurtjes in zo'n krater lopen meestal stervormig vanuit het laatst gestolde punt.

Een andere methode is bij het einde van de las uit te lopen op een plaatje aluminium of de toorts dwars op de las naar de plaat toe te voeren. De voorkeur is altijd het gebruik van de kratervuller.

► Langsscheuren (stolscheuren)

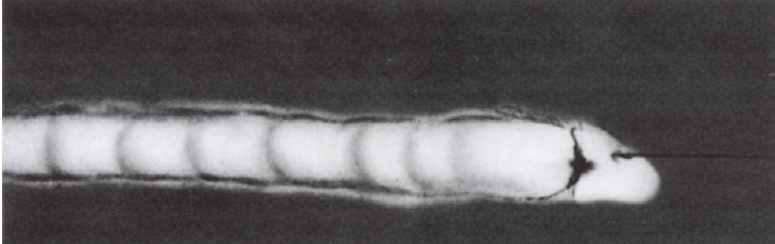
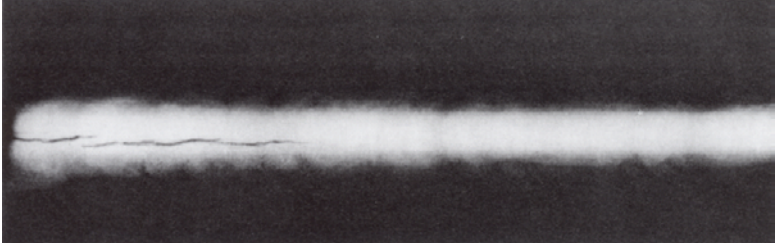
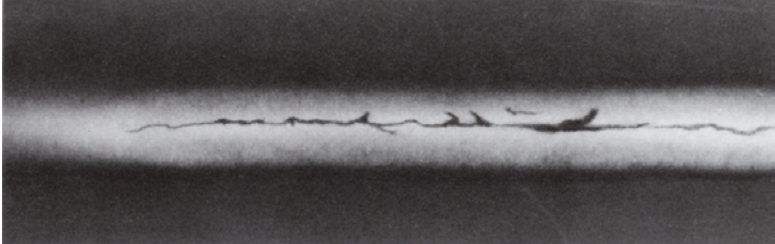
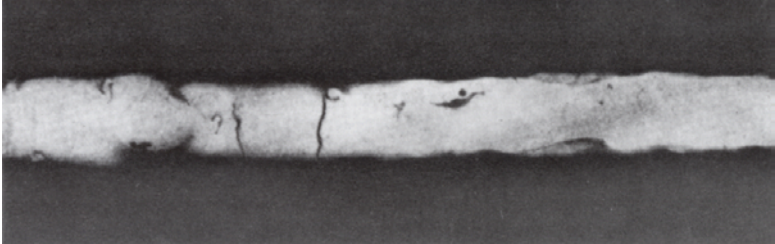
Is de kraterscheurvorming altijd het gevolg van een onjuiste lashandeling, langsscheuren zijn meestal het gevolg van de chemische samenstelling van het werkstukmateriaal, van een te starre lasconstructie of een onjuiste lasvolgorde. In al die gevallen ontstaan er te grote krachten loodrecht op de las, waardoor deze in langrichting zal kunnen scheuren. Aandacht voor een juiste materiaalselectie, het constructiedetail en een goede lasvolgorde kan deze scheurvorming voorkomen.

► Dwarsscheuren

Deze zullen praktisch alleen optreden bij scheurgevoelige aluminiumtypen of bij het aanwezig zijn van een te zware doorlassing. Echter moet vermeden worden dat men pas in het productiestadium daarmee wordt geconfronteerd. Het uitvoeren van lasmethodekwalificaties, waarin scheurproeven opgenomen zijn, is dan ook wenselijk.

► Smeltscheuren

Smeltscheuren kunnen ontstaan in de warmte-beïnvloede zone en soms in voorgaande lagen bij het meerlagen las-

		Eindkraterscheuren kunnen zowel bij het TIG- als het MIG-lassen optreden en zijn voor belaste constructies niet toelaatbaar. Vermijden door gebruiken van de juiste stopprocedure; kratervulinrichting op lasmachine of manier van stoppen.
		Scheuren ontstaan bij het starten kunnen het gevolg zijn van een ongeschikte hechtvolgorde.
		Langsscheuren kunnen ontstaan in te starre constructies.
		Dwarsscheuren kunnen ontstaan bij het lassen van scheurgevoelige legeringen of bij te zware doorlassing.

figuur 7.15 Enige voorkomende vormen van scheurvorming

sen. De oorzaak is vrijwel altijd de chemische samenstelling van het basismateriaal. Met name koperhoudende aluminiumlegeringen zijn hier gevoelig voor. Smeltscheuren ontstaan door laagsmeltende eutectica op de korrelgrenzen. Lassen met een zo laag mogelijke warmte-inbreng is de enige manier om dit type scheuren te voorkomen. Het kiezen van een ander toevoegmateriaal heeft geen zin, omdat de scheuren in de warmte-beïnvloede zone ontstaan en meestal niet in het lasmetaal.

In het kort kunnen de volgende punten verantwoordelijk zijn voor scheurvorming:

- verkeerde keuze van het basismateriaal;
- onjuiste keuze van het lastoevoegmateriaal;
- te korte of te dunne lassen, die tengevolge van de krimpspanningen bezwijken;
- kraterscheuren tengevolge van het abrupt stoppen.

7.6.4 Overige lasfouten

► Onvoldoende doorlassing

Een onvoldoende doorlassing treedt voornamelijk op bij een te lage lasstroom, eventueel in combinatie met een te kleine vooropening en openingshoek bij afgeschuinde naden. Het eerder genoemde onvoldoende doorzakken van de oxidehuid kan eveneens een schijnbare onvoldoende doorlassing te zien geven. Door een niet juiste stand van de lastoorts kan de boog teveel op één kant gericht staan en zo een onvoldoende doorlassing bewerkstelligen. Andere oorzaken kunnen zijn een onjuiste afstemming van de lasparameters, te weten: lasstroom te laag en een te hoge lassnelheid.

► Te zware doorlassing

Een te zware doorlassing kan ontstaan door een onjuiste afstemming van de lasparameters, te weten: lasstroom te hoog, lassnelheid te laag. Ook kan de vooropening te groot zijn, waardoor het smeltbad te makkelijk 'doorzakt' tijdens het lassen. Bij het TIG-lassen kan de koelende werking door toevoegmateriaal te gering zijn, doordat te weinig toevoegmateriaal wordt gebruikt bij het leggen van de grondlaag.

► Randinkarteling

Wanneer een te hoge lasspanning is ingesteld, wordt de warmte van de boog te veel gespreid. Dat kan bij hoeklassen leiden tot randinkarteling aan de staande kant. Een onjuiste stand van de lastoorts, waardoor de boog te veel op één zijde is gericht, kan hetzelfde effect veroorzaken. Bij het leggen van vullagen in stompe naden kunnen inwendige randinkartelingen ontstaan. Deze kunnen worden vermeden door het verhogen van de draad-aanvoersnelheid (hogere stroom met meer neersmelt per tijdseenheid).

► Bindingsfouten

Ook voor bindingsfouten geldt, dat met te weinig energie-inbreng wordt gelast. Door het verhogen van de boogspanning zal meer energie en een bredere inbranding kunnen worden verkregen.

Tevens kunnen bindingsfouten ontstaan bij het onvoldoende borstelen van de lasnaadflanken, ook tussen de vullagen, doordat de nog aanwezige oxidehuid de aanvloeiing van het lasmetaal bemoeilijkt.

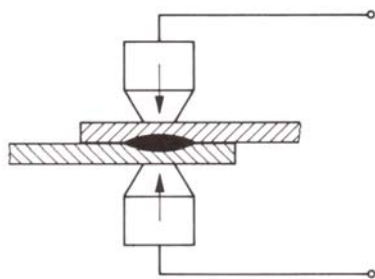
7.7 Weerstandlassen

7.7.1 Algemeen

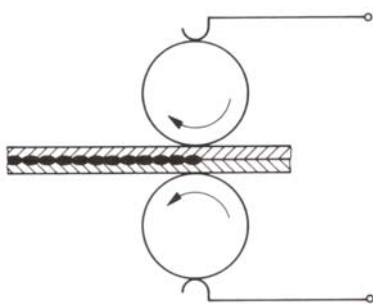
Weerstandlassen is een druklasproces, waarbij onder inwerking van uitwendige kracht, de voor het lassen vereiste warmte in het werkstuk wordt ontwikkeld, doordat het materiaal weerstand biedt aan de doorgang van een sterke elektrische stroom. Belangrijke weerstandlasmethoden zijn:

- puntlassen (zie figuur 7.16);
- rolnaadlassen (rollassen), zie figuur 7.17;
- afbrandstuiklassen (zie figuur 7.18);
- drukstuiklassen.

Voor meer informatie over het weerstandlassen wordt verwezen naar de voorlichtingspublicatie VM 127 "Weerstandlassen".



figuur 7.16 Puntlassen



figuur 7.17 Rolnaadlassen

► puntlassen

Hierbij wordt de voor het lassen nodige kracht en stroom op de lasplaats geconcentreerd met behulp van één of meer goed geleidende stiften, elektroden genaamd, waardoor een plaatselijke hechte verbinding van de te puntlassen onderdelen wordt verkregen. Geschikt voor materiaaldikten van 0,025 - 6 mm; dikteverhouding tussen de te verbinden delen hoogstens 1 : 4.

Aangezien dit procédé bij het weerstandlassen het meest wordt toegepast, zullen aanwijzingen voornamelijk hierop betrekking hebben.

► rolnaadlassen

Hierbij wordt de voor het lassen nodige kracht en stroom op de lasplaats geconcentreerd met behulp van goed geleidende rollen, elektroden genaamd, waardoor een plaatselijke hechte verbinding van de te rollassen onderdelen wordt verkregen. Geschikt voor materiaaldikten van 0,25-4,5 mm. Rolnaadlassen wordt met intermitterende stroom uitgevoerd.

► afbrandstuiklassen

Hierbij wordt de voor het lassen nodige kracht en stroom op de lasplaats geconcentreerd door de beide stuik te verbinden delen, afzonderlijk ingeklemd, met hoge kracht tegen elkaar te persen (stuikbeweging). Afhankelijk van de capaciteit van de machine geschikt voor alle materiaaldikten. De vorm van de elektroden is afhankelijk van het te lassen werkstuk. Deze elektroden hebben vrijwel steeds een driedelige taak, namelijk het omklemmen van de te verbinden delen, het overbrengen van de stuikkracht en het geleiden van de stroom.

► drukstuiklassen

Hierbij worden twee te lassen delen met behulp van watergekoelde klemelektroden tegen elkaar gedrukt. Via de elektroden wordt een stroom door de werkstukken gevoerd. Tengevolge van de weerstand die de stroom ondervindt treedt warmteontwikkeling op.

7.7.2 Lasbaarheid

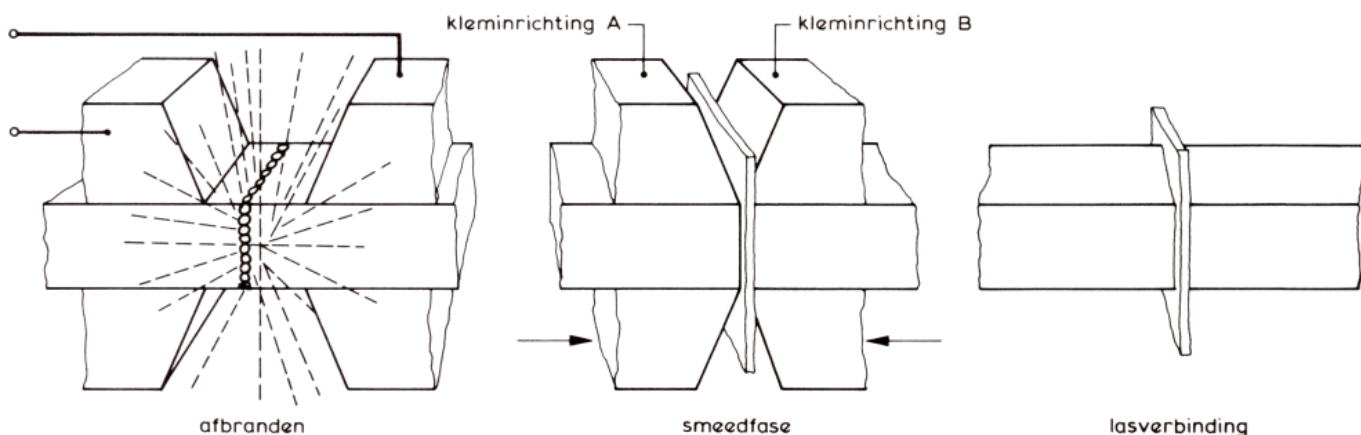
In de regel zijn de gangbare aluminiumsoorten goed te puntlassen. Het is meer de hardheidstoestand die het lassen kan beïnvloeden. Vooral de typen EN AW-1050A, EN AW-1200 en EN AW-3103 zullen door hun geringe hardheid het verschijnsel kunnen vertonen dat de elektrode kan gaan "kleven". Er vindt dan materiaaloverdracht van het plaatmateriaal naar de elektrode plaats (zie voor aanwijzingen daarover onder 7.7.4 "Elektroden").

7.7.3 Apparatuur

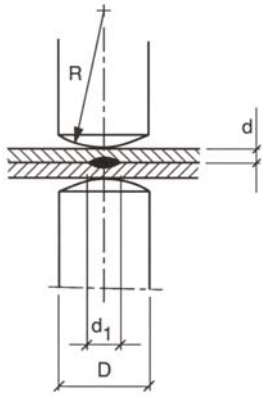
Aluminium kan, net als bij staal, zowel met wisselstroom als met gelijkstroom worden gepuntlast. De voorkeur verdient het lassen met gelijkstroom. Dergelijke apparaten zijn echter aanzienlijk duurder dan de wisselstroomapparaten. Hogere lasstromen zijn echter noodzakelijk vanwege de hogere elektrische geleidbaarheid en warmtegeleidingsvermogen. Voor het verkrijgen van een optimale kwaliteit moet de voorkeur worden gegeven aan continu of gepulste gelijkstroommachines (zie verder 7.7.5 "Lasuitvoering").

7.7.4 Elektroden

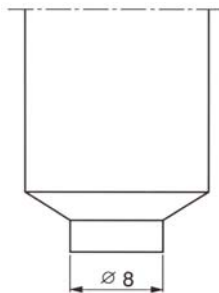
De inwendig gekoelde elektrode is meestal voorzien van een radiale vorm (zie figuur 7.19). Het is ook mogelijk goede lasresultaten te krijgen met vlakke elektroden. De uitvoering ziet er dan uit zoals in figuur 7.20 weergegeven. Met deze vorm kan de standtijd van de elektrode ook groter zijn.



figuur 7.18 Afbrandstuiklassen



figuur 7.19 Overzicht van de lasparameters bij het puntlassen



figuur 7.20 Vorm van vlakke elektrode

Gebruikelijk zijn, zowel voor het punt- als het rolnaad-lassen, elektroden van klasse A1 volgens NEN-ISO 5182. Deze elektroden hebben de hoogste elektrische geleidbaarheid en zullen het minst last hebben van materiaaloverdracht. De oppervlaktetoestand (dikte van de aluminium-oxidelaag) van het te lassen plaatmateriaal is hierbij een belangrijke factor. Elektroden dienen regelmatig te worden schoongemaakt door fijn te schuren en daarna het oppervlak te polijsten. Hoe gladder de elektrode des te minder kans op materiaaloverdracht. Voor seriematige productie (automotive) is de beperkte standtijd van de elektrode een belangrijk nadeel bij het puntlassen van aluminium.

7.7.5 Lasuitvoering

De fysische eigenschappen van aluminium dwingen bij het puntlassen tot:

- ▶ een korte lastijd in verband met het smalle plastische gebied dat een gevolg is van het lage smeltpunt en het grote warmtegeleidingsvermogen;
- ▶ een sterke stroom wegens de grote soortelijke warmte en het grote elektrische en warmtegeleidingsvermogen;
- ▶ een relatief hoge kracht, omdat het materiaal wegens het lage smeltpunt snel vloeibaar wordt. De laselektrode moet, mede door een grote slink van het materiaal, onder behoud van de laskracht, snel kunnen volgen. Dit vergt een krachtsysteem met een geringe statische en dynamische wrijving.

Vooraf bij materiaal dikker dan ongeveer 0,8 mm is het gunstig als de machine geschikt is voor instelling van:

- ▶ een variabel stroomprogramma, waarbij voor naverwarming gedurende een bepaalde tijd een stroom vloeit, zwakker dan de lasstroom;
- ▶ een eveneens variabel krachtprogramma, waarbij gedurende een bepaalde tijd een nadrukkracht wordt ingesteld, meestal hoger dan de kracht tijdens het lassen, om scheurvorming tegen te gaan.

Het bovenstaande geldt in het bijzonder voor de legeringen uit de 2xxx en 7xxx serie. In verband met het smalle plastische gebied is voor alle legeringen een nauwkeurige regeling van tijd, kracht en stroom noodzakelijk. Hiervoor komen zowel 2-fasige als 3-fasige machines in aanmerking. Voor de toepassing van variabele stroomprogramma's bezitten

evenwel de 3-fasige machines betere eigenschappen. Dit is in het bijzonder gunstig voor het lassen van scheurgevoelige materialen. Voor het lassen van minder scheurgevoelige materialen kunnen ook speciale 1-fasige machines worden gebruikt.

In tabel 7.11 zijn enige richtwaarden gegeven. De juiste parameterinstellingen dienen door proefnemingen te worden vastgesteld. Door de bij het lassen toegevoerde warmte wordt de oorspronkelijke sterkte van het materiaal meer of minder aangetast. In verband met de korte lastijd is deze aantasting gering, althans wat de schuifsterkte betreft.

tabel 7.11 Richtwaarden voor het puntlassen van de aluminiumlegeringen vergelijkbaar met de kwaliteit AlMg1¹⁾ (zie figuur 7.19 voor de parameters)

plaatdikte	aandrukkracht	lasstroom	lastijd	elektroden		laslens
d	F	I	t	D _{min}	R	Ø d ₁ ²⁾
[mm]	[kN]	[kA]	perioden	[mm]	[mm]	[mm]
0,5	1,9 - 0,7	26 - 11	2- 5	16	75	3,5
0,8	2,3 - 1,1	31 - 24	3- 7	16	75	4,5
1,0	3,0 - 1,5	34 - 26	3- 8	16	75	5,0
1,5	4,0 - 2,0	39 - 30	5-12	20	100	6,0
2,0	5,0 - 3,0	44 - 34	6-16	20	100	7,0
2,5	6,5 - 4,0	50 - 37	7-20	20	100	8,0
3,0	8,0 - 5,0	53 - 41	8-24	25	100	9,0
4,0	10,0 - 7,0	56 - 44	9-32	25	100	10,0

De linker grenswaarden van de gebieden van instelwaarden die voor de lasparameters worden aanbevolen, horen bij elkaar. Deze waarden vormen de combinatie: hoge aandrukkracht, hoge lasstroom en korte lastijd, welke combinatie, zoals bekend, een goede puntlas oplevert. De bij elkaar horende rechter grenswaarden vormen een combinatie die een lagere puntlaskwaliteit geeft.

1) Legeringen met een beter elektrisch geleidingsvermogen zoals Al 99,5 moeten met een 10-15% hogere lasstroom worden gelast. Legeringen met een slechter elektrisch geleidingsvermogen, zoals AlMg3, moeten met een 5-10% lagere lasstroom worden gelast.

2) Streefwaarde laslensdiameter: $d_1 = 5\sqrt{d}$.

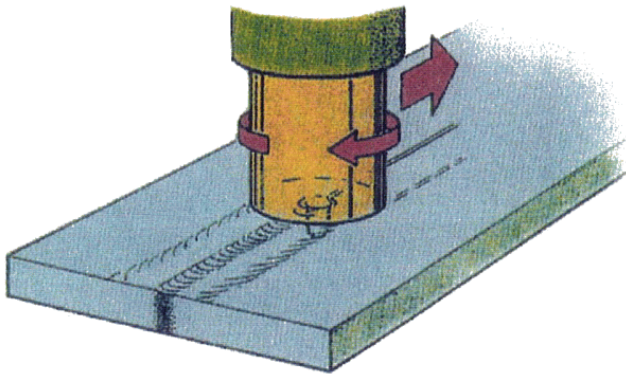
7.8 Bijzondere lasprocessen

Toelichting

De hierna te beschrijven lasprocessen worden minder toegepast dan bijvoorbeeld het TIG- en het MIG-lassen. Dat betekent niet dat deze procédés van minder betekenis zijn, maar ze zijn bedoeld om in specifieke omstandigheden te worden toegepast. Voor die toepassingen kunnen ze zelfs een uitstekende oplossing zijn, zowel uit kwaliteits- als uit bedrijfseconomisch standpunt.

7.8.1 Wrijvingsroerlassen (Friction Stir Welding)

Het wrijvingsroerlassen (Friction Stir Welding, FSW) is door TWI ontwikkeld om ook moeilijk lasbare aluminiumlegeringen te kunnen lassen. De te verbinden werkstukken worden ingeklemd op een starre mal, vervolgens wordt een speciaal gevormd gereedschap uit gereedschapsstaal of een andere hard materiaal draaiend in de lasnaad geduwd en door de naad voortbewogen. Door de wrijvingswarmte wordt het werkstukmateriaal deegachtig, maar smelt niet. Door de roterende beweging van het gereedschap wordt het materiaal aan weerszijden van de lasnaad door elkaar geroerd (zie figuur 7.21). Hierbij moet het werkstuk goed worden ondersteund om de krachten die door het gereedschap worden opgewekt af te vangen. Het wrijvingsroerlassen is geschikt voor lange rechte lasnaden. Het lasproces is zelfs geschikt voor materialen die problemen geven met smeltlassen, zoals legeringen uit de 2xxx groep en de koperhoudende legeringen uit de 7xxx groep. Het wrijvingsroerlasproces onderscheidt zich van andere lasprocessen, doordat met hoge snelheid (enkele meters per minuut) lasen van hoge kwaliteit worden geproduceerd (de sterkte van de las is vrijwel gelijk aan die van het basismateriaal).



figuur 7.21 Wrijvingsroerlassen (Friction Stir Welding)

Beperkingen van het wrijvingsroerlassen zijn de hoge investeringskosten (inclusief licentierechten) voor de apparatuur en de eis aan ondersteuning van de lasnaad. Verder is aan het eind van iedere las een gaatje aanwezig na het verwijderen van het gereedschap.

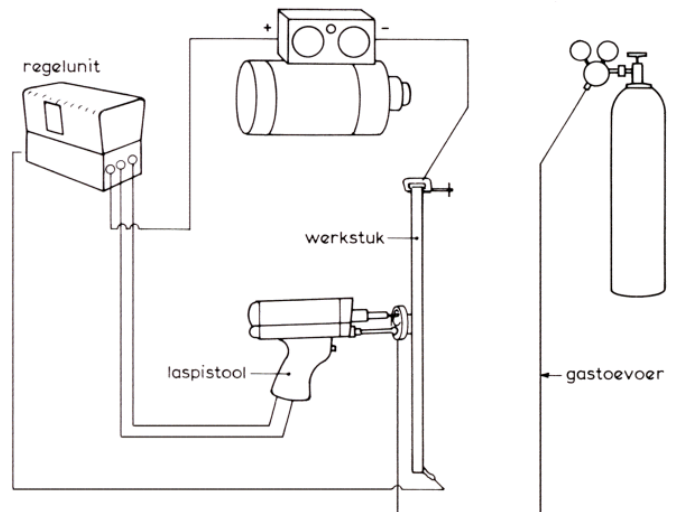
Wrijvingsroerlassen is goed mogelijk voor lange rechte naden in veel aluminiumlegeringen. Er zijn commerciële oplossingen beschikbaar. Er zijn ontwikkelingen om gekromde oppervlakken te lassen. Bekende toepassingen zijn het lassen van lange, aluminiumprofielen, het lassen van aluminium brandstoftanks voor vliegtuigen (Boeing) en het lassen van aluminium behuizingen voor elektromotoren.

7.8.2 Stiftlussen

Met deze lasmethode kunnen stiftvormige onderdelen op profielen of platen worden gelast. Het lasproces is schematisch weergegeven in figuur 7.22. Er zijn twee principes te onderscheiden.

1. De te lassen stift, voorzien van een punt, wordt op het werkstuk geplaatst en een boog wordt getrokken door het puntcontact tussen beide delen. Hierdoor ontstaat een smeltbad en de stift wordt vervolgens door een veermechanisme in het smeltbad gedrukt, waardoor de lasverbinding ontstaat. Hierbij wordt argon als beschermgas gebruikt. Stiften voor dit lasproces zijn meestal van een 5xxx-type en deze kunnen worden gelast op aluminium uit de groepen 1xxx, 3xxx en 5xxx. Het stiftlussen op de 2xxx en de 7xxx typen moet worden afgeraden in verband met de slechte laskwaliteit. Stiften (bouten) kunnen tot ongeveer 13 mm dikte worden gelast.
2. De te lassen stift is ook nu weer voorzien van een speciale punt, maar het lassen vindt plaats door middel van condensatorontlading. Dat wil zeggen dat in een condensator opgezamelde hoeveelheid energie in een zeer korte tijd wordt ontladen. Deze methode is hierdoor goed geschikt voor dunne plaat. Hierbij is het niet nodig dat een gasbescherming wordt aangebracht. Stiften (bouten) kunnen tot ongeveer 8 mm dikte worden gelast. Voor het condensatorlassen worden de typen 1100, 5086 en 6063 gebruikt en deze zijn geschikt om gelast te worden op de aluminiumsoorten in de groepen 1xxx, 3xxx, 5xxx en 6xxx. Het voordeel van het stiftlussen is dat de apparatuur mobiel kan zijn en het laspistool is dan relatief licht. Ook kan het gemechaniseerd worden toegepast. Stiften kunnen in beide gevallen met een hoog tempo worden gelast en de beïnvloeding van het werkstukmateriaal is minimaal.

De kwaliteit van de gelaste stiften kan worden gecontroleerd door gebruik te maken van een torsiemeter. Een opgelaste stift dient een minimaal torsiemoment op te kunnen nemen. Aangezien het stiftlussen goed reproduceerbaar is, kan de juiste instelling vooraf eenvoudig worden bepaald door de gelaste stiften op buiging te belasten. Dat kan door slaan met een hamer of buigen met een stuk pijp. Een indicatie van een goede laskwaliteit is een buighoek groter dan 15° zonder dat de lasverbinding breekt.



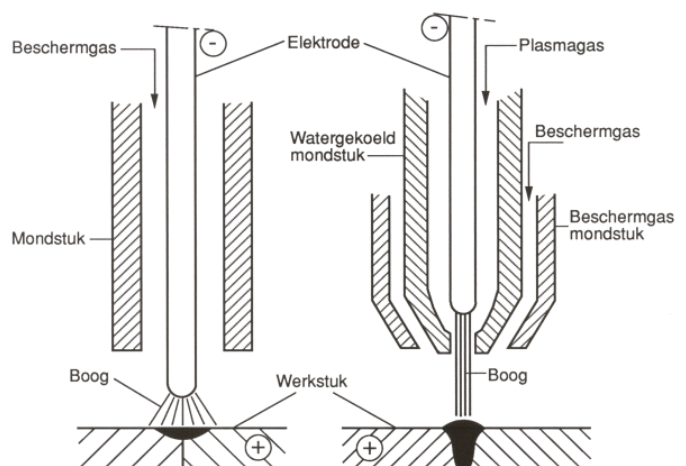
figuur 7.22 Stiftlussen

7.8.3 Plasmalassen

Het plasmalassen vindt plaats met behulp van een plasma-toorts, waarin door de zogenaamde hoofdboog het uitstromende gas tot een plasma wordt omgezet. Door deze plasmastraal aan haar omtrek intensief te koelen, door middel van het watergekoelde mondstuk en eventueel met een tweede gasstroom (argon, helium of een mengsel van beide), snoert dit plasma in tot een vrij geringe doorsnede, waardoor in het plasma een zeer hoge stroomdichtheid kan worden bereikt. Een stabiele boog wordt verkregen en het lasproces is weinig gevoelig voor booglengtevariaties.

Het plasmalassen is afgeleid van het TIG-lassen (zie figuur 7.23), maar daar treedt de boog waaivormig uit, wat bij het plasmalassen niet het geval is. Ook het starten is eenvoudiger, doordat de plasmatoorts met brandende primaire boog naar het werkstuk wordt bewogen.

Voor een verwijdering van de aluminiumoxiden van het werkstukoppervlak is het nodig dat de elektrode positief is geschakeld, of dat wisselstroom wordt gebruikt (ca. 50% negatieve fase). Deze methode wordt voor het plasmalassen van aluminium praktisch niet toegepast.

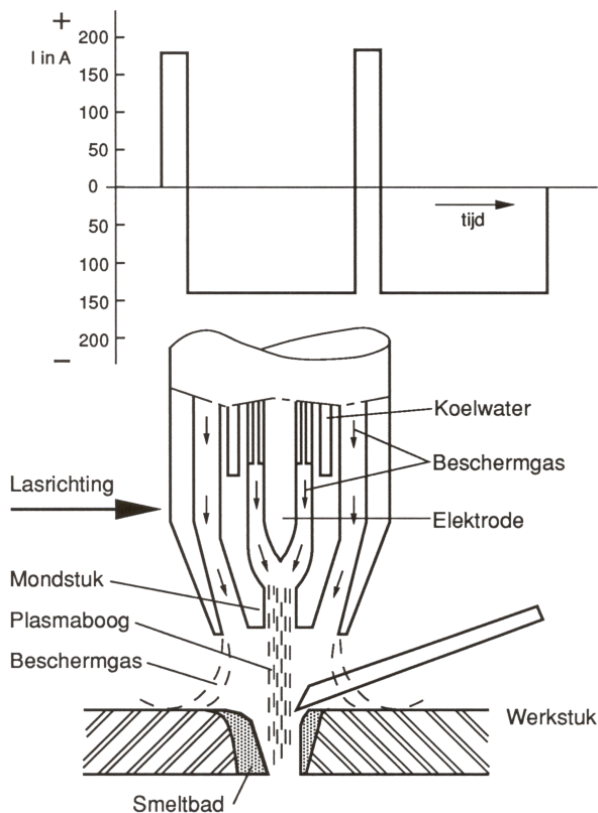


figuur 7.23 Vergelijking TIG- (links) en plasmalassen (rechts)

Plasma key-hole lassen

Bij het plasma key-hole lassen wordt door de intensieve boog in combinatie met het aangevoerde gas in het smeltbad een 'gaatje' gevormd, de 'key-hole'. Hierdoor kan een goede doorlassing worden verkregen in I-naden. Bij het lassen van roestvast staal is dit een geaccepteerde lasmethode, die mogelijk is omdat met gelijkstroom wordt gelast. Voor aluminium kan dit niet worden toegepast.

Daarom is een lasmethode ontwikkeld met een schakelende gelijkrichter, waarmee zowel van de positieve als de negatieve fase de stroomsterkte en de tijd onafhankelijk van elkaar kunnen worden ingesteld. In figuur 7.24 is het principe weergegeven.



figuur 7.24 Het plasma key-hole lassen

Voor het plasmalassen van aluminium is dus speciale (wisselstroom) apparatuur nodig die een hoge investering vergt. Hierbij komt nog dat een key-hole bij het lassen van aluminium (wisselstroom) alleen in stand kan worden gehouden tot een stroomsterkte van circa 250 A, hetgeen de te lassen materiaaldikte beperkt tot circa 8 mm.

7.8.4 Elektronenbundel- en laserlassen

Een verschil met andere booglasprocessen zoals het TIG- en het MIG-lassen, is de aanzienlijk grotere energiedichtheid van het elektronenbundellassen (EB) en het laserlassen. In tabel 7.12 zijn voor de verschillende lasprocessen deze energiedichtheden aangegeven.

tabel 7.12 Energiedichtheid van enige lasprocédés

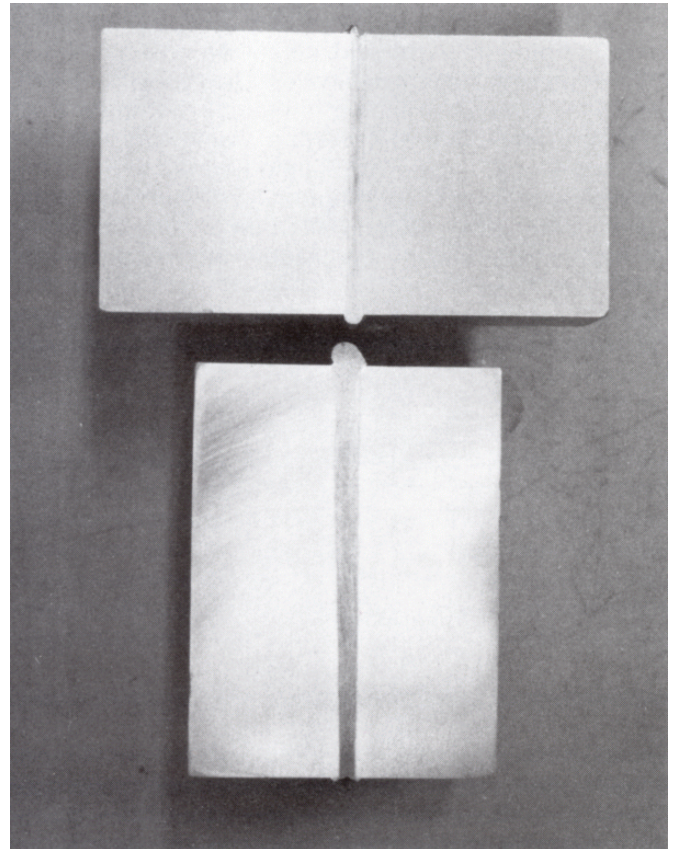
Lasprocédé	Energiedichtheid [W/cm ²]
TIG-, MIG-lassen	10 ⁴
plasmalassen	10 ⁵
laserlassen	10 ⁷
elektronenbundellassen	10 ⁸

Als gevolg van de grote energiedichtheid is het mogelijk zonder toevoegmateriaal smalle lassen te maken met een diepe inbranding. Dat is zonder meer het geval bij het EB-lassen (zie figuur 7.25). Als gevolg van de betrekkelijk geringe warmtetoevoer per naadlengte treedt er bij een EB-las weinig krimp op.

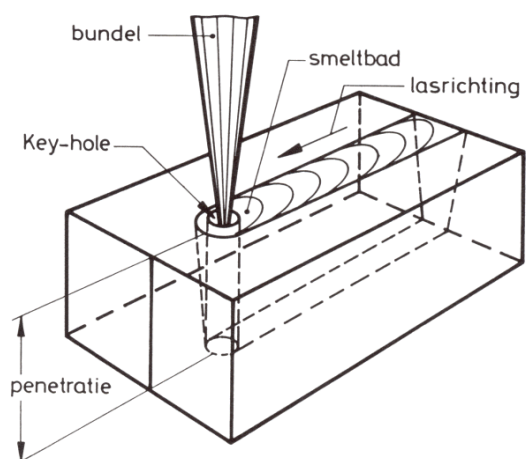
EB-lassen

Bij het EB-lassen wordt de energie voor het lassen verkregen door het emitteren van elektronen met een hoge spanning (30 tot 150 kV). Elektronen hebben een geringe indring-

diepte. Het dieplaseffect wordt dan ook verkregen doordat de elektronenbundel steeds een klein deeltje van het oppervlak smelt en doet verdampen en op die manier een capillair vormt. Deze beweegt zich met de lassnelheid door het materiaal. Het gesmolten materiaal vult achter de capillair het kanaal weer op. Er wordt gelast met een "key-hole", net als bij het plasmalassen (zie figuur 6.26).



figuur 7.25 Een EB-las in aluminium type EN AW-5154 (AlMg3,5): Dikte 55 mm: 51 kW, $v=40\text{cm/min}$; Dikte 80 mm: 60 kW, $v=40\text{cm/min}$



figuur 7.26 Vorming van de "key-hole" bij het EB-lassen

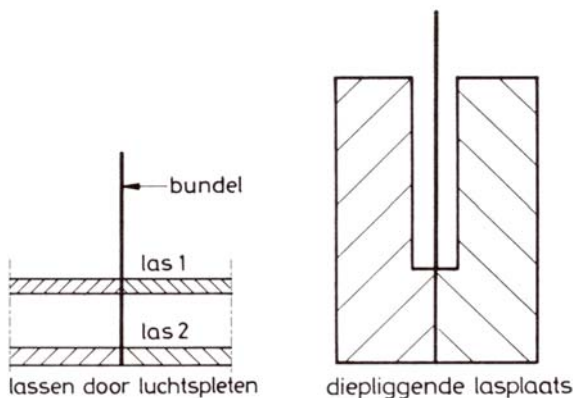
Elektronen worden afgeremd door lucht en ondervinden de minste hinder in een hoogvacuüm. Het elektronenbundellassen kan onder drie verschillende atmosferische omstandigheden worden uitgevoerd:

1. In een hoog-vacuüm van $< 10^{-3}$ Pa. Daarvoor zijn vacuümkamers gebouwd met een inhoud van kubieke decimeters tot enkele tientallen kubieke meters. Er is sprake van optimale voorwaarden om een smalle en diepe las te krijgen.

- In een laag-vacuüm, waarbij het werkstuk continu door de kamer wordt gevoerd. Bijvoorbeeld voor het lassen van langsnaden in pijp.
- Aan de atmosfeer. Hierbij wordt het elektronenkanon onder hoogvacuüm gehouden en treedt de bundel vrij uit. De afstand tot het werkstuk moet gering zijn, aangezien elektronen door botsen op de luchtdeeltjes worden afgeremd en hun energie daaraan afstaan. De indringdiepte is bij dit systeem dan ook geringer dan bij het gebruik van laag- en hoogvacuüm.

Voordelen, beperkingen en toepassingen van het EB-lassen

Het voordeel van EB-lassen in hoogvacuüm is, dat lassen worden verkregen van grote zuiverheid en dat het werkstukmateriaal in vele gevallen nauwelijks nadelig wordt beïnvloed door de laswarmte. Het EB-lassen biedt de mogelijkheden om lasuitvoeringen te realiseren, welke onbereikbaar zijn voor andere lasprocessen, onder andere een pakket lassen met lichtspleten en diepliggende lassen (figuur 7.27). Het EB-lassen is in principe inzetbaar bij massafabricage en bij bijzondere producten (grotere wanddikten, bijzondere legeringen of moeilijk bereikbare plaatsen), waarbij aan hoge kwaliteitseisen moet worden voldaan.



figuur 7.27 Mogelijkheden van het EB-lassen

Een beperking van het EB-lassen in hoogvacuüm is, dat het proces alleen uitvoerbaar is, wanneer in de voorfabricage aan hoge eisen, betreffende de maatvoering, kan worden voldaan. Speciaal voor het lassen van aluminium geldt, dat door het verdampen van elementen als magnesium en zink ontladingen in het elektronenkanon kunnen ontstaan met kortsluiting als gevolg. Door het toepassen van elektronische schakelingen en een aangepast ontwerp van het kanon zijn deze problemen goeddeels ondervangen. Een andere kenmerk zijn de hoge investeringskosten van een EB-lasinstallatie. Deze kunnen van enkele tienduizenden tot enkele miljoenen Euro's variëren.

Laserlassen

Bij het laserlassen wordt gebruik gemaakt van geconcentreerde lichtstraal die tot een smalle bundel ($< 0,8$ mm) wordt gefocusseerd. In deze bundel kunnen vermogens tot enkele tientallen kilowatts aan het werkstuk worden toegevoerd. Hiermee kan in principe hetzelfde dieplaseffect worden verkregen als bij het EB-lassen. Bij een kleinere vermogensdichtheid kunnen ook minder diepe vloeiassen worden geproduceerd, bijvoorbeeld voor esthetische toepassingen of afdichtingen.

Voor meer informatie over laserbewerkingen wordt verwezen naar voorlichtingspublicatie VM 121 "Hoogvermogen lasers voor het bewerken van metalen" [22].

Een voordeel is dat de laserbundel niet door botsing met een gas zijn energie verliest. Het laserlassen kan dan ook in een beschermgas plaatsvinden en vormt op dezelfde wijze als bij het EB-lassen een smal kanaal dat zich gedurende het lassen voortbeweegt. Toch is de indringdiepte bij gelijk vermogen minder dan bij het EB-lassen. Dat komt omdat de laserbundel een deel van haar energie kwijt raakt door reflectie en absorptie veroorzaakt door de plasmawolk die ontstaat door verdamping van het te lassen materiaal. Er kunnen voor industriële las- en snijbewerkingen een viertal hoogvermogen lasertypen worden gebruikt (zie ook tabel 7.13), te weten:

- CO²-laser;
- Nd:YAG-laser;
- diodelaser (alleen lassen);
- fiberlaser.

Een belangrijk voordeel van de laatste drie typen lasers is dat de laserbundel door middel van een fiber kan worden getransporteerd. De inkoppeling van het laserlicht hangt af van de golflengte. Het infrarode licht van de CO²-laser (10,6 μ m) wordt door aluminium goed weerkaatst. Dit type laser is wel geschikt voor het snijden van aluminium, maar minder voor laserlassen van aluminium. De reflectie is geringer bij een golflengte in het nabij infrarode licht, zoals dat door andere lasers wordt gebruikt (Nd:YAG, diode- en fiberlaser circa 1 μ m). De sterk gefocusseerde laserbundel kan worden gebruikt voor het maken van afsmelt- of vloeiassen, of van dieplassen. Kenmerkend voor het laserlassen is een hoge lassnelheid en een geringe warmte-inbreng per laslengte. Hierdoor treedt slechts een geringe vervorming op en wordt een smalle warmte-beïnvloede zone gevormd. Omdat het lasbad erg klein is, worden er bij het laserlassen hoge eisen gesteld aan voorbereiding van de lasnaad en positionering van de te lassen onderdelen. Bij het laserlassen van aluminium is het gebruik van toevoegmateriaal vaak noodzakelijk vanwege het verdampen van legeringselementen uit de smelt of om warmscheuren te voorkomen. Bij het laserlassen is de voorbereiding van de te lassen onderdelen erg kritisch: aan zowel de reinheid als de pas-sing van de te lassen onderdelen dient aandacht te worden besteed om lasfouten te vermijden.

tabel 7.13 Kenmerken van diverse laserbronnen

Lasertype	P _{max} [kW]	Rendement [%]	Bundel- kwaliteit	Fiber- koppeling?	Footprint	Investering [k€/kW]*1)	Operationele kosten
CO ₂	20	10 - 15	●	○	●	80	●
Diode							
► direct	10	35	○	–	●●	80	●●
► fiber	6	35	○	●●	●●	90	●●
cw Nd:YAG							
► staaf*2)	4/4,5	3/10	●/●	●/●	○/○	100/120	○/●
► disc	8	20 - 25	●●	●●	●	120	●
Fiber	20	30	●●	●●	●●	120	●●

*1) incl. koeler/bundelgeleiding
 *2) lamp gepompt/diode gepompt
 ○ niet geschikt/slecht
 ● geschikt/goed
 ●● uitstekend

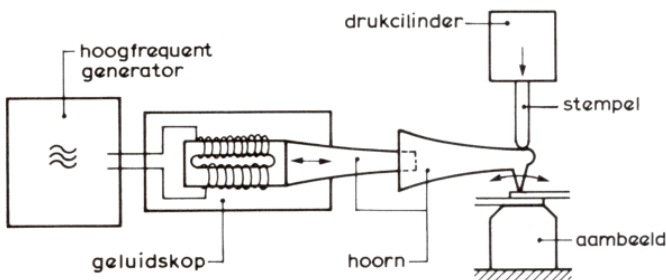
Veiligheid

Zowel bij het EB- als bij het laserlassen zijn veiligheidsmaatregelen noodzakelijk. Bij het EB-lassen met systemen die op een hoge versnellingsspanning werken (150 kV) moet een (lood)afscherming tegen röntgenstraling aanwezig zijn. Naarmate de versnellingsspanning lager is (bijvoorbeeld < 60 kV), kan worden volstaan met een afscherming door de stalen kamerwand zelf.

Bij het laserlassen vormt de laserbundel een mogelijk gevaar. De apparatuur is meestal zo geconstrueerd dat de operator niet direct door het laserlicht kan worden getroffen. Voor afscherming tegen strooi-straling kunnen glaswanden en brillen worden toegepast. Het aantal gesignaleerde ongevallen door straling is echter verwaarloosbaar en doet zich voornamelijk voor bij onderhoudswerkzaamheden en dergelijke.

7.8.5 Ultrasoonlassen

Bij deze lasmethode vindt atomaire hechting plaats door het gelijktijdig aanbrengen van druk en beweging op de las-plaats. De druk wordt opgebouwd tussen stempel en aambeeld, de beweging door gebruik van zeer hoge frequentie (ultrasoon). Bij deze methode is het mogelijk aluminium ook met andere metalen te verbinden. Het wordt in hoofdzaak toegepast bij het lassen van folie en dunne band. Het principe is weergegeven in figuur 7.28. Vanwege de hoge frequenties en de intensiteit moet ook gebruik worden gemaakt van gehoorbeschermingsmiddelen.



figuur 7.28 Ultrasoonlassen

7.8.6 Wrijvingslassen

Wrijvingslassen is te onderscheiden in het "conventionele wrijvingslassen" en het "inertie wrijvingslassen". Het wrijvingslassen is gebaseerd op de omzetting van arbeid in warmte. Wrijvingswarmte wordt verkregen door rotatie van een werkstukdeel, waarbij de beweging van de één wordt afgeremd tegen de ander (figuur 7.29). Het wrijvingslasproces dient hoofdzakelijk om producten te lassen met een cirkel- of ringvormige doorsnede ter plaatse van de lasnaad.

Conventioneel wrijvingslassen

Bij dit lasproces wordt het roterende deel met een constant toerental en constante kracht tegen het stilstaande deel gedrukt. Indien op deze wijze voldoende warmte (een voldoende brede plastische zone) is ontwikkeld, wordt het draaiende deel snel afgeremd en gestopt, waarna met een toenemende kracht een stuiklas wordt gemaakt.

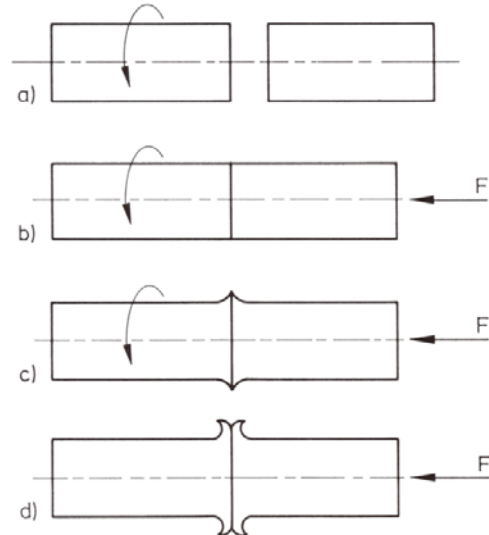
Inertie wrijvingslassen

Bij het inertie wrijvingslassen is het roterende werkstukdeel met een vliegwiel verbonden. Door het massa-tragheidsmoment en het bereiken van een gewenst toerental wordt energie opgezet, die benut wordt voor het tot stand komen van de las. Dit geschiedt door het bewegende deel met een zodanige drukkracht tegen het ingespannen stilstaande deel te drukken, dat het bewegende deel binnen twee seconden tot stilstand wordt gebracht.

Toepassingen, voordelen en beperkingen

Het wrijvingslassen wordt hoofdzakelijk toegepast bij massafabricage en bezit als voordeel dat zonder toevoegmateriaal en zonder beschermend gas kan worden gelast. Eveneens is het mogelijk om ongelijksoortige materialen met elkaar te verbinden. Als gevolg van de effectieve omzetting van

arbeid in warmte is de warmtetoevoer per cm^2 materiaal-doorsnede gering. Het wrijvingslasproces kan eveneens worden toegepast voor het lassen van stiften op een plaatoppervlak. Als beperkingen van het proces zijn te noemen de veelal hoge investering van de apparatuur en het feit, dat de las in verband met de braamvorming een nabewerking vergt.



figuur 7.29 Wrijvingslassen

- linker gedeelte wordt in rotatie gebracht tot een bepaald toerental
- rechter deel wordt er met een bepaalde kracht tegenaan gedrukt, kan echter niet mee gaan draaien
- door het heat worden van de twee oppervlakken ontstaat een plastische zone en stuikt het materiaal
- rotatie is gestopt en met dezelfde of nog verhoogde druk wordt verder gestuikt

7.8.7 Kouddruklassen

Bij het kouddruklassen liggen in de zone waar de verbinding plaatsvindt de optredende temperaturen beneden de laagste rekristallisatietemperatuur van de te verbinden materialen; diffusieverschijnselen in het materiaal zijn niet te verwachten. Daarom biedt dit lasproces bijzondere voordelen bij het verbinden van materialen, waarbij een temperatuurverhoging tot ongewenste structuur en eigenschapsveranderingen kan leiden (rekristallisatie, veroudering). Bij dit lasproces vindt, door de hoge druk, deformatie op het grensvlak plaats. Hierdoor worden de oxidelagen verbroken en komt een metallische verbinding tot stand, waarbij geen warmte-inbreng noodzakelijk is.

Het kouddruklassen is bijzonder goed toe te passen voor het lassen van ongelijke metalen, bijvoorbeeld koper aan aluminium, zoals voor stroomgeleiders in de elektrotechnische industrie.

7.8.8 Explosiellen

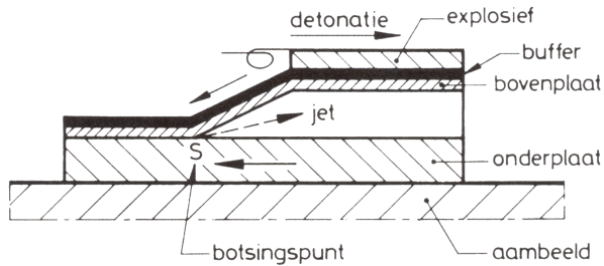
Het explosiellen is geschikt voor het lassen van alle metalen. In principe is het explosiellen echter voorbehouden aan verbindingen, die moeilijk volgens een ander lasproces kunnen worden gemaakt. Het proces kan uitsluitend worden toegepast bij overlapverbindingen.

Als specifieke toepassingsgebieden zijn te noemen het vervaardigen van:

- ▶ geplaatste metalen (aluminium aan staal en koper);
- ▶ overgangstukken ten behoeve van het verbinden van ongelijksoortige metalen;
- ▶ pijp/pijpplaat- en pijp/pijpverbindingen.

Voor het verkrijgen van een explosie, staan diverse springstoffen ter beschikking. Een explosie is een zeer snelle verbranding, resulterend in een volumeverandering en dit gaat gepaard met een drukgolf. Het effect van de bij een explo-

sie vrijkomende energie is afhankelijk van het type en van de gebruikte hoeveelheid springstof. De verschillende springstoffen worden onderscheiden naar hun detonatiesnelheid en deze ligt tussen 1.500 en 8.000 m/sec. Voor het verkrijgen van een goede verbinding moeten de plaatoppervlakken schoon zijn, dat wil zeggen vooraf slijpen, schuren, stralen of ontvetten. Meestal worden de platen parallel aan elkaar geplaatst. Voor sommige speciale toepassingen worden de te verbinden delen met een schuine of evenwijdige spleet ten opzichte van elkaar opgesteld. Het verloop van de detonatie moet zo geschieden, dat er een "jet" ontstaat (figuur 7.30), waardoor lucht en oxiden worden verdreven.



figuur 7.30 "Jet"-vorming bij het explosieflassen

Om te voorkomen dat het metaaloppervlak door de explosie wordt beschadigt, brengt men tussen het explosief en de bovenplaat een bufferlaag aan van rubber of een laag van ongeveer 5 mm dompelpastic. Afhankelijk van het type verbinding is een "aambeild" nodig om de reactiekracht te leveren.

Veiligheidsoverwegingen

Als gevolg van het grote risico, dat aan het werken met springstoffen is verbonden, moeten pogingen en experimenten door niet ter zake kundigen ernstig worden ont-raden. Dit is een lasprocedure die alleen door professionals, onder zorgvuldig gecreëerde omstandigheden kan worden uitgevoerd. Voor nadere inlichtingen wordt ver-wezen naar specialisten op dit gebied.

Hoofdstuk 8

Lasnaadvoorbewerking

8.1 Verspanende bewerkingen

8.1.1 Inleiding

Het aanbrengen van lasnaadkanten dient met zorg te worden uitgevoerd. Slecht aangebrachte of voorbewerkte lasnaadkanten kunnen de aanleiding vormen tot lasfouten.

Deze fouten kunnen variëren van bindingsfouten, poreusheid, scheuren, onvoldoende of te zware doorlassing.

De geometrie van de lasnaad moet binnen zekere grenzen liggen, omdat het bij te grote afwijkingen daarvan niet meer mogelijk is, zonder extra kosten, een goede lasverbinding tot stand te brengen. Hiernaast is ook de oppervlaktegesteldheid van de lasnaadkanten belangrijk. Zo mag het oppervlak niet te ruw zijn (vergroting oppervlak = meer oxidehuid) en ook moet worden voorkomen dat vreemde deeltjes van bijvoorbeeld koper of ferrometalen worden ingebracht in het relatief zachte aluminium.

Ingevangen deeltjes afkomstig van andere metalen kunnen naast poreusheid en scheuren in de las, onder bepaalde omstandigheden ook corrosie veroorzaken. Het is met het oog hierop aan te bevelen het gereedschap dat voor het bewerken van aluminium gebruikt wordt enkel en alleen hiervoor te gebruiken en niet voor het bewerken van andere materialen.

Verwisseling van gereedschap kan binnen bedrijven vaak op een simpele manier worden voorkomen, door het van een bepaalde kleurcodering te voorzien.

Ten aanzien van borstels, staalwol, klemgereedschap, hammers, aandrukstempels, wiggen, enz. wordt geadviseerd roestvaststalen uitvoeringen te gebruiken. Dit om te voorkomen dat vreemde deeltjes op of in het aluminium kunnen geraken.

Hiernaast kunnen ook deeltjes worden ingevangen die afkomstig zijn van bijvoorbeeld schuurpapier, schuurbanden of slijpschijven. Dit laatste kan worden voorkomen door het gereedschap het werk te laten doen, met andere woorden, niet te grote krachten op het gereedschap uit te oefenen. Voor het slijpen van aluminium zijn speciale slijpschijven verkrijgbaar. De korrelbinding van deze slijpschijven is zwakker dan die voor bijvoorbeeld staal. Hierdoor wordt het 'volsmieren' van de schijf voorkomen.

Het kan soms noodzakelijk zijn tegemoet te komen aan de kwetsbaarheid van vooral de zachtere typen aluminium. Men kan dan werkvlakken overtrekken met dik papier, karton, vilt of kunststof om beschadiging zoveel mogelijk te voorkomen. Bankschroefbekken en spangereedschap kunnen worden bekleed met zuiver aluminium, kunststof of hout om beschadiging en invangen van vreemde deeltjes te voorkomen.

8.1.2 Verspanen van aluminium

De verspaanbaarheid van aluminium en zijn legeringen is sterk afhankelijk van het type legering en varieert van matig tot zeer goed. De verspaanbaarheid van een legering wordt over het algemeen bepaald door een aantal factoren, zoals het type aluminiumlegering, het soort snijgereedschap en vorm, de snijnsnelheid, aanzet en het gebruikte smeer- en koelmiddel. De volgende punten verdienen de aandacht:

Spaanvorm

Materialen die lange spanen (lintspanen) geven zijn ongunstig, omdat ze om het werkstuk of snijgereedschap slaan en hierdoor het werkstuk kunnen beschadigen. Korte spanen (brokkelspanen) verdienen de voorkeur. Naarmate het basis-materiaal taaier is, is de kans op het ontstaan van lintspanen groter. Aluminium en aluminiumlegeringen in zachte toestand verspanen meestal slechter dan dezelfde materialen in verstevigde toestand. Een juiste keuze van het soort snijgereedschap en factoren zoals een juiste aanzet, snijnsnelheid, snediediepte, enz. zijn in samenhang met het

op de goede manier slijpen van het gereedschap van essentieel belang voor het goed kunnen verspanen van aluminium.

Oppervlaktegesteldheid

Er zijn veel factoren die de uiteindelijke oppervlaktegesteldheid bepalen. Naast het legeringstype is ook de kwaliteit van het snijgereedschap, de snijnsnelheid, de aanzet, snediediepte en het al dan niet gebruiken van snijvloei-stof bepalend voor de uiteindelijke kwaliteit van het oppervlak. Over het algemeen zijn hoge snijnsnelheden gewenst bij het verspanen van aluminium, hetgeen weer speciale eisen aan de stabiliteit van de gereedschapsmachines stelt.

Standtijd

Onder standtijd wordt verstaan het aantal minuten dat met het snijgereedschap verspaand kan worden, zonder dat naslijpen nodig is. De standtijd is dus een maat voor de slijt-vastheid en in die zin voor de kwaliteit van het snijgereedschap. Alle factoren die van invloed zijn op de oppervlaktegesteldheid (zie aldaar) zijn eveneens van invloed op de standtijd van het snijgereedschap. De belangrijkste factor die de standtijd van een snijgereedschap bepaalt, is echter het te verspanen materiaal. In ongunstige zin wordt de standtijd beïnvloed als het materiaal:

- een hoge sterkte heeft;
- een grove, onregelmatige structuur heeft;
- slijtvaste deeltjes in de matrix heeft;
- verstevigt tijdens het verspanen.

Optredende snijkrachten

De noodzakelijke snijkrachten worden voornamelijk bepaald door het te verspanen materiaal, de aanzet, de snediediepte en het al dan niet gebruiken van snijvloei-stoffen.

Tabel 8.1 geeft een overzicht ten aanzien van de verspaanbaarheid van aluminium en een aantal veel gebruikte aluminiumlegeringen in de verschillende kwaliteiten.

tabel 8.1 Verspaanbaarheid van enkele lasbare aluminium kneedlegeringen

codering	verspaanbaarheid
EN AW-1050 A-0, EN AW-1050 A-H112, EN AW-1050 A-H12	slecht
EN AW-1050 A-H14, EN AW-1050 A-H16, EN AW-1050 A-H18	matig
EN AW-3103-0, EN AW-3103-H112, EN AW-3103-H12	slecht
EN AW-3103-H14, EN AW-3103-H16, EN AW-3103-H18	matig
EN AW-5251-0, EN AW-5251-H112, EN AW-5251-H12	matig
EN AW-5251-H32, EN AW-5251-H34, EN AW-5251-H36	goed
EN AW-5083-0	matig
EN AW-5083-H32	goed
EN AW-6061-0	matig
EN AW-6061-T4	redelijk
EN AW-6061-T6	goed
EN AW-6063-T5/6	goed
EN AW-6082-0	matig
EN AW-6082-T4	redelijk
EN AW-6082-T6	goed
EN AW-7020-T5/6	goed
goed = bij goede gereedschappen gemakkelijke verspaning en uitstekende tot goede oppervlaktegesteldheid redelijk = bij gebruik van voor aluminium geschikt snijgereedschap worden redelijke tot goede resultaten bereikt matig = op voorwaarde van optimale gereedschapskeuze en machine-instelling zijn korte spanen en een bevredigende oppervlaktegesteldheid mogelijk slecht = alleen bevredigende resultaten bij optimale gereedschapskeuze en machine-instellingen	

Koel- en snijvloei-stoffen

Voor het aanbrengen van lasnaadkanten worden bij voorkeur geen koel- of snijvloei-stoffen gebruikt. Deze middelen

moeten achteraf weer worden verwijderd, hetgeen bij ruw bewerkte lasnaadkanten niet altijd adequaat mogelijk is. Poreusheid in de las kan hiervan het gevolg zijn.

Gereedschapsmateriaal

De gebruikelijke gereedschapsmaterialen voor het verspanen van aluminium zijn sneldraaistaal, hardmetaal of diamanten snijgereedschap. Keramische snijmaterialen zijn niet geschikt voor het verspanen van aluminium. Dit komt, omdat er tijdens het verspanen ongewilde chemische reacties kunnen plaatsvinden, waardoor het snijgereedschap sterk in kwaliteit achteruit gaat.

8.1.3 Richtlijnen voor het aanbrengen van lasnaadkanten door middel van verspanende bewerkingen

Voor het aanbrengen van lasnaadkanten in aluminium worden een aantal verspanende technieken toegepast. De meest voorkomende zijn:

- draaien;
- zagen;
- schuren;
- frezen;
- vijlen;
- schaven;
- slijpen.

Niet vergeten mag worden dat het mogelijk is extrusies te voorzien van een laskant.

Een aantal van deze verspanende technieken wordt hierna kort toegelicht.

Draaien

Veelal wordt deze techniek gebruikt voor het aanbrengen van lasnaadkanten aan ronde doorsneden zoals pijpen. Als gereedschap kan een conventionele draaibank fungeren, indien het om relatief korte stukken pijp gaat. Indien lange pijpen, of pijpen die niet kunnen roteren, van een lasnaad moeten worden voorzien, dan is hiervoor speciaal gereedschap in de handel. Dit gereedschap wordt op of in de pijp geklemd, gecentreerd en een roterende beweging zorgt ervoor dat met behulp van een beitels of een frees een lasnaad aan de pijp kan worden gedraaid. Belangrijk is hierbij dat het snijgereedschap van het juiste materiaal is en dat het is voorzien van op de juiste manier geslepen hoeken. De beitels hoeken voor het verspanen van aluminium wijken nogal af van de hoeken die noodzakelijk zijn voor het verspanen van staal of roestvast staal. Speciale aluminiumlegeringen zijn voor het verspanen van aluminium ontwikkeld veelal met toevoeging van lood, antimoon of bismut (2011 = DIN AlCuBiPb). Deze legeringen zijn over het algemeen beperkt of helemaal niet lasbaar.

Zagen

Zagen is, doordat hoge zaagsnelheden kunnen worden gebruikt, een economische manier om materiaal in te korten en haakse lasnaadkanten aan te brengen. Hierbij worden zowel (hand)cirkelzagen als lintzagen gebruikt. Het zagen van aluminium stelt een aantal specifieke eisen aan het zaaggereedschap. Doordat aluminium de eising vertoont zich op de snijkant vast te zetten is een goede spaanafvoer erg belangrijk. Belangrijk hierbij is dat de tandholten van de zaag voorzien zijn van een voldoende grote radius en dat ze zo glad mogelijk zijn afgewerkt. Voor het verkrijgen van een optimale standtijd is het noodzakelijk dat speciale, voor het verspanen van aluminium aangepaste zagen worden gebruikt.

Frezen

Ook voor het frezen van aluminium dienen de frezen te zijn uitgevoerd met speciale spaan- en vrijloophoeken. Hierbij dienen de spaanruimten zo glad mogelijk te zijn afgewerkt. Een relatief grote spaanhoek is aan te bevelen. Een grote spoed heeft een gunstige invloed op de spaanafvoer en is derhalve noodzakelijk. Er kunnen zowel frezen uit snelstaal als uit hardmetaal worden gebruikt.

Voor het frezen van aluminium kan zowel gebruik worden gemaakt van conventionele freesmachines als van simpel

handgereedschap (pneumatisch, elektrisch). Ook kunnen eenvoudige opstellingen met een frees en simpele langseleiding goede diensten bewijzen.

Schaven

Voor het aanbrengen van lasnaadkanten in met name dikke platen kan gebruik worden gemaakt van het schaven. Voor betrekkelijk korte werkstukken (in de regel < 500 mm) kan gebruik worden gemaakt van een armschaafbank, terwijl voor langere werkstukken sledeschaafbanken goede diensten kunnen bewijzen. Te grote ruwheden dienen te worden vermeden, omdat het lassen aan ruwe lasnaadkanten meestal minder goede lassen geeft (meer kans op porositeit). De gebruikte beitels worden over het algemeen van dezelfde hoeken voorzien als bij het draaien, terwijl voor snelstalen beitels de snijsnelheden tussen de 30 en 60 m/min liggen bij een aanzet per slag van 1 tot max. 2,5 mm.

Slijpen

Voor het aanbrengen van lasnaadkanten in aluminium is het in principe mogelijk slijpschijven te gebruiken. Meestal worden voor het slijpen haakse slijptollen gebruikt. Door het geringe verspanend vermogen is dit echter geen erg economische methode. Voor het uitvoeren van reparaties worden vaak slijpschijven gebruikt. Hierbij wordt de lasfout uitgeslepen, waarna een nieuwe las wordt gelegd. Slijpschijven voor het slijpen van aluminium en zijn legeringen bestaan meestal uit siliciumcarbide met een kunstharsbinding. Voor het doorslijpen worden meestal korundschijven gebruikt die, afhankelijk of er nat dan wel droog wordt geslepen, zijn voorzien van respectievelijk een rubber of een kunstharsbindmiddel. Over het algemeen worden voor het slijpen van aluminium grofkorrelige slijpschijven gebruikt, omdat anders de ruimten tussen de korrels te snel verstopt raken en de schijven "dichtsmeren". Het is aan te bevelen, als veel slijpwerk moet worden verricht, gebruik te maken van een afzuiging voor het slijpstof. Hiermee is ten eerste de gezondheid van degene die het slijpwerk uit moet voeren gebaat en ten tweede is slijpstof brandbaar en kan het met lucht gemengd voor stofexplosies zorgen.

8.2 Snijden

8.2.1 Inleiding

Voor het snijden van aluminium staat een aantal procédés ter beschikking. Minder bekend en toegepast is het gutsen, een bewerking die bij de reparatie van lassen in staal gebruikelijk is.

Bij het snijden zijn te onderscheiden:

1. Het plasmasnijden, met een onderverdeling naar type apparaten, vooral gebaseerd op de uitvoering van de snijtoorts en gebruikte gassoorten en de meer bijzondere;
2. Het lasersnijden;
3. Het waterstraalsnijden;
4. Het vonkverspanen.

8.2.2 Plasmasnijden

Technologisch zijn er voor het plasmasnijden van aluminium praktisch geen beperkingen. Plaatdikten tot ca. 150 mm kunnen met het plasmaprocedé worden gesneden. De geometrische kwaliteit van de snede neemt in de regel af met toenemende dikte.

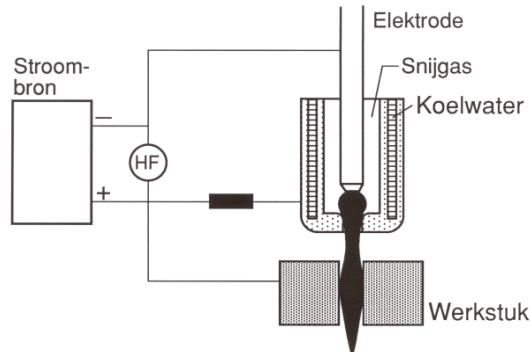
Het principe van het plasmasnijden wijkt niet af van het plasmalassen. Voor het plasmalassen wordt de samengesnoerde gasstroom gebruikt voor het smelten van de plaatkanten en het toevoegmetaal. Bij het snijden blaast het gas met een hoge snelheid het gesmolten metaal uit de snede. Door het toepassen van speciaal geconstrueerde toortsen en het gebruik van verschillende soorten gassen heeft men de effectiviteit van het procédé sterk kunnen verbeteren.

Er worden drie hoofdtypen onderscheiden:

1. Het conventionele systeem.
2. Het plasmasysteem met een tweede gasstroom.
3. Het plasmasysteem met waterinjectie.

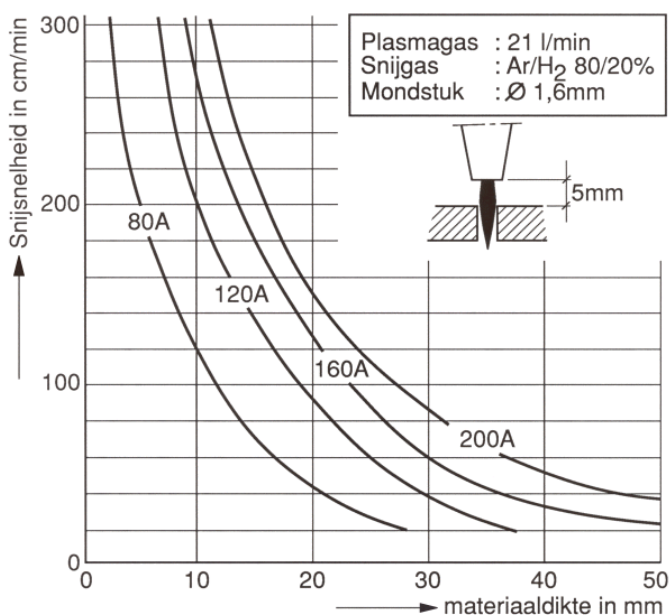
1. Het conventionele systeem

Hierbij is de toortsgeometrie praktisch gelijk aan die bij het plasmalassen. In figuur 8.1 is het principe schematisch weergegeven. De ingesnoerde wordt verkregen door deze door een nauw watergekoeld mondstuk te voeren. Eventueel wordt een koelgasmantel om de toorts aangebracht.



figuur 8.1 Het conventionele plasmasysteem

Het procédé werkt met gelijkstroom, waarbij de elektrode negatief is geschakeld. Een hulpboog zorgt voor het gemakkelijk starten van de hoofdboog. Deze hulpboog zelf wordt weer hoogfrequent gestart. Als snijgas wordt bij de enkelgastoeepassingen een mengsel van argon of stikstof met waterstof gebruikt. Een veel gebruikt mengsel bij het handsnijden bestaat uit 80 tot 60% Ar en 20 tot 40% H_2 . Voor het machinaal snijden geldt een mengselverhouding van 65 tot 50% Ar en 35 tot 50% H_2 . Bij gebruik van stikstof-waterstofmengsels zijn voor het snijden van gelijke plaatdikten hogere vermogens nodig dan bij gebruik van argon-waterstof. Machines zijn beschikbaar met een vermogen van ca. 5 tot maximaal 100 kW met een open spanning variërend van ca. 200 tot 400 V, waarmee tot 150 mm kan worden gesneden. In figuur 8.2 is weergegeven wat de relatie is tussen de te snijden dikte en de snijsnelheid bij de verschillende stroomsterkten. Tot een te snijden dikte van ca. 6 mm en bij het gebruik van Ar- H_2 gasmengsels is een nabewerking van de plaatkanten niet nodig. Boven deze dikte moet men zich overtuigen of een nabewerking al of niet noodzakelijk is.



figuur 8.2 Parameters bij het plasmalassen

Plasmasnijden met perslucht

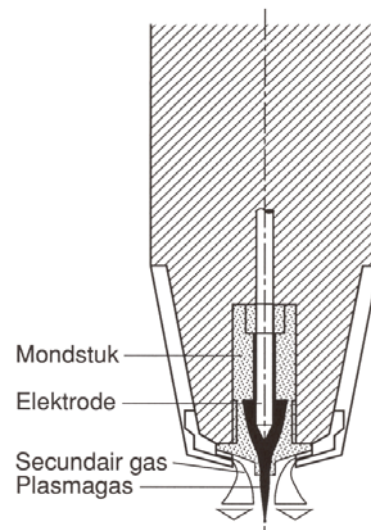
Bij deze variant wordt gebruikgemaakt van een vlakke

elektrode van zirkoon of hafnium. De elektrode wordt bedekt met een laag zirkoonoxiden en nitriden, die de elektrode enigszins beschermt tegen erosie en verdere oxidatie. Het vermogen is maximaal ca. 30 kW in verband met de standtijd van de elektrode. De te snijden plaatdikte kan maximaal ca. 30 mm zijn. Gebruikelijk zijn apparaten waarmee met de hand een dikte tot ca. 10 à 15 mm kan worden gesneden.

De kwaliteit van de gesneden kanten is, in verband met de grote ruwheid, meestal matig. Voor het verkrijgen van een acceptabele kwaliteit is nabewerking noodzakelijk.

2. Het plasmasysteem met een tweede gasstroom

Dit systeem, waarbij een tweede gas via een aparte kap tot aan het snijmondstuk wordt toegevoerd, heeft als voordeel dat de plasmaboog nog meer wordt ingesnoerd. Dit heeft een gunstig effect op de snijsnelheid en de kwaliteit van het snede-oppervlak. Het principe hiervan is weergegeven in figuur 8.3.

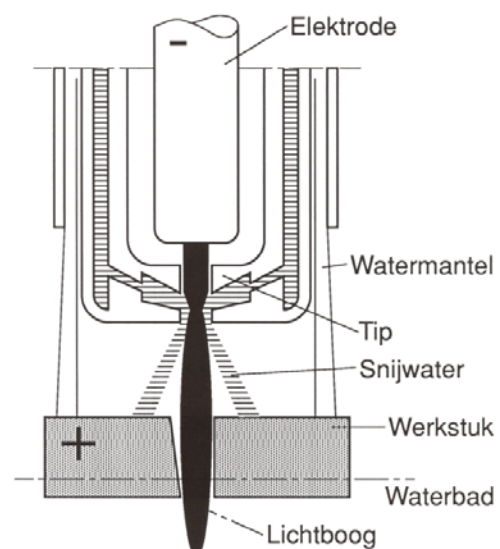


figuur 8.3 Het plasmasysteem met een tweede gasstroom

3. Het plasmasysteem met waterinjectie

Bij het systeem met waterinjectie wordt in het mondstuk tangentieel water geïnjecteerd (zie figuur 8.4). Hierdoor wordt de plasmastraal weer meer ingesnoerd dan bij de conventionele systemen. Verdere voordelen van dit systeem zijn:

- de standtijd van het mondstuk wordt gunstig beïnvloed, omdat de hete plasmastraal niet direct hiermee in contact is;



figuur 8.4 Het waterinjectiesysteem

- ▶ het werkstuk wordt sterk gekoeld, waardoor minder oxiden aan het snede-oppervlak ontstaan;
- ▶ het procédé leent zich met name voor het onderwatersnijden. Hierdoor kan tegemoet worden gekomen aan twee belangrijke milieu-bezwaren, namelijk ontstaan van rookemissie en het lawaai. Alleen het machinaal snijden kan op die manier worden uitgevoerd, waarbij de te snijden plaat in een waterbak ligt met het water-niveau meestal ter hoogte van de bovenkant van de plaat.

Het plasmasnijden met waterinjectie wordt veelal uitgevoerd met stikstof als plasmagas.

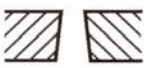
8.2.3 Uitvoering van het plasmasnijden

Bij het plasmasnijden is de haaksheid van de snede afhankelijk van de warmte-afgifte, gezien over de diepte van de snede. Indien de afgifte aan de bovenzijde aanzienlijk groter is dan aan de onderzijde, zal dit resulteren in een sterk tapsnede. Deze zogenaamde 'hittebalans' wordt gunstiger naarmate de booginsnoering toeneemt.

Bij het conventioneel plasmasnijden is de booginsnoering beperkt, omdat hierbij gelet moet worden op het verschijnsel van 'double arc'. De snede is altijd taps, waardoor de snijkanten een hoekafwijking hebben van 3 à 5°. Bij het plasmasysteem met waterinjectie ontstaat een maximale booginsnoering. Omdat het water tangentiaal wordt ingevoerd ontstaat een rotatie. Aan één zijde is de rotatie in de snijrichting. Aan de andere zijde tegengesteld aan de snijrichting. Hierdoor ontstaat een a-symmetrische snede, waarbij aan één zijde, gekozen als werkstukzijde, een nagenoeg haakse snede ontstaat (ca. 2° afwijking) en aan de afvalzijde de afwijking ca. 5 à 8° zal bedragen.

In tabel 8.2 is een overzicht gegeven van de belangrijkste snijfouten en de daarbij behorende oorzaken.

tabel 8.2 Snijfouten en de daarbij behorende oorzaken bij het plasmasnijden

fouten		oorzaak
	oppervlakteruwheid	waterstof te laag
	positieve snijkanten	snelheid te hoog, waterstof te laag
	negatieve snijkanten	snelheid te laag, waterstof te laag
	inkarteling aan bovenzijde	snelheid te laag, waterstof te laag
	inkarteling aan onderzijde	komt zelden voor
	concaaf oppervlak	snelheid te laag, waterstof te laag
	convex oppervlak	snelheid te hoog
	afronding aan onderzijde	komt zelden voor
	drosselvorming onderzijde	snelheid te hoog
	plaatselijke ruwheid aan onderzijde	waterstof te laag

8.2.4 Plasmagutsen

Voor het verwijderen van materiaal, bijvoorbeeld voor het herstellen van lasfouten, is het in principe mogelijk het plasmagutsen toe te passen. Dat is niet zoals bij het staal een methode die een brede toepassing heeft. Een negatief aspect is de vorming van een hoge ozonconcentratie tijdens het gutsen, dat uit gezondheidsoogpunt een belangrijke belemmering kan vormen.

Het plasmagutsen berust op hetzelfde principe als het plasmasnijden. Het mondstuk heeft een aangepaste vorm en het tot smelten gebrachte materiaal wordt door een gasstroom met een hoge snelheid weggeblazen. Voor het plasmagas wordt een mengsel van argon met waterstof gebruikt om een hogere temperatuur te krijgen. Het beschermgas (argon) wordt via een apart kanaal in het mondstuk als een mantel om het plasmagas op het werkstuk gericht. In deze uitvoering kan met de hand worden gegutst onder een hoek van ca. 45°.

8.2.5 Effect van het snijden en gutsen op de materiaaleigenschappen

De vraag kan worden gesteld in welke mate het snijden en gutsen effect heeft op de verschillende materiaaleigenschappen. Uit snijonderzoek aan 5, 20 en 50 mm dikke platen van verschillende aluminiumtypen is gebleken dat er geen effecten zijn bij ongelegeerd aluminium en de legeringen Al-Mn en Al-Mg, maar dat bij de typen AlZnMg (type 7020) rekening moet worden gehouden met een grote kans op het optreden van spannings- en laminaire corrosie.

Die laatste vorm uit zich in een laagvormige aantasting vanuit de geneden kanten en kan zich voordoen bij het type 7020. Vooral de grotere plaatdikten (> 25 mm) blijken daar meer gevoelig voor te zijn. Bij een algemene corrosietest is geen verschil te constateren tussen machinaal bewerkte en plasmagegutste plaatkanten bij de typen 5083 en 6061.

8.3 Bijzondere snijprocedures

8.3.1 Lasersnijden

Evenals bij het laserlassen maken de grote reflectie en warmtegeleiding het lasersnijden tot een weinig aantrekkelijke methode. Dat geldt met name speciaal voor het CO₂-lasersnijden, een procédé dat veel voor het snijden wordt toegepast. Voor materialen met een hoge reflectiecoëfficiënt zoals bij aluminium, wordt vaak gekozen voor een Neodymium/YAG-laser (Nd-YAG). Hier wordt een vaste stof als lasermedium toegepast. Met zo'n type laser met een vermogen van 300 W kan aluminium met een dikte van 4 mm worden gesneden met een snelheid van 12 cm/min en 0,5 mm met een snelheid van 75 cm/min.

De snijsnelheid en de maximale materiaaldikte bij het toepassen van CO₂-lasersnijden, is afhankelijk van het vermogen van de laser. In de praktijk komt het erop neer dat de maximaal te snijden dikte voor aluminium beperkt is tot ca. 12 mm bij een laser vermogen van 10 kW. Bij een meer gebruikelijk vermogen van 1.200 W is de maximaal te snijden dikte ca. 3 mm en bij 1 mm plaatdikte is de snijsnelheid dan ca. 5,5 m/min. Bovendien moet rekening worden gehouden met drosselvorming onderaan de snede. Daar zijn wel oplossingen voor, maar deze verminderen praktisch altijd de snijsnelheid.

De conclusie is dan ook dat, net als bij het laserlassen, men het lasersnijden niet zo snel zal toepassen. Alleen indien factoren als snedebreëdtte en een minimale beïnvloeding van het werkstukmateriaal van belang zijn, is het lasersnijden te overwegen.

8.3.2 Waterstraalsnijden

Voor zeer specifieke toepassingen kan het waterstraalsnijden worden toegepast. Specifiek, aangezien de methode een kostbare investering nodig maakt en daarom alleen verantwoord is als er bijzondere aan de fabricage te stellen eisen noodzakelijk zijn, bijvoorbeeld wanneer het materiaal niet thermisch mag worden beïnvloed. Het waterstraalsnij-

den is namelijk een 'koud' procédé.

Wanneer water onder hoge druk (ca. 4.000 bar) door een nauwe opening wordt geperst, dan ontstaat een uittredende waterstraal met een snelheid van ca. 100 m/s. Hiermee zijn tal van anders moeilijk te snijden materialen zoals (gewapende) kunststoffen, textiel, hout, leer en rubber met een grote snelheid te bewerken. Het grote voordeel van het procédé is daarnaast, dat door het snijden het werkstukmateriaal zeer weinig wordt beïnvloed.

Metalen zijn op die manier niet te bewerken. Daarvoor is het noodzakelijk een abrasief middel toe te voegen. Met deze combinatie is het wel mogelijk metalen te snijden, en zeker ook aluminium. Voor het snijden van dikten van 1 tot 60 mm kan de snijsnelheid 350 tot 3 cm/min bedragen. Aantrekkelijke snelheden vooral bij de wat geringere plaatdikten.

Er is echter een aantal nadelen, waarvan de hoogte van de investering de voornaamste is. Deze ligt in de orde van grootte van die van een laserinstallatie. Het gebruik vindt dan ook voornamelijk daar plaats waar sprake is van geavanceerde serieproductie of van massafabricage. Toepassingen zijn dan ook te vinden in de vliegtuig- en de auto-industrie. Een ander nadeel is het hoge geluidsniveau en de geringe standtijd van de mondstukken van saffier. Kortom een interessant procédé, maar alleen voor zeer specifieke toepassingen.

8.3.3 *Vonkeroderen*

Indien het materiaal in het geheel niet thermisch beïnvloed mag worden, is het in principe ook mogelijk het vonkeroderen te gebruiken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een draadelektrode. Een dikte tot 300 µm kan worden bewerkt. Bij aluminium van 10 à 12 mm dikte kan een bewerkingsnelheid van 30 tot 40 mm/min worden gehaald. De investeringen zijn hoog en liggen in dezelfde orde als bij het laser- en het waterstraalsnijden. Wel kan de draadvonkmachine, door de hoge mate van automatisering, in de nachten en de weekenden zonder toezicht doorwerken (zie hiervoor ook de voorlichtingspublicatie VM 120 "Vonkerosie, theorie en praktijk" [36]).

Hoofdstuk 9

Kwaliteitsbeheersing bij het lassen (lasvoorschriften en keuringen)

9.1 Inleiding

Zekerheid over of tot stand gekomen lasverbindingen ook werkelijk aan de verwachtingen en/of eisen van de opdrachtgever of gebruiker en/of keuringsinstantie is niet van zelf sprekend: slechts indien deze lasverbindingen binnen het kader van een compleet en functionerend kwaliteitssysteem zijn uitgevoerd, mag met een grote mate van zekerheid worden aangenomen dat deze zullen voldoen. Niet alle bedrijven en instellingen hebben een dergelijk kwaliteitssysteem ingevoerd. Meestal wordt als reden aangevoerd dat het een grote bedrijfsinspanning vergt die zich niet altijd direct zichtbaar laat terugverdienen.

De definitie van een "kwaliteitssysteem" is:

De organisatorische structuur, verantwoordelijkheden, procedures, processen en voorzieningen voor het ten uitvoer brengen van kwaliteitszorg.

Eenvoudiger gesteld: Wie doet Wat, Waar en Wanneer enerzijds en Hoe anderzijds. Met het beantwoorden en vastleggen van de eerste serie vragen is het vooral mogelijk om de oorzaak van fouten en tekortkomingen als gevolg van organisatorische hiaten of persoonlijke tekortkomingen te traceren en maatregelen ter voorkoming te nemen. Door beantwoording van de Hoe vragen worden "Werkinstructies" verkregen, die de technische uitvoering van, bijvoorbeeld, een specifiek lasproces eenduidig voorschrijft. De verzameling werkinstructies (technieken en activiteiten om de geëiste kwaliteit te bereiken) is een belangrijk deel van de kwaliteitsbeheersing.

Om een kwaliteitssysteem correct te kunnen laten functioneren is een kwaliteitshandboek nodig, waarin de bovengenoemde vragen worden beantwoord, overeenkomstig de organisatiestructuur en de geldende regels binnen het betreffende bedrijf. Kwaliteitshandboeken kunnen dan ook van bedrijf tot bedrijf sterk verschillen.

In het kwaliteitshandboek zijn echter altijd opgenomen:

- het directiebeleid over het te leveren kwaliteitsniveau;
- de distributie van het kwaliteitshandboek in het bedrijf en de verwerking van wijzigingen, alsmede de definities van gebruikte termen;
- een organisatieschema van het bedrijf met de daarbij behorende functie-omschrijvingen en -verantwoordelijkheden;
- alle procedures die in het bedrijf gevolgd dienen te worden, variërend van de aanvraag voor het inkopen van goederen tot het vrijgeven van een ontwerp-tekening of het registreren van temperatuur en vochtigheid in een werkplaats.

Enkele voor dit document belangrijke procedures die "Hoe" vragen betreffen zijn:

- controle van geleverde materialen;
- opslag van de te verwerken materialen;
- controle op regelmatig onderhoud van machines (bijvoorbeeld lastoestellen);
- controle op de omgeving tijdens het fabricageproces (bijvoorbeeld de aanwezigheid van stof, vocht of oliedamp tijdens het lassen);
- controle van het kwaliteitsniveau van de medewerkers (kwalificatie van de lassers);
- beheersing en toepassing van het fabricageproces (lasvoorbereiding en -proces);
- afwerking van het product.

Belangrijk daarbij is, dat zo vroeg mogelijk afspraken worden gemaakt tussen fabrikant en gebruiker betreffende het laswerk. Een eenduidige specificatie, waarin vermeld zijn de kwaliteitseisen met de daarbij gebruikte norm(en), de lasmethode en andere relevante gegevens zoals basismateriaal,

lastoevoegmateriaal, lasnaadvoorbewerking en kwaliteitscontrole en -keuring is onmisbaar. Daarbij kan worden verwezen naar gangbare normen betreffende lasmethodebeschrijvingen (LMB), lasmethodekwalificaties (LMK) en lasserskwalificaties (LK). Het is niet de bedoeling van deze publicatie nog verder in te gaan op het invoeren van een kwaliteitssysteem. Daartoe kan verwezen worden naar de Nederlands normen NEN-ISO 9000 tot en met 9004, die de te nemen maatregelen beschrijven en toelichten, en de voorlichtingspublicatie VM 85 "Kwaliteitsbeheersing bij het vervaardigen van gelaste constructies" [44]. Wel moet nog worden opgemerkt dat in toenemende mate aan bedrijven het hebben van een kwaliteitssysteem en/of het hebben van een kwaliteitshandboek als eis gesteld wordt om te mogen leveren. Het beantwoorden van de "Hoe"-vragen, de werk-instructies, die deel uitmaken van de kwaliteitsbeheersing, is daarentegen juist het doel van deze publicatie.

9.2 Materialen

De kwaliteit van een lasverbinding wordt zeer sterk beïnvloed door het basismateriaal uit oogpunt van lasbaarheid en de mogelijke invloed van de laswarmte op de mechanische eigenschappen (zie verder tabel 2.3 en figuur 2.1). De keuze van het basismateriaal wordt bij het ontwerpen door de constructeur gemaakt en wordt in de klantenspecificatie omschreven met verwijzing naar de betreffende materiaalnorm (zie hoofdstuk 1).

Bekende internationale normen met betrekking tot aluminium en aluminiumlegeringen zijn:

- NEN EN 573 (Staan in de normbundel 21 verkrijgbaar bij het NEN in Delft);
- NEN EN 1780;
- NEN-EN 515 (leveringstoestanden);
- ASTM B209, B210, B221, B308 en B483;
- ASME Section II part B.

In deze normen worden de gewaarborgde eigenschappen met behulp van de chemische samenstelling, mechanische eigenschappen, oppervlaktegesteldheid en maattoleranties gegeven. In de materiaalbestelling moeten deze materiaal-specificaties minimaal worden overgenomen en tevens kunnen aanvullende eisen worden opgenomen die voortvloeien uit de ervaring van de fabrikant.

Vaak eist de klant dat materialen met "certificaat" worden geleverd. Ook dit moet in de bestelling worden opgenomen, waarbij tevens het type certificaat en volgens welke "norm" moet worden opgenomen.

Ook de lastoevoegmaterialen moeten afgestemd zijn op de te verbinden basismaterialen (zie tabel 7.5). Naast de sterkte is het bij de keuze voor het toevoegmateriaal belangrijk om rekening te houden met eventuele chemische of elektrochemische nabehandeling van de gelaste constructie.

Voor sommige opdrachten kan het nodig zijn om lastoevoegmaterialen te gebruiken die door een onafhankelijke instantie en volgens haar "regels" zijn gekeurd.

In Nederland houdt Controlas zich daarmee bezig. Ook verzekeringsmaatschappijen als Lloyd's, Veritas en vele andere hebben lijsten opgesteld van de door hen goedgekeurde en in bepaalde klassen ingedeelde lastoevoegmaterialen.

In klantenspecificaties is het te gebruiken lastoevoegmateriaal meestal omschreven. Veelal wordt verwezen naar internationale normen. Voorbeelden van de meest gangbare normen zijn:

- DIN 1732;
- ISO 18273:2002;
- BS 2901, 1453 ;
- ANSI/AWS D1.2;
- ASME Section IIC.

Naast deze algemene eisen die in deze normen worden gesteld, kan het voor bepaald werk nodig zijn om aanvullende eisen te stellen en in de bestelling op te nemen. Aanvullende eisen met betrekking tot de oppervlaktegesteldheid van de draad en zuiverheid van het beschermgas.

Ook het "merken" van toevoegmaterialen ten behoeve van

identificatie in de praktijk is belangrijk. Te denken valt aan het merken van toevoegmaterialen per kleinste verpakkings-eenheid en in het geval van TIG-draden aan het merken per staaf. Als men hier speciale eisen aan stelt, moet dit in de bestelling worden opgenomen.

Na ontvangst moeten de lastoevoegmaterialen zodanig worden opgeslagen, dat de kwaliteit niet nadelig wordt beïnvloed. Te hoge luchtvochtigheid, stof en contact met ferromaterialen moeten worden voorkomen. Belangrijk is dat de eerst geleverde materialen ook eerst worden uitgegeven (first in, first out).

Voor het verwerken van de basis- en toevoegmaterialen moeten eerst de eventuele certificaten worden getoetst.

9.3 *Lasmethodebeschrijving*

Gebruikelijk is dat de opdrachtgever van de fabrikant, voor deze met het productiewerk begint, een schriftelijke lasmethodebeschrijving (LMB) verlangt.

In een dergelijke LMB, ook wel lasspecificatie genoemd, moet worden aangegeven hoe de lasverbinding wordt gerealiseerd en moet de meest essentiële variabelen bevatten zoals:

- soort basismateriaal;
- dikte basismateriaal;
- lasnaadvorm met afmetingen;
- lasproces;
- type toevoegmateriaal;
- draaddiameter;
- soort gas;
- laspositie;
- voorwarmtemperatuur;
- stroomsoort en polariteit;
- hulpmiddelen;
- gloeibehandeling;
- onderzoeken.

Daarnaast moet de LMB ook de volgens de geldende code, regels of specificatie relevant geachte gegevens bevatten. Een LMB heeft in veel gevallen betrekking op meerdere identieke lasverbindingen in een constructie.

Een dergelijke LMB wordt door een deskundige in overleg met de werkplaatsleiding opgesteld, daar deze na goedkeuring ook als werkinstructie voor de uitvoerenden, zoals werkvoorbereiding en werkplaats, is bedoeld.

De aldus opgestelde LMB's worden ter goedkeuring meestal samen met de tekeningen aan de opdrachtgever en eventuele keuringsinstanties aangeboden, die - indien overeengekomen - door afstempeling de specificatie goedkeuren. Indien tijdens het produceren van de goedgekeurde LMB wordt afgeweken, moet de gewijzigde LMB opnieuw ter goedkeuring worden aangeboden aan de opdrachtgever en keuringsinstantie. Tevens moet worden bekeken of de wijziging gevolgen heeft voor de methode- en lasserskwalificatie. Bijlage 1 geeft een voorbeeld van een LMB-formulier.

9.4 *Lasmethodekwalificatie*

Afhankelijk van de omschrijving in de bestelspecificatie en de van toepassing zijnde code of regels, moet na goedkeuring van de lasmethodebeschrijving de fabrikant voor aanvang van de productie ten overstaan van de opdrachtgever en eventuele keuringsinstantie door middel van een lasmethodekwalificatie (LMK) aantonen dat de lasverbinding bij de uitvoering volgens de LMB aan de gestelde eisen voldoet. De LMK is in feite niets anders dan de toetsing in praktische zin van de LMB.

Vandaar dat men bij de uitvoering van de LMK zoveel mogelijk kiest voor hetzelfde basis- en lastoevoegmateriaal, parameters, lasposities en gelijksoortige omstandigheden als in de praktijk voorkomen. Ook eventuele nabehandelingen moeten bij het uitvoeren van een LMK worden uitgevoerd. Een aantal internationale normen die richtlijnen geven voor de uitvoering en beproeving van LMK's zijn:

- EN 1090;
- EN 288-4:1997;

- EN ISO 15608;
- EN ISO 15609;
- EN ISO 15614;
- ASME section IX;
- EN 13445-4.

Niet in alle gevallen is het noodzakelijk dat de LMK wordt uitgevoerd. Als de fabrikant beschikt over één of meerdere LMK's voor eerder uitgevoerd identiek werk, kunnen deze als bewijs dienen. Een lasmethodekwalificatie kan, als de afwijkingen niet te groot zijn, voor meerdere lasverbindingen c.q. LMB's worden gebruikt.

Afhankelijk van de code die de opdrachtgever of keuringsinstantie hanteert, is het geldigheidsgebied voor een LMK begrensd voor:

- de laspositie;
- de dikte;
- het lasproces;
- het basismateriaal;
- type verbinding;
- type toevoegmateriaal;
- gebruikte parameters;
- voorwarmtemperatuur;
- nabehandeling.

Bij de uitvoering en/of beproeving van de LMK is meestal een vertegenwoordiger namens de klant of keuringsinstantie aanwezig. De beproevingsresultaten worden vastgelegd in een lasmethodekwalificatie-certificaat, ook wel Welding Procedure Qualification Record (WPQR) genoemd.

De beproevingsresultaten van de LMK dienen overeen te komen met de vooraf gespecificeerde eisen. Het beproevingscertificaat wordt na goedkeuring ondertekend door de klant of keuringsinstantie. Bijlage 2 geeft een voorbeeld van een WPQR.

Veelal is het zo dat de lasser die met goed gevolg een LMK heeft gelast, ook als lasser is gekwalificeerd voor die lasverbindingen die de LMK afdekt.

9.5 *Lasserskwalificaties*

Een lasserskwalificatie (LK) dient om aan te tonen dat de lasser over de benodigde vaardigheid en vakbekwaamheid beschikt om lasverbindingen volgens de LMB correct te lassen.

De kwalificatieproef die de lasser moet afleggen en de wijze van beproeven is afhankelijk van de van toepassing zijnde code, normen of regels.

Een aantal internationale normen die richtlijnen geven voor lasserskwalificaties voor aluminium zijn:

- EN 287-2;
- ISO 9606-2.

Evenals bij een LMK heeft een lasserskwalificatie qua toepassingsgebied een beperkte geldigheid, een en ander is afhankelijk van de van toepassing zijnde normen, codes of regels.

Ook de geldigheidsduur van een lasserskwalificatie is beperkt, afhankelijk van de van toepassing zijnde codes of regels. Meestal bedraagt de geldigheid 6 maanden. Afhankelijk van de code kan op de daarin omschreven voorwaarden verlenging van de kwalificatie plaatsvinden.

Geldige lasserskwalificaties kunnen binnen hun geldigheidsgebied voor meerdere opdrachten worden gebruikt.

De beproevingsresultaten worden vastgelegd op een zogenaamd lasserskwalificatie-certificaat, ook wel Welders Qualification Record (WQR) genoemd. Een dergelijk certificaat wordt veelal door een vertegenwoordiger van de opdrachtgever of keuringsinstantie ondertekend.

9.6 *Controle en keuringen productielaswerk*

De aard en omvang van de controle op productielaswerk hangt af van de eisen die aan de constructie worden gesteld en van de afmetingen en vorm. Veelal worden in de bestelspecificaties de keuringsmethoden omschreven en wordt voor de wijze van uitvoeren en keuringscriteria

verwezen naar internationale codes, normen of regels. Indien dit niet het geval is, is het belangrijk dat hier vooraf duidelijke afspraken over worden gemaakt. Met name ook over de keuringsomvang, volledige keuring (100%) of steekproefsgewijs, omvang steekproef en eventuele uitbreiding wanneer bij steekproefsgewijs onderzoek afkeur plaatsvindt. Ook de rapportagevorm van de keuringsresultaten en het eventueel bijwonen van het onderzoek moet vooraf goed zijn geregeld.

De uit te voeren keuringen aan productielaswerk zullen veelal van niet-destructieve aard zijn. In sommige gevallen worden ter verificatie van mechanische eigenschappen wel beproevingen op meegelaste proefplaten of meegelaste parallel-proefstukken verlangd, zie punt 9.6.6.

De meest voorkomende niet-destructieve onderzoeksmethoden op lasverbindingen zijn te splitsen in:

- ▶ methoden voor opsporen van uitwendige gebreken:
 - visueel;
 - penetrant.
- ▶ methoden voor opsporen van inwendige gebreken:
 - röntgenonderzoek;
 - gamma onderzoek;
 - ultrasoon onderzoek.

Als keuringsmethoden kunnen ook het "afpersen" of helium-lektesten worden toegepast, dit om de dichtheid van de lasverbindingen te testen.

Voor een overzicht en samenvatting van de verschillende onderzoeksmethoden op lasverbindingen in aluminium constructies wordt verwezen naar tabel 9.1.

9.6.1 Visueel onderzoek

Onder visueel onderzoek dient hierbij te worden verstaan onderzoek op indicaties aan het oppervlak van de las of haar directe omgeving, waarbij behalve van het ongewapende oog slechts gebruik mag worden gemaakt van een loop en metrische instrumenten ter bepaling van de afmetingen.

Meestal zullen de lasverbindingen bij de visuele inspectie worden getoetst op:

- ▶ oppervlakte scheuren;
- ▶ porositeit;
- ▶ randinkarteling;
- ▶ kenmerken welke op lasproces-afwijkingen duiden (overmatige oxidatie, bindingsfouten, enz.);
- ▶ geometrische afwijkingen, zoals laslengte en onvoldoende of overmatige vulling;
- ▶ aanvloeiingsfouten;
- ▶ materiaalbeschadiging.

De keuringscriteria voor het visueel onderzoek moeten bij alle lassers en toezichthouders bekend zijn, daar zij in eerste instantie het visueel onderzoek uitvoeren. Om het visueel onderzoek goed te kunnen uitvoeren, moet het lasoppervlak en directe omgeving schoon zijn.

9.6.2 Penetrant onderzoek

Bij het penetrant onderzoek wordt gebruik gemaakt van een vloeistof die gemakkelijk in een opening aan het oppervlak dringt en zich ook weer laat opzuigen door een zogenaamde "ontwikkelaar". Deze onderzoeksmethode wordt vooral toegepast om oppervlakteporositeit en scheuren aan te tonen. De beproeving vindt meestal plaats volgens EN 571-1:1997.

Het penetrerend vermogen van een penetrant systeem is onder meer afhankelijk van:

- ▶ oppervlakteruwheid van het te inspecteren voorwerp;
- ▶ oppervlakteruwheid van de fout;
- ▶ capillair vermogen van de penetrant;
- ▶ uitvloeiingsvermogen van de penetrant;
- ▶ temperatuur van voorwerp en penetrant.

Het meest belangrijke deel van het penetrant onderzoek is het schoonmaken vooraf van het te onderzoeken gebied. De las en directe omgeving moeten vrij zijn van verf, vet, vuil en dergelijke. Ook eventueel aanwezige vloeistof (van schoonmaken) moet uit de foutindicaties worden verwijderd.

tabel 9.1 Overzicht van enkele onderzoeksmethoden

methode	principe	te detecteren foutsoort	bijzonderheden	personeelseisen
Visuele inspectie	Optische inspectie van het zichtbare oppervlak onder goede lichtcondities.	Zichtbare afwijkingen in lasvorm, uitlijningheid, verkleuring, inkarteling.	Kan ook worden uitgevoerd met visuele hulpmiddelen zoals endoscoop, TV.	Training, ervaring en bekendheid met de eisen.
Penetrant onderzoek	Een vloeistof met geringe oppervlaktetensioning dringt door capillaire werking in de fout en wordt vervolgens door absorptie in een ontwikkelaar die op het oppervlak is aangebracht, zichtbaar gemaakt.	Oppervlakdefecten die aan het oppervlak open zijn.	Geschikt voor alle niet-poreuze materialen. Hoge eisen worden gesteld aan de reinheid van het oppervlak.	Formele kwalificatie, ervaring en bekendheid met de eisen.
Radiografie	Doordringing van het materiaal door elektromagnetische (ioniserende) straling. Zwartingsverschillen op de onderliggende film geven een beeld van eventuele defecten.	Ingesloten defecten, in het bijzonder die welke zwartingsverschillen op de film veroorzaken; dit stelt eisen aan de richting van de straling bij detectie van vlakke fouten.	Er is een direct document voorhanden voor latere referentie. De film geeft een overzichtelijk beeld van de las. Diepteligging van het defect niet precies meetbaar. Detectie van scheurvorming kan beperkt zijn.	Formele kwalificatie en ervaring. Speciale aandacht voor training van filmlezers en bekendheid met stralingsveiligheid. Bekendheid met de eisen.
Ultrasoon onderzoek	Reflectie van elastische golven aan grensvlakken; foutlokalisatie door looptijdmeting.	Ingesloten defecten, ook bij grote wanddikten. Bij geschikt ontwerp is volledig volumetrisch onderzoek van de las mogelijk.	Is een vergelijkingsmethode, daarom is altijd een kalibratie op een referentiereflector nodig. Problemen kunnen ontstaan bij hoge absorptie en grove structuur. Vaak zijn speciale oplossingen mogelijk.	Formele kwalificatie en ervaring. De opleiding bevat relatief veel theorie, vooral goniometrie. Bekendheid met de eisen. Voor RVS-onderzoek speciale training nodig.
Lekdichtheidscontrole	Meting van hoeveelheid doorstromend gas per tijdseenheid onder invloed van aangelegd drukverschil.	'Lekken' (ondichtheden) in insluitsystemen.	Te bereiken gevoeligheid sterk afhankelijk van gebruikte methode. Methodekeuze baseren op ontwerpisen.	Training, ervaring en bekendheid met de eisen.

De penetrant vloeistof kan met een spuitbus of kwast op het oppervlak worden aangebracht. Ook is het mogelijk de voorwerpen in de penetrant onder te dompelen.

Nadat de penetratietijd (15 tot 20 minuten) is verstreken, moet het oppervlak goed worden schoongemaakt en wordt de ontwikkelaar aangebracht, zodanig, dat het oppervlak gelijkmatig met een dun laagje is bedekt.

Penetrant systemen zijn in twee hoofdgroepen te onderscheiden, n.l.:

- a. penetrant onderzoek met een rode kleurstof voor het bereiken van een kleurcontrast met de te gebruiken ontwikkelaar;
- b. penetrant onderzoek met een fluorescerende kleurstof voor het bereiken van een licht-donker contrast.

Bij een globale vergelijking van beide groepen kunnen we stellen, dat bij het onderzoek met fluorescerende vloeistof zeer kleine foutindicaties worden gevonden, maar daar staat tegenover dat voor de beoordeling meer ervaring is vereist en dat aan speciale omgevingscondities moet worden voldaan. Het onderzoek moet in een verduisterde ruimte worden uitgevoerd.

9.6.3 Radiografisch onderzoek (Röntgen- en gamma-onderzoek)

De belangrijkste afwijkingen die inwendig in een lasverbinding kunnen voorkomen zijn:

- insluitsels van gas, oxiden en zware metalen;
- bindingsfouten tussen het lasmateriaal en het basismateriaal of tussen de laslagen onderling;
- onvoldoende doorlassing in de grond van de lasnaad;
- scheuren in de las of directe omgeving.

Dergelijke inwendige fouten, die met de hiervoor genoemde onderzoeksmethoden niet aantoonbaar zijn, kunnen door middel van röntgen- of gamma-onderzoek worden aangetoond.

Het röntgenonderzoek is tot een doorstralingsdikte van ca. 150 mm bruikbaar. Het gamma-onderzoek wordt vooral bij grotere doorstralingsdiktes toegepast.

Het maken van röntgenfoto's en de beoordeling moet door speciaal hiervoor opgeleide personen gebeuren. De beoordeling van de röntgenfoto's moet gebeuren aan de hand van de speciale aluminium codes. Voor het indelen van de lasfouten naar afwijkingen wordt veelal gebruik gemaakt van de serie Reference Radiographs for Aluminium Welds van het IIW. Het hanteren van staalcodes is onjuist en dient te worden vermeden.

Voor meer gegevens betreffende de uitvoering en interpretatie van het radiografisch onderzoek wordt verwezen naar ISO 2437, NEN 25/3, DIN 54111 TI en EN 444:1994.

9.6.4 Ultrasoon onderzoek

Vlakke inwendige fouten die min of meer loodrecht op de stralingsrichting liggen, zijn slechts ten dele of helemaal niet zichtbaar op een röntgenopname. Deze situatie kan zich bijvoorbeeld voordoen bij schuin of horizontaal verlopende bindingsfouten of scheuren. Wanneer men deze fouten vermoedt, kunnen door meerdere röntgenopnamen onder verschillende hoeken een deel van deze fouten wel worden aangetoond.

Dergelijke fouten kunnen met ultrasoon onderzoek worden opgespoord. Veelal wordt het ultrasoon onderzoek naast bijvoorbeeld het röntgenonderzoek aanvullend toegepast. Opgemerkt dient te worden dat er altijd voor extra materiaal moet worden gezorgd voor het vervaardigen van proef- en referentiestukken.

Om het onderzoek uit te kunnen voeren moet naast de las voldoende ruimte zijn om de US-taster te bewegen. Ook moeten eisen worden gesteld aan het las- en werkstukoppervlak. Het oppervlak moet glad (geslepen) zijn. Om een optimaal contact tussen werkstukoppervlak en taster te bereiken wordt gebruik gemaakt van een contactvloeistof. Ultrasoon onderzoek kan via de conventionele pulsecho methode worden uitgevoerd. Dan wordt met 1 taster

(sensor) gewerkt die zowel als zender en ontvanger dienst doet. Een korte puls ultrageluid wordt loodrecht of onder een hoek het werkstuk ingestuurd. Indien het werkstuk foutloos is, dan reflecteert het ultrageluid tegen de wanden van het werkstuk. Indien wel defecten aanwezig zijn (met name scheuren of andere vlakke fouten), dan weerkaatst het ultrageluid hier tegen en wordt op het beeldscherm zichtbaar als een indicatie.

Een recentere variant van het ultrasoon onderzoek maakt gebruik van het "time of flight diffraction" principe. Hier worden twee sensoren gebruikt (zender en ontvanger) aan weerszijden van de lasverbinding. Doordat het ultrageluid verstrooit aan de randen van het defect kunnen de locatie en de afmeting goed worden bepaald.

In vergelijking met het röntgenonderzoek kost het US-onderzoek minder tijd en ondervindt de directe omgeving geen hinder van het onderzoek.

9.6.5 Onderzoek op gasdichtheid

Over het algemeen wordt er bij systemen die onder overdruk moeten werken, zoals drukvaten en leidingsystemen, als eindproef een persproef toegepast. Hierbij wordt het geheel met water gevuld en onder een druk gebracht die bijvoorbeeld 10% boven de werkdruk ligt. Bij een dergelijke persproef kan worden vastgesteld of het systeem en de hierin voorkomende lassen wat betreft hun sterkte aan de verwachtingen voldoen en er geen onacceptabele vormveranderingen optreden. Ook blijkt bij deze proef of het geheel lekdicht is.

Er bestaan echter voor de controle op lekken ook aanmerkelijk nauwkeuriger methoden. Hiervoor worden in plaats van water gassen gebruikt die, onder een geringe druk in het systeem gebracht, door zeer kleine lekken kunnen ontsnappen en met bijzondere gasdetectoren aan de buitenzijde van het systeem kunnen worden gedetecteerd.

Er zijn ook lektestsystemen in gebruik, waarbij door middel van een vacuümpomp een "onderdruk" in het te onderzoeken systeem wordt aangebracht. Het detectiegas wordt dan aan de buitenkant aangebracht. Gassen die voor beide methoden worden gebruikt zijn freon en helium. Geringe hoeveelheden van deze gassen kunnen met een zogenaamde massaspectrometer worden gedetecteerd. In kritische constructies vormt een dergelijke lektest vaak het sluitstuk van de fabricagecontrole, waaraan alle hiervoor beschreven wijzen van niet-destructief onderzoek zijn voorafgegaan.

9.6.6 Destructief onderzoek

In bepaalde gevallen worden ter verificatie van de mechanische eigenschappen van de lasverbinding destructieve beproevingen op meegelaste proefplaten of parallel-proefstukken verlangd. De afmetingen van de proefplaten en de omvang van het destructief onderzoek is veelal in de geldende codes, norm of regels aangegeven.

Als regel bestaat het destructief onderzoek uit:

- buigproeven met proefstaven welke meestal dwars over de las uit het proefstuk worden genomen. In dit verband worden buig-, tegenbuig en zijbuigstaven onderscheiden;
- bij buigstaven wordt de sluitlaag op trek belast, bij tegenbuigstaven de doorlassing of tegenlas en bij zijbuigstaven de volledige lasdoorsnede. De buigstaven worden gebogen om een doorn. De doordiameter is afhankelijk van de materiaal soort en materiaaldikte. De buigstaven moeten een voorgeschreven buighoek kunnen bereiken, zonder dat er scheuren optreden;
- trekproeven met proefstaven welke dwars over de las uit het proefstuk worden genomen of welke volledig uit de las zijn genomen en geheel uit lasmetaal bestaan. In het eerste geval wordt alleen de treksterkte bij breuk bepaald en de plaats van de breuk beschouwd. In het tweede geval kunnen treksterkte, rekgrens, rek en insnoering worden bepaald. In beide gevallen kan het uiterlijk van de breuk belangrijke aanwijzingen geven;
- Hardheidsmetingen volgens Vickers of Brinell op geprepareerde doorsneden van de las en overgangszone in het basismateriaal.

9.6.7 *Metallografisch onderzoek*

Geprepareerde doorsneden van de las kunnen macroscopisch en microscopisch worden onderzocht. Uit het macroscopisch onderzoek kan het aantal laslagen en de mate van inbranding worden bepaald. Het microscopisch onderzoek geeft een beeld van de microstructuur (kristalvorm en -grootte van het werkstukmateriaal, overgangszone en neergesmolten lasmetaal).

9.6.8 *Chemisch onderzoek*

Met een chemische analyse kan de samenstelling van het werkstukmateriaal, lastoevoegmateriaal en neergesmolten lasmetaal worden bepaald. Een en ander kan van belang zijn voor de corrosiebestendigheid. Voor de normale keuringen wordt meestal spectrografisch onderzoek toegepast.

9.6.9 *Corrosieproeven*

Onder invloed van de laswarmte, lasspanningen of vermenging van het werkstukmateriaal met lastoevoegmateriaal kunnen verscheidene vormen van corrosie ter plaatse van de lasverbinding optreden, of kan de corrosiebestendigheid van het basismateriaal in bepaalde milieus afnemen. Om dit te onderzoeken worden proefstukken met lasverbindingen in een kunstmatig corrosief milieu opgesteld om de corrosiegevoeligheid te testen.

De testcondities, proefstukvorm, tijdsduur en dergelijke, zijn in de voor dit doel opgestelde normen opgenomen.

9.7 *Reparaties*

Indien bij het produceren of productie-onderzoek indicaties worden gevonden die ontoelaatbaar zijn, zal er reparatie moeten plaatsvinden.

In bepaalde gevallen moet, voordat met de reparatie wordt begonnen, een zogenaamd reparatieplan worden ingediend bij de opdrachtgever en/of keuringsinstantie.

Een dergelijk reparatieplan moet informatie verstrekken over:

- ▶ methode van fout verwijderen;
- ▶ onderzoeksmethode die toegepast wordt om vast te stellen dat de fout verwijderd is;
- ▶ lasnaadvoorbewerking;
- ▶ lasproces dat voor de reparatie wordt toegepast;
- ▶ lasuitvoering, zoals lasvolgorde, interpasstemperatuur en indien nodig voorwarmtemperatuur en eventuele nabehandelingen;
- ▶ onderzoeksmethoden met omvang en stadia waarin het onderzoek plaatsvindt.

Verder kan het nodig zijn om vooraf, door middel van een reparatie-kwalificatie, aan te tonen dat reparatie volgens de voorgestelde reparatieprocedure aan de gestelde eisen voldoet. Een dergelijke kwalificatie is qua opzet en beproeving te vergelijken met een lasmethodekwalificatie.

Hoofdstuk 10

Economie van het lassen

Het is niet mogelijk binnen het kader van deze publicatie uitvoerig in te gaan op alle kostenaspecten die men bij de verwerking en het lassen van aluminium tegenkomt. We moeten ons beperken tot de verklaring van enkele begrippen en zullen in principe aangeven hoe men voor het vaststellen van de belangrijkste kostenposten te werk dient te gaan.

10.1 Kostenindeling

De kosten van het lassen worden voornamelijk bepaald door de volgende posten:

1. voorbereiding;
2. personeel;
3. materiaal;
4. machine en gereedschap;
5. inschakelduur;
6. neersmeltsnelheid;
7. nabewerking;
8. controle en reparatie.

Op de verschillende kostenposten zal hieronder nader worden ingegaan.

10.2 Voorbewerking

Een overweging kan zijn dat van de stompe lassen de voorbereidingskosten:

- laag zijn voor de I-las, de V-las, de X-las en de K-las. Dit zijn eenvoudige lasnaden, die met een snelle machinale bewerking of het plasmasnijden kunnen worden aangebracht;
- hoog zijn bij de U-las en de J-las. Hier moet bijvoorbeeld het frezen worden toegepast.

In verband met de vereiste oppervlaktekwaliteit bij het lassen van aluminium is mechanisch voorbereiden (frezen, schaven) de aangewezen methode. Besparing op voorbereiding kan meerkosten geven in de vorm van extra reparaties en controle.

Bij hoeklassen zijn er meestal geen voorbereidingskosten. De voorbereidingskosten maken vaak een groot deel uit van de totale productiekosten. De voorbereidingskosten worden in berekeningsmodellen vaak buiten beschouwing gelaten.

De kosten kunnen bij het gebruik van extrusieprofielen worden beperkt door de gewenste lasnaadvorm daarin op te nemen.

10.3 Personeel

Deze kosten worden gedefinieerd per werkuur. Hierbij moet ook worden gelet op toeslagen voor overhead (werkvoorbereiding) en niet productieve tijd (loopverliezen, pauzes, enz.). Het lasproces (onder andere neersmeltsnelheid en lassnelheid) zijn vooral maatgevend voor de loonkosten. Echter ook de omstandigheden in een bepaald bedrijf. Normaal zijn de loonkosten veel hoger dan de materiaalkosten.

10.4 Materiaal

Dit betreft de kosten van plaat of profiel, lastoevoegmateriaal en gassen. Indien de lasnaadinhoud, laslengte, het procesrendement, het gasverbruik en de opmenging bekend zijn, kunnen de kosten van de verbruikte lasmaterialen vrij gemakkelijk worden berekend.

10.5 Machine en gereedschap

De machinekosten zijn in verhouding tot de loon- en materiaalkosten van minder betekenis. Daar de machinekosten per werkuur worden aangegeven, spelen niet alleen

de aanschafprijs, de afschrijfkosten, het renteverlies en de onderhoudskosten een rol, maar ook het aantal uren per jaar dat met het apparaat zal worden gelast. Het maken van een lasnaad is ook een kostenpost.

10.6 Inschakelduur

De inschakelduur (I.D.) is de verhouding tussen de tijd dat daadwerkelijk wordt gelast en de werktijd:

$$\text{I.D.} = \frac{\text{boogtijd}}{\text{werktijd lasser}} \times 100\%$$

De inschakelduur is dus geen tijd maar een percentage en dat wordt bepaald over een periode van 10 minuten. In de praktijk wordt ernaar gestreefd om steeds een zo hoog mogelijke inschakelduur te bereiken. Factoren die de inschakelduur beïnvloeden, zijn enerzijds procesbepalende tijden, zoals de insteltijd van de machine, draadwisseltijden en de tijd om spatten enz. te verwijderen. De I.D. wordt echter het meest beïnvloed door werkzaamheden anders dan lassen, zoals verplaatsen van werkstuk of lasser, hechten, borstelen, slijpen/frezen, onderdelen halen, richten/stellen. Ook is de mate van mechanisatie van invloed op de inschakelduur.

Anderzijds moet rekening worden gehouden met personele aspecten, waarbij dan ook de organisatie binnen het bedrijf van invloed is. De inschakelduur ligt in de praktijk bij het handlassen meestal onder 20%.

10.7 Neersmeltsnelheid

De neersmeltsnelheid, dat wil zeggen de hoeveelheid lasmetaal die per tijdseenheid wordt neergesmolten, is een andere belangrijke invloedsfactor. Deze snelheid is met name afhankelijk van het lasproces en de laspositie.

Om een grotere neersmeltsnelheid te bereiken hoeft niet altijd een ander lasproces te worden gekozen; het kan ook betekenen dat bijvoorbeeld bij het MIG-handlassen een grotere draaddiameter en een hogere stroomsterkte wordt toegepast. Een mogelijkheid om deze snelheid te vergroten is het vervangen van lassen in positie door het onder de hand lassen. Stroomsterkte en draaddiameter kunnen dan allebei worden vergroot.

Wijziging van de lasmethode is niet altijd mogelijk, maar wanneer dat wel het geval is, is de aanschaf van hulpmiddelen zoals draaitafels, rolstellingen en manipulatoren te overwegen.

10.8 Nabewerking

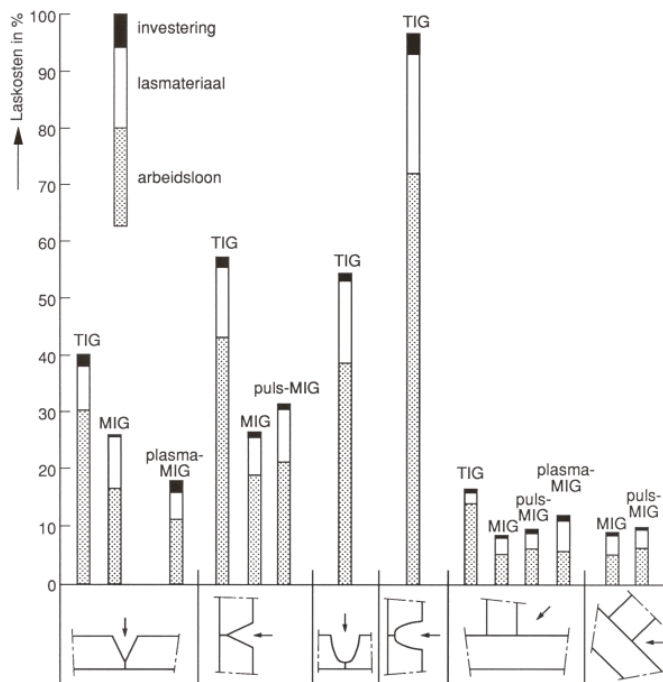
De nabewerkingskosten zijn soms moeilijk exact te berekenen. Door wijzigingen in laspositie kan een gladdere las worden verkregen, die minder nabewerking zal verlangen. Onder de nabewerkingskosten vallen bijvoorbeeld ook die van een warmtebehandeling of van een beitsbehandeling. Deze kosten zijn, in het algemeen, niet eenvoudig op te geven en worden in berekeningsmodellen voor het bepalen van de laskosten vaak buiten beschouwing gelaten.

10.9 Controle en reparatie

Indien aan het uitgevoerde laswerk kwaliteitseisen zijn gesteld, dan vormt controle van de geleverde kwaliteit (visueel, ultrasoon, radiografie) een deel van de productiekosten. De gebruikte techniek (visueel is het goedkoopste, radiografie het duurst) en het percentage van werkstukken en lasnaden dat wordt geïnspecteerd (100% inspectie, steekproefsgewijs, alleen kritische punten) bepalen de controlekosten. Ingeval van niet-toelaatbare defecten moet worden overwogen of de lassen worden gerepareerd. Bij de afweging wordt meegenomen of reparatie het gewenste effect (verbetering) geeft. Dit brengt reparatiekosten en controlekosten na reparatie met zich mee. Met name de hoeveelheid te repareren defecten en bereikbaarheid van de defecten (nabij oppervlak of binnenin constructie) bepaalt of het economisch verantwoord is om te repareren.

10.10 Berekening van de laskosten

Voor het berekenen van de laskosten bestaan sinds enige tijd laskostenberekeningsprogramma's. Deze kunnen op een personal computer worden toegepast. De reden dat dit soort software is ontwikkeld is, dat het berekenen van laskosten nogal complex is. Zeker zo'n 15 à 20 gegevens moeten via evenzo vele vergelijkingen worden verwerkt. Wanneer de gegevens ingebracht zijn, is de verwerking daarvan een kwestie van seconden. Onder andere het NIL heeft een programma (CostComp®) ter beschikking. Van de totale kosten nemen de loonkosten een flink deel voor hun rekening. Het is daarom van belang een lasproces te kiezen dat een zo groot mogelijke neersmeltsnelheid heeft. In figuur 10.1 is voor een aantal lasprocessen aangegeven hoe groot de kosten kunnen zijn. Daarvoor is het TIG-, MIG- en puls-MIG lassen met elkaar vergeleken voor een plaatdikte van 10 mm in het type EN AW-5083. Het TIG-lassen blijkt in al die gevallen de duurste lasmethode te zijn, hoewel dat pas echt tot uiting komt bij het in positie lassen. Het gewone MIG-lassen blijkt dan het best universeel ingezet te kunnen worden. Voor het lassen van dünnere plaatdikten zullen de verschillen tussen de verschillende lasmethoden zo gering worden, dat andere dan financiële overwegingen een rol gaan spelen.



figuur 10.1 Vergelijking van de laskosten van 10 mm dik type EN AW-5083

10.11 Concluderende opmerkingen ten aanzien van een economische keuze

Voor het economisch verwerken van aluminium is een juiste keuze van het lasproces een eerste vereiste. De keuze van het lasproces is echter een aangelegenheid die bepaald wordt door een groot aantal factoren, dat in veel gevallen alleen maar door een lasdeskundige kan worden overzien.

1. Primaire overwegingen:

- Aanwezigheid van las- en hulpapparatuur:
 - Voor een bepaald lasproces is de aanwezigheid van bepaalde apparatuur of hulpapparatuur zonder meer nodig (bijvoorbeeld het doorlassen op keramische strip bij het MIG-lassen).
- Aanwezigheid van vakbekwame lassers:
 - Voor uitvoeren van alle lasprocessen worden vakbekwame lassers vereist.
- Specifieke eisen ten aanzien van de lasverbinding:
 - In de opdracht kunnen eisen worden verlangd (ten aanzien van vervorming, vereiste ontwerpsterkte, voorbereiding, oppervlaktetoestand, nabewerking) die de proceskeuze sterk beperken.
- Binnen of buiten de werkplaats:
 - Buiten zijn goede afschermingen nodig om een goed resultaat te bereiken.
- Lasuitvoering:
 - Een- of tweezijdig lassen is medebepalend voor de keuze van het toe te passen lasproces.
- Steltijd:
 - De steltijd kan ongunstig uitvallen.

2. Verdere overwegingspunten:

- Type materiaal:
 - Een lasproces geeft bij het lassen van bijvoorbeeld 5xxx legeringen minder problemen dan dat van 7xxx-legeringen.
- Materiaaldikte:
 - Deze kan bepalend zijn voor de keuze van het lasproces.
- Laspositie:
 - Het lassen onder de hand is het meest aantrekkelijk.
- Type van de naadvorm:
 - De naadvorm wordt bepaald door het toe te passen lasproces en de naadinhoud moet altijd worden aangepast aan de omstandigheden.
- Toleranties:
 - Bij de lasproceskeuze zijn de toegestane toleranties van groot belang.

Hoofdstuk 11

Gezondheid en veiligheid

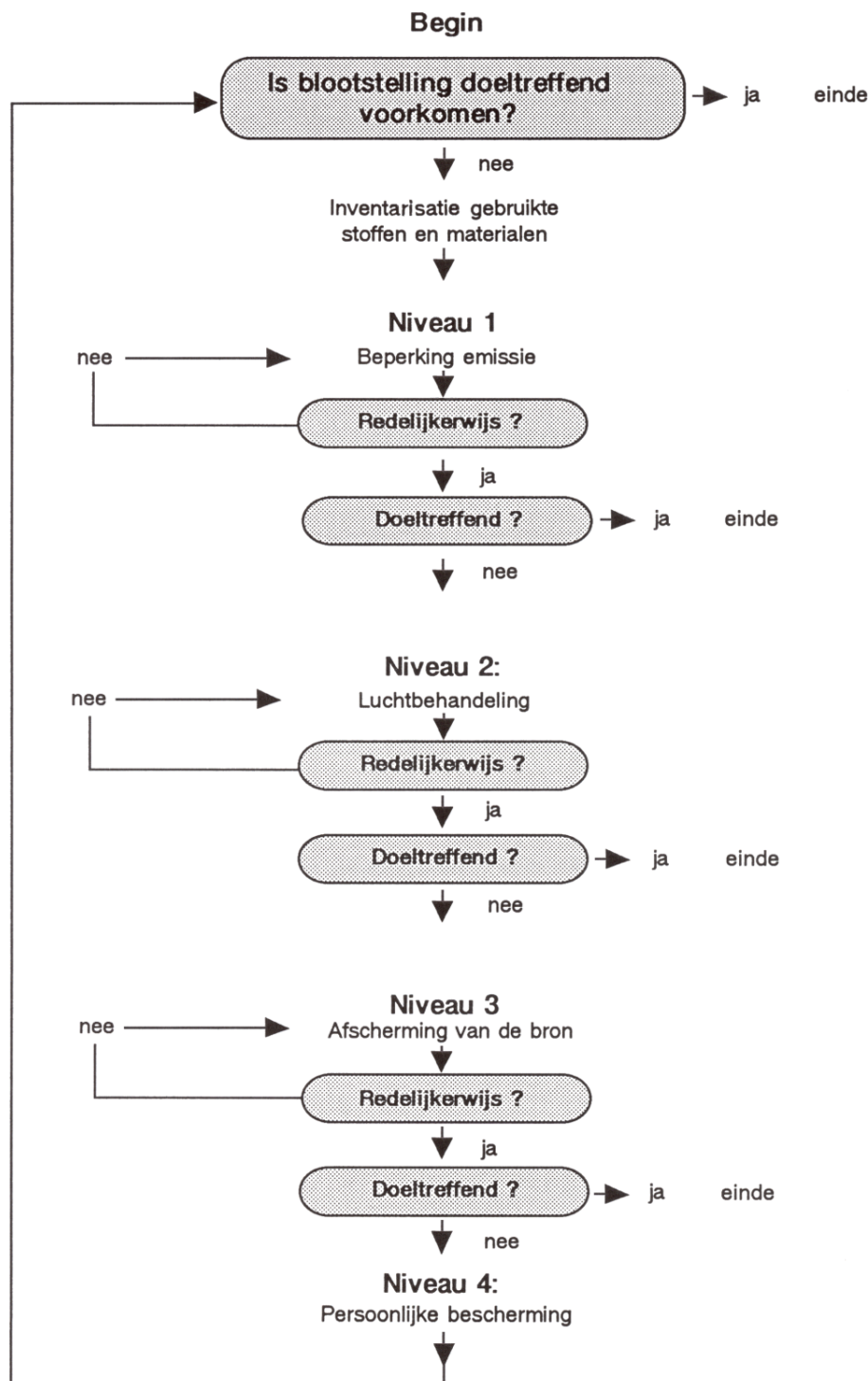
11.1 Inleiding

De bescherming van de lasser dient in feite te beginnen voor het eigenlijke laswerk begint. Anders gezegd: het bedrijf dient op de hoogte te zijn van de gevaren voor de mens tijdens het lassen en dient daarvoor maatregelen te treffen en beschermende hulpmiddelen beschikbaar te hebben. Men dient op de hoogte te zijn van de door de overheid

opgestelde voorschriften voor het verantwoord werken bij het lassen en aanverwante processen. Vaak is het zo, dat economische motieven de veiligheidsmaatregelen ondergeschikt maken (korte levertijd, spoedklussen, enz.).

De wetgeving definieert vier niveaus (zie schema figuur 11.1): bronbestrijding, industriële ventilatie, afscherming mens en persoonlijke bescherming. Volgens de door de overheid vastgestelde arbeidshygiënische strategie moet begonnen worden met bestrijding bij de bron en mag worden afgerond met persoonlijke beschermingsmiddelen. In de paragrafen 11.2 t/m 11.5 worden deze punten nader toegelicht.

Verloop van de beheersstrategie



figuur 11.1 Schema voor het nemen van beschermende maatregelen

Specifieke blootstellingen van medewerkers in de nabijheid van laswerkzaamheden (lassers of voorbereiders) betreffen hinderlijke of schadelijke:

- stoffen afkomstig uit de lasboog (lasrook en ozon);
- stoffen afkomstig van oplosmiddelen;
- straling (zichtbaar licht en UV A/B);
- geluid (van de lasboog en van slijpen);
- elektromagnetische straling.

Wat betreft de eisen aan blootstelling aan lasrook geldt tot 1 april 2010 een gedoogbeleid voor een tijd gewogen gemiddelde blootstelling van 3,5 mg/m³ gemeten over een achturige werkdag. Per 1 april 2010 geldt een waarde van 1 mg/m³ (waarden geldig voor staal, voor aluminium zijn geen aparte waarden opgegeven). Bij het lassen van aluminium is de grenswaarde voor ozon meestal maatgevend. Deze is vastgesteld op 0,1 ppm (tijd gewogen gemiddelde over een periode van 8 uur).

11.2 *Beperking van de emissie*

Aan de bron kan de beperking van de emissie het best worden bestreden:

- kies het minst vervuulende lasproces (als er keuze is);
- evenzo voor het lastoevoegmateriaal;
- stel de lasapparatuur zo goed mogelijk in;
- las nooit aan aluminium dat vervuild is met menie, olie of onbekende stoffen;
- werkplek alleen gebruiken voor het lassen; het ontvetten bijvoorbeeld moet in een andere ruimte geschieden.

11.3 *Industriële ventilatie*

- Plaatselijke afzuiging dient lasrook op te vangen, voordat de lasser het kan inademen.
- Ruimteventilatie is nodig om concentratie-opbouw te voorkomen. Ruimteventilatie is altijd aan te bevelen; slechts wanneer in grote hallen incidenteel gelast wordt kan ruimteventilatie in verband met het lassen overbodig zijn. Ruimteventilatie zal weinig invloed hebben op de lasrookconcentratie in de ademzone. Voor de omstanders is het wel van belang.
- Onder bepaalde voorwaarden kan afgezogen, gefilterde lucht worden gerecirculeerd. Ozon kan op deze wijze gebonden worden, nitreuze dampen zijn echter een probleem.

11.4 *Afscherming van de mens*

Afscherming van de mens van de bron in ruimte en tijd kan worden gerealiseerd door technische en organisatorische maatregelen, zoals:

- afscherming werknemers van de bron; schermen zijn van nut als het gaat om te voorkomen dat de directe omgeving van de lasser hinder ondervindt. Het spreekt voor zich dat een juiste inrichting (ergonomie) met betrekking tot verlichting, rookafvoer, enz. van de lasplaats tot verminderde blootstelling kan leiden;
- beperking van de blootstellingsduur; dat is een typische organisatiemaatregel: door verspreiding van het werk over de tijd, of de lasser ook andere werkzaamheden te laten verrichten, kan de totale blootstelling worden verminderd;
- vermindering van het aantal blootgestelde werknemers kan gerealiseerd worden door afsluiting van de werkruimte voor degenen die daar geen werk hebben.

11.4.1 *Persoonlijke bescherming*

Dit betreft in feite de bescherming van:

- ademhalingswegen (laskap, laskap met slabbe, overdruk-helm, lashelm);
- huid (laskap, laskap met slabbe, lashandschoenen, las-overall, lashelm);
- ogen (laskap/-helm met donker venster);
- gehoor (oorkappen, oorproppen).

Voor de volledigheid wordt een overzicht gegeven van de

stoffen die gevaar opleveren en wat de gevolgen zijn van een gebrekkige bescherming.

11.4.2 *Straling*

Blootstelling van de huid aan de straling van een lasboog, zelfs gedurende korte tijd, veroorzaakt verbrandingsverschijnselen overeenkomende met zonnebrand. Chronische blootstelling kan leiden tot versnelde huidveroudering en mogelijk huidkanker.

Blootstelling van de ogen aan de ultra-violette straling van de boog veroorzaakt een vorm van ontsteking, waarvan "lasogen" ("zand" in de ogen, tranen, overgevoeligheid voor licht en het samentrekken van de oogspieren) ondanks het pijnlijk zijn, de meest onschuldige is. De acute symptomen duren gewoonlijk 6 tot 24 uur en bijna alle ongemakken verdwijnen binnen 48 uur. Zelden is er blijvende schade. Straling is vooral zo gevaarlijk, omdat pas 4 - 6 uur na het blootstellen zich de ontstekingsverschijnselen openbaren. De straling die optreedt tijdens het MIG- en TIG-lassen van aluminium is zeer intens, ook al omdat het meestal glanzende oppervlak van aluminium een zeer groot deel van de straling reflecteert. Niet alleen het metaaloppervlak reflecteert de straling, maar ook alle lichtgekleurde of heldere oppervlakken van de omringende wanden, plafonds en ramen van de werkplaats. Een goede stralingsbescherming is daarom noodzakelijk.

Er zijn echter ook blijvende, schadelijke gevolgen bij onzorgvuldige bescherming. Men moet dan denken aan ongemakken als:

- staar;
- ontstaan van een "blinde vlek" (= inbranding van netvlies);
- sterk verminderd gezichtsvermogen.

Dit is niet alleen een gevolg van UV-licht, maar ook thermische effecten (infra-rood) veroorzaken blijvende beschadigingen.

Wanden en plafonds moeten een donker, niet reflecterend oppervlak hebben; verplaatsbare schermen of transparante geen hinderlijke straling doorlatende gordijnen van circa 1,80 m hoog dienen te worden gebruikt om de lasplaatsen te isoleren. Deze schermen moeten niet brandbaar zijn en niet-doorzichtige schermen dienen eveneens bedekt te zijn met een donkere, niet reflecterende laag.

De kleding van de lasser en ook van de helpers dient zodanig te zijn, dat alle huddelen, niet beschermd door een lashelm, bedekt zijn. De kleur van de kleding moet donker zijn. Lichte kleuren zijn ontoelaatbaar, omdat deze te veel ultra-violette straling doorlaten.

Leren handschoenen zijn noodzakelijk; ze geven voldoende bewegingsvrijheid en een goede bescherming tegen brandwonden. Een leren voorschoot is eveneens gewenst; leren mouwen en kragen kunnen een goede bescherming bieden tegen schroeien van de kleding.

Lashelmen en/of laskappen beschermen het gezicht van lasser en helper tegen straling; goede donkere glazen zijn belangrijk.

Het overige personeel in de werkplaats moet veiligheidsbrillen dragen met donkere glazen of door schermen/gordijnen van de werkplek gescheiden zijn. De bril moet ook bescherming bieden tegen zijdelingse straling. Gebruikelijk zijn lashelmen en laskappen met de volgende glazen:

- licht gekleurd (shade 10);
- middel gekleurd (shade 11);
- donker gekleurd (shade 12 of hoger).

Voor booglassen dient minstens het donkere glas (shade 12) gebruikt te worden. Indien stroomsterkten > 250 A worden gebruikt, moet ook het glas aangepast worden: shade 13 geldt tot 350 A, van 350 A tot 450 A is shade 14 nodig, enz.

Overigens is ook de lasdraadsamenstelling van invloed op de lichtontwikkeling: bij het gebruik van AlMg-lasdraad moet 2 punten donkerder lasglas worden toegepast!

11.4.3 *Heet metaal*

Heet aluminium ziet er net zo uit als koud aluminium. Veel

ongemak kan worden voorkomen door het metaal nooit met blote handen te hanteren, maar altijd leren handschoenen te gebruiken. De behandeling van brandwonden, veroorzaakt door heet aluminium, is gelijk aan die veroorzaakt door andere hete metalen.

11.4.4 Brandgevaar

Hoewel het MIG- en TIG-lassen van aluminium weinig spat, is er altijd gevaar voor brand indien er licht brandbare stoffen aanwezig zijn. Met olie doordrenkte lappen of papier mogen niet aanwezig zijn op de werktafel of op de vloer, maar dienen op een veilige plaats en op een veilige afstand te worden opgeborgen.

Brandbaar materiaal dat niet verwijderd kan worden, moet zorgvuldig afgedekt zijn met een niet brandbare stof. Blusapparatuur moet altijd aanwezig zijn in de laswerkplaats.

11.4.5 Lasdampen

Bij alle booglasprocessen ontstaan onder invloed van de hoge temperatuur deeltjesvormige verontreinigingen (lasrook) en schadelijke gassen zoals ozon. De schadelijke bestanddelen kennen allemaal een eigen grenswaarde. Het is noodzakelijk om de lasrook te verwijderen. Optimaal is een afzuiging naar boven met afvoer door het dak. In de praktijk is een compromis een acceptabele luchtstroming die de beschermende werking rond de lasboog ongemoeid laat. De Praktijkrichtlijn, versie 2006 [46], (Beschrijving doeltreffende maatregelen bij blootstelling aan rook en/of gasen afkomstig van lassen en/of verwante processen) geeft aanwijzingen voor te nemen maatregelen (ventilatie en beschermingsmiddelen) voor diverse lasproces/materiaal combinaties. Voor processen met geringe lasrookproductie, zoals TIG-lassen van aluminium met een lage inschakelduur (< 15%) kan worden volstaan met ruimteafzuiging in combinatie met filterend halfmasker/wegwerpmasker (FFP2 specificatie). Bij processen die meer lasrook en ozon produceren, zoals het MIG-lassen bij een inschakelduur groter dan 15% is voldoende ruimteventilatie en bronafzuiging vereist. De lasser en alle omstanders dienen dan tevens een filterend halfmasker/wegwerpmasker (FFP2 specificatie) te dragen. Voor meer informatie wordt verwezen naar de tabellen in de betreffende Praktijkrichtlijn.

Bij het TIG- en MIG-lassen vindt ozonvorming plaats als gevolg van de UV-straling. De grenswaarde voor ozon is 0,1 ppm. Ozon veroorzaakt een sterke prikkeling op de slijmvliezen van ogen en luchtwegen; blootstelling van 15 à 20 minuten bij 0,3 tot 1 ppm kan hoofdpijn, hoestprikkeling en een gevoel van vermoeidheid veroorzaken. Echt langdurige expositie kan een verhoogde gevoeligheid voor infecties van de luchtwegen tot gevolg hebben. Door de gasleveranciers wordt onderzocht of via de gassamenstelling de ozonvorming gunstig beïnvloed kan worden. Resultaat is de beschikbaarheid van argon/helium mengsels, die leiden tot geringere productie van ozon dan mengsels die alleen argon bevatten.

Tenslotte moet worden vermeld, dat tengevolge van de verbeterde lasapparatuur de boogbeheersing ook beter wordt: dat betekent minder lasrook, maar daardoor wel meer ozonvorming, want de vuile rook schermt de UV-straling niet meer af!

Maatregelen tegen verontreiniging van de lucht op de werkplek kennen de volgende haalbare reductiefactoren:

Maatregel	Haalbare reductiefactor
► Verbeterd type laskap	2
► Plaatselijke afzuiging	5
► Persoonlijke ademhalingsbescherming	10
► Persoonlijke ademhalingsbescherming	30
■ speciale laskabine	
► Persoonlijke ademhalingsbescherming	50
■ speciale laskabine	
■ plaatselijke afzuiging	

In de Praktijkrichtlijn Lasrook is voor diverse combinaties van materiaal en las- of aanverwant proces aangegeven welke maatregelen genomen kunnen worden om aan de geldende normen wat betreft blootstelling te voldoen. De Praktijkrichtlijn Lasrook geeft de stand der techniek conform de voorschriften in 2006 weer. Per 1-4-2010 worden de eisen strenger en zullen naar alle waarschijnlijkheid de genoemde materiaal/procescombinaties 1 categorie opschuiven (RF = 2 wordt RF = 5, enz.). Voor meer informatie wordt verwezen naar de tabellen in de betreffende Praktijkrichtlijn.

11.4.6 Dampen van reinigingsmiddelen

Reeds in hoofdstuk 3 bij "reiniging" is op het gevaar gewezen van het gebruik van gechloreerde koolwaterstoffen, zoals "per" en "tri" bij het reinigen voor het lassen. Door de ultra-violet straling worden de dampen ontleed en er ontstaat het giftige fosgeengas. Dit soort reinigingsmiddelen mag dan ook niet aanwezig zijn in of nabij de laswerkplaats.

De overige ontvettingsmiddelen zijn alle sterk brandgevaarlijk; het reinigen voor het lassen moet dan ook in een andere ruimte plaatsvinden dan die waarin wordt gelast.

11.4.7 Geluid

Lawaai is hinderlijk en kan gehoorschade veroorzaken. Een geluidsniveau tot 80 dB(A) geldt als actiewaarde.

Vanaf 85 dB(A) zijn werknemers ook wettelijk verplicht om gehoorbeschermers te dragen. Ook moet de werkgever een schriftelijk plan van aanpak maken met maatregelen om de blootstelling te verminderen. De grenswaarde van 87dB(A) in het oor, dus rekening houdend met de gebruikte gehoorbescherming, mag niet worden overschreden. Mocht dit wel het geval zijn, dan moet de werkgever aanvullende maatregelen nemen. Vaak is in de werkplaats een geluidsniveau te meten van boven de 100 dB(A)! Zonder het consequent dragen van gehoorbescherming leidt dit onherroepelijk tot gehoorvermindering. Niet alleen het geluidsniveau is bepalend, maar ook de toonhoogte (frequentie). De belangrijkste bronnen van hinderlijk geluid zijn Puls MIG-stroombronnen en slijpmachines. Door het werkstuk goed te ondersteunen kan de hinder door schuren/slijpen flink worden beperkt.

11.5 Aanbevelingen

Tenslotte zijn er aanbevelingen als:

- houd ruim afstand tot laskabels in verband met elektromagnetische strooivelden;
- houd de aardkabel (retour) over de grootst mogelijke afstand dicht bij het slangenpakket (beperking van strooivelden);
- draag de laskabel niet over de nek, dit is wel prettiger om te dragen, maar slecht in verband met sterke elektromagnetische velden nabij de wervelkolom en hersenen;
- draag geen nylon kleding; buiten het brandgevaar is er ook statische elektriciteit die tot irritaties kan leiden;
- gebruik goed sluitende niet brandbare kleding (lederen overall of lasshort);
- gebruik de correcte patronen bij filterende maskers en vervang deze op tijd.

Bijlage 1**Lasmethodebeschrijving (Welding Procedure Specification)**

 Welding Procedure Specification WPS service sn:0001 Netherlands Institute of Welding		 WPS Nr.: _____ Rev.: 0 small version print d.d: _____ Systeem datum: _____						
Klant: Project: Order nummer klant: Ordernummer fabrikant:		Lasnaadvorm incl. tol.						
Toepassing: Lasproces(sen) (ISO/ASME): LMK nr.: _____ Tekening / Object nr.: _____								
Laskantvoorbewerking: Schoonmaken voor/tijdens lassen Voorbewerking tegenlaag: (indien gutsen: gutsen + slijpen)		Lasvolgorde						
Voorwarm-/werkstuktemp., min(°C): Methode: Controle: _____ - Tussenlaagtemperatuur, max(°C): Controle: _____								
Gloeien (Ja / Nee): - - Plaatselijk of in een oven: Gloeitemp. min-max (°C) - - Gloeitijd, min - max (min): Opwarmingsnelheid, max (°C / h): - Afkoelingsnelh. max (°C / h) - Eindtemperatuur, max (°C): - Gloeiproc. Ref.nr.: _____								
Eén / tweezijdig lassen: - Eén/meer snoeren per zijde Uitsteeklengte (± 5 mm): - Backingstrip (Ja / Nee): -								
NIL LMK Ref.nr.: _____								
Nr.	Basismateriaal	Dikte range	Pijpdiameter	ASME			AWS	EN/ISO
				P.Nr	Gr.Nr	S.Nr	Gr.	Gr.
1		mm	mm	-	-	-	-	-
2		mm	mm	-	-	-	-	-
Betreft Snoer nr. Laspositie (ISO/ASME)		- - - / -						
Lasproces (EN ISO / ASME) Lastoevoegmateriaal: Merk Type ASME F.Nr. A.Nr. SFA Specificatie AWS Classificatie EN ISO codering Diameter lastoevoegmateriaal (mm)		- / - - - - - - - - - -						
Laspoeder: Merk Type Beschermgastype (EN ISO) Beschermgassamenstelling (%) Gasdebiet, min-max (l / min) Gascup diameter (mm) Wolframelectrode: Type (EN ISO / ASME) Diameter (mm)		- - - - - - -						
Backinggas (Ja / Nee) Backinggas samenstelling (%) Backinggas debiet, min-max (l / min)		- - -						
Gelijkstroom - Wisselstroom (DC/AC); pol. Stroomsterkte, min-max (A) Spanning, min-max (V) Druppelovergang		- --- -- -						
Voortloopsnelheid, min-max (cm / min) Zwaaien toegestaan (Ja / Nee)		- -						
Minimum uittreklengte (mm) Warmte-inbreng, min-max (kJ / mm) k		- -						
Opmerkingen:								
Fabrikant Accoord / gezien Datum		Klant Accoord / gezien Datum		Geaut. instantie Accoord / gezien Datum				

Bijlage 2 (blad 1 van 3)**Lasmethode kwalificatie-certificaat (Welding Procedure Qualification Record)**

Certification body:
**Netherlands
 Institute of Welding
 (NIL)**



Boerhaavelaan 40
 2713 HX Zoetermeer
 The Netherlands
 Tel. +31 (0) 88 4008560
 Fax +31 (0) 79 3531178

Welding Procedure Qualification Record (WPQR)
EN ISO 15614-2

Manufacturer's WPQR No:	201001	NIL reference number:	10-WPQR-01
Manufacturer:	Voorbeeld b.v.	Date of welding	2010-01-05
Address:	Demostad	Examiner:	B.E. Oordelaar
WPS number:	12345	Weld record:	10-WR-01

	Range of qualification	
	As welded	Qualification Range
Welding Process(es):	141	141
Welding position:	H-L045	All, except J-L045 and PG
Type of joint and weld:	BW	BW, FW
Parent material group(s) and sub group(s):	23.1 – 23.1	Combinations of 23.1 to 22.1, 22.2 ^a , 22.3 ^a , 22.4 ^a
Parent material thickness (mm):	3,0 mm	1,5 mm – 6,0 mm
Outside pipe diameter (mm):	Ø 48,0 mm	≥ Ø 25,0 mm
Throat thickness (mm):	N.A.	2,0 – 4,5 mm
Single run/ Multi run:	Single run	Single run
Filler material designation:	EN ISO 18273:S Al 5356A	EN ISO 18273:S Al 5356A
Filler material brand, type:	CEWELD, ALMG5	N.A.
Filler material size(mm):	3,2 mm	N.A.
Designation of Shielding gas/flux:	EN ISO 14175 : I1	EN ISO 14175 : I1
Composition of Shielding gas:	N.A.	N.A.
Designation of Backing gas:	N.A.	N.A.
Composition of Backing gas:	N.A.	N.A.
Type of welding current and polarity:	AC	AC
Mode of metal transfer:	N.A.	N.A.
Heat input KJ/mm (In acc. with EN 1011-1) :	0,57	0,57
Preheat temperature (C°) min.:	10	10
Interpass temperature (C°) max.:	N.A.	N.A.
Post-Heating:	N.A.	N.A.
Post-weld Heat-Treatment:	N.A.	N.A.
Other information:		^a Only with Al-Mg filler material

Bijlage 2 (blad 2 van 3)**Lasmethodekwalificatie-certificaat (Welding Procedure Qualification Record)**

Certification body:
**Netherlands
 Institute of Welding
 (NIL)**



Boerhaavelaan 40
 2713 HX Zoetermeer
 The Netherlands
 Tel. +31 (0) 88 4008560
 Fax +31 (0) 79 3531178

Welding Procedure Qualification Record (WPQR)
EN ISO 15614-2

Manufacturer's WPQR No: 201001

NIL Reference number: 10-WPQR-01

Test results

Test temperature (C°): 20

Remarks: No remarks

Visual: Acceptable

Penetrant / Magnetic Particle *): Lab report 1234-2008 Date 2010-01-05

Ultrasonic / Radiographic *): Lab report 1234-2008 Date 2010-01-05

*) If required

☒ Required

Tensile tests – EN 895

Type or No.	Re N/mm ²	Rm N/mm ²	A%	Z%	Fracture location	Remarks
Requirements	N.R.	≥ 165	N.R.	N.R.		
Cross weld tensile	N.A.	191	N.A.	N.A.	Weld	
Cross weld tensile	N.A.	206	N.A.	N.A.	Parent material	

☒ Required

Bend tests – EN 910

Type or No.	Former	Bend angle (°)	Elongation (If required)	Results
2x Face bend	10t	180°		2 x acceptable
2x Root bend	10t	180°		2 x acceptable

☐ Required

Charpy tests – EN 875 / EN 10045-1

Type:		Size:			Requirement:	
Notch Location /Direction	Temperature (C°)	Values			Average	Remarks
		1	2	3		

Bijlage 2 (blad 3 van 3)**Lasmethodekwalificatie-certificaat (Welding Procedure Qualification Record)**

Certification body:
**Netherlands
 Institute of Welding
 (NIL)**



Boerhaavelaan 40
 2713 HX Zoetermeer
 The Netherlands
 Tel. +31 (0) 88 4008560
 Fax +31 (0) 79 3531178

Welding Procedure Qualification Record (WPQR)
EN ISO 15614-2

Manufacturer's WPQR No: 201001

NIL Reference number: 10-WPQR-01

☐ Required

Hardness tests – EN 1043

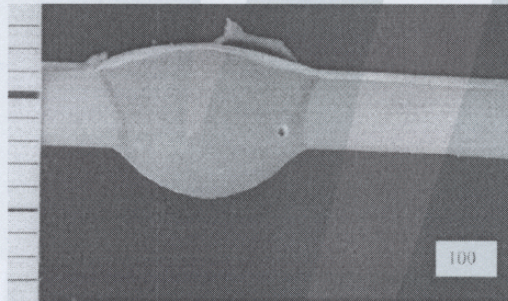
Type and load:	Requirement:				
	Root	Cap	Mid-weld		
Parent metal					
HAZ					
Weld metal					
HAZ					
Parent metal					

☐ Required

Sketch of measurement locations if required

☒ Required

Macro photograph – EN 1321



☒ Required

Macroscopic examination – EN 1321

Amount	Results
1x	Acceptable

Other tests:

Remarks:

Laboratory reference report number:

Test results acceptable / Not acceptable

Micro structure investigation
 See Lab report L 10-1001-2

No remarks

Lab report L 10-1001-1

Results acceptable

Date + Signature

Date: 2010-01-07

Nederlands Instituut
 voor Lasstechniek
 Ing. H. J. M. Bodt (LPI C 001)

Certification body:
 Netherlands Institute of Welding (NIL)
 Boerhaavelaan 40
 2713 HX Zoetermeer – The Netherlands
 Tel. +31 (0) 88 4008560
 Fax +31 (0) 79 3531178

This is to certify that the test weld was prepared, welded and tested in accordance with the requirements of EN-ISO 15614-1

Trefwoorden

	<i>Hoofdstuk</i>		
afbrandstuiklassen	7.7.1	magnesium-silicide	3.6
afzuiging	11.2, 11.3.5	materiaalkeuze	1.5
algemene corrosie	2.4.1	materiaalkosten	10.4
anodiseren	6.4	materiaaltransport in de boog	7.3.2
beitsen	6.3	mechanische eigenschappen	2.2, 2.3
berekenen van de laskosten	10.10	metalografisch onderzoek	9.6.7
beschermgas	7.2.5, 7.3.3	MIG-lassen	7.3
bindingsfouten	7.6.4	nabehandeling van het oppervlak	6.4
bruggen	1.5	nabewerkingskosten	10.8
buigstaven	9.6.6	neersmeltsnelheid	10.7
carrosseriebouw	1.4	ontsteken van de boog	7.2.9
ceriumoxide	7.2.6	ontvetten	6.2
chemische analyse	9.6.8	onvoldoende doorlassing	7.6.4
constructieve uitvoering	5	onvoldoende gasbescherming	7.6.1
containerbouw	1.5	oplosgloeien	2.3.1
controle van lasinstallatie	7.4.1	oppervlaktebehandelingen	6
corrosiebestendigheid	2.4	opslag tanks	3.5
corrosieproeven	9.6.9	opspannen, stellen en hechten	7.4.4
corrosieverschijnselen	2.4.2	optredende snijkrachten	8.1.2
dampen van reinigingsmiddelen	11.4.6	pantserplaat	1.5
destructief onderzoek	9.6.6	penetrant onderzoek	9.6.2
draadaanvoersysteem	7.3.3	persoonlijke bescherming	11.4.1
draaien	8.1.3	plasma key-hole lassen	7.8.3
drukstuiklassen	7.7.1	plasmagutsen	8.2.4
druppelproef	4.5	plasmalassen	7.8.3
dwarsscheuren	7.6.3	plasma snijden	8.2.2
elektriciteitsvoorziening	3.2	plasma snijden met perslucht	8.2.2
elektrochemische behandeling	6.4	poederlaklagen	6.4
elektronenbundel lassen	7.8.4	porositeit	7.6.1
explosielassen	7.8.8	precipitatieharding	2.3.1
fosforzuur	6.3	pulserend MIG-lassen	7.3.2
fosgeengas	6.2	puntlassen	7.7.1
fysische eigenschappen	2.1	putcorrosie	2.4.3
galvanische corrosie	2.4.3	randinkarteling	7.6.4
gasbescherming	7.6.1	reinigen voor het lassen	7.4.3
geluid	11.4.7	rekensterkten van de lasverbinding	2.3
gevelbekleding	3.4	reparatielassen	4.4
groep 1xxx aluminiumlegeringen	3.2	reparaties	9.7
groep 2xxx aluminiumlegeringen	3.3	rioolzuiveringsinstallaties	1.5
groep 3xxx aluminiumlegeringen	3.4	rolnaadlassen	7.7.1
groep 5xxx aluminiumlegeringen	3.5	röntgen- en gamma-onderzoek	9.6.3
groep 6xxx aluminiumlegeringen	3.6	schaven	8.1.3
groep 7xxx aluminiumlegeringen	3.7	scheeps- en wagonbouw	3.6
groep 8xxx aluminiumlegeringen	3.8	scheepsbouw	1.5, 3.5
hardheidsmetingen	9.6.6	scheurvorming	7.6.3
helium	7.2.5	slijpen	8.1.3
hoge temperaturen	2.3.2	snijden van aluminium	8.2
in- en uitloopplaatjes	7.3.4	spanningsarmgloeien	2.3.1
industriële ventilatie	11.3	spleetcorrosie	2.4.3
inschakelduur	10.6	sproeihooglassen	7.3.2
insluitels	7.6.2	sputgieten	4.1
interkristallijne corrosie	2.4.3	stiftlassen	7.8.2
keuze van het lasproces	7.1	storingen bij het MIG-lassen	7.3.5
kokillegieten	4.1	straling van een lasboog	11.4.2
kortsluitbooglassen	7.3.2	te zware doorlassing	7.6.4
kouddruklassen	7.8.7	technologische bijzonderheden	3
kraterscheuren	7.6.3	TIG-lassen	7.2
lage temperaturen	3.5	TIG-lassen met gelijkstroom	7.2.3
lage temperatuur	2.3.2	TIG-wisselstroomlassen	7.2.2
lakken	6.4	transport van chemicaliën	3.2
laminaire corrosie	2.4.3	trekproeven	9.6.6
langsscheuren	7.6.3	tri- en tetra-perchloorethyleen	6.2
lanthaanoxide	7.2.6	ultrasoon onderzoek	9.6.4
lasdampen	11.4.5	ultrasoonlassen	7.8.5
laserlassen	7.8.4	verspanende bewerkingen	8.1
lasersnijden	8.3.1	verwijderen van de oxidehuid	6.3
lasfouten	7.6	visueel onderzoek	9.6.1
lasmethodebeschrijving	9.3	vliegtuigbouw	3.3
lasmethodekwalificatie	9.4	voertuigbouw	3.6
lasserskwalificatie	9.5	vonkeroderen	8.3.3
lastoevoegmateriaal	7.2.7	voorbewerkingskosten	10.2
lasverbindingen	5.3	voorwarmen	7.4.5
lasverbindingen bij hoekverbindingen	5.4.3	wagonbouw	1.5
lasverbindingen bij hoekverstijvingen	5.4.6	warmtebehandelingen	2.3.1
lasverbindingen bij ingelaste nokken, flenzen en stompen	5.4.7	warmtewisselaars	3.4
lasverbindingen bij ongelijke breedte	5.4.2	waterstraalsnijden	8.3.2
lasverbindingen bij ongelijke materiaaldikte	5.4.1	weerstandslasmethoden	7.7.1
lasverbindingen bij pijp- en flensverbindingen	5.4.8	Welding Procedure Qualification Record	9.4
lasverbindingen bij pijp-plaatverbindingen	5.4.10	wolfram + ThO ₂	7.2.6
lasverbindingen bij plaatveldverstijvingen	5.4.5	wolfram + ZrO ₂	7.2.6
lasverbindingen bij romp/bodem en romp/plaat-verbindingen	5.4.9	wolframelektroden	7.2.6
lasverbindingen bij T- en kruisverbindingen	5.4.4	wolframinsluitels	7.6.2
leidingsystemen	3.5	wrijvingslassen	7.8.6
lektestsystemen	9.6.5	zachtgloeien	2.3.1
lichtmasten	1.5	zagen	8.1.3
loonkosten	10.3	zandgieten	4.1
machinekosten	10.5	zeewatermilieu	3.5

Literatuur en bronvermelding

Literatuur

Hoofdstuk 1

- [1] NEN-EN 573-3.
- [2] Aluminium Taschenbuch; 15 Auflage, 3 Teilen; ISBN 3-87017-241-X; Ausgeber: Aluminium-Verlag GmbH; Postfach 101262; D-40003 Düsseldorf; Tel.: 0211 4796227; Fax: 0211 4796412.
- [3] Registration record of international alloy designations and chemical composition limits for wrought aluminum and wrought aluminum alloys. The Aluminum Association, Inc., 900 19th Street N.W., Washington D.C. 20006. Revised: May 1987.
- [4] Aluminium-Schlüssel, 1987, Aluminium-Verlag GmbH, Königsallee 30, Postfach 1207, 4000 Düsseldorf 1, BRD.
- [5] Aluminium - Taschenbuch, Aluminium - Zentrale, Aluminium-Verlag GmbH, Königsallee 30, Postfach 1207, 4000 Düsseldorf 1, BRD.

Hoofdstuk 2

- [6] NEN 6710, Technische grondslagen voor de berekening van bouwconstructies - TGB Aluminiumconstructies, Nederlands Normalisatie-instituut.
- [7] EN 1999-1-1:2007.
- [8] Aluminum standards and data 1986 Metric SI, The Aluminum Association, Inc., 900 19th Street N.W., Washington D.C. 20006.
- [9] W. Köhler. Improvement of stress corrosion resistance of aluminium weldments by shotpeening. International Conference on Aluminium Weldments, Munich, 24-26 May 1982.
- [10] W. Gruhl, The stress corrosion behaviour of high strength AlZnMg alloys. Aluminium 1978, nr.5 p.323-325.

Hoofdstuk 3

- [11] H.F. de Jong, A survey of the development, properties and applications of aluminium-lithium alloys. Aluminium, jrg. 60 september 1984, p.673-679.
- [12] R.P. Martukanitz, C.A. Natalie en J.O. Knoefel, The weldability of an Al-Li-Cu alloy. Journal of metals, november 1987, p.38-42.

Hoofdstuk 4

- [13] R. Ruge en P. Lutze, Gasgehalt und Schweißbarkeit von Druckgußstücken aus Aluminium (II). Aluminium, jrg. 61, november 1985, p.817-820.

Hoofdstuk 5

- [14] Richtlijnen voor het lassen van constructies in aluminium, Nederlands Instituut voor Lastetechniek, Den Haag.
- [15] EN1999-1-3:2007 Design of aluminium structures: structures susceptible to fatigue.
- [16] British Standard BS 8118: "Code of practice for the design of aluminium structures".
- [17] S.J. Maddox, Fatigue design of welded aluminium alloy structures. International Conference on Aluminium Weldments, Munich, 24-26 May 1982.
- [18] I.J. Polmar, Postweld treatments to improve fatigue performance of aluminium alloy weldments. International Conference on Aluminium Weldments, Munich, 24-26 May 1982.
- [19] F. Soetens, Welded connections in aluminium alloy structures. Heron, volume 32, 1987 no.1, 48 pagina's.
- [20] F. Soetens, B.W.E.M. van Hove, "Construeren met aluminium".
- [21] Handboek Technische Materialen, Samson Bedrijfsinformatie Alphen a/d Rijn, juni 1998.

Hoofdstuk 7

- [22] VM 121 "Hoogvermogen lasers voor het bewerken van metalen"; uitgave FME, Zoetermeer, februari 2002.
- [23] Welding Handbook 1978, Volume 4, American Welding Society.
- [24] K. Schellenberg, GTA-DCSP-Helium welding of aluminium. Second International Conference on Aluminium Weldments, Munich, 24-26 May 1982.
- [25] P. Ryan, Tips on welding aluminium with the GMAW process. Welding Journal, december 1988, p. 43-45.
- [26] W. Lucas en M.G. Murch, Recent advances in arc welding process for thin section aluminium weldments. International Conference on Aluminium Weldments, Munich, 24-26 May 1982.
- [27] E. Barwa en R. Schwab, Betriebserfahrungen zum Verhalten von Wolfram-elektroden mit unterschiedlichen Oxidzusätzen beim Wolfram-Inertgasschweißen. Schweißen und Schneiden, 40 (1988), p.24-27.
- [28] P.L.W.M. Bruinsma, Het lassen van aluminium en aluminiumlegeringen. Metaal en Techniek, april 1987.

- [29] Ö. Geridönmez, Fehler beim Schutzgasschweißen von Aluminiumlegierungen und wie Sie sich vermeiden lassen. Schweißen und Schneiden, 31 (1979), p.137-140.
- [30] W.G. Essers, Plasma-MIG lassen van aluminium. Lastetechniek 1980, augustus nr.8, p. 187-193.
- [31] S. Kyselica, High-frequency reversing arc switch for plasma arc welding NASA Technical Memorandum, NASA TM-82532, The variable polarity plasma arc welding process: Its application to the space shuttle external tank - First interim report. June 1983.
- [32] NASA Technical Memorandum, NASA TM-86482, The variable polarity plasma arc welding process: Its application to the space shuttle external tank - Second interim report. November 1984.
- [33] P. Anderl, W. Hiller en J. Koy, Elektronenstrahlschweißen von Aluminiumwerkstoffen. Aluminium, jrg. 62 1986 nr. 8, p. 596-599.
- [34] J.J. van der Goes, Elektronenbundellassen, status en perspectieven, deel 1. Lastetechniek, februari 1986, p. 29-37.
- [35] J.J. van der Goes, Elektronenbundellassen, status en perspectieven, deel 2. Lastetechniek, maart 1986, p. 47-55.

Hoofdstuk 8

- [36] VM 120 "Vonkerosie, theorie en praktijk", uitgave FME, Zoetermeer, januari 2008.
- [37] R.L. Heflin, Plasma arc gouging of aluminium. Welding Journal 1985, Vol.64, May p.16-19.
- [38] Themanummer "Snijden". Lastetechniek, augustus 1987.
- [39] G. Brodén, Problems associated with the laser cutting of stainless steel and aluminium. IIW document I-88-010.

Hoofdstuk 9

- [40] R.W.A. van den Berg en J. Haverhals, Kwaliteitsborging bij de bouw van gelaste aluminium tanks voor LNG-tankers (deel 1), Lastetechniek, juni 1982, p.101-104.
- [41] R.W.A. van den Berg en J. Haverhals, Kwaliteitsborging bij de bouw van gelaste aluminium tanks voor LNG-tankers (deel 2), Lastetechniek, oktober 1982, p. 176-180.
- [42] EN 288-4:1997 Specification and Qualification of welding procedures. Part 4: Welding procedure tests for arc welding of aluminium and its alloys.
- [43] Structural Welding Code 'Aluminum'. American Welding Society Inc., 550 NW LeJeune Road, P.O. Box 351040, Miami, FL 33135, USA.
- [44] VM 85 "Kwaliteitsbeheersing bij het vervaardigen van gelaste constructies", uitgave FME, Zoetermeer, 2009.

Hoofdstuk 10

- [45] D. van der Torre, Keuzebepaling van de lasmethode voor het lassen van een aluminiumlegering van het type AlMg4,5Mn. Lastetechniek, december 1981, p.227-235.

Hoofdstuk 11

- [46] Praktijkrichtlijn - "Beschrijving doeltreffende maatregelen bij blootstelling aan rook en/of gassen afkomstig van lassen en/of verwante processen"; versie augustus 2006.
- [47] A. Farwer, Ozone concentration in the welders breathing zone with gas-shielded arc welding: Recent investigation on the influence of nitric oxide additives in the shielding gas. IIW-document VIII-1472-89.
- [48] Nils Stenbacka, Ozone reduction with Mison gases - basic facts. AGA 1989.

bronvermelding

- figuur 2.1 TNO
- figuur 7.4 AGA Gas
- figuur 7.5 Alusuisse
- figuur 7.11 AGA Gas
- figuur 7.13 Alusuisse
- figuur 7.14 Consultweld
- figuur 7.15 Alusuisse
- figuur 7.20 Consultweld
- figuur 7.23 AWS, Welding Handbook
- figuur 7.24 Hobart
- figuur 7.25 De Schelde
- figuur 8.1 Oerlikon
- figuur 8.2 Messer Griesheim
- figuur 8.3 Oerlikon
- figuur 8.4 Oerlikon
- figuur 10.1 TNO



Vereniging FME-CWM
vereniging van ondernemers in de
technologisch-industriële sector

Boerhaavelaan 40

Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer

T (079) 353 11 00

F (079) 353 13 65

E alg@fme.nl

I www.fme.nl