

Geavanceerde lasmechanisatie en sensoren

Deze publicatie is tot stand gekomen in het kader van een updateproject, waarbij een groot aantal technische voorlichtingspublicaties wordt aangepast aan de huidige stand der techniek. Hierbij heeft een nauwe samenwerking plaatsgevonden tussen de op de laatste pagina van deze publicatie vermelde partijen. Deze publicatie is een update van de publicaties "Construeren voor booglassen met robots" (VM 105, FME, 1997), "Sensoren voor booglassen" (VM 96, FME, 1993) en "Booglassen met robots" (VB920901, NIL, 1992) en vormt samen met de publicaties "TI.07.39 - Eenvoudige mechanisatie bij het booglassen" en "TI.07.40 - Ontwerp voor gemechaniseerd lassen" een overzicht met betrekking tot de automatisering van het lasproces. Al deze geupdate publicaties zijn, evenals de andere in dit updateproject vervaardigde en uitgegeven publicaties, als pdf-file vrij te downloaden vanaf de websites "www.verbinden-online.nl", "www.dunneplaat-online.nl" en via de websites van de deelnemende organisaties.

Inhoud

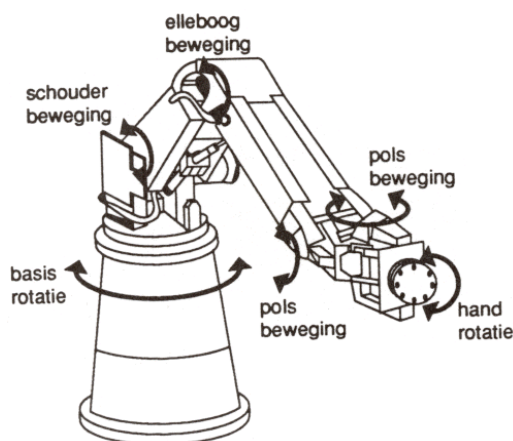
1	Robotsystemen	1
1.1	Industriële robots	1
1.2	Rand- en positioneerapparatuur	2
1.3	Bevestiging van de robot	3
1.4	Gereedschapwisselsysteem	4
1.5	Toortsreinigingsinstallatie	4
1.6	Sensoren	4
1.7	Tool Center Point	7
1.8	Nauwkeurigheid	8
2	Aanschaf/specificatie lasrobotsysteem	9
2.1	Besturing/programmeren	9
2.2	Stroombron	9
2.3	Lastoorts	9
2.4	Reinigingsinstallatie	9
2.5	Lasmallen	10
3	Het lassen met een robot	10
3.1	MIG/MAG-lassen	10
3.2	Bescherming van het smeltbad	10
3.3	Boogtypen	11
3.4	Lastoefoegmateriaal	11
3.5	TIG-lassen	12
3.6	Lasfouten	12
4	Economische aspecten m.b.t. aanschaf lasrobot	12
5	Veiligheid en ARBO bij het werken met robots	13
6	Praktische aanbevelingen voor het MIG/MAG-lassen met robots	13
6.1	Inleiding	13
6.2	Geldigheidsgebied	14
6.3	Praktische aanbevelingen voor het MAG-lassen van ongelegeerd staal met een robot	14
6.4	Praktische aanbevelingen voor het MAG-lassen van roestvast staal met een robot	16
6.5	Praktische aanbevelingen voor het MIG-lassen van aluminium buizen en profielen met een robot	17
7	Algemene wenken en conclusies t.a.v. het MIG/MAG-lassen met robots	18
8	Literatuur	19
	Bijlage I "Overzicht lasfouten, oorzaken en maatregelen"	20

Bij een industriële robot worden in het algemeen drie hoofdcomponenten onderscheiden: de arm, het besturingssysteem en de voedingseenheid. Een lasrobot heeft nog een vierde hoofdcomponent, namelijk de lasapparatuur.

1.1.1 Robotarm

Een robot kenmerkt zich door het aantal en het soort assen dat wordt toegepast. Per vrijheidsgraad dient een robot over één as te beschikken. Aangezien de meeste lasrobots over 6 vrijheidsgraden beschikken, bevatten deze robots 6 bewegingsassen, waarbij hoofdassen en bij-assen worden onderscheiden.

De hoofdassen zijn de eerste drie assen vanuit de basis van de robot gezien. Zij bepalen de positionering van de robotpols waaraan de toorts is bevestigd. De hoofdassen kunnen zowel rotatie-(R) als translatie-(T) assen zijn. De meest toegepaste lasrobots beschikken over drie roterende hoofdassen (RRR, figuur 1.1) die voor een basisrotatie, schouderbeweging en elleboogbeweging zorg dragen. Een dergelijke robotconfiguratie wordt ook wel een knikarmrobot genoemd. Een knikarmrobot combineert een torusvormig en relatief groot werkgebied met een grote vrijheid ten aanzien van de toortsoriëntatie. Het werkgebied wordt nog groter, wanneer de robot ondersteboven wordt opgehangen. Een knikarmrobot is hierdoor een aantrekkelijke keuze voor het booglassen. De haalbare herhalingsnauwkeurigheid (0,05 tot 0,1 mm) is voldoende voor het booglassen, zowel MIG/MAG als TIG.



figuur 1.1 RRR-configuratie

1 Robotsystemen

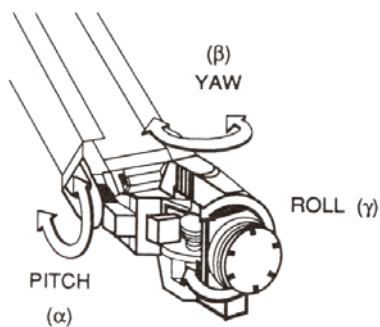
1.1 Industriële robots

In West-Europa wordt de volgende definitie voor het begrip "industriële robot" gehanteerd:

"Een industriële robot is een automatische hanteerinrichting, die in meer vrijheidsgraden vrij programmeerbaar is en voorzien is van gereedschappen en/of grippers en specifiek ontworpen is voor industrieel gebruik".

Spitsen we dit toe op booglasrobots, dan vullen we voor de gereedschappen een lastoorts in. Moderne booglasrobots beschikken over zes vrijheidsgraden van zichzelf en er kunnen zeer veel externe assen op worden geplaatst, waardoor het voor de robot mogelijk is om binnen zijn werkgebied elke gewenste positie met elke gewenste oriëntatie te bereiken. In principe kan in elke positie worden gelast. Door de vrije programmeerbaarheid is een robot in staat rechtlijnige of gekromde banen te beschrijven, waardoor lasnaden kunnen worden gevolgd.

De pols bevat drie bij-assen die voornamelijk zorg dragen voor de oriëntatie van de lastoorts. De pols is door deze bij-assen in staat, net als de menselijke pols, te draaien, naar boven en beneden en naar links en rechts te buigen. De technische termen voor deze bewegingen zijn roll, pitch en yaw (figuur 1.2). De Nederlandse benamingen zijn achtereenvolgens rollen, stampen en gieren.



figuur 1.2 Polsbewegingen

1.1.2 Besturingssysteem

Het besturingssysteem stuurt de onderdelen van de arm gecoördineerd aan, waardoor een gecontroleerde baan-afloop kan worden bereikt. De besturing verzorgt ook de juiste instelling van de lasapparatuur. Wanneer gebruik wordt gemaakt van een vrij programmeerbare manipulator, worden ook de manipulatorassen aangestuurd door het besturingssysteem, waardoor het mogelijk is om de robot en de manipulator gesynchroniseerd te laten bewegen. Dit wordt externe synchronisatie genoemd. Externe synchronisatie is met name nuttig wanneer men gekromde lasnaden continu in dezelfde positie wilt lassen.

Het besturingssysteem bevat tevens de hard- en software om de robot te programmeren en te bedienen. Het programmeren geschiedt meestal aan de robot zelf, met behulp van een zogenaamde 'teach box' aan een lange kabel, zodat de operator zich op de meest handige plek kan opstellen tijdens het programmeren en niet aan de besturingskast gebonden is. Veelal kan aan de besturingskast een PC worden gekoppeld voor externe programmering of wijziging van programma's.

1.1.3 Voedings- en aandrijfeenheid

De voedingseenheid verzorgt de energie nodig voor de aandrijvingen. Per bewegingsas is een aandrijfsysteem nodig, waarbij drie systemen worden onderscheiden: pneumatisch, hydraulisch en elektrisch. Verreweg de meeste moderne lasrobots maken gebruik van elektromotoren. Deze zijn relatief goedkoop en betrouwbaar en kennen een hoge positioneernauwkeurigheid en stijfheid. Gezien de omvang van de motoren is het, in tegenstelling tot pneumatische en hydraulische aandrijfsystemen, noodzakelijk om voor de polsgewrichten gebruik te maken van mechanische overbrengingen. Aan een dergelijke overbrenging worden hoge eisen gesteld. Hij moet licht en compact zijn, maar met een hoge overbrengingsverhouding. Ook moet de koppeling een hoge torsiestijfheid hebben en spelingsvrij zijn.

1.1.4 Lasapparatuur

De vierde hoofdcomponent van een lasrobot is de lasuitrusting, bestaande uit een stroombron, een lastoorts, een slangenpakket en eventueel een draadaanvoereenheid (niet voor TIG-lassen).

Een stroombron voor robotlassen zal meer vermogen moeten kunnen leveren dan een stroombron voor handmatig lassen. Niet alleen is de inschakelduur veel hoger, in het ideale geval bijna 100%, maar ook worden bij hogere voortloopsnelheden grotere lasstromen gebruikt. De stroombron dient verder te beschikken over in- en uitgangen voor communicatie met de robotbesturing ten behoeve van het instellen van de lasparameters.

Aan de lastoorts worden eveneens hoge thermische eisen gesteld, vanwege de grote inschakelduur en de hoge lasstromen. Veelal zal een watergekoelde toorts moeten worden toegepast. De vorm van de toorts is

afhankelijk van het te lassen object en de rondom de lasnaad beschikbare ruimte. Als de ruimte het toelaat, heeft het de voorkeur een push-pull lastoorts te gebruiken. Het kan noodzakelijk zijn speciale toortsen te laten aanmaken om een product te kunnen lassen. In sommige gevallen kan hierdoor het gebruik van een manipulator worden vermeden.

Bij robots met een groot werkbereik krijgt het slangenpakket een grote lengte en dus een groot gewicht. Het slangenpakket zal op een of andere wijze ondersteund en geleid moeten worden. Indien het slangenpakket vrij hangt, kan het bij bewegen van de robot gaan slingeren, hetgeen invloed kan hebben op de positioneernauwkeurigheid van de robot. Ook geeft een lang slangenpakket veel storing in de draad aanvoer. Het is aan te bevelen om dit slangenpakket zo kort mogelijk te houden. Bijvoorbeeld door de draadton mee te laten rijden met de robot.

Bij robotlassen zal in het algemeen worden gewerkt met lasdraad op grote, en dus zware rollen. De draadaanvoereenheid wordt dan bij voorkeur niet op de robot geplaatst, omdat het gewicht hiervan het dynamisch gedrag en daarmee de nauwkeurigheid van de robot beïnvloedt. In verband met een goede draadaanvoer mag de aanvoereenheid echter niet te ver van de robot staan. Als de afstand te groot wordt, zal een push-pull toorts moeten worden gebruikt. Een dergelijke lastoorts zal altijd moeten worden gebruikt als er aluminium moet worden gelast. Door de lagere stijfheid van de aluminium lasdraad zal er bij gebruik van een push draadaanvoereenheid bij dunne lasdraden ($< \varnothing 1,2$ mm) knik in de draad op kunnen treden met als gevolg vastlopen van de draad of op zijn minst een onregelmatig verloop van het lasuiterlijk.

1.2 Rand- en positioneerapparatuur

De hoofdelementen van een robotsysteem zoals beschreven in § 1.1 kunnen nog worden aangevuld met randapparatuur om de robot effectiever in te kunnen zetten, ook wel de periferie genoemd. Zo kan het bijvoorbeeld gewenst zijn producten te manipuleren, werkgebieden verder te vergroten of verschillende toortsen te kunnen toepassen.

Deze aanvullende apparatuur kan niet alleen benut worden om bestaande producten sneller en/of efficiënter te lassen, maar ook om andere producten te kunnen lassen met een robot.

1.2.1 Manipulatoren

Het lassen van producten vindt in het algemeen bij voorkeur onder de hand plaats. In een dergelijke positie is de beheersing van het smeltbad optimaal en de neersmelt-snelheid maximaal. Om de verschillende lasnaden in een dergelijke positie aan de robot aan te bieden, kan het nodig zijn de producten te manipuleren. Hiertoe wordt gebruikgemaakt van een manipulator. De besturing van de manipulator kan volledig geïntegreerd zijn in het robotbesturingssysteem, de zogenoemde vrij programmeerbare manipulator. De manipulatorassen kunnen dan iedere willekeurige positie innemen, waarbij bovendien de manipulator en de robot volledig gesynchroniseerd een beweging moeten kunnen uitvoeren. Dergelijke manipulatoren zijn vrij prijzig; grofweg kan worden gesteld dat een manipulatoras even duur is als een robotas. De prijs van een uitgebreide vrij programmeerbare manipulator kan dan ook de prijs van de robot benaderen.

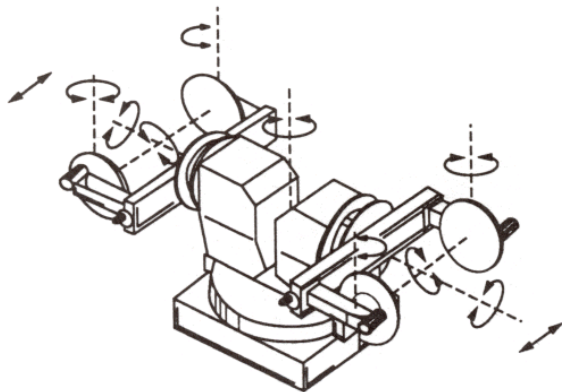
Voor veel toepassingen is het gebruik van indexeerbare manipulatoren voldoende. Deze manipulatoren kunnen slechts in een beperkt aantal posities worden gepositioneerd en zijn niet geschikt voor externe synchronisatie, maar zij zijn aanzienlijk goedkoper dan vrij programmeerbare manipulatoren. Indexeerbare manipulatoren worden in het algemeen aangestuurd via de digitale uitgangen

waarover de meeste robotsystemen beschikken. Het is op dit moment zo dat de vrij programmeerbare assen zo standaard worden, dat het prijsverschil telkens kleiner wordt, en daarom aan te bevelen om vrij programmeerbare assen te kiezen.

Het is niet ondenkbaar dat een product, dat op een vrij programmeerbare manipulator met een standaard toorts kan worden gelast, goedkoper te vervaardigen is met behulp van een indexeerbare manipulator en een speciaal vervaardigde toorts.

1.2.2 Werkstukwisselsysteem

Een bijzondere uitvoering van een indexeerbare manipulator is een indextafel (figuur 1.3). Een indextafel bestaat uit minimaal twee plateaus waarop lasmatten zijn bevestigd. Tegelijkertijd kan nu op één plateau een product worden gelast door een robot, terwijl op het andere plateau een product wordt geladen of gelost. Vervolgens wisselen de plateaus, waarna het geladen product wordt gelast, het gelaste product wordt gelost en een nieuw product wordt geladen. Deze werkwijze is zeer effectief als de cyclustijd van laden en lossen en van het lassen ongeveer gelijk zijn.



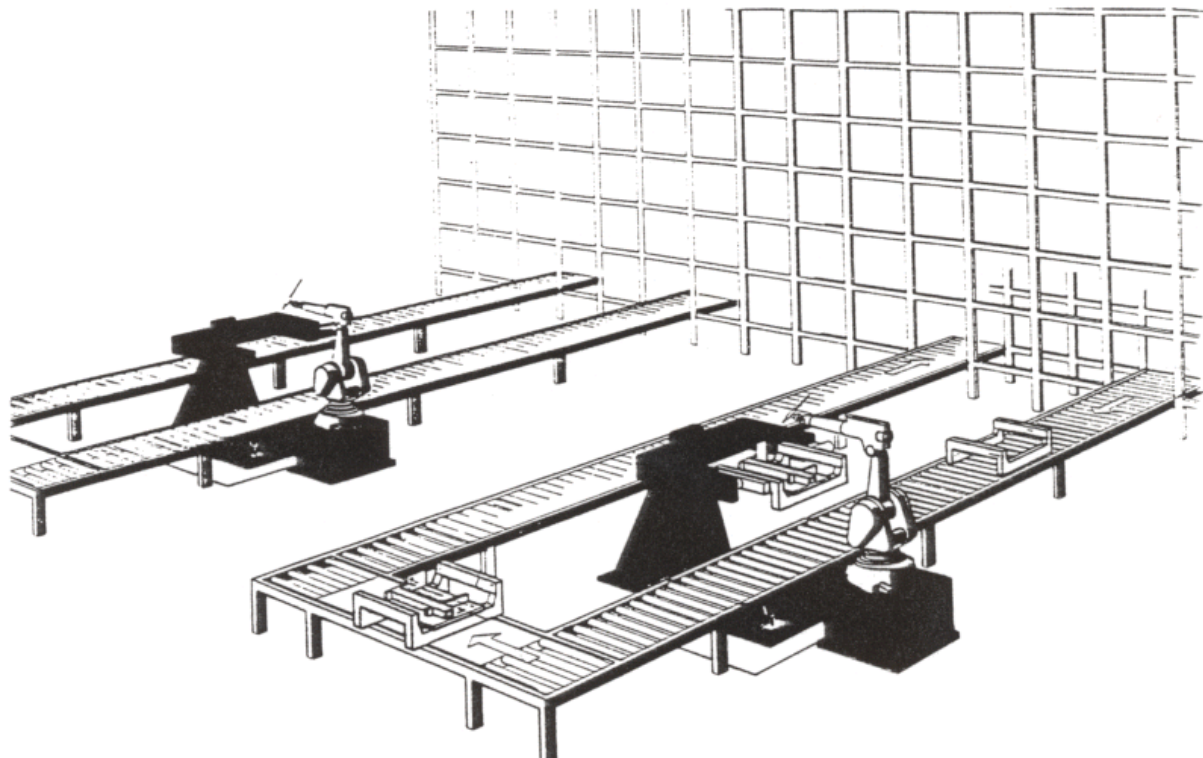
figuur 1.3 Voorbeeld van een indextafel

Een uitbreiding van de indextafels is een productpalletsysteem (figuur 1.4). Op een lopende band bevindt zich een aantal pallets, waarop zich verschillende lasmatten met producten bevinden. De pallets stoppen op een vaste positie voor de robot. Identificatie van het product vindt plaats door middel van een barcode, waardoor het mogelijk is verschillende producten in een willekeurige volgorde te lassen. Hierdoor komt een productpalletsysteem tegemoet aan de behoefte om flexibeler te kunnen produceren.

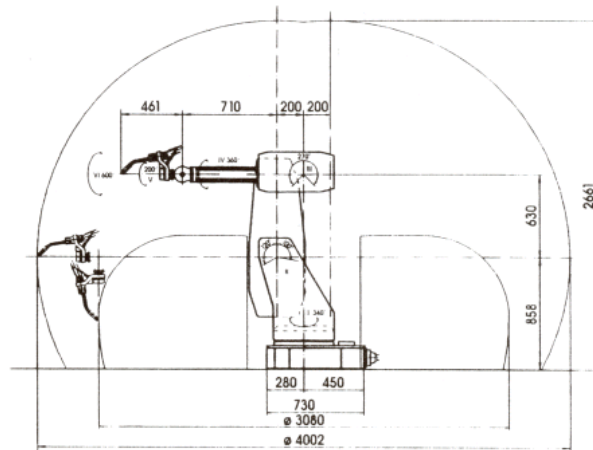
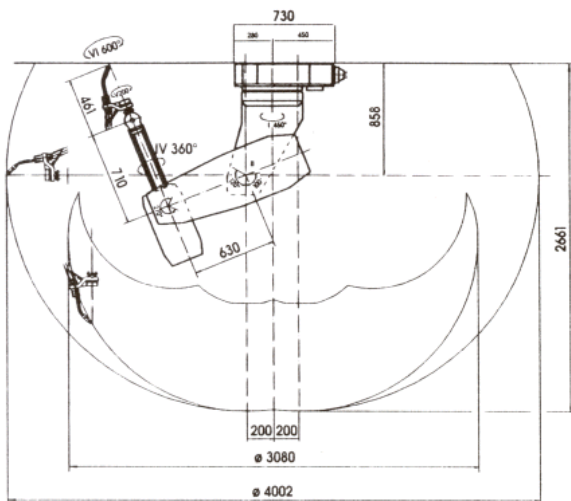
1.3 Bevestiging van de robot

De meeste knikarmrobots kennen een enigszins bolvormig werkgebied. Onder het werkgebied wordt het gebied verstaan waarbinnen de robot een bepaald proces kan uitvoeren. De grootte van het werkgebied is proces- en gereedschapafhankelijk. Bij een staande robot bevindt de robot zich in het hart van zijn werkgebied. In zekere zin staat de robot zichzelf in de weg. Daar komt bij dat een staande robot vaak over een product heen zal moeten reiken om lasnaden aan de achterzijde van een product te kunnen bereiken.

Een dergelijke beweging doet een groot beroep op het werkgebied van de robot. De twee genoemde bezwaren kunnen worden opgelost door de robot op te hangen aan bijvoorbeeld een galg. Figuur 1.5 geeft het verschil van de werkgebieden aan voor een hangende en een staande versie van een robot. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen twee verschillende toortsoriëntaties. Beschouwen we de meest toegepaste verticale positie van de lastoorts, dan zien we dat het werkgebied voor de hangende robot niet alleen groter is, maar ook gunstiger van vorm, doordat er geen gat in het midden zit. Doordat maximaal gebruik wordt gemaakt van het werkgebied van de robot, kunnen grotere producten worden gelast. Het is overigens zo dat niet iedere robot geschikt is om te worden opgehangen, vanwege de verschillende mechanieken in de robot.

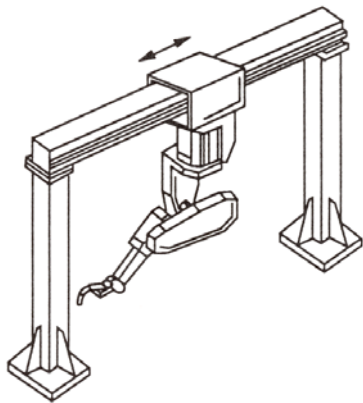


figuur 1.4 Productpalletsysteem



figuur 1.5 Verschillende werkgebieden voor een hangende en staande robot

Het werkgebied van een robot kan nog verder worden vergroot door de robot zelf verplaatsbaar te maken. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van een langsverplaatsing - ook wel traverse genoemd - waaraan of waarop de robot kan worden bevestigd (figuur 1.6). Traverses kunnen meer-assig worden uitgevoerd, waardoor het mogelijk is de robot in X-, Y- en Z-richting te verplaatsen. Een andere mogelijkheid om de robot te verplaatsen is om de voet van een galg roteerbaar uit te voeren. De verplaatsingsassen van de robot kunnen zowel vrij programmeerbaar als indexeerbaar (beperkt aantal posities beschikbaar) zijn uitgevoerd.



figuur 1.6 Robot bevestigd aan een traverse

1.4 Gereedschapwisselsysteem

Een lasrobot is doorgaans voorzien van één vast gemonterde lastoorts. Dit is meestal voldoende maar er zijn uitzonderingen. Een product kan bijvoorbeeld moeilijk toegankelijke lasnaden hebben, waarvoor het gewenst is om met een speciale toorts te werken. Deze kan bijvoorbeeld een andere vorm hebben, of voorzien zijn van een andere lasdraad. Ook kan het voorkomen dat verschillende lasprocessen moeten worden toegepast. Een goed voorbeeld hiervan is het lassen van een grondlaag met het TIG-lasproces en van de vul- en sluitlagen met het MIG/MAG-proces. Een derde uitzondering is de situatie waarbij met één robot verschillende bewerkingen worden uitgevoerd. Bijvoorbeeld zowel snijden als lassen, of zowel lassen als slijpen.

In al deze gevallen is het nodig het gereedschap van de robot te verwisselen voor een ander, met behulp van een gereedschapwisselsysteem. Men onderscheidt twee systemen. Bij het eerste systeem wordt de gehele lastoorts inclusief slangenpakket verwisseld. Het is dan ook mogelijk een ander lasproces of een andere draad te kie-

zen. Bij het tweede systeem wordt slechts de lastoortshals verwisseld, zodat bijvoorbeeld van een 45°-toorts kan worden overgestapt naar een rechte toorts. Behalve het lasproces blijft ook de lasdraad hetzelfde.

1.5 Toortsreinigingsinstallatie

Een lasrobot is in staat het lasproces grotendeels automatisch uit te voeren. Hierbij horen ook zaken die men op het eerste gezicht makkelijk over het hoofd zou kunnen zien, zoals het reinigen van het gasmondstuk bij het MIG/MAG-lassen. Een handlasser verwijdt regelmatig spatten en vervuiling om een optimale gasbescherming te waarborgen. Bij lasrobots kan hiervoor gebruik worden gemaakt van een reinigingsinstallatie die met een freesje de toorts inwendig reinigt. Een reinigingsinstallatie is vaak uitgevoerd met een doorblaasmechanisme, waarmee losgemaakte deeltjes worden uitgeblazen, een spuitmechanisme waarmee antispaspray in de gascup wordt geblazen en een knipinstallatie, waarmee de lasdraad op maat kan worden geknipt. De communicatie tussen al deze onderdelen enerzijds en het robotsysteem anderzijds vindt plaats via de digitale in- en uitgangen van het besturingssysteem.

1.6 Sensoren

Om producten met een voldoende kwaliteit met een robot te kunnen lassen dienen de te lassen onderdelen éénduidig en met een bepaalde, vrij hoge, nauwkeurigheid aan de robot te worden aangeboden. Het is echter niet altijd mogelijk om de vereiste nauwkeurigheid te realiseren. Dit probleem speelt bijvoorbeeld wanneer het uitgangsmateriaal van de onderdelen grote toleranties vertoont, zoals bij pijpmateriaal en profielen nogal eens voorkomt, alsmede bij grotere producten. In zulke gevallen kan het gebruik van een sensor uitkomst bieden [6]. Een andere reden om sensoren toe te passen kan zijn dat de ligging van de lasnaden door krimpverschijnselen tijdens het lassen wijzigt. Een derde reden om gebruik te maken van een sensor is het beperken van het programmeerwerk, alhoewel dit in de praktijk echter nauwelijks voordelen blijkt op te leveren.

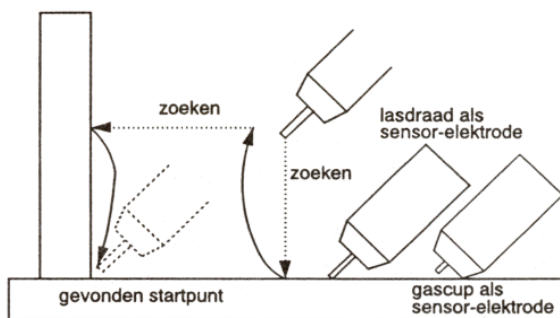
In combinatie met lasrobots wordt een aantal verschillende typen sensoren gebruikt. Deze sensoren hebben één of meer van de volgende functies: het zoeken van een lasnaadpositie, het volgen van de lasnaad, het aanpassen van de lasparameters. Ieder type sensor kent zijn eigen toepassingsgebied en beperkingen. Alle soorten sensoren zijn in meer of mindere mate gevoelig voor verontreinigingen in de vorm van lasspaten en -rook. Er bestaan geavanceerde, en dus dure, sensoren die de drie genoemde functies in één unit verenigen.

Belangrijke argumenten die bij de keuze van een geschikte sensor een rol spelen zijn: het volume, de locatie, de robuustheid, de eenvoud, de prijs, de storingsgevoeligheid, de mogelijkheid tot naadvolgen of naadzoeken en de extra cyclustijd die het gebruik van de sensor vergt. De meest gebruikte sensoren op lasrobots zijn tactiele sensoren, boogsensoren en optische sensoren.

Tactiele sensoren

De tactiele sensoren kenmerken zich door het fysieke contact dat wordt gemaakt met het werkstuk. De contouren van het werkstuk worden als het ware mechanisch of elektrisch afgetast. Hierbij kan het tastelement bestaan uit een naald, loopwiel of tastring, waarvan eventuele afwijkingen van de geprogrammeerde baan teruggekoppeld worden naar het besturingssysteem. De registratie en de verwerking van de teruggekoppelde informatie kan tegelijkertijd (one-pass sensing) of na elkaar (two-pass sensing) plaatsvinden. Economisch gezien geniet one-pass sensing de voorkeur, wegens het tijdverlies bij two-pass sensing.

Het tastelement kan ook worden gevormd door de gascup of de draadelektrode (figuur 1.7). Hierop wordt een elektrische spanning gezet. Vervolgens wordt de toorts naar het werkstuk toe bewogen. Bij contact ontstaat een kortsluiting die wordt geregistreerd en vergeleken met de verwachte positie aan de hand waarvan het programma wordt aangepast. Voordeel van het gebruik van gascup of draadelektrode is, dat geen extra tastelement nodig is die extra ruimte vergt. De bereikbaarheid van de lasnaden blijft zo optimaal. Met een dergelijke sensor kan echter geen naad worden gevolgd en bovendien vergt het zoeken van de verschillende posities veel tijd. Een nadeel van gebruik van de draad als sensor is, dat deze methode een onjuist resultaat geeft als de draad niet de juiste lengte heeft of ook maar enigszins verbogen is. De gascup als sensor gebruiken kan bij het lassen van platen met een primerlaag problemen geven, omdat de primer als isolator werkt.



figuur 1.7 Zoekbeweging bij een tactiele sensor

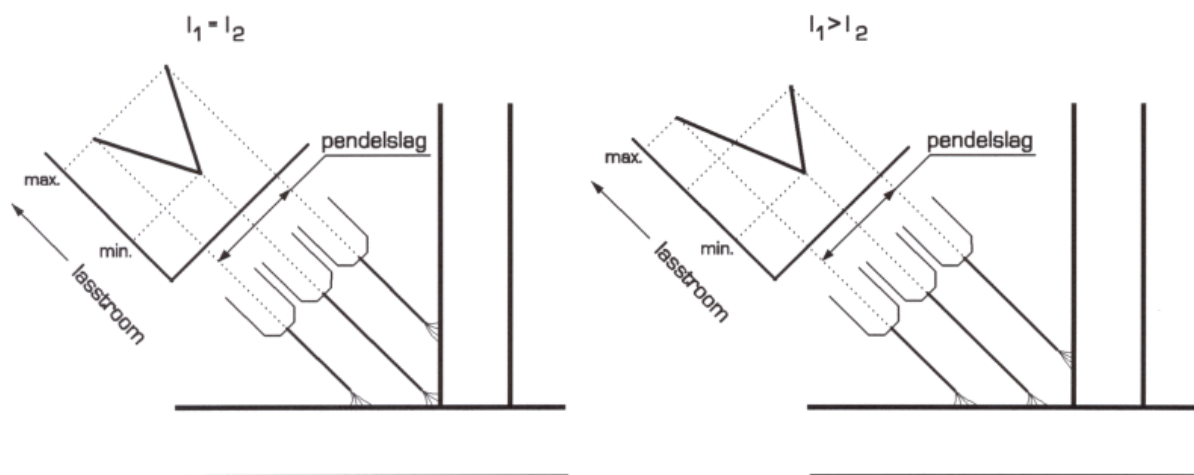
1.6.1 Boogsensoren

De bij het booglassen altijd aanwezige elektrische boog kan zelf als sensor worden gebruikt. Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen processen met een niet-afsmeltende elektrode (plasmalassen, TIG-lassen) en processen met een afsmeltende elektrode (MIG/MAG-lassen). Bij een niet-afsmeltende elektrode wordt gebruik gemaakt van een stroombron die een constante lasstroom levert. Het spanningsverschil over de boog is dan recht evenredig met de booglengte. De boogspanning is dus een maat voor de afstand tussen werkstuk en elektrode en kan als stuursignaal voor de robot dienen. Een dergelijke sensor wordt ook wel Automatic Voltage Control (AVC) genoemd en wordt met name veel toegepast bij het orbitaal TIG-lassen.

Bij het MIG/MAG-lassen is de afstand tussen werkstuk en toorts opgebouwd uit de uitsteeklengte van de lasdraad en de booglengte. Vanwege de nagenoeg horizontale karakteristiek van de stroombron die wordt gebruikt bij het MIG/MAG-lassen wordt de spanning en daarmee de booglengte zo veel mogelijk constant gehouden. Variaties in de lasstroomsterkte laten zich dus vertalen naar variaties in de uitsteeklengte. Wanneer de lasboog een oscillerende beweging maakt tussen de beide flanken waaruit een lasnaad is opgebouwd, zullen tijdens deze oscillatie stroomvariaties optreden. Wanneer de stroomsterktes in de uiterste standen van de oscillatie gelijk zijn, bevindt de toorts zich in het midden van de lasnaad (figuur 1.8, links). Is dit niet het geval (figuur 1.8, rechts), dan kan aan de hand van het verschil tussen de stroomsterktes de baan van de robot worden gecorrigeerd.

De oscillatie van de lasboog kan op verschillende manieren worden gerealiseerd. De gehele lastoorts kan een relatief grote en langzaam pendelende beweging beschrijven. Een andere mogelijkheid is slechts de lasdraad een kleine snelle oscillatie te laten beschrijven. Een derde mogelijkheid die toepassingen kent, is het laten oscilleren van de lasboog door gebruik te maken van elektromagneten. Iedere methode kent zijn eigen voor- en nadelen, waarvoor naar de betreffende literatuur wordt verwezen.

De beschreven boogsensoren maken in principe gebruik van one-pass sensing. Het gebruik ervan gaat dus niet ten koste van de cyclustijd. De beschreven sensoren voor het MIG/MAG-lassen zijn alleen toepasbaar op lasnaden met een markant profiel zoals V-naden, X-naden en hoeknaden. Gesloten I-naden zijn ongeschikt. Als nadeel van een boogsensor kan worden genoemd dat waarneming pas begint, zodra de boog ontstoken is. Een eventuele afwijking van het begin van de lasnaad kan niet onmiddellijk worden gecompenseerd. Vandaar dat een boogsensor vaak wordt gecombineerd met een tactiele sensor die het startpunt van de lasnaad opzoekt.

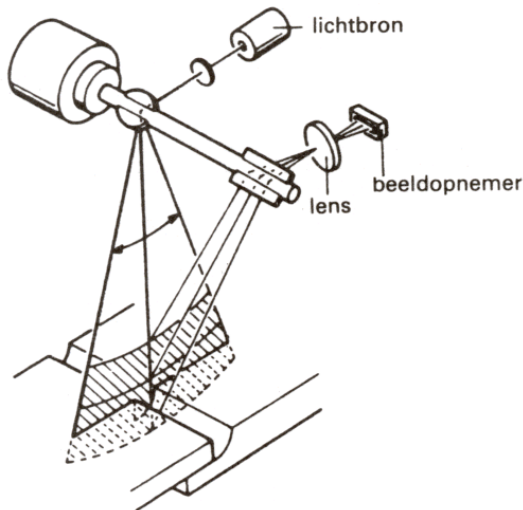


figuur 1.8 Principe van een boogsensor

1.6.2 Optische sensoren

Optische sensoren kunnen worden onderverdeeld in proces- en geometriesensoren. Bij de processensoren worden kenmerken van de smeltbadgeometrie (uitbreiding, oppervlakte, breedte) gebruikt om zowel de procesparameters als de toorts bij te sturen.

Bij de geometriesensoren wordt gebruik gemaakt van een lichtbundel, waarvan een beeldopnemer de reflecties detecteert. De toegepaste lichtbron kan zowel conventioneel zijn als een laserlichtbron (figuur 1.9). Een laser heeft als voordeel dat stoorsignalen afkomstig van het lasproces eenvoudig kunnen worden uitgefilterd.



figuur 1.9 Schematische weergave van een lasersensor

Naarmate het sensorsysteem geavanceerder is, kan het bijvoorbeeld ook hechtlassen herkennen en ingrijpen in de procesparameters.

1.6.3 Punten van aandacht bij de invoering van sensoren

In dit hoofdstuk noemen we een aantal aandachtspunten bij het invoeren van sensoren voor automatisch lassen. Hier is het heel erg van belang dat er voldoende kennis vergaard wordt van deze systemen. Er kunnen zoveel parameters ingesteld worden, dat je veel ervaring moet hebben en enthousiaste mensen om dit te programmeren. Als het eenmaal goed afgesteld is, heb je er ook weinig omkijken meer naar.

Aan te bevelen is wel om deze kennis in huis te hebben, zodat een operator terug kan vallen op kennis die aanwezig is. Dit geeft de minste stilstand en begrip voor elkaar.

1.6.4 Optimaliseren

De aanschaf en introductie van een sensor voor het booglassen is meestal onderdeel van een compleet mechaniserings- of robotiseringsproces van het lassen. Er is geconstateerd dat sensoren uitsluitend succesvol zijn, wanneer er een zorgvuldige voorbereiding aan deze introductie is voorafgegaan. Een goede voorbereiding is niet alleen nodig voor een verantwoorde economische onderbouwing, maar ook voor het succesvol technisch functioneren van het geheel. Dit geldt overigens niet alleen voor sensoren, maar is een algemeen gegeven bij mechanisering en automatisering. In de voorbereiding komt men de volgende stappen tegen:

- ▶ inventariseren van de huidige en toekomstige laswerkzaamheden;
- ▶ optimaliseren van de laswerkzaamheden;
- ▶ mechaniseren, automatiseren of introductie van een sensor bij de laswerkzaamheden.

Bij het inventariseren van de laswerkzaamheden gaat men na welke lastaken worden uitgevoerd en welke samenhang er tussen deze en andere werkzaamheden is. Daarbij zal men tevens allerlei randvoorwaarden voor investering onderzoeken. Deze inventarisatie kan opleveren dat een bepaalde lastaak voor mechanisatie in aanmerking komt, en wat men daarbij nastreeft (lagere productiekosten, hogere capaciteit, kortere doorlooptijd, constante kwaliteit).

Bij het optimaliseren wordt gekeken naar:

- ▶ lasparameters en lasproces;
- ▶ productontwerp: naadvormen, bereikbaarheid, plaatsnauwkeurigheid in een lasmal;
- ▶ materiaalstromen in de nieuwe situatie;
- ▶ toleranties en voorbewerkingen;
- ▶ productmal: bereikbaarheid en nauwkeurigheid;
- ▶ hechtlassen: sensoren stellen vaak aanvullende eisen (bijvoorbeeld een maximum lengte of a-hoogte (dikte van de las) voor de hechtlassen, aangezien de toorts met sensor anders uit de naad zou kunnen geraken).

Nog te vaak vindt het optimaliseren pas na invoering van een lasrobot plaats. Daarbij gebeurt het af en toe dat de bij de lasrobot aangeschafte sensor na de optimalisatie weer overbodig wordt. Dit is te verklaren, doordat het optimaliseren deels pas mogelijk is na invoering van gemechaniseerd lassen, en doordat bepaalde effecten pas duidelijk worden door de praktijk. Dit is echter geen reden om eerst maar wat aan te schaffen en later verder te kijken.

Bij de invoering van lasautomaten of -robots - al dan niet met sensoren uitgerust - veranderen de eisen waaraan producten in verband met produceerbaarheid moeten voldoen. Het is daarom steeds noodzakelijk na te gaan of door wijzigingen in naadvorm of veranderingen in de plaats van de naden een beter productontwerp ontstaat. Zo kan door een aanpassing van het productontwerp het functioneren van een sensor en daarmee de laskwaliteit verbeteren en/of de laskosten verminderen. Ook kan juist daardoor het gebruik van een sensor mogelijk worden gemaakt.

1.6.5 Doelstelling

Sensoren zijn geen wondermiddel, waarmee alle problemen van mechanisering of robotisering kunnen worden opgelost. Ze kunnen in de regel slechts inspelen op de variaties in productafmetingen en posities waarvoor ze bedoeld zijn. Bij onvoorziene omstandigheden kan een sensor nooit zelf de juiste oplossing 'bedenken'. Het is daarom belangrijk dat zo nauwkeurig mogelijk wordt aangegeven wat het doel is van het sensorgebruik. Ook moet worden aangegeven met welke sensorfuncties dat doel moet worden bereikt.

1.6.6 Flexibiliteit

Er wordt nog al eens gesteld dat een sensor een lasstelsel flexibeler maakt. Dit is inderdaad het geval ten aanzien van de variaties waarvoor de sensor bedoeld is. De sensor maakt echter het systeem gevoeliger voor overige productvariaties en onvoorziene omstandigheden. Bovendien eist een sensor extra aandacht bij het programmeren van lasrobots voor nieuwe producten. Een sensor maakt hierdoor het lasstelsel minder flexibel ten aanzien van andere aspecten, zoals omsteltijden en nieuwe producten.

1.6.7 Systeemintegratie

Een punt van aandacht bij sensoren is de manier waarop informatie wordt overgedragen en gebruikt. Bij lasrobots wordt dit integratieprobleem opgelost door de robotleverancier. Dit betekent dat men bij ieder merk robot aangewezen is op het sensoraanbod van de robotleverancier. Slechts enkele sensoren kunnen op verschillende

robots worden toegepast. Daarbij is de sensor-robot-koppeling een belangrijk punt van aandacht. Bij lasautomaten is de sensor meestal onderdeel van een bouw pakket met kruissupport en besturing. De sensor-leverancier of de lasautomatenleverancier heeft dan de integratie tussen sensor en de correctiebeweging aan-gepakt.

Indien behalve de positie ook de lasparameters moeten worden bijgesteld, dan krijgt men tevens te maken met de besturing van het lasapparaat.

1.6.8 Afname

De meetnauwkeurigheid van een sensor is niet gelijk aan de nauwkeurigheid waarmee de toorts zijn baan zal vervolgen bij gebruik van die sensor. Maatgevend voor een toepassing is slechts de volgnauwkeurigheid tijdens het lassen. Dit wordt behalve door de sensor ook bepaald door de toortsmanipulator (robot of kruissupport) en de besturing die sensorinformatie omzet in stuursignalen voor de manipulator. De sensornauwkeurigheid is in de regel 2 tot 10 maal zo hoog als de volgnauwkeurigheid. De volgnauwkeurigheid is een moeilijk te meten grootheid en kan bovendien op verschillende manieren worden gedefinieerd. Tevens is de volgnauwkeurigheid nog van diverse specifieke bedrijfsomstandigheden afhankelijk, zoals lasstroom en voortloopsnelheid. Het verdient daarom in een aantal gevallen aanbeveling met een praktijkproef na te gaan of met een sensor de vereiste nauwkeurigheid en de gewenste laskwaliteit kan worden gerealiseerd.

De eisen die men ten aanzien van het functioneren van een sensor stelt, kunnen bij de afname als criteria worden opgenomen. Een criterium kan bijvoorbeeld zijn het aantal per tijdseenheid te produceren producten bij een bovengrens voor afkeur.

1.6.9 Effect op de cyclustijd van de bewerking

Voor naadzoeken met een sensor is altijd enige tijd nodig. Deze tijdsduur is afhankelijk van het type sensor, de grootte van de plaatsonzekerheid en het aantal metingen dat moet worden verricht. Automatisch zoeken gaat altijd sneller dan handmatig (door operator bestuurd) zoeken. Het is daarom belangrijk dat wordt nagegaan wat het effect van sensorgebruik op de lassnelheid is. De meeste sensoren leggen een bovengrens op aan de lassnelheid. Dit komt omdat de volgnauwkeurigheid afneemt indien de lassnelheid hoger wordt. Boven een bepaalde snelheid wordt de nauwkeurigheid daarbij onvoldoende. Aan de andere kant zijn er ook meerdere toepassingen bekend, waarbij door het nauwkeuriger baanvolgen als gevolg van sensorgebruik een aanzienlijk hogere lassnelheid realiseerbaar is.

1.6.10 Kosten

Een indicatie van de aanschafkosten van een sensor is gegeven in tabel 1.1. Deze kosten zijn in het algemeen inclusief de koppeling met een robot of - bij een lasautomaat - inclusief een kruissupport en de koppeling daarmee (zie § 1.6.7 'systeemintegratie').

Indien men een sensor zoekt bij een bestaande robotinstallatie of wanneer men een sensor met een bestaand kruissupport van een lasautomaat wil laten werken, krijgt men al snel met integratieproblemen te maken. Daarbij kunnen de kosten aanzienlijk oplopen.

Bij de invoering van een sensor moet men naast de aanschaf en integratie van de apparatuur natuurlijk ook rekening houden met scholing van personeel voor onderhoud en gebruik, en met een inleer- en programmeerperiode.

Tot de gebruikskosten van een sensor horen eventuele slijtdelen, onderhoud en reiniging. Daarnaast kan een bepaalde naadzoekfunctie tot een hogere cyclustijd leiden.

tabel 1.1 Indicatie aanschafkosten sensor

Indicatie van de aanschafprijs in k€ peildatum: medio 2006	
tactiel; elektrisch contact	< 3 ^{*)}
tactiel; mechanische schakelaar	< 3
tactiele volgsensor	10 - 20
AVC-regeling	6
overige boogsensoren	10 - 25
inductieve sensor	3 - 15
optische afstands sensor	3 - 15
optische profielsensor	30 - 70
optische lasbadsensor	40 - 100
*) Bij robots vormen een boogsensor en een elektrisch contact makende sensor veelal één geheel	

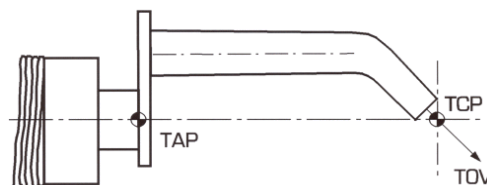
1.6.11 Diversen

- ▶ Met de leverancier dient men afspraken te maken over het naleveren van onderdelen, onderhoudsvoor-schriften en eventuele wisseldelen.
- ▶ Inductieve en optische sensoren hebben koeling nodig, afhankelijk van het lasproces en de afstand tot de toorts. Veelal is koeling met behulp van perslucht voldoende. Bij grotere voorgewarmde producten moeten ook eventuele tactiele sensoren worden gekoeld.
- ▶ Bijzondere aandacht is nodig indien men de eerste gebruiker is van een bepaalde sensor-toepassing. Dit kan men herkennen aan de blanco's in de tabellen.
- ▶ Bij de selectie wordt naar onze mening nog te weinig gekeken naar de mogelijkheden van een camera-monitorsysteem.
- ▶ Eén van de - nog niet genoemde - aspecten bij de selectie is het bedieningsgemak.

1.7 Tool Center Point

De bewegingen die een robot maakt zijn er op gericht om het aangrijpingspunt van het gehanteerde gereedschap een gecontroleerde baan langs of naar een werkstuk te laten beschrijven. Dit punt wordt het Tool Center Point (TCP) genoemd. Bij het MIG/MAG-lassen komt het TCP overeen met het uiteinde van de lasdraad. Het TCP wordt beschreven als een vector t.o.v. het punt waarop de lastoorts op het uiteinde van de robotarm is gemonteerd, het zogenaamde Tool Attachment Point (TAP), zie figuur 1.10.

Bij het lassen is niet alleen de positie van de toorts en de draad van belang, maar ook de oriëntatie ervan. Deze bepaalt bijvoorbeeld of slepend of stekend wordt gelast. De oriëntatie van de toorts wordt beschreven met de Tool Oriëntation Vector (TOV).



figuur 1.10 Tool Center Point (TCP), Tool Attachment Point (TAP) en Tool Orientation Vector (TOV)

Het TCP en de TOV zijn, in tegenstelling tot het TAP, toortsafhankelijk. Bij de meeste robotsystemen is het mogelijk verschillende toortsen te definiëren. Voor elke toorts zijn in het geheugen oproepbare correctiewaarden

aanwezig. Met behulp van deze correctiewaarden is het mogelijk voor verschillende toortsen toch het correcte TCP en TOV te krijgen. Vrijwel altijd zal het TCP in het verlengde van de polsoriëntatie (as 6) liggen. In sommige gevallen zal het echter noodzakelijk zijn het TCP excentrisch te plaatsen. Niet alle robotbesturingssystemen zijn in staat om ook een dergelijke ligging van het TCP te verwerken. Een excentrische ligging zal in het algemeen leiden tot grotere bewegingen van de robotarm, waardoor het botsingsgevaar toeneemt.

Wanneer de uitsteeklengte wordt vergroot, bijvoorbeeld vanwege de bereikbaarheid van een lasnaad, zal theoretisch een aanpassing van het TCP nodig zijn. In de praktijk echter is gebleken dat dit alleen noodzakelijk is als de uitsteeklengte aanzienlijk vergroot wordt, bijvoorbeeld 10 mm of meer. De oriëntatie van de lasdraad blijft gelijk, waardoor de TOV ongewijzigd kan blijven. Binnen één robotprogramma kan het noodzakelijk zijn het TCP en/of het TOV te wijzigen wanneer de lastoorts wordt gewisseld met een toortswisselsysteem of wanneer de uitsteeklengte wordt gevarieerd.

1.8 Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid van een robot is ten dele inherent aan het robotsysteem en ten dele beïnvloedbaar door de gebruiker. De constructeur moet de nauwkeurigheden van de robot kennen om hiermee bij zijn ontwerp rekening te houden. Dit geldt zowel voor het productontwerp, in het bijzonder de hierin voorkomende lassen, als het ontwerp van een lasmal en eventueel ander spangereedschap. Er worden verschillende soorten nauwkeurigheid onderscheiden:

- positioneringsnauwkeurigheid;
- absolute nauwkeurigheid;
- herhalingsnauwkeurigheid;
- baannauwkeurigheid.

1.8.1 Positioneringsnauwkeurigheid

Onder de positioneringsnauwkeurigheid wordt de nauwkeurigheid verstaan, waarmee de programmeur in staat is om de gewenste positie te bereiken. Deze nauwkeurigheid hangt samen met de systeemresolutie van het robotsysteem, oftewel met de kleinste mogelijke verplaatsing die door een robot tijdens het programmeren kan worden uitgevoerd. Daarnaast speelt de persoonlijke waarneming van de programmeur een belangrijke rol. Het is vaak noodzakelijk om de toortspositie vanuit verschillende posities te beoordelen alvorens een positie wordt vastgelegd. Een goede beoordeling is, bijvoorbeeld vanwege de productgeometrie, niet altijd mogelijk, waardoor gemakkelijk afwijkingen van de gewenste positie ontstaan. Indien een gehecht product wordt geprogrammeerd, dienen de hechtlassen niet op de positie te liggen die geprogrammeerd zullen worden, omdat de hechtlassen het nauwkeurig programmeren bemoeilijken.

1.8.2 Absolute nauwkeurigheid

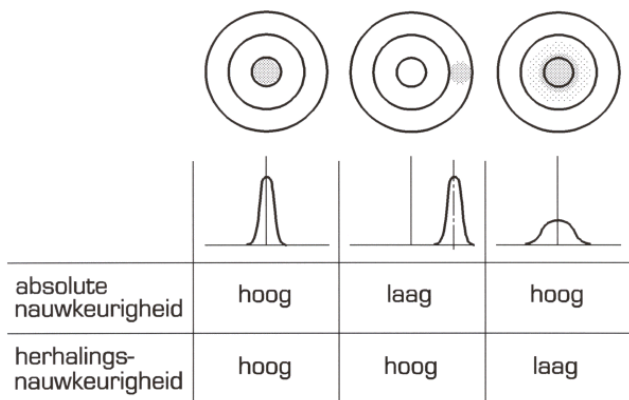
De absolute nauwkeurigheid geeft het verschil aan tussen de werkelijke positie van de robot en de gecommandeerde positie, de positie waar de robot zou moeten zijn en waar dus de robotbesturing mee rekent. De absolute nauwkeurigheid is vooral van belang bij het off-line programmeren van een robot. Bij het off-line programmeren wordt gebruik gemaakt van een extern computersysteem. Dit computersysteem genereert aan de hand van een kinematisch model van de robot een robotprogramma. Dit model wijkt altijd af van de werkelijke situatie, waardoor afwijkingen kunnen ontstaan. Wanneer het computersysteem aan de robot de opdracht geeft om 1000 mm te verschuiven, zal de werkelijke verplaatsing bijvoorbeeld 998 mm zijn. De grootte van deze afwijking is afhankelijk van de positie in het werkgebied van de robot, waardoor optelling of juist uitmiddeling van fouten kan optreden.

Bij het teach-in programmeren (aan de robot met een afstandsbediening) wordt de absolute nauwkeurigheid door de programmeur in het robotprogramma gecompenseerd. De absolute nauwkeurigheid is dan in feite niet van belang.

Door temperatuurverschillen tussen een net opgestarte, koude, robot en een robot op bedrijfstemperatuur kan ook een verschil in nauwkeurigheid optreden. Dit probleem is te voorkomen door de robot voor het programmeren en het productielassen gedurende enige tijd te laten bewegen in een ongebruikt deel van het werkgebied.

1.8.3 Herhalingsnauwkeurigheid

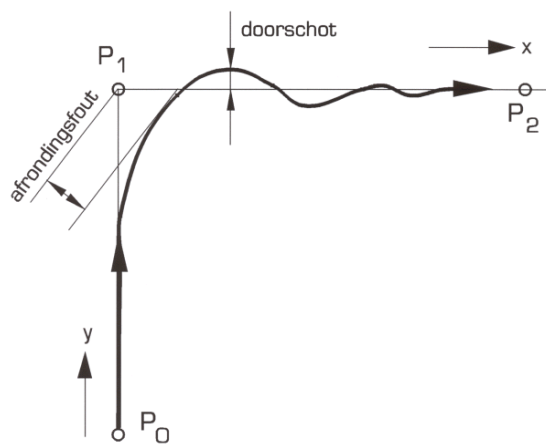
De herhalingsnauwkeurigheid geeft aan hoe nauwkeurig een robot in staat is om een geprogrammeerd punt opnieuw te benaderen. Wanneer men een robot een aantal maal naar een zelfde positie laat bewegen zal de gerealiseerde verzameling punten zich binnen een bolvormige wolk bevinden. De meeste knikarmrobots hebben een herhalingsnauwkeurigheid van 0,05 tot 0,2 mm, waardoor de diameter van de wolk maximaal 0,4 mm is. De herhalingsnauwkeurigheid hangt voornamelijk samen met de mechanische opbouw van de robot. Figuur 1.11 geeft het verschil tussen de absolute en herhalingsnauwkeurigheid nog eens weer.



figuur 1.11 Absolute en herhalingsnauwkeurigheid in plat vlak

1.8.4 Baannauwkeurigheid

De hierboven beschreven nauwkeurigheden hebben betrekking op posities. Tijdens het lassen worden banen afgelegd tussen deze posities. De nauwkeurigheid waarmee deze banen worden beschreven, wordt de baannauwkeurigheid genoemd. De baannauwkeurigheid is afhankelijk van de hierboven beschreven nauwkeurigheden. Daarnaast spelen andere zaken mee, zoals de baanberekening, het dynamische gedrag van de robot en de snelheid van de beweging. Met de huidige snelle processoren is het met behulp van interpolatietechnieken mogelijk om de baan met een zeer hoge nauwkeurigheid te berekenen. In figuur 1.12 is de baanafwijking weergegeven die kan ontstaan bij het beschrijven van een rechte hoek. Doordat de toorts tijdens het lassen een constante snelheid dient te behouden, is afronding van de hoek noodzakelijk om een te abrupte omkering van de draairichting van de aandrijfmotoren en dus momentane stilstand te voorkomen. Afhankelijk van de massastraagheid en de demping in het servosysteem zal bovendien doorschot (overshoot) optreden compleet met dempingseffecten. Bij sommige positioneerbewegingen in de vrije ruimte is een grotere afwijking van de geprogrammeerde baan wel toegelaten. Bij de meeste robotsystemen kan in de besturing worden opgegeven wanneer de baan wel en niet exact moet worden gevolgd.



figuur 1.12 Baanafwijking bij het doorgaan van een rechte hoek

2 Aanschaf/specificatie lasrobotsysteem

Het is verstandig, om voordat tot de aanschaf van een lasrobotsysteem wordt overgegaan, de eisen waar het systeem aan moet voldoen te formuleren. Omdat het type booglasrobot en het product dat gelast moet worden in belangrijke mate de keuze van het robotsysteem bepalen, is het noodzakelijk zowel de relevante productkenmerken en productiegegevens als de systeemeisen naast elkaar te zetten (zie kader).

Pas als al deze gegevens naast elkaar staan, kunnen de technische eisen waaraan het systeem moet voldoen worden geformuleerd en kan op basis hiervan een verantwoorde keuze (technisch) gemaakt worden voor de aanschaf van een geschikt robotsysteem.

2.1 Besturing/programmeren

In de meeste gevallen worden lasrobots tegenwoordig on-line met behulp van het z.g. "teach-in" systeem geprogrammeerd. Hierbij worden de ruimtelijke coördinaten van de punten waar de robot langs moet bewegen opgeslagen in het geheugen. Voor het maken van een simpele rechtlijnige beweging is het voldoende het begin en het eindpunt op te geven, terwijl voor het maken van cirkels minimaal drie punten ingegeven moeten worden. Complexe contouren kunnen uitgevoerd worden door het ingeven van meerdere punten. Tijdens de opslag van de positiecoördinaten worden ook de coördinaten van de stand van het laspistool vastgelegd, zodat bij het lassen automatisch dezelfde stand van het laspistool wordt aangehouden.

Het is nog steeds zo dat elke robot zijn eigen taal heeft waarmee hij geprogrammeerd moet worden, waardoor programma's van de verschillende robottypen niet onderling uitwisselbaar zijn.

Veel programmeersystemen voor het robotlassen hebben tegenwoordig de mogelijkheid om tijdens het lassen de lasparameters te corrigeren, waarna de optimale lasparameters automatisch opgeslagen worden in het geheugen.

Naast het programmeren aan de robot zelf (on-line) wordt veel energie gestoken in de ontwikkeling van het z.g. off-line of extern programmeren. Hierbij is het mogelijk om met behulp van een computer (veelal een normale PC) het totale robotprogramma (bewegingspatroon en lasgegevens) te vervaardigen. Deze data kunnen vervolgens door de robot worden ingelezen en uitgevoerd. Het grote voordeel van het off-line programmeren ligt voor de hand, n.l. het voorkomen van stilstand van de lasrobot, omdat de programma's nu immers gemaakt kunnen worden terwijl de robot doorgaat met de productie.

2.2 Stroombron

Stroombronnen die voor het gemechaniseerd lassen en in het bijzonder voor het gerobotiseerd lassen gebruikt worden, hebben altijd een inschakelduur van 100%. De stroombronnen voor het robotlassen zijn volledig getransistoriseerde stroombronnen, die vanuit het robotprogramma aangestuurd kunnen worden. In sommige gevallen zijn deze stroombronnen uitgerust met voorgeprogrammeerde parameters. Dit kan zijn voor het lassen van verschillende metalen, het lassen onder verschillende beschermgassen of voor het lassen met pulserende lasstroom.

In principe is het mogelijk elke getransistoriseerde stroombron aan te passen voor het gebruik met een robot. In de praktijk blijkt echter dat het aanpassen van bestaande stroombronnen niet altijd even eenvoudig is (interfacing).

2.3 Lastoorts

De lastoorts die voor het MIG/MAG lassen met een robot wordt gebruikt, verschilt niet wezenlijk van de "normale" MIG/MAG handlastoorts. Meestal wordt door de fabrikant een standaard lastoorts geleverd bij de robot. Fabrikanten kunnen echter in sommige gevallen een lastoorts leveren in elke gewenste vorm en lengte. Door een meer gekromde vorm of juist een recht laspistool te kiezen, kan soms de bereikbaarheid zodanig worden vergroot, dat de aanschaf van een (dure) lasmanipulator overbodig wordt.

Het laspistool voor het lassen met een robot heeft een inschakelduur van 100% en is altijd watergekoeld. De meeste robotfabrikanten kunnen een z.g. Push-Pull lastoorts leveren voor het gebruik op een lasrobot. Bij het lassen van met name dunne aluminium lasdraden ($< \varnothing 1,2$ mm) is deze voorziening een absolute noodzaak om een storingvrije draaddoorvoer te garanderen. Soms kan het gebruik van een Push-Pull systeem op een lasrobot echter ook aan te bevelen zijn bij het verlassen van (gevulde) draden of roestvaststalen draden. Dit is met name het geval wanneer gewerkt moet worden met een lang slangenpakket, of wanneer er complexe (gekromde) bewegingen gemaakt moeten worden. In de praktijk kunnen hierdoor regelmatig terugkerende storingen in de draadaanvoer worden voorkomen.

2.4 Reinigingsinstallatie

Bij het MIG/MAG kortsluitbooglassen is het onvermijdelijk dat op den duur zowel de gascup als de contactbuis verontreinigd raken door lasspetters.

Om te voorkomen dat hierdoor storingen en/of lasfouten ontstaan, is het noodzakelijk de gascup regelmatig te reinigen. Bij een sterke vervuiling van de gascup wordt in de praktijk de robot meestal door de operator stilgezet, waarna de gascup met de hand wordt schoongemaakt. Omdat niet altijd duidelijk is wanneer dit moet gebeuren en omdat dit makkelijk vergeten kan worden, hebben de robotfabrikanten hiervoor een oplossing gevonden in de vorm van een z.g. reinigingsinstallatie. Deze installatie wordt naast de robot geplaatst, waarna op regelmatige (door de gebruiker te programmeren) tijden door de robot een reinigingsprocedure wordt uitgevoerd. De robot brengt hierbij zijn lastoorts automatisch naar de reinigingsinstallatie, waarna een elektrisch of met perslucht aangedreven frees de lasspatten uit de gascup verwijdt. Hierna wordt er meestal anti-spat in de gascup gespoten. Ook zijn er systemen in de handel die het contactloos doen. In dit systeem wordt de toorts bevroren door middel van koolzuur, en door het bevroren vallen de aangekoekte spetters er vanaf. Het voordeel van deze systemen is, dat er geen mechanische krachten op de toorts worden uitgeoefend.

2.5 Lasmallen

Zeer belangrijk bij het reproduceerbaar lassen van een product is het fixeren en positioneren van de verschillende onderdelen. Dit is mogelijk door het product voorafgaande aan het lassen te hechten en hierna af te lassen. Bij het gemechaniseerd en gerobotiseerd lassen wordt echter veelvuldig gebruik gemaakt van lasmallen.

De eisen die aan een lasmal voor het lassen met een robot gesteld worden, verschillen nogal van de eisen die gesteld worden aan een lasmal voor het handmatig lassen.

Handlasmallen hebben voor het lassen met robots meestal twee belangrijke tekortkomingen:

- ▶ een onvoldoende nauwkeurigheid;
- ▶ een beperkte bereikbaarheid van de lasplaatsen.

Een lasmal bestaat meestal uit een basisframe of een universele opspantafel met een grote stijfheid. Op het basisframe worden aanslagen en fixeerpunten aangebracht en vervolgens zorgen spanklemmen ervoor dat de te lassen delen in de gewenste positie op hun plaats worden gehouden

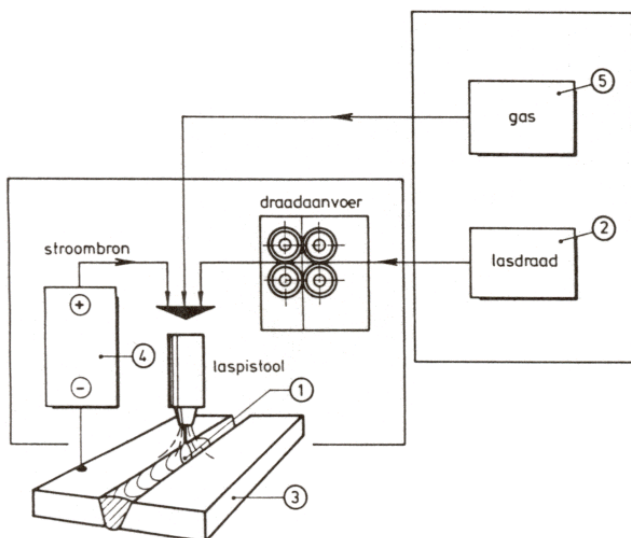
3 Het lassen met een robot

De meest bekende toepassing van industriële robots voor lassen is het gebruik van puntlasrobots, zoals onder andere toegepast in de automobiellindustrie. Robots worden echter ook steeds meer ingezet voor gasbooglassen en eveneens in andere marktsectoren.

Bij het gasbooglassen met robots wordt het MIG/MAG- of het TIG-lasproces toegepast. Beide processen worden in de onderstaande paragrafen nader besproken.

3.1 MIG/MAG-lassen

MIG/MAG-lassen hoort thuis in de categorie gasbooglassen met afsmeltende elektrode. Bij dit proces wordt een lasboog tot stand gebracht tussen een continu aangevoerde draad en het te lassen materiaal (zie figuur 3.1). De afsmeltende draad en het te lassen materiaal zijn elk verbonden met een pool van een gelijkstroombron. Een beschermgas wordt toegevoerd om het smeltbad en de afsmeltende draad tegen de omringende atmosfeer te beschermen. Indien als beschermgas een inert gas wordt gebruikt, spreekt men van "MIG-lassen" (Metal Inert Gas), indien een actief gas wordt gebruikt, van "MAG-lassen" (Metal Active Gas).



figuur 3.1 Schematisch overzicht van het MIG/MAG-proces

Het MIG/MAG-lassen kan met de hand of gemechaniseerd (onder andere met een robot) worden uitgevoerd. In het eerste geval spreekt men van half gemechaniseerd lassen.

3.2 Bescherming van het smeltbad

Het vloeibare metaal dient tegen oxidatie, alsmede waterstof- en stikstofopname vanuit de atmosfeer te worden beschermd. Bovendien moet een elektrische boog in stand worden gehouden. De eerste gasbooglasprocessen (TIG en hierna MIG) werden in de veertiger jaren ontwikkeld voor het lassen van aluminium onder toevoeging van het inerte gas argon of helium (inerte gassen zijn gassen die niet met hun omgeving reageren). Deze gassen bleken niet alleen kostbaar in gebruik, maar ook bij het MAG-lassen van ongelegeerd staal niet geheel te voldoen. In de vijftiger jaren werd het goedkope en gemakkelijk verkrijgbare CO_2 als mogelijkheid voor het lassen van ongelegeerd en laaggelegeerd staal naar voren gebracht. Met CO_2 kon echter niet kortsluitvrij worden gelast. Bovendien was het niet geschikt voor het lassen van roestvast staal, aangezien opkolling plaatsvindt. Met de komst van gevulde draden is in dit laatste inmiddels verandering gekomen.

Een en ander leidde tot de ontwikkeling van menggassen voor het lassen van ongelegeerd en laaggelegeerd staal. Deze gassen bestaan uit argon met toevoegingen van zuurstof en/of koolzuurgas. Specifieke samenstellingen van menggassen voor deze staalsoorten zijn onder andere:

- ▶ argon met koolzuur, zoals 85/15 en 80/20 Ar/ CO_2 ;
- ▶ argon met koolzuur en zuurstof, zoals 80/15/5 en 90/5/5 Ar/ CO_2/O_2 .

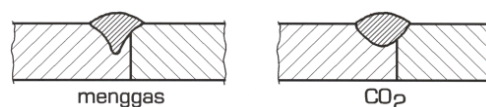
Ook voor het lassen van roestvast staal en niet-ijzerhoudende metalen zijn speciale gasmengsels ontwikkeld. De niet-ijzerhoudende metalen worden meestal gelast met behulp van argon, helium of mengsels hiervan.

Voor het lassen van roestvast staal wordt meestal argon gebruikt, waaraan wat CO_2 (<3%) en/of enige procenten O_2 is toegevoegd. Om verkleuring van de las tegen te gaan, wordt wel eens een klein percentage waterstof toegevoegd om de zuurstof te reduceren.

Het beschermgas heeft eveneens invloed op de druppelovergang, de inbrandingsdiepte, de mechanische eigenschappen en het lasuiterlijk. Met menggassen als beschermgas wordt in vergelijking met CO_2 een fijnere druppelovergang verkregen.

In figuur 3.2 zijn inbrandingsdiepte en -vorm weergegeven voor twee uitvoeringen van een las. Een onder bescherming met Ar- CO_2 menggas en één onder CO_2 -gasbescherming. De inbrandingsvorm is bij menggasbescherming minder ideaal. Door de vingervormige inbranding wordt de verbinding over een kleinere diepte tot stand gebracht. Dit is in de regel zo, behalve in het geval van staande hoeklassen. Een minder vingervormige inbranding heeft bij uitlijning van de toorts en de naad een voordeel, er is minder risico op een slechte verbinding door de bredere inbranding (zie figuur 3.2, rechts).

Het uiterlijk van de las wordt mede bepaald door de druppelgrootte en de viscositeit van het neergesmolten metaal.



figuur 3.2 Verschil tussen inbranding van de las uitgevoerd onder bescherming van een Ar- CO_2 menggas en die van de las uitgevoerd onder CO_2 -gasbescherming

Lassen uitgevoerd met CO₂-beschermgas bezitten een ruwer uiterlijk dan lassen waarbij een menggas is toegepast. Dit wordt veroorzaakt door de grotere druppels en de geringere vloeibaarheid (hogere oppervlaktetension) van het neergesmolten metaal bij eerstgenoemde lassen. Bovendien gaat het lassen onder CO₂-bescherming met meer spatten gepaard.

3.3 Boogtypen

Het booggedrag wordt in belangrijke mate bepaald door de overgang van de druppel vanaf de afsmeltende lasdraad. Bij het MIG/MAG-lassen kunnen in de praktijk meestal drie boogtypen worden onderscheiden, elk met zijn eigenschappen:

► *kortsluitboog*

Deze vorm van lassen geschiedt met een lage spanning en stroomsterkte, en dus een lage warmte-inbreng. Deze vorm is daarom bij uitstek geschikt voor het lassen van dunne materialen, in het bijzonder ongelegeerde, laaggelegeerde en roestvaste staalsoorten. Daarnaast leent het zich ook uitstekend voor het lassen in positie. Zoals de naam aangeeft, ontstaat een regelmatige, 30 tot 200 maal per seconde, kortsluiting tussen de draad en het smeltbad. De hierbij optredende hogere stroomsterkte zorgt voor het afsmelten van een druppel van de draad;

► *sproeihoog of open hoog*

Bij deze werkwijze brandt de boog continu. Er worden continu kleine druppels lasmateriaal afgesmolten die geen kortsluiting meer maken tussen de draad en het smeltbad. Deze lasmethode is bruikbaar in de laspositie "onder de hand" en voor alle metalen, maar door de grotere warmte-inbreng is deze methode minder geschikt voor dunne materialen;

► *pulsboog*

Er is een continue basisstroom aanwezig, die zorgt voor het in stand houden van de lasboog. De hierop gesuperponeerde, relatief grote, pulsstroom zorgt voor de druppelovergang en dus het afsmelten van de lasdraad. De warmte-inbreng is kleiner dan bij sproeihooglassen, maar groter dan bij kortsluitbooglassen. De methode is geschikt voor het lassen van alle metalen in alle posities. Er is echter wel speciale lasapparatuur voor nodig en er kan niet met CO₂ worden gelast.

3.4 Lastoevoegmateriaal

Voor MIG/MAG-lassen wordt uitsluitend draad als toevoegmateriaal gebruikt, aanvankelijk alleen massieve draad. De laatste jaren ziet men dat hiernaast steeds meer gevulde draad wordt toegepast.

Gevulde draden combineren de flexibiliteit van de elektrode met de productiviteit van een continu toegevoerde draad.

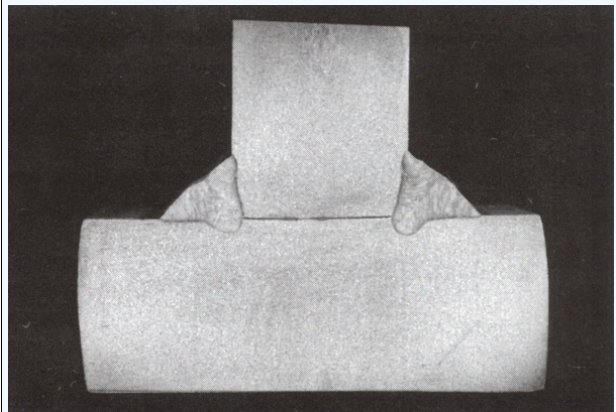
Gevulde draden bestaan uit een metallische mantel die een poedervulling omhullen. De mantel dient grotendeels als lasmetaal, omvat en beschermt de vulling, geeft vorm en volume aan de draad en zorgt voor de stroomgeleiding. De mantel is, afhankelijk van de wijze van vervaardiging, al dan niet voorzien van een naad. De poedervormige vulling zorgt voor boogstabilisatie, slakvorming, desoxidatie en eventueel oplegeren van het lasmetaal.

Gevulde draden voor het lassen met beschermgas worden gewoonlijk onderverdeeld in rutiel, basisch en metaalgepulde draden.

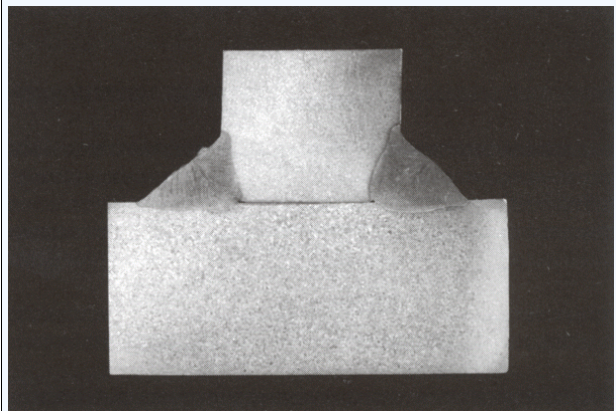
Met rutiel gevulde draden worden uitstekende laseigenschappen gecombineerd met behoorlijke mechanische eigenschappen. Zie voorbeeld I, in het kader op deze bladzijde. De moderne "micro-gelegeerde" rutiel gevulde draden kenmerken zich naast uitstekende laseigenschappen door een goede kerftaaiheid bij lage temperaturen.

VOORBEELD I

Bij het gerobotiseerd lassen van 15 mm dik roestvast staal AISI 304 met een massieve draad bleef de kwaliteit bij de verwachtingen achter met name betreffende de inbranding en de aanvloeiing (zie foto a). Door over te stappen op het gebruik van een rutiel-zuur gevulde draad, die in een open boog met CO₂-gas wordt verlast, werd een aantal verbeteringen bereikt. De inbranding verbeterde zowel in de hoek als op de flanken (zie foto b). In combinatie met de slakafdekking werd een vlakke las met een goede aanvloeiing gerealiseerd. Door het reproduceerbaar karakter van de robot is het mogelijk deze verbeterde hoekinbranding mee te nemen in de sterkteberekening, waardoor het vereiste lasvolume kon worden verkleind. De warmte-inbreng neemt hierdoor af, waardoor het product door krimp minder vervormt. In vergelijking met de massieve draad kon tenslotte de voortloopsnelheid meer dan verdubbeld worden.



a)



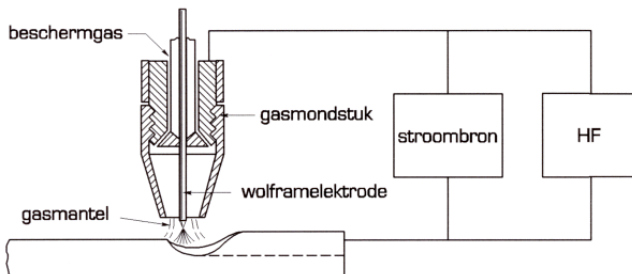
b)

Basisch gevulde draden staan bekend om de goede mechanische eigenschappen van het lasmetaal. Ze geven meestal een lasmetaal met een zeer laag waterstofgehalte. De verlasbaarheid van deze gevulde draden is echter niet zo goed als die van rutiel gevulde draden. De druppelovergang is grover en de hoeveelheid spatten is wat groter. Het lassen in positie is mogelijk wanneer menggas wordt toegepast.

Metaalgepulde draden bevatten metaalpoeders en vrijwel geen slakvormende bestanddelen. Dit resulteert in een rendement van 90-95%, waarbij vrijwel geen slak wordt gevormd. Metaalgepulde draden lenen zich voor het gerobotiseerd meerlagen lassen, doordat het niet nodig is tussentijds slak te verwijderen. Metaalgepulde draden kenmerken zich door hoge neersmeltsnelheden, een karakteristieke regelmatige druppelovergang en hoge lassnelheden.

3.5 TIG-lassen

In figuur 3.3 wordt het principe van het TIG-lassen schematisch weergegeven. Tussen de wolframelektrode en het te lassen werkstuk wordt een elektrische boog getrokken. Via een gasmondstuk rondom de elektrode wordt inert gas toegevoerd. Dit gas dient ter bescherming van de wolframelektrode en het smeltbad tegen de omringende lucht. De naam TIG is een afkorting van het Engelse "Tungsten Inert Gas". Het TIG-proces kan handmatig worden uitgevoerd, maar leent zich ook voor gemechaniseerde toepassingen.



figuur 3.3 Schematische weergave van het TIG-lasproces

Het proces wordt ingezet voor laswerk waaraan hoge kwaliteitseisen worden gesteld en voor het lassen van geringe materiaaldikten. Het TIG-proces wordt zelden toegepast voor materialen met dikten groter dan 6 mm. De grote warmte-inbreng door de relatief lage voortloopsnelheid en de geringe neersmeltsnelheid maken het proces economisch minder aantrekkelijk bij grote materiaaldikten. Wel wordt in dit geval een grondlaag TIG-gelast, waarna de overige lagen worden MIG-gelast.

Het TIG-lasproces onderscheidt zich van andere smelt-lasprocessen door:

- een lasboog van zeer hoge temperatuur en warmteconcentratie;
- het ontbreken van een slakvormige smeltbadbescherming waardoor slakinsluitingen nauwelijks voorkomen;
- een grote flexibiliteit door de niet aan de boog gekoppelde toevoer van lastoevoegmateriaal;
- grote toepassingsmogelijkheden, alle metalen zijn er in principe mee te lassen;
- een zeer goede mogelijkheid tot automatiseren met nauwkeurige controle mogelijkheden voor alle procesgegevens;
- geen verontreiniging van werkplaats en werkstuk door spatten, slakdelen of rook; echter wel ozonvorming;
- de mogelijkheid van toepassing van het proces in alle lasposities;
- goede "miniaturiserings"-mogelijkheden.

3.6 Lasfouten

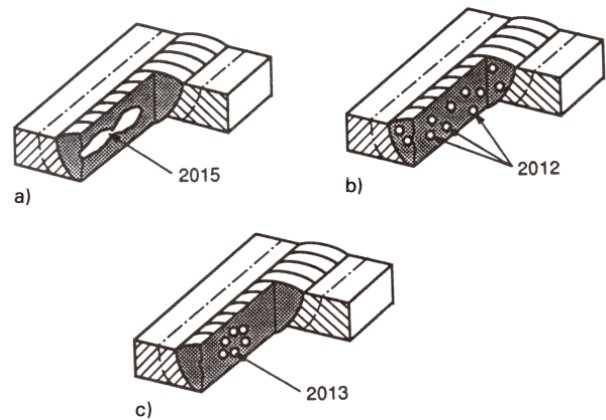
Naast het verhogen van de productiviteit is het verbeteren van de laskwaliteit vaak een belangrijke reden om tot invoering van een lasrobot over te gaan. Aangezien een robot in staat is continu met grote nauwkeurigheid een bewegingspatroon te herhalen, waarbij de lasparameters steeds identiek zijn, zal de laskwaliteit constant zijn, mits het product met een constante nauwkeurigheid aan de robot wordt aangeboden.

Lasfouten dienen te allen tijde te worden vermeden, immers, het repareren van lasfouten is uit economisch oogpunt ongewenst en het resultaat wordt zeker niet beter dan een las die in een keer goed is.

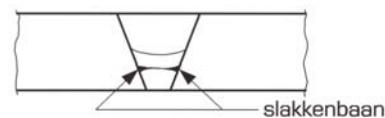
Bijlage I op blz. 20 geeft een overzicht van de lasfouten die kunnen optreden en geeft de mogelijke oorzaken en preventieve maatregelen aan. De fouten zijn ingedeeld volgens NEN EN ISO 5817 (algemene lasfouten).

De volgende soorten fouten worden onderscheiden:

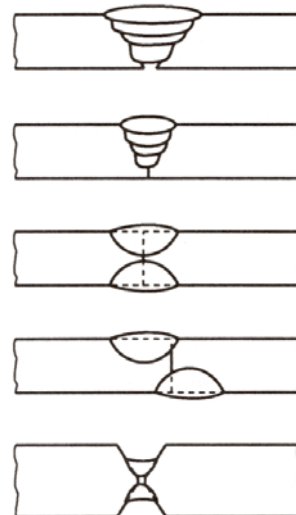
- gasinsluitingen (poreusheid), figuur 3.4a, b en c;
- slakinsluitingen, figuur 3.5;
- doorlassingsfouten, figuur 3.6;
- bindingsfouten, figuur 3.7a, b en c;
- scheuren;
- inkarteling en kraters.



figuur 3.4 a) Gaskanalen;
b) Gelijmatig verdeelde poreusheid;
c) Gasnesten.
De bijbehorende getalcombinaties zijn foutaanduidingen volgens IIW



figuur 3.5 Slakinsluitels ontstaan door het overlappen van te bolle rupsen

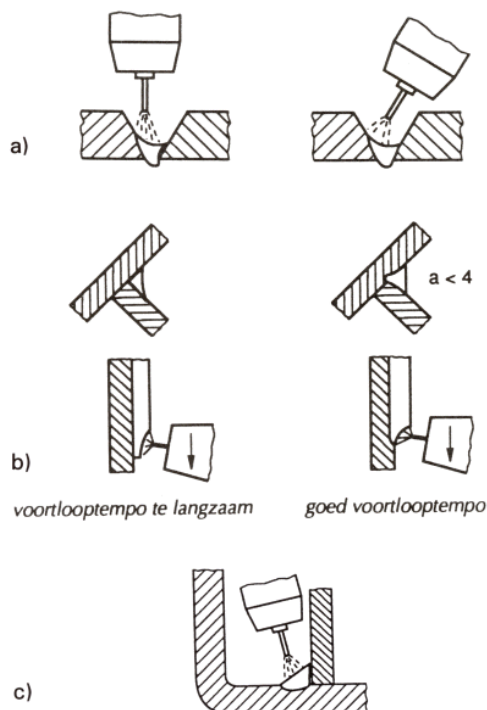


figuur 3.6 Verschillende vormen van onvoldoende doorlassingen

4 Economische aspecten met betrekking tot de aanschaf van een lasrobot

Bij de aanschaf van een robotsysteem spelen niet alleen de technische aspecten een belangrijke rol, zeker net zo belangrijk zijn de economische aspecten. Als blijkt dat een robotsysteem op technische gronden verantwoord aangeschaft kan worden, dan wil dat nog niet zeggen dat de aanschaf economisch eveneens verantwoord is.

In het algemeen zal het bedrijf een investeringsberekening uit moeten voeren teneinde na te gaan of de inves-



figuur 3.7 a) Bindingsfout veroorzaakt door een onjuiste stand van de lastoorts (links). De juiste stand wordt rechts gegeven;
b) Bindingsfouten en onvoldoende inbranding veroorzaakt door een te laag voortlooptempo;
c) Slecht lasdetail laat geen optimale toorts-stand toe

tering die met de aanschaf van een lasrobot gepaard gaat gerechtvaardigd is, of om alternatieven te kunnen vergelijken. Elk bedrijf voert zo'n investeringsberekening op z'n eigen manier uit, het doel is echter altijd hetzelfde, namelijk het bepalen van het rendement op het geïnvesteerde vermogen. Veelal zal bij zo'n investeringsberekening een vergelijking worden gemaakt tussen de huidige, meestal handmatige manier van werken en het lassen met een robot.

Uitgangspunt bij een dergelijke investeringsberekening vormen de jaarlijkse vaste en variabele kosten. Tot de jaarlijkse vaste kosten op de investering kunnen o.a. worden gerekend:

- De aanschafkosten.
- De Installatie- en aanloopkosten.
- De kosten voor training/opleiding.
- De kosten voor veiligheidsvoorzieningen.

Door de inkomsten uit eventuele subsidies in mindering te brengen op de hierboven vermelde vaste kosten wordt uiteindelijk de netto-investering verkregen die als uitgangspunt dient voor het berekenen van de jaarlijkse vaste kosten zoals afschrijving, rentekosten, materiële onderhoudskosten, enz. Hiermee zijn we er echter nog niet en er zullen nog een aantal andere gegevens verzameld moeten worden waaronder:

- De productieve inzetbaarheid van de werknemer afgezet tegen de productieve inzetbaarheid van de robot en de kosten die hieraan verbonden zijn.
- De lasproductie op basis van maximale inzetbaarheid.
- De materiële (verbruiks)kosten (lastoevoegmateriaal, beschermgas, energie, slijtdelen).

Met al deze gegevens (alleen de belangrijkste zijn genoemd) dient tenslotte een kosten/baten analyse te worden uitgevoerd om het rendement op het geïnvesteerde vermogen te kunnen bepalen. Samen met deze investeringsberekening en de technische onderbouwing is het voor het management mogelijk een verantwoorde

beslissing te nemen met betrekking tot de aanschaf van een lasrobotsysteem.

5 *Veiligheid en ARBO bij het werken met robots*

Voor het veilig werken met industriële robots geldt NEN EN ISO 10218-1:2006 (Robots voor industriële omgevingen - Veiligheidseisen - Deel 1: Robots).

De volgende zaken komen aan de orde:

- taken die uitgevoerd moeten worden bij de robot. (o.a. programmeren, instellen en opstarten, aan- en afvoer van werkstukken, wisselen van gereedschappen, enz.);
- gevaren bij het werken met robots;
- veiligheidsmaatregelen bij het toepassen van robots. (o.a. bij het ontwerpen, het installeren, het programmeren, het werken, enz.);
- opleiding en training;
- elektrische, hydraulische en pneumatische installaties;
- wettelijke bepalingen en publicaties.

Van de veiligheidsmaatregelen die door de gebruikers genomen kunnen worden m.b.t. het veilig werken met robots, volstaan we slechts met het noemen van de meest gangbare.

Vaak treffen we ook combinaties van veiligheidsvoorzieningen aan. Het is hierbij echter niet de bedoeling veiligheid op veiligheid aan te brengen.

Naast deze, door de gebruiker aan te brengen, veiligheidsvoorzieningen rust de fabrikant z'n robot meestal standaard uit met een aantal veiligheidsvoorzieningen die vooral tot doel hebben de robot uit te schakelen als de robotarm iets raakt.

Nadat de robot is geïnstalleerd en de veiligheidsvoorzieningen zijn aangebracht, is het van belang dat alle veiligheidsvoorzieningen worden getest. Dit moet worden gedaan voor alle mogelijk situaties die zich voor kunnen doen, terwijl het wenselijk is deze controles op regelmatige tijdstippen te herhalen.

6 *Praktische aanbevelingen voor het MIG/MAG-lassen met robots*

6.1 *Inleiding*

Binnen de machinebouw, ketel- en apparatenbouw, automobiel industrie, enz. worden booglasrobots veelvuldig ingezet voor het lassen van de meest uiteenlopende producten. De materialen waaraan gelast wordt variëren van ongelegeerd tot aan hooggelegeerd staal. Hiernaast zien we dat booglasrobots ook steeds meer ingezet worden voor het lassen van constructies die opgebouwd zijn uit aluminium. Hoewel het streven altijd is zoveel mogelijk onder de hand te lassen, blijkt dit in de praktijk lang niet altijd mogelijk te zijn en worden lassen in nagenoeg alle posities gelegd. De variatie in lasnaadvormen is haast even groot als de verscheidenheid aan producten die moeten worden gelast. Toch is in de meeste gevallen het streven de lasverbinding tot stand te brengen met een zo simpel mogelijke lasnaadvorm (hoeklassen, overlappenden) waarbij afwijkingen in de geometrie van de lasnaad(vorm) minder snel tot een afgekeurde lasverbinding leidt.

In dit deel van de publicatie worden praktische aanbevelingen en lasparameters (stroomsterktes, lassnelheden) gegeven voor het MIG/MAG-lassen met robots. Tevens worden gegevens verstrekt ten aanzien van de toleranties (uitlijning, vooropening, high-low) die toelaatbaar zijn bij het MIG/MAG-lassen met een robot onder de diverse condities (lasnaadvormen, lasposities).

6.2 Geldigheidsgebied

In deze aanbevelingen worden lasparameters en toelaatbare toleranties gegeven voor het MIG/MAG-lassen met een robot voor het lassen van de volgende metalen:

- ▶ ongelegeerd staal (1, 2, en 15 mm materiaaldikte);
- ▶ roestvast staal (1 en 2 mm materiaaldikte);
- ▶ aluminium (3 en 5 mm materiaaldikte).

Per materiaalsoort worden lasparameters en toelaatbare toleranties verstrekt voor het lassen in verschillende posities, het lassen van de verschillende lasnaadvormen en de diverse halffabrikaten (plaat, buis, profiel). De waarden die in de diverse tabellen genoemd worden zijn **richtwaarden** en dienen als zodanig te worden gebruikt. Deze waarden kunnen zowel in positieve als negatieve zin beïnvloed worden door bijvoorbeeld de toortshoek waarmee gelast wordt. Per systeemconfiguratie (o.a. type stroombron) kunnen eveneens afwijkingen optreden van de in deze aanbevelingen genoemde lasparameters en toelaatbare toleranties. Ditzelfde geldt als gelast wordt onder afwijkende condities (beschermgassamenstelling, lasdraadsamenstelling, enz.). Als de condities in belangrijke mate van de in tabel 6.1 genoemde omstandigheden afwijken, dan is het verstandig ten aanzien van de lasparameters en toelaatbare toleranties een zekere veiligheidsmarge in acht te nemen.

tabel 6.1 Toepassingen voor ongelegeerd staal

materiaal	ongelegerd staal
materiaaldikte	1, 2 en 15 mm
lasnaadvormen	hoeknaad, buitenhoeknaad, V-naad, overlapnaad, T-naad
lasnaadvoorbewerking	knippen, autogeen snijden
beschermgas	argon + 15% CO ₂
lasposities	PA (1G), PB (2F), PG (3Gd en 3Fd)
uitsteeklengte	15 mm
stand lastoorts	15 graden stekend
lastoevoegmateriaal	massief, Ø1,0 mm, Ø1,6 mm, SG2

De lasnaadkanten en hun directe omgeving dienen altijd vrij te zijn van vet, vuil, walshuid, oxiden, enz.

6.3 Praktische aanbevelingen voor het MAG-lassen van ongelegeerd staal met een robot

De gegevens en parameters die in deze aanbevelingen worden gegeven, zijn verkregen onder de condities zoals vermeld in tabel 6.1. (De gegevens die in dit onderdeel vermeld staan zijn grotendeels ontleend aan het CS/NIL project "Booglassen met robots").

6.3.1 Lassen van 1 en 2 mm materiaaldikte (plaat, buis - ongelegeerd staal)

Producten met materiaaldikten van 1 en 2 mm vinden we vooral bij het lassen van precisieplaatwerk, dieptrekproducten, alsmede buis en profielen. Door de geringe materiaaldikten is het goed opspannen en inklemmen van het product of de productonderdelen van groot belang. Als dit niet op adequate wijze kan gebeuren, moeten voldoende hechtlassen worden gelegd om de proefstukdelen te fixeren.

Als vuistregel voor het hechten van platen kan een maximum afstand tussen de hechtlassen worden aangehouden van 50 × de plaatdikte.

De lasnaadvoorbewerking kan worden uitgevoerd door middel van knippen, stansen of zagen, terwijl de meest voorkomende lasnaadvormen de overlapnaad, de hoeknaad, de buitenhoeknaad en de T-naad zijn.

Tabel 6.2 geeft een overzicht van de lasparameters die gebruikt kunnen worden bij het lassen met een robot van 1 en 2 mm plaat voor de verschillende lasnaadvormen en de diverse lasposities.

tabel 6.2 Parameters voor het MAG lassen van ongelegeerd staal met een robot

materiaal	lasnaadvorm	laspositie	materiaaldikte [mm]	stroomsterkte [A]	lassnelheid [cm/min]	a-hoogte [mm]
staal	overlap	PB (2F)	1	75 - 245	40 - 250	2 - 3
"	overlap	PB (2F)	2	140 - 250	35 - 140	2 - 3
"	overlap	PB (2F)	1	65 - 200	10 - 240	2 - 3
"	overlap	PB (2F)	2	80 - 275	10 - 240	2 - 3
"	overlap	PG (3Fd)	1	80 - 200	110 - 240	2 - 3
"	overlap	PG (3Fd)	2	100 - 280	10 - 240	2 - 3
"	hoeknaad	PB (2F)	1	70 - 170	20 - 240	2 - 3
"	hoeknaad	PB (2F)	2	70 - 240	10 - 140	2 - 3
"	hoeknaad	PG (3Fd)	1	80 - 180	20 - 240	2 - 3
"	hoeknaad	PG (3Fd)	2	100 - 310	20 - 240	2 - 3
profiel ■ ¹⁾	T-naad ²⁾	alle	2	90 - 115	30 - 140	-
profiel ■ ¹⁾	hoeknaad	alle	2	70 - 235	20 - 160	2 - 3
"	V-naad	PA (1G)	15 ³⁾	140 - 230	35 - 125	-
"	V-naad	PG (3Gd)	15	140 - 230	30 - 125	-
"	hoeknaad	PB (2F)	15	220 - 440	35 - 130	3 - 4
"	hoeknaad	PG (3Fd)	15	200 - 300	35 - 200	2 - 4
"	buitenhoeknaad	PA (1G)	15	100 - 320	20 - 90	-
"	buitenhoeknaad	PG (3Gd)	15	150 - 360	20 - 160	-

1) Afmetingen profiel: 110 × 50 × 2 mm.
2) Waarden gelden voor het verkrijgen van een goede doorlassing.
3) Voor 15 mm plaatdikte geldt: Waarden in de tabel gelden alleen voor het leggen van de eerste laag.

In tabel 6.3 zijn de toelaatbare toleranties (vooropening, uitlijnigheid, high-low) weergegeven voor het lassen van de verschillende materiaaldikten. De toelaatbare toleranties zijn altijd in sterke mate afhankelijk van de lassnelheid met dien verstande dat naarmate de lassnelheid hoger wordt, de toelaatbare toleranties altijd afnemen. De consequentie hiervan is, dat er bij hogere lassnelheden aan de lasnaadvoorbewerking, de opspanning en de positionering van de producten of onderdelen van producten hoge eisen worden gesteld. De toelaatbare toleranties uit tabel 6.3 gelden dan ook alleen bij lage lassnelheden (zie tabel 6.2).

Overlappnaden kunnen altijd het best worden gelast met de plaatdelen in horizontale positie, omdat dan de toelaatbare toleranties het grootst zijn.

Als vuistregel geldt bij deze plaatdikten dat de maximaal toelaatbare toleranties gelijk genomen kunnen worden aan de te lassen plaatdikte.

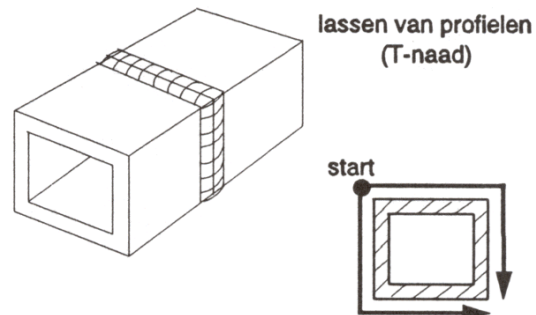
De hoogste lassnelheden kunnen worden bereikt bij het lassen in de verticaal neergaande positie (zowel voor hoek- als stompe lassen). Dit houdt in dat het gebruik van een lasmanipulator om het product in verticale positie te plaatsen aantrekkelijk kan zijn, omdat de totale cyclustijd door de hogere lassnelheden kan worden verkort. Wel dient er rekening mee gehouden te worden dat de toelaatbare toleranties bij hogere lassnelheden kleiner worden en dat er hierdoor hogere eisen aan de opspanning en voorbewerking van het product worden gesteld.

Naast de positie waarin gelast wordt, is ook de toortschoek van invloed op zowel de maximaal haalbare lassnelheden, als op de toelaatbare toleranties.

Algemene regels zijn hier echter niet voor te geven, omdat er een sterke relatie is tussen de laspositie waarin, en de toortschoek waarmee gelast wordt.

Het lassen van vierkante of rechthoekige buis kan het best worden uitgevoerd door de buis in twee gedeelten te lassen, waarbij het goed mogelijk is "door de hoek" te lassen.

Een en ander is voor het lassen van T-naden weergegeven in figuur 6.1.



figuur 6.1 Het "door de hoek" lassen van T-naden in rechthoekige buis

tabel 6.3 Toelaatbare toleranties voor het MAG lassen van ongelegeerd staal met een robot

materiaal	lasnaadvorm	laspositie	materiaaldikte [mm]	high-low	vooropening	uitlijnigheid	
				maximaal toelaatbaar [mm] ⁴⁾	maximaal toelaatbaar [mm]	max. toelaatbaar [mm]	
						X	Z, X
staal	overlap	PB (2F)	1	–	0 - 1	0 - 1,5	0 - 2,5
“	overlap	PB (2F)	2	–	0 - 2	0 - 2,5	0 - 1,5
“	overlap	PB (2F)	1	–	0 - 3	0 - 5	0 - 3
“	overlap	PB (2F)	2	–	0 - 1	0 - 3	0 - 1
“	overlap	PG (3Fd)	1	–	0 - 1,5	0 - 3	0 - 1
“	overlap	PG (3Fd)	2	–	0 - 1,5	0 - 3	0 - 1
“	hoeknaad	PB (2F)	1	–	0 - 1	<0,5	<0,5
“	hoeknaad	PB (2F)	2	–	0 - 2	<0,5	<0,5
“	hoeknaad	PG (3Fd)	1	–	0 - 1	<0,5	<0,5
“	hoeknaad	PG (3Fd)	2	–	0 - 2	0 - 1	0 - 2
profiel ■ ¹⁾	T-naad ²⁾	alle	2	0 - 2	0,5 - 2	0 - 1	–
profiel ■ ¹⁾	hoeknaad	alle	2	–	0 - 1	0 - 1	–
“	V-naad	PA (1G)	15 ³⁾	0 - 4	0 - 1	0 - 1,5	–
“	V-naad	PG (3Gd)	15	0 - 3,5	1,5 - 3,5	0 - 0,5	–
“	hoeknaad	PB (2F)	15	–	0 - 2,5	0 - 2,5	0 - 2,5
“	hoeknaad	PG (3Fd)	15	–	0 - 3,5	0 - 2	0 - 1
“	buitenhoeknaad	PA (1G)	15	0 - 1	1 - 2,5	0 - 1,5	–
“	buitenhoeknaad	PG (3Gd)	15	0 - 0,5	1 - 4	0 - 0,5	–

1) Afmetingen profiel: 110 × 50 × 2 mm.

2) Waarden gelden voor het verkrijgen van een goede doorlassing.

3) Voor 15 mm plaatdikte geldt: Waarden in de tabel gelden alleen voor het leggen van de eerste laag.

4) De maximale waarden van de toelaatbare toleranties gelden alleen bij de laagste lassnelheden.

6.3.2 15 mm materiaaldikte (plaat, ongelegeerd staal)

Ongelegeerd staal met materiaaldikten van 15 mm en meer vinden we vooral bij de zwaardere constructies. De lastijd bij dit soort producten vormt meestal een substantieel deel van de totale cyclustijd. Door de meestal grote afmetingen van de producten kunnen zowel de toleranties van de lasnaad als afwijkingen in de ligging van de lasnaad vrij groot zijn. De grote laslengten zorgen ervoor dat gedurende lange tijd achter elkaar gelast moet worden, waardoor aan de systeembetrouwbaarheid van de (las)apparatuur hoge eisen worden gesteld.

Het leggen van de grondlaag is in dit soort producten vaak het meest kritisch. Is de grondlaag eenmaal gelegd, dan vormt het afvullen van de lasnaad over het algemeen geen probleem meer. De richtwaarden voor de lasparameters die in tabel 6.2 worden gegeven gelden alleen voor het leggen van de grondlaag. Ook met betrekking tot het lassen van deze materiaaldikte geldt dat bij het lassen in de verticaal neergaande positie de hoogste lassnelheden haalbaar zijn.

Ten aanzien van de toelaatbare toleranties voor het lassen geldt dat:

- bij het lassen van V-naden de toelaatbare vooropening het meest kritisch is;
- bij het lassen van hoeknaden en buitenhoeknaden de toelaatbare uitlijnigheid het meest kritisch is;
- bij het lassen van buitenhoeknaden de toelaatbare high-low en uitlijnigheid het meest kritisch is.

6.4 Praktische aanbevelingen voor het MAG-lassen van roestvast staal met een robot

De gegevens en parameters die in deze aanbevelingen worden gegeven, gelden voor de condities zoals die vermeld staan in tabel 6.4.

Producten met materiaaldikten van 1 en 2 mm vinden we bij het lassen van plaatwerk in de roestvast staal-

tabel 6.4 Lassen van 1 en 2 mm materiaaldikte (plaat, roestvast staal)

materiaal	roestvast staal AISI 304
materiaaldikte	1 en 2 mm
lasnaadvormen	hoeknaad, overlapnaad
lasnaadvoorbewerking	knippen
beschermgas	argon + 1% O ₂
lasposities	PA (1G), PB (2F), PG (3Gd en 3Fd)
uitsteeklengte	15 mm
stand lastoorts	15 graden stekend
lastoevoegmateriaal	massief, Ø1,0, AISI 304

verwerkende industrie. In nog sterkere mate dan bij het lassen van ongelegeerd staal het geval is, is het opspannen en inklemmen van deze materialen van groot belang. Austenitisch roestvast staal zet ongeveer 1,5 maal zoveel uit bij verwarmen als ongelegeerd staal en krimpt dus bij het afkoelen ook meer. Als gebruik wordt gemaakt van hechtlassen, dan dienen de hechtafstanden om bovengenoemde redenen op een korte afstand van elkaar gelegd te worden. De lasnaadvoorbewerking bestaat voor deze plaatdiktes in de meeste gevallen uit knippen, terwijl veel voorkomende lasnaadvormen de overlapnaad en de hoeknaad zijn.

Tabel 6.5 geeft een overzicht van de lasparameters die gebruikt kunnen worden bij het MAG-lassen van 1 en 2 mm roestvast staalplaat met een robot. Hoewel de lasparameters uit de tabel gelden voor het lassen van AISI 304 lijkt het aannemelijk te veronderstellen dat deze parameters eveneens bruikbaar zijn voor de meeste andere austenitische roestvaste staalsoorten. Voor het lassen van andere roestvaste staalsoorten kunnen echter afwijkende lasparameters nodig zijn, zodat het verstandig is bij andere roestvaste staalsoorten niet de grenswaarden uit tabel 6.5 (en tabel 6.6) te hanteren.

tabel 6.5 Parameters voor het MAG lassen van roestvast staal met een robot

materiaal	lasnaadvorm	laspositie	materiaaldikte [mm]	stroomsterkte [A]	lassnelheid [cm/min]	a-hoogte [mm]
AISI 304	overlap	PB (2F)	1	75 - 210	40 - 240	2 - 3
"	overlap	PB (2F)	2	120 - 260	40 - 240	2 - 3
"	overlap	PG (3Fd)	1	85 - 220	40 - 240	2 - 3
"	overlap	PG (3Fd)	2	125 - 256	40 - 240	2 - 3
"	hoeknaad	PB (2F)	1	80 - 220	40 - 240	2 - 3
"	hoeknaad	PB (2F)	2	140 - 270	40 - 240	2 - 3
"	hoeknaad	PG (3Fd)	1	105 - 180	40 - 240	2 - 3
"	hoeknaad	PG (3Fd)	2	130 - 270	40 - 240	2 - 3

tabel 6.6 Toelaatbare toleranties voor het MAG lassen van roestvast staal met een robot

materiaal	lasnaadvorm	laspositie	materiaaldikte [mm]	vooropening maximaal toelaatbaar ¹⁾ [mm]	uitlijnigheid	
					maximaal toelaatbaar ¹⁾ [mm]	
					X	Z, X
AISI 304	overlap	PA (2F)	1	75 - 210	40 - 240	2 - 3
"	overlap	PA (2F)	2	120 - 260	40 - 240	2 - 3
"	overlap	PG (3Fd)	1	85 - 220	40 - 240	2 - 3
"	overlap	PG (3Fd)	2	125 - 256	40 - 240	2 - 3
"	hoeknaad	PA (2F)	1	80 - 220	40 - 240	2 - 3
"	hoeknaad	PA (2F)	2	140 - 270	40 - 240	2 - 3
"	hoeknaad	PG (3Fd)	1	105 - 180	40 - 240	2 - 3
"	hoeknaad	PG (3Fd)	2	130 - 270	40 - 240	2 - 3

1) De maximale waarden van de toelaatbare toleranties gelden alleen bij de laagste lassnelheden.

In tabel 6.6 zijn de toelaatbare toleranties (vooropening, uitlijnigheid, high-low) weergegeven voor het lassen van de verschillende materiaaldikten en lasnaadvormen. De toelaatbare toleranties zijn ook bij dit materiaal in sterke mate afhankelijk van de lassnelheid met dien verstande, dat naarmate de lassnelheid hoger wordt de toelaatbare toleranties altijd afnemen.

De toelaatbare toleranties uit tabel 6.6 gelden dan ook alleen bij lage lassnelheden.

Overlappnaden kunnen altijd het best gelast worden met de plaatdelen in horizontale positie, omdat dan de toelaatbare toleranties het grootst zijn.

Als vuistregel geldt bij deze plaatdiktes dat de toelaatbare toleranties gelijk genomen kunnen worden aan de te lassen plaatdikte.

Naast de positie waarin gelast wordt, is ook de toortschoek waarmee gelast wordt van invloed op zowel de maximaal haalbare lassnelheden, als de toelaatbare toleranties. Algemene regels zijn hier echter niet voor te geven, omdat er een sterke relatie is tussen de laspositie waarin en de toortschoek waarmee gelast wordt.

Ten aanzien van de toelaatbare toleranties bij het lassen van roestvast staal met een robot geldt dat:

- bij het lassen van hoeknaden de toelaatbare toleranties over het algemeen beperkt zijn;
- de toelaatbare toleranties bij het lassen van austenitisch roestvast staal over het algemeen kleiner zijn dan bij het lassen van ongelegeerd staal.

6.5 *Praktische aanbevelingen voor het MIG-lassen van aluminium buizen en profielen met een robot*

Bij het lassen aan buizen en/of profielen van aluminium gaat het meestal om relatief korte laslengten met veel starts en stops. Dit stelt enerzijds hoge eisen aan het betrouwbaar ontsteken van de lasboog (starteigenschappen van de stroombron) en anderzijds dient de apparatuur uitgerust te zijn met een adequate kratervulmogelijkheid. Doorgaans is het bij het lassen van producten die uit buizen en profielen zijn opgebouwd noodzakelijk complexe bewegingen te maken met de lastoorts. De lasrobot moet voor het maken van dit soort bewegingen eenvoudig geprogrammeerd kunnen worden (gebruikersvriendelijkheid).

Soms kan een (sterk) gekromd laspistool ervoor zorgen dat aanvankelijk lastige bewegingspatronen op een simpele manier geprogrammeerd kunnen worden.

Het lassen van aluminium stelt naast de gebruikelijke voorzorgen die genomen moeten worden (juiste liner, wieltes, wioldruk, contactbuizen, enz.) hoge eisen aan de systeembetrouwbaarheid van de draadaanvoer. Het verdient in nagenoeg alle gevallen aanbeveling voor het lassen van aluminium gebruik te maken van een Push-Pull draadaanvoereenheid. Dit is een absolute noodzaak bij draaddiameters van $\leq 1,2$ mm.

Aluminium kan tot een plaatdikte van ruim 6 mm uitstekend worden geknipt. Er dient echter op gelet te worden, dat er geen (haar)scheurtjes op de geknipte kanten aanwezig zijn. Gebruikelijk is dat bij het MIG-lassen met een robot tot een dikte van 3 mm geen afschuiningen worden aangebracht.

Boven een materiaaldikte van 3 mm worden de lasnaadkanten bij plaat meestal aangebracht door middel van het zagen, terwijl dit bij buizen plaatsvindt door middel van het draaien. Tot een plaatdikte van ongeveer 15 mm is de meest gebruikte lasnaadvorm voor het MIG-lassen een V-naad met een openingshoek van minimaal 70°. Het lassen van geringe materiaaldikten kan bij aluminium niet, zoals bij staal gebruikelijk is, met behulp van

het kortsluitbooglassen worden uitgevoerd.

Bij dit soort toepassingen (kleine materiaaldikten en in positie lassen) kan echter uitstekend gebruik worden gemaakt van lassen met een pulserende stroom; het z.g. Puls-MIG-lassen. Het is belangrijk dat bij het Puls-MIG-lassen van aluminium met een robot zowel de stroombron, als het robotprogramma de mogelijkheid hebben om op een simpele wijze de pulsparameters in te stellen. Vaak is er een voorkeuze/selectie mogelijk voor bijvoorbeeld het verlassen van een specifiek lastoevoegmateriaal (AlSi5 of AlMg5). Het gaat hierbij vaak om een grove voorinstelling, hiernaast moet het mogelijk zijn de fijninstelling van de pulsparameters op soepele wijze bij de lasrobot in te stellen.

Bekend is dat door de fysische eigenschappen van aluminium de toelaatbare toleranties van zowel de lasparameters als van afwijkingen in de geometrie van het product gering zijn.

De gegevens en parameters die in deze aanbevelingen worden gegeven zijn verkregen onder de condities zoals vermeld in onderstaande tabel 6.7.

tabel 6.7 Lassen van 3 en 5 mm materiaaldikte (buis en profiel, aluminium)

materiaal	aluminium, AlMgSi0,5, toestand T6
materiaaldikte	3 en 5 mm
lasnaadvormen	hoeknaad, V-naad, T-naad
lasnaadvoorbewerking	knippen, draaien, zagen
beschermgas	argon
lasposities	PG (5G en 5F)
uitsteeklengte	15 mm
stand lastoorts	15 graden stekend
lastoevoegmateriaal	massief, Ø1,2, AlMg5

6.5.1 *Lassen van rechthoekige aluminium profielen (100 x 40 x 3 mm)*

Tabel 6.8 geeft een overzicht van de lasparameters bij het MIG-lassen met een robot van aluminium buis en profielen.

In tabel 6.9 zijn de toelaatbare toleranties (vooropening, uitlijnigheid, high-low) weergegeven voor het lassen van de verschillende lasnaadvormen.

De toelaatbare toleranties zijn altijd in sterke mate afhankelijk van de lassnelheid, met dien verstande dat naarmate de lassnelheid hoger wordt, de toelaatbare toleranties altijd afnemen. De maximaal toelaatbare toleranties uit tabel 6.9 gelden dan ook alleen bij lage lassnelheden.

In tegenstelling tot het lassen van staal kan aluminium beter niet slepend worden gelast, omdat dan geen blanke lassen worden verkregen. De meest blanke lassen worden verkregen met de lastoorts onder een hoek van 15° stekend of meer. Voor de praktijk bruikbare hoeken van de lastoorts liggen tussen de 15° stekend en 0°. Evenals bij het lassen van andere materialen geldt dat bij het lassen van aluminium eveneens de hoogste lassnelheden bereikbaar zijn bij het lassen in de verticaal neergaande positie.

Zoals uit tabel 6.9 blijkt, zijn de maximaal toelaatbare toleranties van afwijkingen in de ligging van de lasnaad en de geometrie van het product gering. De toelaatbare toleranties bij het lassen van hoeknaden zijn meestal iets ruimer dan bij het lassen van T-naden.

Het "door de hoek" lassen (zie figuur 6.1) bij rechthoekig aluminium profiel (T-naden) is veel lastiger dan bij het lassen van stalen profielen en verdient zeker niet de voor-

tabel 6.8 Lasparameters voor het MIG lassen van aluminium buizen en profielen met een robot

materiaal	lasnaadvorm	laspositie	materiaaldikte [mm]	stroomsterkte [A]	lassnelheid [cm/min]	a-hoogte [mm]
AlMgSi 0,5 (profiel)	T-naad	PA (1G)	3	40 - 195	40 - 210	–
"	T-naad	PG (3Gd)	3	125 - 230	80 - 240	–
"	T-naad	PE (4G)	3	120 - 190	70 - 200	–
"	T-naad	PG (5G)	3	120 - 190	70 - 200	–
"	hoeknaad	PB (2F)	3	100 - 110	30 - 180	4 - 6
"	hoeknaad	PG (3Fd)	3	100 - 230	30 - 240	3 - 4
"	hoeknaad	PE (4F)	3	100 - 110	30 - 120	3 - 4
"	hoeknaad	PG (5f)	3	100 - 110	30 - 120	3 - 6
AlMgSi 0,5 (buis)	V-naad	PG (5G)	5	110 - 160	40 - 60	–

tabel 6.9 Toelaatbare toleranties voor het MIG lassen van aluminium met een robot

materiaal	lasnaadvorm	laspositie	materiaaldikte [mm]	high-low	vooropening	uitlijningheid	
				maximaal toelaatbaar ¹⁾ [mm]	maximaal toelaatbaar ¹⁾ [mm]	max. toelaatbaar ¹⁾ [mm]	
						X	Z, X
AlMgSi 0,5 (profiel)	T-naad	PA (1G)	3	0 - 1,5	<0,5	0 - 2	–
"	T-naad	PG (3Gd)	3	0 - 2	0 - 1,5	0 - 2	–
"	T-naad	PE (4G)	3	0 - 0,5	<0,5	0 - 1	–
"	T-naad	PG (5G)	3	0 - 2	0 - 1,5	0 - 2	–
"	hoeknaad	PB (2F)	3	–	0 - 1	0 - 1,5	0 - 1
"	hoeknaad	PG (3Fd)	3	–	0 - 2	0 - 2	0 - 1
"	hoeknaad	PE (4F)	3	–	0 - 1	0 - 1,5	0 - 1,5
"	hoeknaad	PG (5F)	3	–	0 - 1	0 - 1,5	0 - 1
aLmGsl 0,5 (buis)	V-naad	PG (5G)	5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

1) De maximale waarden van de toelaatbare toleranties gelden alleen bij de laagste lassnelheden.

keur. Dit type profielen kan beter in vier afzonderlijke delen gelast worden.

Het MIG-lassen van aluminium buis in de verticaal neergaande (PG) positie is niet eenvoudig. Het vinden van de juiste instellingen is een tijdrovende zaak, terwijl een positieve doorlassing onderin niet te realiseren is. Een probleem vormt het maken van goede aanhechtingen. De beste resultaten voor het maken van aanhechtingen worden verkregen als de kop en krater worden uitgeslepen, hetgeen echter bij het lassen met een robot niet praktisch is. Het is mogelijk aluminium pijpen met de robot in deze positie in één keer rond te lassen, maar ook kan de buis in twee gedeelten worden gelast. Dit laatste kan van 12 naar 6 uur of van 6 naar 12 uur, waarbij de laatste methode de voorkeur verdient.

7 Algemene wenken en conclusies t.a.v. het MIG/MAG-lassen met robots

In z'n algemeenheid kan worden gesteld dat robots uitstekend geschikt zijn voor het MIG/MAG-lassen van de meest uiteenlopende producten en materialen. Dat wil niet zeggen dat robots altijd de oplossing zijn voor de mechanisatie van het lasproces. Per type product (geometrie, chemische samenstelling, enz.) kunnen specifieke problemen optreden. Zo kunnen bij relatief grote werkstukken problemen ontstaan met de bereikbaarheid van de lasnaden en de doorvoerbaarheid van de lasdraad (lang slangenpakket). Zoals eerder is opgemerkt, kan het gebruik van een push-pull draadaanvoersysteem in dit geval een aanmerkelijke verbetering opleveren. Hiernaast kan het MIG-lassen van aluminium problemen geven bij dunwandige werkstukken en/of bij het lassen van complexe contouren (buis/buis verbindingen). Veelal zijn deze problemen echter op te lossen.

Dit vereist een specifiek kennis van enerzijds de lasstechniek en anderzijds de mogelijkheden van de robot. Degene die de lasrobot programmeert, dient beiden te bezitten of, als dit niet mogelijk is, zal er een goed samenspel moeten zijn tussen de programmeur van de robot en de lasdeskundige.

Waar we in deze aanbevelingen geen aandacht aan hebben geschonken, is het ontwerp van het product. Toch ligt hier veelal de basis voor het succesvol inzetten van een lasrobot. Op veel tekenkamers ontbreekt (nog) het inzicht voor het lastechnisch construeren in z'n algemeenheid en voor het lastechnisch construeren van producten voor het lassen met robots in het bijzonder. Het eigenaardige doet zich voor, dat voor het lassen van producten op productautomaten vaak wel van een uitgekend lastechnisch ontwerp gebruik wordt gemaakt, terwijl dit bij het lassen met een robot meestal niet het geval is. De basis voor een goed lastechnisch ontwerp wordt veelal gevormd door een aantal simpele regels, waartegen niet gezondigd moet worden.

We dienen te beseffen dat het mechaniseren van het lasproces, in welke vorm dan ook, consequenties heeft voor de aard van het werk binnen het bedrijf. Er zullen veelal functies en arbeidsplaatsen verdwijnen. Hier staat tegenover dat er vaak weer nieuwe functies gecreëerd worden. Er wordt nogal eens vergeten dat, welke beslissing door het management ook wordt genomen, er altijd mensen bij betrokken zijn.

De komst van bijvoorbeeld een lasrobot op de werkvloer kan staan of vallen met de acceptatie hiervan door de mensen van werkvloer. Het is dan ook verstandig mensen van de werkvloer tijdig bij de hele besluitvorming en introductie te betrekken. Het kunnen meepraten door werknemers over, en het op de hoogte zijn van nieuwe ontwikkelingen die gaande zijn binnen het bedrijf maakt dat de uiteindelijk door het management genomen be-

slissingen eerder zullen worden geaccepteerd en uitgevoerd. In extreme gevallen kan het zelfs het verschil betekenen tussen het succesvol implementeren van een lasrobot, of juist het mislukken hiervan.

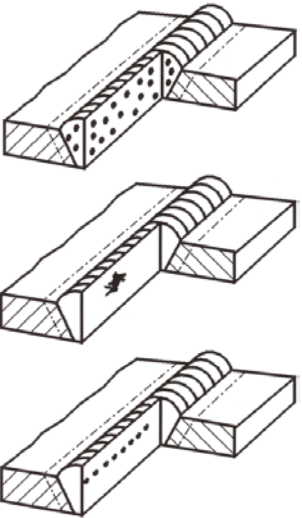
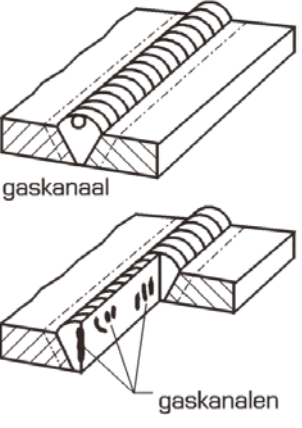
Aanbevelingen

1. De beste las is geen las!
2. Maak het product uit zo min mogelijk onderdelen.
3. Een niet-stompe las heeft de voorkeur boven een stompe las.
4. Vermijd zoveel mogelijk kruisende naden.
5. Plaats de lassen zodanig dat zoveel mogelijk onder de hand gelast kan worden.
6. Zorg voor een minimale lasnaadinhoud.
7. Plaats verstijvingen altijd haaks op het plaatveld.
8. Zorg voor een goede bereikbaarheid van de lasnaad.
9. Besteed aandacht aan de samenstellingsmogelijkheden en de lasvolgorden.
10. Vermijd hoge lasspanningen of trekkrachten loodrecht op het plaatoppervlak (laminatie scheurvorming).

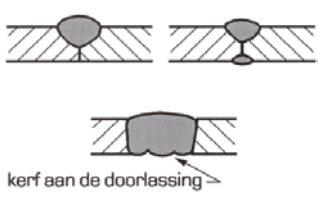
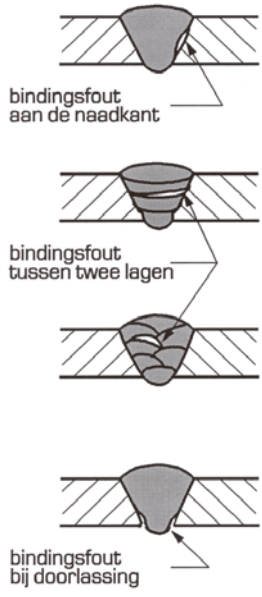
8 Literatuur

- [1] MIG/MAG-lassen; NIL-voorlichtingspublicatie; NIL, 1986
- [2] Booglassen dunne plaat; NIL-voorlichtingspublicatie; NIL, 1987
- [3] Lassen met gevulde draad in de zware constructiebouw; M.P. Sipkes; Lastechniek jaargang 59, januari 1993
- [4] Flexibele Productie Automatisering, deel 3; L.N. Reijers en H.L.J.M. de Haas; de Vey Mestdag, 1986
- [5] Booglassen met robots; E.J. Stroetinga; TNO-publicatie WGBR1-66
- [6] Sensoren voor booglassen; Voorlichtingspublicatie VM 96; Vereniging FME-CWM, 1994 (gedeeltelijk vervangen door TI.07.41)
- [7] Richtlijnen voor het ontwerpen van produkt en lasmal voor het MIG/MAG lassen met robots; TNO-publicatie RL 91-06
- [8] Aanbevelingen booglassen met robots, hoofdstuk 4; A. Gales; Nederlands Instituut voor Lastechniek, 1991
- [9] Systematiek voor het ontwerpen van een mal voor het lassen met een robot; P. Dorna; FDO-rapport TSP 92-044 / TNO-rapport WGBR2-19
- [10] Bedrijf en techniek, juni 1982

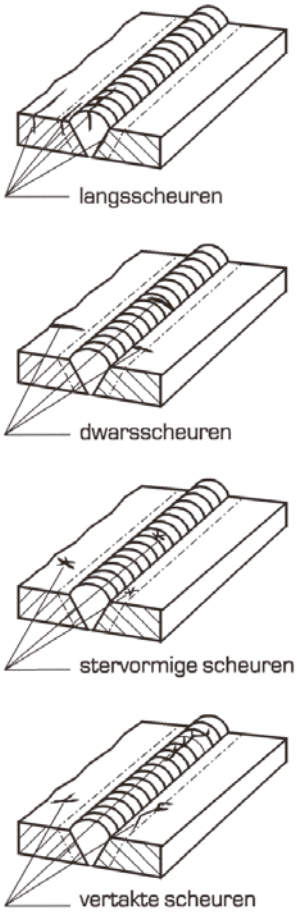
Bijlage I Overzicht lasfouten, oorzaken en maatregelen

lasfouten benaming en weergave volgens NEN EN ISO 5817	nadere aanduiding volgens NEN EN ISO 5817	mogelijke oorzaken	preventieve maatregelen
poreusheid (gasinsluitingen)  verspreide gasinsluitingen gasnest gasbaan	met gas gevulde ruimten in neergesmolten materiaal of overgangszone	▶ uitsteeklengte te groot, elektrode te heet, smeltbad te koud ▶ foutieve stand laspistool, lasspanning te laag ▶ onregelmatige draadaanvoer ▶ oververhitting van het smeltbad ▶ onvoldoende of verstoorde gasbescherming	▶ uitsteeklengte 10 tot 15 x draaddiameter ▶ max. 30° afwijking van de normaal, lasspanning verhogen ▶ draadaanvoermechanisme controleren ▶ warmte-inbreng verminderen, interpasstemperatuur controleren ▶ hoeveelheid aanpassen, voorkomen sterke tocht, controleer mondstuk en contactbuis
 gaskanaal gaskanalen	tot aan de oppervlakte doorlopend gaskanaal	▶ uitstromend beschermgas zuigt als gevolg van kleine hoek tussen pistool en lasrichting lucht mee in de gasstroom (injectorwerking) ▶ eveneens door te veel beschermgas ▶ vervuilde naadkanten door vet en verf, enz. ▶ te weinig beschermgas ▶ te grote uitsteeklengte ▶ aangekoekte krans van spatten in het gasmondstuk ▶ naadkanten verontreinigd door olie, vet, verf, roest, zink, enz. ▶ werkstuk of lasdraad vochtig	▶ stand laspistool max. 30° afwijken van de normaal ▶ hoeveelheid beschermgas goed instelbaar ▶ naadkanten reinigen ▶ hoeveelheid corrigeren. richtlijn ongeveer 10 x draaddiameter. beschermgastoever in l/min. max. 25% toeslag i.v.m. tocht ▶ richtlijn uitsteeklengte: 10 tot 15 x draaddia. ▶ gasmondstuk reinigen ▶ naadkanten reinigen ▶ naadkanten en draad vochtvrij houden of maken
slakinsluitingen  slakkennest slakkenbaan onregelmatige slak insluiting	niet metallische insluitingen in het lasmetaal. Ze komen voor in banen, of in verschillende vormen en richtingen, plaatselijke opeenhopingen	▶ slak (walshuid bijvoorbeeld) wordt in het smeltbad opgenomen ▶ foutieve sturing van het laspistool ▶ slak van voorgaande lagen onvoldoende verwijderd. ook slak van snijbranden ▶ spatringen vallen van gasmondstuk in het smeltbad	▶ materiaal grenzend aan de naad reinigen ▶ stand en sturing pistool corrigeren ▶ slak tussentijds verwijderen ▶ regelmatig aangekoekte spatten verwijderen

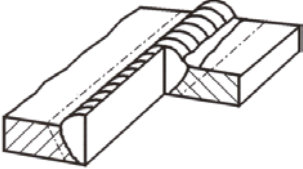
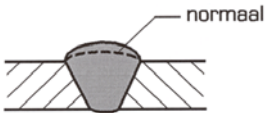
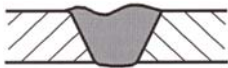
Bijlage I (vervolg) Overzicht lasfouten, oorzaken en maatregelen

lasfouten benaming en weergave volgens NEN EN ISO 5817	nadere aanduiding volgens NEN EN ISO 5817	mogelijke oorzaken	preventieve maatregelen
poreusheid (gasinsluitingen)  kerf aan de doorlassing	niet voldoende doorgelaste doorsnede, onvoldoende inbranding	▶ ongeschikte naadvorm of onvoldoende hoge stroomsterkte of te grote voortloopsnelheid ▶ uitlijningheid ▶ geroeste naadkanten	▶ meer geschikte naadvorm kiezen en/of juiste parameters instellen ▶ werkstuk beter uitrichten ▶ roest verwijderen
te zware doorlassing 	doorlopend of plaatselijk	▶ te grote vooropening ▶ te lage voortloopsnelheid	▶ kleinere vooropening toepassen ▶ voortloopsnelheid en/of parameters
holle doorlassing 		▶ vooropening te klein of staande kant te groot ▶ neersmelt te klein of te hoge voortloopsnelheid ▶ aanhechtplaatsen niet uitgeslepen	▶ naadvoorbewerking aanpassen ▶ parameters aanpassen ▶ aanhecht (start)-plaatsen uitslijpen
bindingsfouten  bindingsfout aan de naadkant bindingsfout tussen twee lagen bindingsfout bij doorlassing	geen binding tussen neergesmolten lasmetaal en werkstukmateriaal of opeenvolgende lagen	▶ te groot smeltbad en/of te kleine voortloopsnelheid, waardoor smeltbad voorloopt en lasboog op smeltbad is gericht ▶ voorlopen bij te breed gezwaaide lagen ▶ warmte-inbreng te laag, bindingsfout bij doorlassing ▶ openingshoek te klein bij de toegepaste neersmelt ▶ ruimte tussen twee rupsen, snoeren, te gering ▶ te grote warmte-afvoer bij delen van ongelijke dikte ▶ pistoolstand dwars op de lasrichting onjuist	▶ neersmelt- en voortloopsnelheid op elkaar afstemmen ▶ minder breed zwaaien, meer snoeren naast elkaar ▶ warmte-inbreng spanning en stroom verhogen ▶ openingshoek vergroten of neersmelt verlagen of voortloopsnelheid vergroten ▶ betere opbouw van de lagen, rupsbreedte, kiezen ▶ voorverwarmen van het dikste deel, of een andere warmteverdeling kiezen door de lasboog meer op het dikste deel te richten ▶ pistoolstand aanpassen, zonodig iets pendelen

Bijlage I (vervolg) Overzicht lasfouten, oorzaken en maatregelen

lasfouten benaming en weergave volgens NEN EN ISO 5817	nadere aanduiding volgens NEN EN ISO 5817	mogelijke oorzaken	preventieve maatregelen
scheuren  langsscheuren dwarsscheuren stervormige scheuren vertakte scheuren	scheuren in neergesmolten en/of werkstukmateriaal van overwegend tweedimensionale afmetingen. Deze scheuren kunnen in verschillende richtingen lopen en verschillende vormen hebben, recht, ster, vertakt, enz. en van verschillende grootte zijn (micro, macro)	▶ basismateriaal en/of toevoegmateriaal scheurgevoelig, te hoog koolstof- en/of zwavelgehalte ▶ tevens bij verbinden van ferritisch aan austenitisch staal ▶ onjuiste lasopbouw ▶ niet op basismateriaal afgestemde warmte-inbreng ▶ verkeerde lasvolgorde resp. lasrichting ▶ te grote voortloopsnelheid, te snel afkoelen ▶ inbranding te diep ▶ verkeerde interpasstemperatuur ▶ starre constructies of verkeerde lasvolgorde zodat spanningen onvoldoende kunnen uitwerken ▶ invloed van vocht op werkstukoppervlak en draadoppervlak ▶ lasnaad te snel afgekoeld ▶ te grote opeenhoping	▶ materiaal kiezen dat niet scheurgevoelig is, basismateriaal op elkaar afstemmen ▶ juiste keuze toevoegmateriaal (buffer) ▶ las vanaf de kanten opbouwen ▶ warmte-inbreng afstemmen op materiaalsoort en dikte ▶ lasvolgorde en -richting juist kiezen, bij plaat van midden naar de einden: van dun naar dik, I-profielen van buiten naar binnen, plaatvelden eerst dwars- dan langsnaden ▶ voortloopsnelheid aanpassen evenals andere parameters ▶ parameters aanpassen in het bijzonder de neersmelt ▶ beter controleren en grenzen noch naar boven overschrijden ▶ lastechnisch juist construeren en juiste lasvolgorde kiezen ▶ oppervlakken van beide droog houden ▶ afkoelsnelheid verlagen (voorverwarmen) ▶ opeenhopingen van spanningen vermijden door juist te construeren, keuze van naadvorm, lasvolgorde, warmtebehandeling, enz.

Bijlage I (vervolg) Overzicht lasfouten, oorzaken en maatregelen

lasfouten benaming en weergave volgens NEN EN ISO 5817	nadere aanduiding volgens NEN EN ISO 5817	mogelijke oorzaken	preventieve maatregelen
randinkarteling 		▶ te kort op de naadkanten blijven staan of onvoldoende breed gezwaaid ▶ lasspanning te hoog waardoor te lange lichtboog ▶ hoeklassen met te grote a-hoogte in één laag gelast ▶ aanwezigheid walshuid of roest ▶ verkeerde stand van laspistool ▶ blaaswerking ▶ bij slepend lassen te hoge neersmelt, te hoge lassnelheid	▶ op juiste wijze zwaaien ▶ lasspanning verlagen ▶ bij te grote a-hoogte in meer lagen lassen ▶ roest in omgeving lasnaad verwijderen ▶ stand corrigeren ▶ werkstukkabel verleggen, eventueel dubbele aansluiting ▶ neersmelt en snelheid op elkaar afstemmen
eindkrater slinkholte		▶ lasboog te snel verbroken en/of pistool te snel van het werk afgenomen	▶ krater door langzaam heen en weer lassen vullen: even laten stollen, dan vol lassen. Indien mogelijk uitloopstuk toepassen
te grote overdikte 		▶ foutieve zwaaibeweging ▶ voortloopsnelheid te laag, resp. neersmelt te groot ▶ hoek tussen pistool en naad te klein bij trekkend lassen ▶ lasspanning te laag en/of draadaanvoersnelheid te groot	▶ naad zoveel mogelijk in positie brengen ▶ voortloopsnelheid en neersmelt op elkaar afstemmen ▶ hoek corrigeren: 90° - 70° t.o.v. voortlooprichting ▶ lasspanning verhogen resp. draadaanvoersnelheid verlagen, zo nodig licht zwaaien
sluitlaag onder plaatoppervlak onvoldoende gevuld 		▶ te lang op de naadkanten blijven staan bij het zwaaien ▶ doorsnede sluitlaag te groot ▶ bij hoge neersmeltsnelheid	▶ op de juiste wijze zwaaien ▶ naad in meer lagen of snoeren vullen ▶ zo mogelijk in positie onder de hand lassen; liever eerder enigszins neergaand dan opgaand, bij opgaand lassen ontstaat al snel een te dikke rups. Het smeltbad mag echter niet voor de boog lopen

Auteur:

Deze voorlichtingspublicatie is opgesteld in opdracht van de Vereniging FME-CWM in het kader van het project 'Updaten VM-publicaties'. Hierbij waren de volgende organisaties betrokken: SenterNovem, NIL, NIMR, FDP, Syntens, TNO Industrie en Techniek en de Vereniging FME-CWM/Industrieel Technologie Centrum (ITC).

De auteur, Ben Stoop (TNO Industrie en Techniek) werd ondersteund door een klankbordgroep bestaande uit: Ton Gales (TNO Industrie en Techniek), Henk Bodt (NIL) Jo van de Put (Syntens), Ger Vaessen (GVA) en Peter Boers (FME).

Bronvermelding:

Voor het samenstellen van deze publicatie is gebruik gemaakt van de volgende bronnen:
Diverse NIL-publicaties, VM-publicaties en Tech-Info-bladen.

Technische informatie:

Voor technisch inhoudelijke informatie over de in deze voorlichtingspublicatie behandelde onderwerpen kunt u zich richten tot de auteur Ben Stoop (tel.: 040 - 265 00 00, e-mail: ben.stoop@tno.nl) en:

Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL)

Bezoekadres: Boerhaavelaan 40,
2713 HX Zoetermeer
Correspondentie-adres: Postbus 190,
2700 AD Zoetermeer
Telefoon: 088 - 400 85 60
Fax: 079 - 353 11 78
E-mail: info@nil.nl
Internet: www.nil.nl

Informatie over, en bestelling van VM-publicaties, Praktijkaanbevelingen en Tech-Info-bladen:

Vereniging FME-CWM/Industrieel Technologie Centrum (ITC)

Bezoekadres: Boerhaavelaan 40,
2713 HX Zoetermeer
Correspondentie-adres: Postbus 190,
2700 AD Zoetermeer
Telefoon: (079) 353 11 00/353 13 41
Fax: (079) 353 13 65
E-mail: info@fme.nl
Internet: www.fme.nl



Netherlands Institute
for Metals Research



Federatie
dunne plaat



© Vereniging FME-CWM/december 2007 - 02

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 Technologie en Innovatie
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
telefoon 079 - 353 11 00
telefax 079 - 353 13 65
e-mail: info@fme.nl
internet: www.fme.nl