

Ontwerp voor gemechaniseerd lassen

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 publicatie "Construeren voor booglassen met robots" (VM 105, FME, 1997) en vormt samen met de publicaties "TI.07.39 - Eenvoudige mechanisatie bij het booglassen" en "TI.07.41 - Geavanceerde lasmechanisatie en sensoren", 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	Inleiding	1
1.1	Lasnaadtoleranties	1
1.2	Constructieve eisen aan onderdelen en mallen	2
1.3	Regels voor een goed lastechnisch ontwerp	2
1.4	Specifiek voorwaarden met betrekking tot dunne plaat	6
2	Eisen aan een lasmal voor het lassen met een robot	7
2.1	Indeling van mallen	7
2.2	Opbouw van een lasmal	8
2.3	Toegankelijkheid	9
2.4	Nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid	9
2.5	Positioneren van de onderdelen	9
2.6	Klemmen van de onderdelen	11
3	Systematiek bij de ontwikkeling van een lasmal	12
3.1	Stroomdiagram	12
3.2	Het bepalen van de configuratie	13
3.3	Het bepalen van de contouren en het frame van de mal	14
3.4	Het plaatsen van de aanslagen en de spanelementen	15
3.5	Opslag, verzorging en controle van mallen	15
3.6	Veiligheid en Arbo	15
4	Literatuur	15

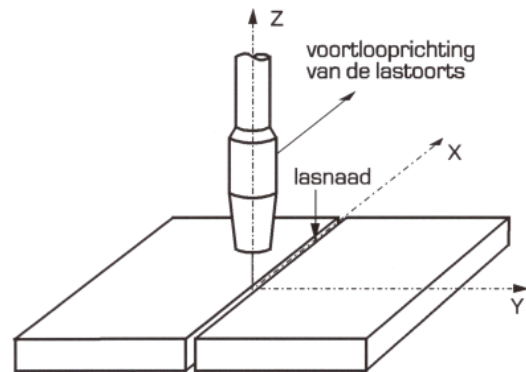
1 Inleiding

Bij het ontwerpen van een product is een constructeur gebonden aan de eisen die vanuit de functie van het product worden gesteld: de functionele eisen. Daarnaast dient ook rekening te worden gehouden met de eisen die worden gesteld vanwege de vervaardiging van het product: de productietechnische eisen. Deze eisen zijn sterk afhankelijk van het toegepaste productieproces. Het gebruik van een robot zal specifieke productietechnische eisen met zich meebrengen die vaak zwaarder zullen zijn dan wanneer handmatig wordt gelast. In dit hoofdstuk worden richtlijnen aangereikt die een constructeur kan gebruiken bij het construeren van een product dat met een robot zal worden gelast. In eerste instantie zal echter worden ingegaan op de lasnaadtoleranties die bij het lassen met een robot van belang zijn.

1.1 Lasnaadtoleranties

Eén van de meest kritische productietechnische eisen die bij de invoering van een robot een rol spelen, zijn de nauwkeurige toleranties waarmee de productonderdelen aan de lasrobot dienen te worden aangeboden. Een robot is zelfs met behulp van sensoren slechts in beperkte mate in staat om in te spelen op een zich wijzigende situatie tijdens het lassen. Met de invoering van de robot zullen dan ook bijna altijd de toleranties moeten worden aangescherpt.

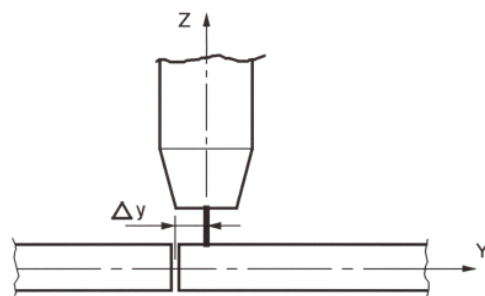
Beschouwen we twee vlakke platen die via een stompe las aan elkaar worden gelast (figuur 1.1) dan kan de lasnaadvorm op een groot aantal manieren afwijken van de ideale vorm. In de praktijk treden deze variaties vaak



figuur 1.1 Stompe lasnaad met hoofdrichtingen

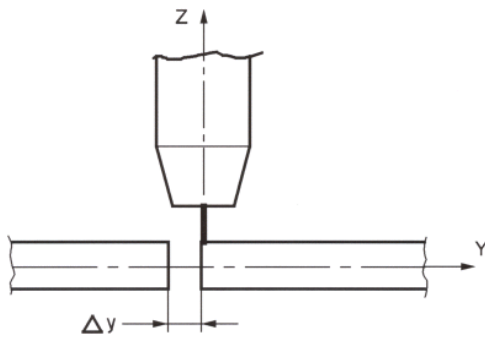
in combinaties op. De variaties kunnen worden onderverdeeld in drie groepen:

- ▶ *positievariëties van de gehele lasnaad*
Deze variaties ontstaan door translatie van beide te verbinden delen in één of meerdere hoofdrichtingen. Een translatie in de Y-richting heeft tot gevolg dat de toorts naast de lasnaad is gericht (figuur 1.2). Dit wordt uitlijning genoemd;

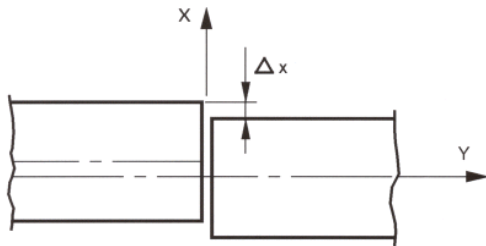


figuur 1.2 Uitlijning

- ▶ *oriëntatievariëties van de gehele lasnaad*
Deze variaties ontstaan door rotatie van beide te verbinden delen. Hierdoor verandert niet alleen de oriëntatie van de lasnaad ten opzichte van de lastoorts maar ook de ligging. Met name bij lange lasnaden kunnen de gevolgen groot zijn;
- ▶ *variëties van de lasnaadgeomètrie*
Deze variaties betreffen of positievariëties of oriëntatievariëties van één van de beide te verbinden delen. Hierdoor wijzigt per definitie de lasnaadvorm en het lasnaadvolume, waardoor in feite aanpassing van de lasparameters noodzakelijk is. Variaties van de lasnaadgeomètrie in X- en Y-richting leiden respectievelijk tot afwijkingen in de vooropening/spleetbreedte (figuur 1.3) en in de Z-richting tot het optreden van high-low (figuur 1.4).



figuur 1.3 Variaties in vooropening



figuur 1.4 High-low

Helaas zijn er voor de grootte van de toelaatbare toleranties geen algemene regels. De toelaatbare toleranties zijn afhankelijk van een complex van factoren, waaronder de materiaalsoort, de materiaalafmetingen, de laspositie, de lasnaadvorm, de toortshoek, de lassnelheid, de stroomsterkte en de uitsteeklengte. In de literatuur is hier slechts een beperkte hoeveelheid gegevens over beschikbaar. Zie bijvoorbeeld het DVS Merkblatt "Toleranzen beim vollmechanischen MAG Schweißen und beim Schweißen mit Industrieroboter" of de "Praktikrichtlinien". Bijlage 2 bevat een aantal van deze gegevens. Het is van groot belang dat van de gegevens, die mogelijk in literatuur worden gevonden, wordt nagegaan of ze ook van toepassing zijn op het eigen product. Als dit niet het geval is, zal men aan de hand van kwalificatieproeven deze gegevens zelf boven tafel moeten krijgen. Men kan deze proeven ook laten uitvoeren door de robotleverancier of door een onderzoeks- of opleidingsinstituut. Het toepassen van kengetallen en vuistregels is gevaarlijk, omdat dan mogelijk van onjuiste gegevens wordt uitgegaan. Hierdoor kunnen hogere kosten ontstaan. Als men bijvoorbeeld uitgaat van te nauwe toleranties, zal men te veel kosten aan de voorbewerking besteden. Gaat men daarentegen uit van te ruime toleranties, dan zal een hoog afkeurpercentage en/of hoge reparatiekosten het gevolg zijn.

1.2 Constructieve eisen aan onderdelen en mallen

In de praktijk zal veelal blijken dat onderdelen, geschikt voor handmatig lassen, te ruime toleranties hebben voor robotlassen. Bij handmatig lassen kunnen de toleranties van de te lassen onderdelen redelijk ruim zijn. De lasser zorgt, bij het inleggen van de onderdelen in de mal, dat de speling zodanig wordt verdeeld dat het product goed lasbaar is. Hij kan per product kleine wijzigingen in het lasproces toepassen, bijvoorbeeld sneller of minder snel zijn toorts bewegen, of per product kiezen voor wel of niet pendelen. Bij robotlassen is dit niet mogelijk, de toleranties moeten altijd gelijk zijn en nog binnen tamelijk nauwe grenzen. Dit houdt in dat hogere eisen worden gesteld aan de maatvoering van de te lassen onderdelen.

Dit probleem kan men zowel vanuit het product, als vanuit de productie benaderen.

Het verbeteren van de maatvoering is een voor de hand liggende oplossing. Dit kan op verschillende wijzen plaatsvinden. Toeleveranciers van componenten zijn wellicht in staat tegen extra kosten een nauwkeurigere maatvoering te realiseren. Hierbij kan worden gedacht aan een beter onderhoud van een machinepark, het nauwkeurig afstellen van een schaar of het optimaliseren van de parameters, zoals toegepast bij het autogeen of plasma snijden. Bij gebruik van pijp- en profielmateriaal zal wellicht uitgangsmateriaal met nauwkeurigere toleranties moeten worden gebruikt.

Wanneer de vereiste toleranties met bovenstaande maatregelen niet bereikt kunnen worden, zal moeten worden overwogen om over te stappen op andere voorbewerkingprocessen. De introductie van een lasrobot kan zo de aanleiding vormen tot een verregaande reorganisatie van het productieproces. Bekende voorbeelden van dergelijke proceswijzigingen zijn het vervangen van het autogeen snijden door plasma snijden of het toevoegen van een machinale bewerking na het autogeen snijden en het vervangen van het knippen door het lasersnijden.

Het herontwerpen van het product leidt vaak tot nieuwe perspectieven. Zeker wanneer het een product betreft wat al een groot aantal jaren wordt geproduceerd, ziet men dat is nagelaten om het product aan te passen aan de mogelijkheden die nieuwe productietechnieken en materialen bieden. Verbeteringen kunnen vaak worden gerealiseerd ten aanzien van lasnaadvormen en lasnaadlengtes. Door bijvoorbeeld gebruik te maken van standaardprofielen worden enerzijds vaak laslengtes uitgespaard en wordt anderzijds een verbeterde maatvoering gerealiseerd.

Een verbetering kan ook schuilgaan in een wijziging van een bestaande las- of hechtmaal. Een lasmal die ontworpen is voor handmatig gebruik, zal zelden bruikbaar zijn in een gerobotiseerde situatie. Bij het ontwerp is immers rekening gehouden met de flexibiliteit van de arm en de pols van een lasser en niet die van een robot. Verder zijn de toortsen voor robotlassen vaak groter en zwaarder dan toortsen voor handmatig lassen.

Vaak ziet men dat de onderdelen van een constructie in een mal zonder meer tegen elkaar aan worden geplaatst zonder vaste positionering. Dit geeft de lasser de mogelijkheid de spelingen te verdelen. Er is dan echter geen sprake meer van een repeterende maatvoering. Het geniet daarom de voorkeur om de onderdelen te plaatsen tegen vaste aanslagen in de mal.

Indien er enige vrijheid bestaat ten aanzien van de procesparameters, kan men overwegen deze aan te passen. Bekende voorbeelden om de toelaatbare toleranties te vergroten zijn het verlagen van de voortloopsnelheid, het verlagen van de lasstroom, het toepassen van een pendelbeweging, het kiezen van een gunstiger laspositie en het gebruik van een kleinere lasdraaddiameter.

1.3 Regels voor een goed lastechnisch ontwerp

Bij het construeren van een product moet, behalve met bovengenoemde functionele en productietechnische eisen, vooral ook rekening worden gehouden met de lastechnische eisen.

Om bij productie-automatisering tot een lastechnisch verantwoorde constructie te komen, is de communicatie tussen de verschillende betrokken afdelingen van een nog groter belang dan bij de conventionele wijze van voortbrenging. Dit houdt voor de constructeur in, dat hij kennis neemt van de (on-)mogelijkheden van een robotsysteem. Hij zal verder betrokken dienen te zijn bij de invoering van het robotsysteem, zodat hij specifieke wensen kenbaar kan maken. Automatisering komt pas

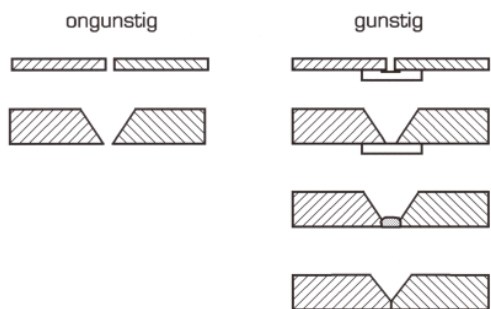
goed tot zijn recht wanneer de constructie en het productiesysteem op elkaar zijn afgestemd.

Tabel 1.1 bevat een aantal aspecten ten aanzien waarvan eisen worden gesteld bij het lastechnisch construeren van producten. In de laatste twee kolommen staat vermeld of die voorwaarden productietechnische- en/of functionele eisen betreffen. Deze aspecten zullen nader worden toegelicht.

1.3.1 Vloeiend krachtenverloop

Een stompe naadverbinding heeft voor een ongestoord krachtenverloop de voorkeur boven een niet stompe naadverbinding, waarbij per definitie een spleet overblijft tussen de te verbinden delen. Deze eis is vooral van belang bij een lasconstructie die wordt belast op vermoeiing, wanneer sprake is van een verhoogde werkdruk, zoals dat bij ketels het geval is, of bij corrosiegevoelige producten. Het realiseren van een doorlassing, zoals noodzakelijk is voor een stompe lasverbinding, stelt hoge eisen aan de maatvoering en de procesparameters. Deze eisen zullen bij geautomatiseerd lassen nog stringenter zijn dan bij het handmatig lassen. Vandaar dat bij het gerobotiseerd lassen bij voorkeur een lasnaad zonder vooropening wordt toegepast, waardoor de lasnaad zeer nauwkeurig kan worden aangebouwd. Een aanbouw op deze wijze heeft als groot extra voordeel dat de krimpverschijnselen tijdens het lassen minimaal zijn, waardoor de robot nauwkeuriger de verschillende lasnaden kan volgen.

Wanneer toch open wordt aangebouwd, kan gebruik worden gemaakt van een lasbadondersteuning (zie figuur 1.5).



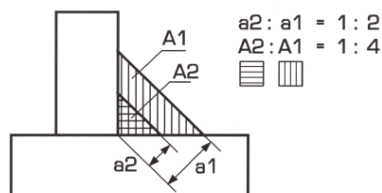
figuur 1.5 Lasnaadvormen ten behoeve van stompe verbindingen

1.3.2 Minimale lasdoorsnede

Vaak wordt een juiste berekening van de benodigde lasnaadhoogte (de a-hoogte bij hoeklassen) achterwege gelaten en wordt de vuistregel gehanteerd dat de lasnaadhoogte gelijk is aan 0,6 maal de minimale plaatdikte.

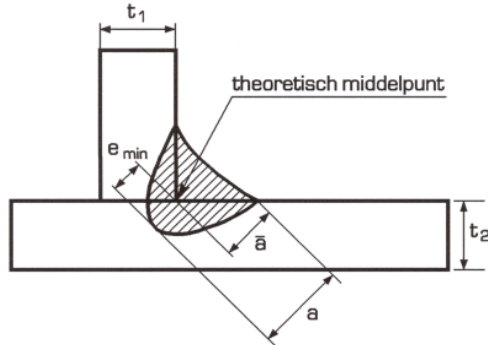
Dit resulteert vaak in een te zware las met de bijbehorende financiële en technische nadelen, doordat er te veel kosten worden gemaakt en er te veel krimp optreedt. Vandaar dat het verstandig is om de minimale lasdoorsnede te bepalen voor de toegestane belasting (aan de hand van de constructieregels van de betreffende toepassing). Juist bij robotlassen is dit nuttig, omdat de robot in staat is een eenmaal ingegeven a-hoogte constant te houden.

Indien de geometrie van het product dat toelaat, heeft het vergroten van de laslengte de voorkeur boven het vergroten van de lashoogte. Ten aanzien van de sterkte heeft een verdubbeling van de laslengte hetzelfde effect als een verdubbeling van de doorsnede van de ("a-hoogte"). Het lasvolume echter zal voor beide situaties wel aanzienlijk verschillen. Een verdubbeling van de a-hoogte leidt tot een verviervoudiging van het lasvolume terwijl een verdubbeling van de laslengte slechts leidt tot een verdubbeling van het lasvolume (figuur 1.6). In het eerste geval zal daarom een grotere krimp optreden. Zowel uit economisch oogpunt als uit technisch oogpunt heeft een verlenging van de laslengte daarom de voorkeur boven een verhoging van de a-hoogte.



figuur 1.6 Verhouding tussen lasnaadhoogte en lasnaadvolume

Door gebruik te maken van een gecontroleerde positieve inbranding van de las is het soms mogelijk deze bij de berekening mee te nemen bij het bepalen van de a-hoogte (figuur 1.7). Ook in dit opzicht heeft gebruik van een robot, door zijn reproduceerbaar gedrag, voordelen boven handmatig lassen.



figuur 1.7 Meerekenen van de inbranding

tabel 1.1 Overzicht van de eisen voor een goed lasontwerp

	lastechnische eisen	productietechnische eisen	functionele eisen
Vloeiend krachtenverloop			X
Minimale lasdoorsnede	X		X
Materiaaleigenschap	X	X	X
Lasnaadvormen	X		X
Naadopeenhopingen en kruisingen vermijden	X	X	X
Lasnaad in minst belaste zone plaatsen		X	X
Trekspanningen in dikterichting vermijden			X
Lasvolgorde en krimp	X	X	
Toegankelijkheid van de lasnaad	X	X	
Laspositie	X	X	
Complexiteit van het product	X	X	

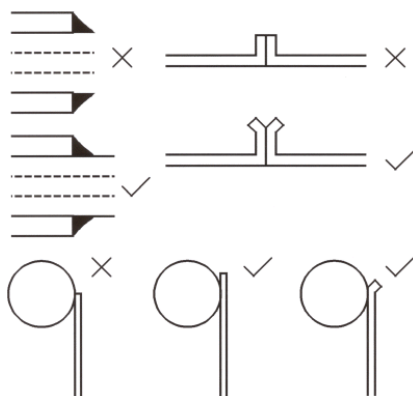
1.3.3 *Materiaaleigenschappen*

Ten aanzien van het materiaal kan onderscheid worden gemaakt tussen eisen aan de geometrie van de halffabrikaten c.q. onderdelen en eisen gesteld aan de metallurgische materiaalkwaliteit. Eisen aan de geometrie zijn eerder in dit hoofdstuk al ter sprake geweest.

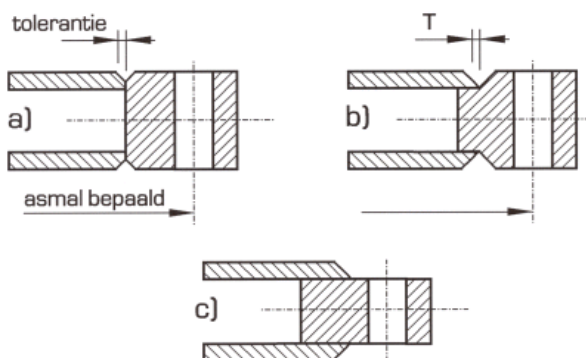
Robots zijn in staat om met relatief hoge voortloop- en neersmeltsnelheden te lassen. Er kunnen echter metaalkundige problemen worden veroorzaakt als de neersmeltsnelheid te hoog is in relatie tot de voortloopsnelheid. Door echter een voldoende hoge voortloopsnelheid te kiezen, kan de warmte-inbreng, en daarmee de kans op warmscheuren, gereduceerd worden. Door middel van een kwalificatieproef zullen vooraf de mechanische en technologische eigenschappen van de lasverbinding moeten worden bepaald. Eventueel dienen de metallurgische eigenschappen, zoals chemische samenstelling of leveringstoestand hierop te worden aangepast.

1.3.4 *Lasnaadvormen*

Indien mogelijk moeten lasnaadvormen worden gekozen die met het oog op het gekozen lasproces grote toleranties toelaten. Bij binnenhoeklassen en overlappen kunnen in het algemeen grotere toleranties worden toegelaten dan bij stompe lasnaden en bij hoekverbindingen met buitenhoeklassen. Bovendien kunnen bij de eerstgenoemde naadvormen vaak hogere lassnelheden worden gerealiseerd. Figuur 1.8 toont enige typische voorbeelden van toegepaste wijzigingen in lasnaadvormen, waardoor grotere (aanbouw-)toleranties mogelijk worden. Het toepassen van een smeltbadondersteuning ("backing") vergroot eveneens de toelaatbare tolerantie en kan vaak tegen minimale kosten worden gerealiseerd, zoals in figuur 1.9 wordt getoond. Figuur 1.9 toont twee verbeteringen die kunnen worden toegepast op een buitenhoeknaad.



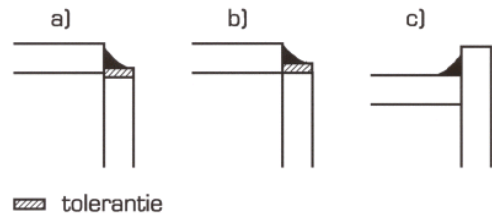
figuur 1.8 Verbetering van procestoleranties door aangepast naadontwerp



figuur 1.9 Herontwerp met smeltbadondersteuning:
a) originele stompe naad;
b) met interne backing;
c) met hoeklas

1.3.5 *Naadopeenhopingen en kruisingen vermijden*

Door opeenhoping van lassen treden hoge meerassige spanningen op, die de sterkte van het product zeer nadelig beïnvloeden en aanleiding kunnen geven tot scheurvorming, zonder dat de belasting daarvoor aanleiding geeft.



figuur 1.10 Alternatieve lasnaadvormen voor een buitenhoeknaad:
a) neigt tot doorzakken;
b) grotere procestolerantie, betere inbrandingscontrole;
c) hoeklassen laten de grootste procestoleranties toe

Als elkaar kruisende lasnaden onvermijdelijk zijn, dan dient in ieder geval de lasvolgorde zo te worden gekozen, dat eerst dwarsnaden en pas daarna langsnaaden worden gelast.

1.3.6 *Lasnaden in minst belaste zone plaatsen*

Lassen vormen met betrekking tot de belastingdoorgang altijd een nadelige factor. De constructeur kan hiermee zoveel mogelijk rekening houden bij de keuze van de plaats van de lasnaad en het stadium waarin deze wordt gelast (sub- of hoofdsamenstelling). De lasnaden moeten voorts zo zijn gepositioneerd, dat de belasting liefst in de lengterichting werkt en zo weinig mogelijk aanleiding geeft tot scheeffrekken van het onderdeel of product. Verder verdient het aanbeveling de lassen zo veel mogelijk op de neutrale lijn van het materiaal te plaatsen.

Trekspanningen in dikterichting vermijden.

In verband met het voorkómen van laminaire scheurvorming, maar ook tengevolge van de veranderingen in mechanische sterkte van materialen als gevolg van het lassen, moet trek loodrecht op het plaatoppervlak worden vermeden.

1.3.7 *Lasvolgorde en krimp*

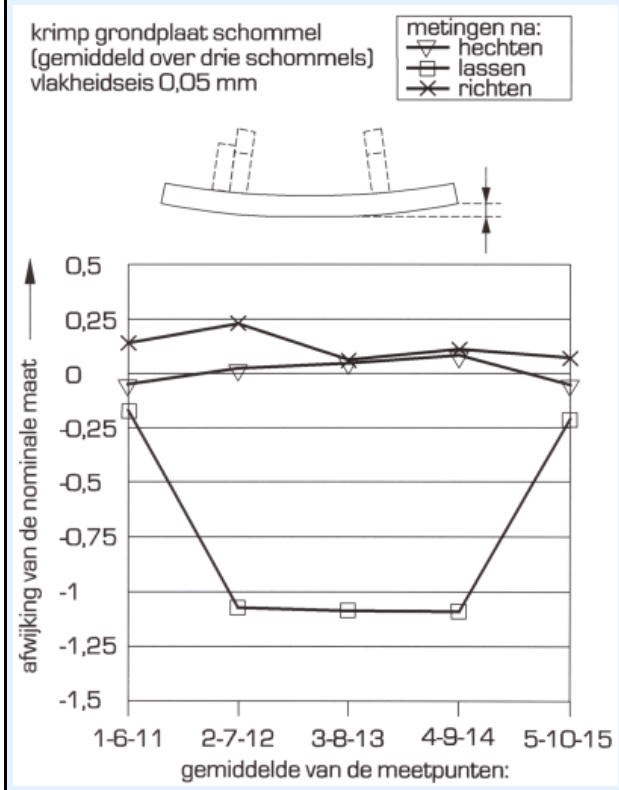
Als gevolg van laskrimp kunnen vervormingen optreden binnen een constructie (zie voorbeeld I). Met name roestvast staal en aluminium staan hierom bekend, maar ook gewoon constructiestaal kan aanzienlijke vervormingen ondergaan. De ligging van lasnaden kan hierdoor zo sterk wijzigen, dat ontoelaatbare lasfouten ontstaan, doordat de robot de lasnaden niet nauwkeurig genoeg meer volgt. Vandaar dat bij het gerobotiseerd lassen vrije krimp zoveel mogelijk verhinderd dient te worden. Dit heeft tot gevolg dat enerzijds een grote maatvastheid wordt gerealiseerd, waardoor weinig richtwerk hoeft plaats te vinden, maar dat anderzijds grote inwendige spanningen zullen optreden. Dit vereist extra aandacht bij brosse materialen.

De constructeur kan rekening houden met de krimp door de locatie van de las en de lasnaadvorm doordacht te kiezen. Symmetrische lasnaadvormen, zoals een X-naad, kennen minder dwarskrimp dan een asymmetrische lasnaadvorm, zoals een V-naad. Grote verbetering kan ook optreden door een uitgekiende lasvolgorde te hanteren. Een robot is in staat dit zeer repeteerbaar uit te voeren, waardoor de krimp minimaal maar ook constant zal zijn.

VOORBEELD I

Indien veel warmte in een product wordt gebracht, bijvoorbeeld doordat het geheel moet worden afgelast, is er een grote kans op krimpen en vervormen. Bij roestvast staal is de kans hierop nog groter. De figuur geeft de vlakheid van de bodem van het RVS product uit voorbeeld II, na hechten, aflassen en richten. Dit product moest gericht worden om een eenduidig opspanvlak voor de nabewerking te krijgen.

Bij handmatig lassen zou ook vervorming zijn opgetreden, maar minder, omdat de neersmeltsnelheid en de voortloopsnelheid lager zijn. Indien dit soort producten serie-matig moet worden vervaardigd, zal de mal de krimp- en vervormingsverschijnselen moeten tegengaan.



Bij het programmeren van de robot kan op de krimp worden geanticipeerd. Een andere mogelijkheid is voor het lassen al rekening met de krimp te houden, door de onderdelen iets bovenmaats of onder een hoek ten opzichte van elkaar te hechten of te positioneren in een lasmal, zodat na afkoelen van de lasverbinding de juiste maatvoering kan worden benaderd.

Bij ingewikkelde producten zal de krimp van het werkstuk onder andere afhangen van de lasvolgorde, zodat men bij het programmeren niet weet met welke maatafwijking men rekening moet houden. Om dit vast te kunnen stellen, zal van het product een nulserie moeten worden vervaardigd met de robot. Na het lassen van de nulserie kunnen de vervormingen van het product worden bepaald en kunnen ontoelaatbare afwijkingen worden gecorrigeerd door onder andere het wijzigen van de lasvolgorde.

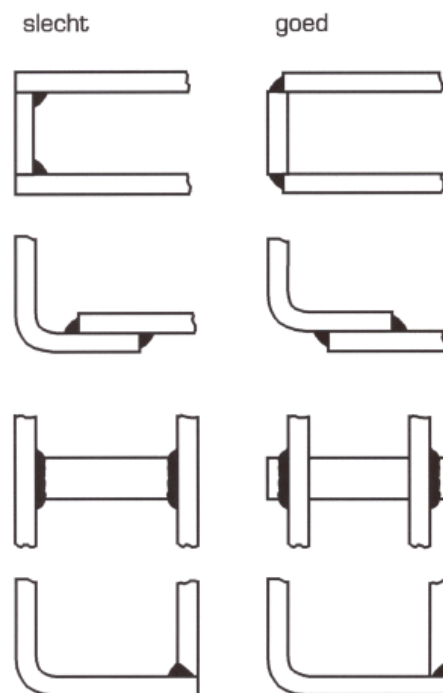
Bereikbaarheid van de naad

De lasnaad dient niet alleen voor de lastoorts bereikbaar te zijn, maar ook voor de robotarm, die relatief grote afmetingen heeft en tijdens de afloop van het programma ook een bepaalde ruimte in beslag neemt. Dit veroorzaakt vooral bij complexe werkstukken met ingewikkelde manipulatie en bijbehorende lasmallen veel hoofdbreken. Computersimulatie lijkt op papier een oplossing,

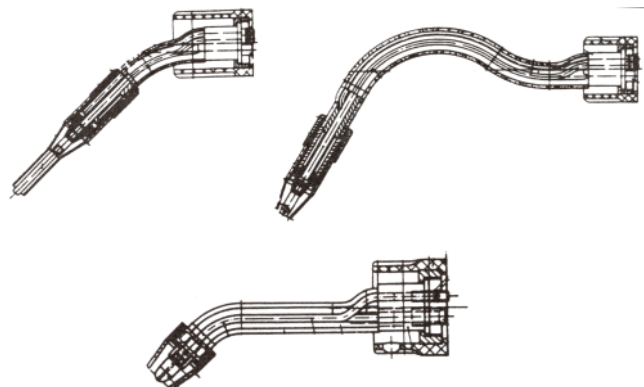
maar is in de praktijk als gevolg van de lange programmeertijd en de vereiste capaciteit voor weinig bedrijven uitvoerbaar.

Om botsingen tussen de lastoorts en het werkstuk of de mal te voorkomen, moet bij het lassen met een robot rekening worden gehouden met:

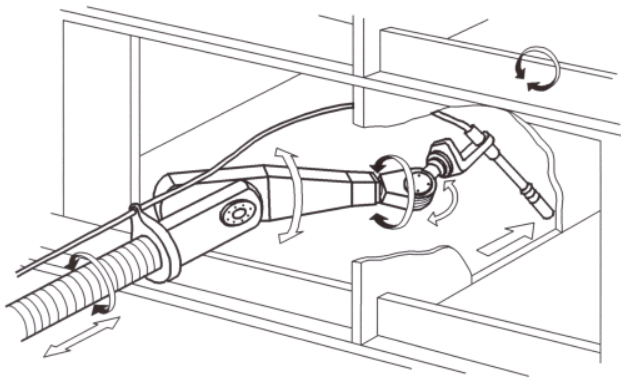
- ▶ de plaats van de lasnaad (figuur 1.11);
- ▶ de afmetingen van de toorts inclusief slangenpakket en de vorm van de toorts (figuur 1.12). Ook zal bij het lassen van lasnaden die gepositioneerd zijn aan de binnenkant van een product, rekening moeten worden gehouden met de benodigde ruimte die de robotarm nodig heeft om de lastoorts in de juiste positie te brengen (figuur 1.13);
- ▶ de spanelementen. Deze moeten zo veel mogelijk geplaatst worden buiten het werkstuk en buiten het gebied waar de robotarm of toorts gepositioneerd moet worden om een optimale las te krijgen;
- ▶ sensoren. Door de afmetingen van de sensoren en de locatie van de sensor dichtbij de lastoorts zal de bereikbaarheid van de lasnaad afnemen.



figuur 1.11 Locatie van de lasnaad



figuur 12 Diverse uitvoeringen van een laspistool



figuur 13 Het lassen binnen het product

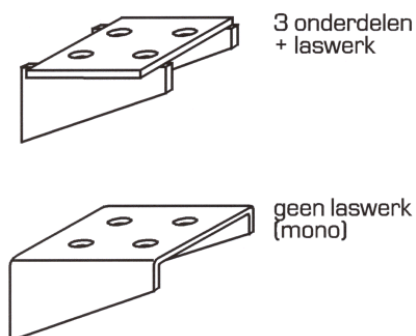
Tevens heeft het de voorkeur om de lasnaden zo uit te voeren dat het product in één opspanning kan worden gelast. Is dit niet mogelijk, dan zal dit problemen geven met de toleranties.

1.3.8 Laspositie

Wanneer onder de hand wordt gelast, kunnen hoge las- en neersmeltsnelheden en een goede laskwaliteit worden gerealiseerd. Bovendien zijn de toelaatbare toleranties het grootst. Bij voorkeur dient het ontwerp daarom dusdanig zijn, dat zoveel mogelijk lasnaden onder de hand kunnen worden gelast. Afhankelijk van de beschikbare manipulatoren en de mogelijkheden van het product zelf kan het gebruik van een manipulator, waarmee het product in de gewenste positie kan worden gedraaid, worden overwogen.

1.3.9 Complexiteit

Een maat voor de complexiteit van het product is het aantal onderdelen waaruit het is opgebouwd. Het geniet de voorkeur om dit aantal laag te houden door standaardisatie toe te passen. Zo wordt het aantal handelingen beperkt en kan bijvoorbeeld een eenvoudiger mal worden toegepast (de z.g. "productfamilie"). Vaak wordt gesteld: "de beste las is geen las". Alhoewel deze regel nogal ongenueanceerd is, schuilt er een duidelijke kern van waarheid in. Naast het lassen dienen andere mogelijkheden te worden overwogen zoals gieten, verspanen en omvormtechnieken, waardoor verschillende onderdelen kunnen worden vervangen door één monodeel (figuur 1.14).



figuur 1.14 De beste las is geen las

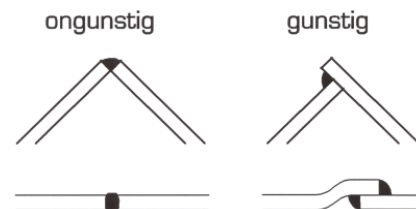
Uiteraard kennen ook deze alternatieven hun eigen specifieke problemen. Zo kan bijvoorbeeld veroudering optreden bij het lassen van koudvervormde delen. Het is dan ook van belang dat een goede afweging wordt gemaakt.

1.4 Specifieke voorwaarden met betrekking tot dunne plaat

De grootte van de toleranties wordt in hoge mate beïnvloed door de dikte van de te verwerken materialen. Bij dikkere materialen (> 3 mm) kunnen vaak hogere toleranties worden toegelaten door gebruik te maken van een pendelende lasbeweging, zonder dat dit ten koste gaat van het eindresultaat. Een pendelende lasbewerking is in verband met de langere lastijd economisch echter minder gunstig. Bij dunne plaat zijn er echter beperkingen, waar terdege rekening mee moet worden gehouden.

Dunne plaat dient met een beperkte warmte-inbreng te worden gelast. Dit kan worden bereikt door of de lasstroom te minimaliseren, of de voortloopsnelheid te verhogen. De laatste optie heeft als nadeel dat de toelaatbare toleranties dan in het algemeen afnemen.

Het beperken van de warmte-inbreng is van belang, omdat dun materiaal minder snel zijn warmte kwijft kan dan dik materiaal waardoor de thermische belasting hoger wordt. Hierdoor zullen eerder ongewenste smeltverschijnselen optreden, wat het doorbranden van de lasnaad tot gevolg kan hebben. Om deze reden zijn binnenhoeklassen en overlappende verbindingen een veel gunstiger alternatief voor buitenhoeklassen en stuikverbindingen (figuur 1.15).



figuur 1.15 Verbeterde lasnaadvorm bij dun plaatmateriaal

Indien de toepassing van een buitenhoeklas en/of een stuikverbinding onvermijdelijk is, kan men gebruikmaken van een al dan niet gekoelde lasbadondersteuning. Sterke richtingsveranderingen in een doorlopende las dienen te worden voorkomen, omdat de thermische belasting op de hoekpunten dan te hoog kan oplopen. De aanbevolen minimale radius is 15 mm.

Bij het lassen zijn krimpverschijnselen niet te vermijden, echter wel te beperken en te sturen. Doordat een robot bij dunne materialen in staat is met hogere voortloopsnelheden te lassen dan een handlasser, zullen de krimpvervormingen al afnemen. Een mogelijkheid om de krimp verder te beperken, is het product te koelen in de lasmal, bijvoorbeeld met behulp van watergekoelde koperen strips.

Een bewerking die veelvuldig wordt toegepast bij de verwerking van dun plaatmateriaal is de zetbewerking. Deze bewerking kent slechts een beperkte nauwkeurigheid. De onvermijdelijke variaties in plaatdikte, mechanische eigenschappen en de slijtage van de messen vertalen zich in variaties van de zethoek. Indien enigszins mogelijk, geniet het gebruik van standaardprofielen dan ook de voorkeur. In de meeste gevallen zal dan echter wel gebruik moeten worden gemaakt van profielen met een verhoogde nauwkeurigheid. In de praktijk blijkt gewoon profielmateriaal namelijk zeer ruime toleranties te hebben.

Het zetten in combinatie met lasersnijden heeft in de meeste gevallen de voorkeur. Ook kunnen de constructeurs rekening houden met de vormen van het zetten, zodat er minder gelast hoeft te worden aan een product. Grote toleranties van de zetbewerking kunnen worden gecompenseerd door de onderdelen in de mal op maat te drukken, maar hiermee brengt men echter wel spanningen in het product.

2 Eisen aan een lasmal voor het lassen met een robot

Om een product succesvol met een robot te kunnen lassen is het noodzakelijk dat de onderdelen met een bepaalde nauwkeurigheid aan de robot worden aangeboden. Deze stelling is al eerder verkondigd, maar is dermate essentieel dat het best nog eens gezegd mag worden. Enerzijds dienen de verschillende onderdelen van het product aan de tolerantie-eisen te voldoen, maar daarnaast dienen deze onderdelen ten opzichte van elkaar en van de robot voldoende nauwkeurig te worden gepositioneerd. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van een lasmal waarin de verschillende onderdelen worden opgespannen. Een lasmal is een uniek stuk gereedschap, dat per product of per familie van producten wordt vervaardigd. Om tot een goed ontwerp te komen, is het zaak een goed inzicht te hebben in de verschillende factoren die de werking van de lasmal beïnvloeden. In dit hoofdstuk worden deze factoren behandeld.

2.1 Indeling van mallen

Lasmallen kunnen worden ingedeeld naar de volgende kenmerken: inzetbaarheid, bewerking en locatie.

2.1.1 Inzetbaarheid

Wanneer we de inzetbaarheid als uitgangspunt kiezen, kunnen lasmallen worden verdeeld in vaste en flexibele uitvoeringen. Onder een vaste mal wordt een mal verstaan die voor slechts één product wordt toegepast, waarbij de productvariëaties niet kunnen worden opgevangen door de mal. Per product is er dus sprake van één unieke mal. Bij het gebruik van een flexibele mal kunnen meerdere soortgelijke producten worden gelast in één mal. De variaties tussen de producten kunnen door eenvoudige verstellingen aan de mal worden opgevangen. Het voordeel van het toepassen van een flexibel inzetbare mal is gelegen in de korte omsteltijden die het lassen van een ander product met zich meebrengt.

Het gebruik van vaste mallen heeft als consequentie, dat voor elk ander product de complete mal zal moeten worden verwisseld. Afhankelijk van de afmetingen en het aantal verschillende producten zal de ruimte die de opslag van de lasmallen vergt ook een argument vormen bij de keuze tussen meerdere vaste mallen of één flexibele mal.

Het voordeel van een vaste mal is dat deze geoptimaliseerd kan worden voor één bepaald product, zonder dat concessies hoeven te worden gedaan ten behoeve van andere producten. In vergelijking met een vaste mal zal een flexibele mal complexer zijn uitgevoerd in verband met de verstelmogelijkheden. Dit maakt een flexibele mal storingsgevoeliger. Naarmate de mal is opgebouwd uit meerdere delen, zal door slijtage en vervuiling de nauwkeurigheid sneller afnemen.

2.1.2 Bewerking

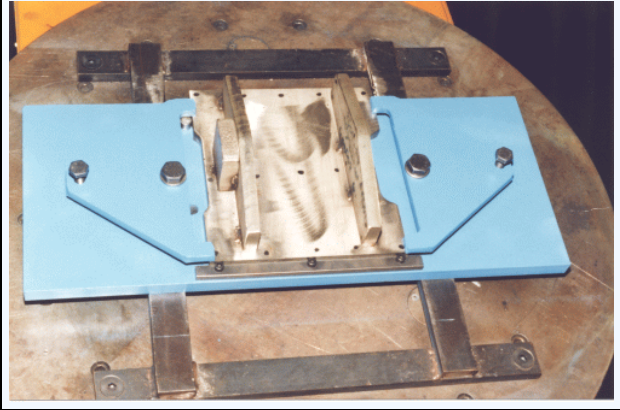
Tot nu toe is alleen gesproken over het direct aflassen van het product, nadat de onderdelen in een mal zijn opgespannen. Het kan echter ook voordelig zijn om de onderdelen eerst (handmatig) te hechten in een hechtmal. Vervolgens kan het product of in dezelfde hechtmal of in een aparte lasmal worden afgelast door de robot. Indien gebruik wordt gemaakt van een aparte lasmal, kan de hechtmal lichter van uitvoering zijn, doordat geen krimpkrachten opgevangen hoeven te worden.

De lasmal kan bovendien aanzienlijk eenvoudiger worden uitgevoerd, doordat de onderdelen al op de juiste wijze ten opzichte van elkaar zijn gepositioneerd (zie voorbeeld II).

De noodzaak tot het apart hechten en lassen is afhankelijk van de complexiteit van het product. Hoe complexer

VOORBEELD II

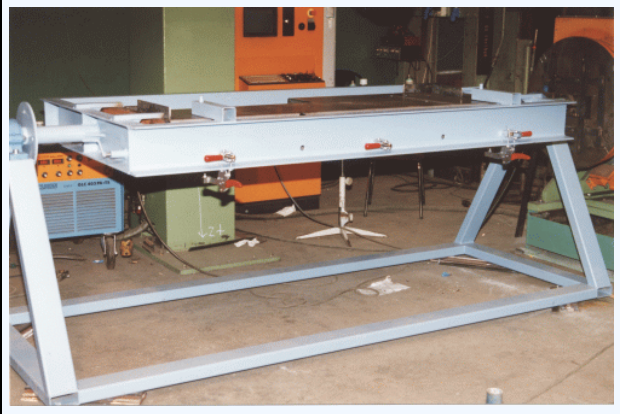
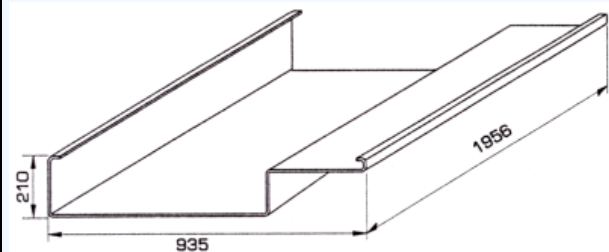
Door de onderdelen van een product voor het lassen te hechten, kan de lasmal eenvoudig worden uitgevoerd. Onderstaande foto geeft hiervan een voorbeeld. Het product bestaat slechts uit vier onderdelen. Alle onderdelen dienen echter wel rondom te worden afgelast. Doordat het product in kleine series wordt vervaardigd, is het uit kostenoverweging niet zinvol een dure lasmal met klemrichting te maken. Daarom is gekozen om de onderdelen met behulp van een eenvoudige hechtmal te hechten en daarna met onderstaande mal af te lassen. Hierbij moet er wel op worden gelet dat de aanslagen in de hecht en lasmal gelijk zijn, anders bestaat het risico dat de robot de las niet op de juiste plek legt.



het product, des te groter het aantal aanslagen en spanelementen. Hierdoor kan de praktische uitvoerbaarheid van de mal een probleem gaan vormen, mede doordat de bereikbaarheid van de lasnaden gewaarborgd moet blijven (zie voorbeeld III).

VOORBEELD III

Sommige producten bestaan uit zoveel onderdelen dat het niet mogelijk is een mal te construeren, waarin alle onderdelen kunnen worden opgespannen. In onderstaande tekening staat het hoofdprofiel van een product aangegeven waarin 20 tot 30 onderdelen worden gelast. De mal (zie foto) is er op gericht alleen de buitenmaten goed te positioneren (3 onderdelen). In het hoofdprofiel zijn met een laser referentiegaten gesneden, die worden gebruikt voor de aanslagen van de mal. De overige onderdelen worden met de hand gehecht.



Ook wanneer van onderdelen wordt vereist dat ze zonder overbodige starts en stops rondom worden afgelast, kan vooraf hechten noodzakelijk zijn.

Een groot bezwaar van het vooraf hechten van de onderdelen is de extra bewerkingstijd die ermee is gemoeid: grofweg zal het hechten evenveel tijd in beslag nemen als het aflassen.

2.1.3 Locatie

Een lasmal kan zowel vast (stationair) bij een robot worden geplaatst als verplaatsbaar worden uitgevoerd. Een stationaire mal zal worden toegepast wanneer er sprake is van grote series, of wanneer de mallen dusdanig groot zijn, dat ze moeilijk verplaatsbaar zijn. Een alternatief kan dan zijn, dat de robot zelf bijvoorbeeld met een langsgleiding verplaatsbaar wordt uitgevoerd.

Indien de mal regelmatig moet worden verwisseld, dient deze verplaatsbaar te zijn. Hiertoe kan de mal worden uitgevoerd met wieltjes of met ogen waarmee de mal met een kraan kan worden verplaatst. Het is uiteraard van groot belang dat de mal bij herhaald gebruik steeds weer op dezelfde positie ten opzichte van de robot wordt geplaatst. Hiertoe is het verstandig om op het basisframe paspennen aan te brengen, waarmee de mal op éénduidige wijze op een vaste tafel bij de robot of op een manipulator kan worden bevestigd. Binnen de verschillende mallen die worden toegepast is enige uniformiteit nodig om bij de plaatsing van de mallen gebruik te kunnen maken van dezelfde referentiepunten.

In figuur 2.1 is een robotsysteem weergegeven, waarbij de uniformiteit van de verschillende lasmallen zover is doorgevoerd, dat de lasmallen volledig geautomatiseerd op een manipulator kunnen worden gespannen.

2.2 Opbouw van een lasmal

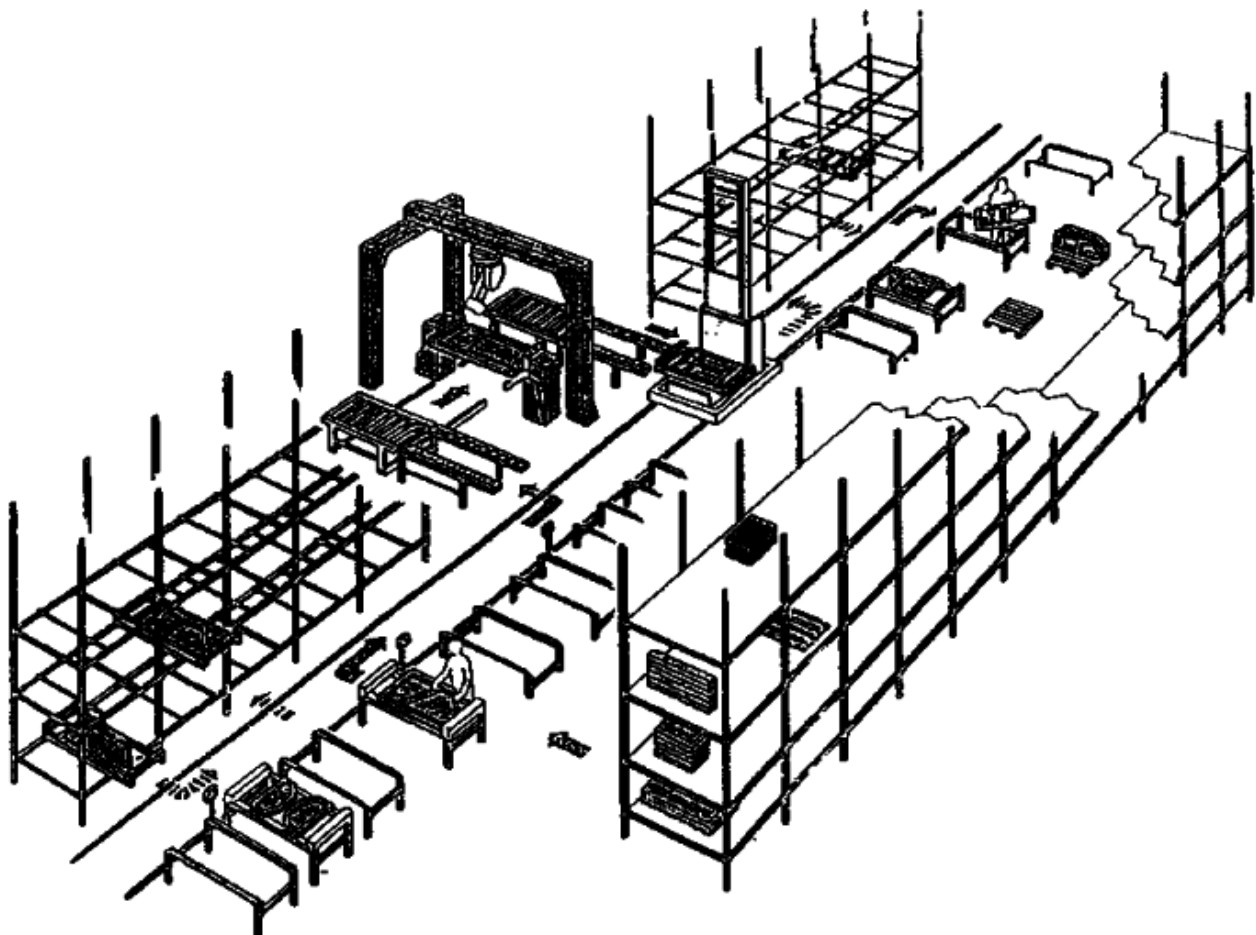
De opbouw van een lasmal is in principe eenvoudig: een basisframe met daarop bevestigd een aantal aanslagen en spanmiddelen. Deze elementen komen verderop in dit hoofdstuk aan de orde.

Het basisframe kan bestaan uit een vakwerk of een lijst. Een dergelijk basisframe maakt het mogelijk dat een product van twee zijden kan worden gelast. De mal kan, indien bevestigd op een manipulator, worden gerooteerd. Het vakwerk of de lijst wordt opgebouwd uit bijvoorbeeld rechthoekige of IPE-profielen. Dergelijke profielen hebben een grote stijfheid ten opzichte van het eigen gewicht. Bovendien bieden ze voldoende ruimte om er de verschillende elementen op te bevestigen. Bij het bepalen van de benodigde stijfheid dient met een aantal zaken rekening te worden gehouden:

- ▶ het transportrisico;
- ▶ het gewicht van het product en de mal,
- ▶ de laskrimp;
- ▶ massa-traagheidsmomenten die optreden wanneer de mal wordt gemanipuleerd.

Het gebruik van kokerprofielen kan als voordeel hebben dat bij gebruik van pneumatische of hydraulische spanmiddelen de leidingen hiervan beschermd door de kokers kunnen worden geleid.

Een andere mogelijke uitvoeringsvorm van een basisframe is een tafelblad, waar het product vlak op komt te liggen. Een tweezijdige benadering door de lastoorts van het product is dan niet mogelijk en manipulatie van de mal zal slechts in een beperkt aantal situaties zinvol zijn. Het tafelblad wordt gevormd door een stuk plaatmateriaal van behoorlijke dikte. Op het tafelblad worden de verschillende aanslagen en spanmiddelen bevestigd.



figuur 2.1 Robotsysteem met volledig geautomatiseerd laden en lossen van lasmallen

De panelementen en aanslagen moeten op de juiste, meest effectieve plaatsen worden bevestigd, zodat de op te vangen krachten en eventuele vervormingen zo klein mogelijk blijven. In het algemeen zal dit zo dicht mogelijk bij de lasnaden zijn. Bij het plaatsen van de panelementen dient er rekening mee te worden gehouden dat een product, nadat het is gelast, ook nog moet kunnen worden uitgenomen: een klassieke fout bij het construeren van lasmallen.

Zoals elders in deze publicatie al aangegeven kan lasrimp een groot probleem vormen tijdens het lassen, in het bijzonder bij roestvaststalen producten. Een mogelijkheid om deze rimp te beperken, is het koelen van het product. Hiertoe worden in de mal op gedeelten dichtbij de lasnaden kanalen of leidingen aangebracht waar continue water doorheen stroomt. Voor een goede koeling is het van belang, dat een zo groot mogelijk contactvlak tussen de koelvlakken van de mal en het product wordt gerealiseerd en dat de koelvlakken vervaardigd worden uit een materiaal met een goede warmtegeleiding, bijvoorbeeld koper. Via warmtegeleiding zal het product zijn warmte sneller kwijt raken en daardoor minder krimpen. Watergekoelde mallen hebben in de praktijk wel toepassing gevonden, maar zijn in het algemeen complex en brengen daardoor hoge kosten met zich mee.

2.3 Toegankelijkheid

Bij het ontwerp van een lasmal zal men rekening moeten houden met het gemak waarmee de onderdelen kunnen worden gepositioneerd en de ruimte die de robot nodig heeft om te kunnen lassen. Zoals al aangegeven geniet het vaak de voorkeur om de aanslagen en spanners dicht bij de lasnaad te plaatsen. Dit gaat echter ten koste van de bewegingsvrijheid die de robot heeft in de buurt van de lasnaad. Er zal dan ook naar een compromis moeten worden gezocht.

Alvorens te starten met het ontwerpen van een lasmal, is het van groot belang een goed inzicht te krijgen van de ruimte die de robotarm en de lastoorts zullen innemen tijdens de afloop van het robotprogramma. Een goede methode om dit inzicht te verkrijgen, is het bevestigen van een gehecht of gelast product op de locatie waar deze door de robot zal worden gelast. Vervolgens dienen alle lasnaden door de lastoorts in de juiste laspositie te worden benaderd, waarbij de ruimte die door de robot wordt ingenomen nauwkeurig dient te worden geregistreerd. Dit kan bijvoorbeeld aan de hand van tekeningen of simulatie gebeuren.

Een geavanceerd maar duur alternatief voor de bovenstaande methode is het gebruik van een grafisch simulatiepakket. Met een dergelijk pakket kan een volledig driedimensionale simulatie van de afloop van een robotprogramma op een computerbeeldscherm worden uitgevoerd. Tijdens deze simulatie kunnen botsingsanalyses tussen de robot enerzijds en het product en mal anderzijds worden uitgevoerd. De mogelijkheden van dergelijke pakketten strekken echter nog veel verder. Zo kan een robot off-line worden geprogrammeerd en kan een volledige logistieke analyse van het gehele productieproces worden uitgevoerd. Het zijn juist deze mogelijkheden die de aanschaf van een dergelijk pakket moeten rechtvaardigen.

Voor de opspantafel is een ergonomisch verantwoorde werkhoogte van belang. Indien de mal roteerbaar is uitgevoerd, is de operator er mee gediend dat de mal, tijdens het inleggen van de onderdelen, naar hem/haar toe is gekanteld, waardoor niet te ver over de mal hoeft te worden gereikt.

2.4 Nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid

Een goede fundatie van de robot en eventuele manipulators is van groot belang voor het verkrijgen van een

goede nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid. Bij een slechte fundatie zullen maatafwijkingen optreden en kan het lasproces door trillingen worden beïnvloed. Het toepassen van één fundatie voor zowel de robot als de manipulators verdient de voorkeur.

Bij het bepalen van de belasting op de mal met manipulator zal naast het gewicht en zwaartepuntsligging van het product ook rekening moeten worden gehouden met de afmetingen en het gewicht van de opspangereedschappen, schakeltijden en de draaimomenten van de manipulator. Dit speelt vooral een rol bij het toepassen van pneumatische cilinders voor het roteren van de mal of het product. Bij een pneumatische cilinder heeft de belasting invloed op de bewegingssnelheid van de zuiger. Zal nu een product op de mal worden gelast met een ander zwaartepuntsligging of gewicht, dan verandert de belasting op de zuiger, zodat de snelheid van het roteren van het product en de positionnauwkeurigheid wijzigen.

Veelvuldig worden ontwerpen voor mallen te licht uitgevoerd, waardoor na verloop van tijd de vereiste nauwkeurigheden niet meer gehaald worden. Het gevolg is dat er al vrij snel aanpassingen moeten worden uitgevoerd.

Slijtage en vervuiling van de mallen kunnen tot gevolg hebben dat de gestelde eisen ten aanzien van de nauwkeurigheid niet meer worden gehaald. In het ontwerp stadium kan men hier al rekening mee houden, door op kritische plaatsen slijtvastere materialen toe te passen of door de paspennen en aanslagpunten uitwisselbaar uit te voeren. Men kan hierbij denken aan hardstalen paspennen en minder vervuilingsgevoelige materialen. Net als met ander gereedschap moet ook hier met mishandeling rekening worden gehouden, wat inhoudt dat de mal net iets sterker en stijver moet zijn dan strikt genomen noodzakelijk.

Essentiële delen van de mal waarop zich lasspatten kunnen hechten, kunnen van koper worden uitgevoerd. Een alternatief is het aanbrengen van spatschermen die essentiële delen zoals aanslagen beschermen tegen de lasspatten. De uitvoering van deze schermen is sterk afhankelijk van het ontwerp van de mal en wordt meestal uitgevoerd in dunwandig plaatmateriaal. De spatschermen moeten demonteerbaar worden uitgevoerd, zodat deze tijdens onderhoudsbeurten kunnen worden vervangen. De locatie en vorm van de spatschermen dienen dusdanig te zijn, dat er noch tijdens het in- en uitnemen van het product, noch tijdens de afloop van het robotprogramma hinder van wordt ondervonden.

2.5 Positioneren van de onderdelen

Als basis voor het positioneren van een werkstuk geldt de 1-2-3 regel, die ook wordt toegepast als basis voor de spanttechnologie bij het verspanen.

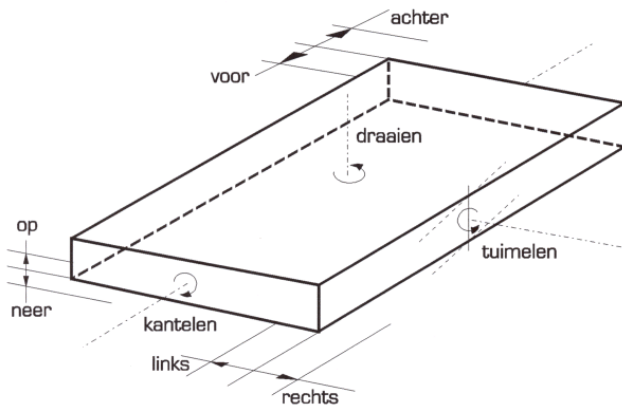
Deze regel zal in het kort worden uiteengezet.

De ruimtelijke positie van een vrij bewegend lichaam kan worden beschreven door deze te plaatsen in een X-Y-Z assenstelsel. Het lichaam kan in dit stelsel evenwijdig aan de drie assen transleren en tevens om deze assen roteren (zie figuur 2.2). De drie translatie-assen bepalen de plaats van het product, de drie rotatie-assen de stand. Deze verplaatsingen worden aangeduid als de 6 vrijheidsgraden van een lichaam. Iedere willekeurige verplaatsing kan worden beschreven door een optelling van deze 6 vrijheidsgraden.

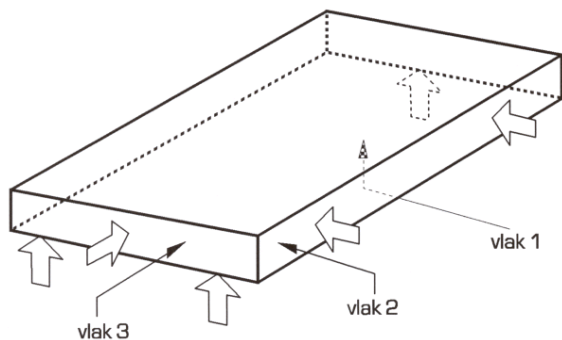
Om een werkstuk op een ruimtelijk vaste positie te positioneren is het noodzakelijk om het werkstuk zijn 6 vrijheidsgraden te ontnemen, in dit geval noemt men het werkstuk volledig bepaald. De 1-2-3 regel beschrijft dit als volgt:

"De locatie en oriëntatie van een object ten opzichte van de drie coördinatenvlakken XY, YZ en ZX zijn volledig bepaald, wanneer één werkstukvlak op 3 punten, één

vlak op 2 punten en één vlak op 1 punt wordt aangeslagen" (zie figuur 2.3).

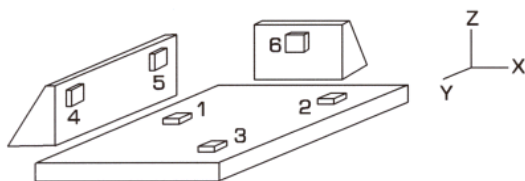


figuur 2.2 Ligging van een lichaam in de ruimte met zijn zes bewegingsmogelijkheden of vrijheidsgraden



figuur 2.3 Het principe van het positioneren van een werkstuk ten opzichte van een assenkruis; vlak 1 = 3, vlak 2 = 2 en vlak 3 = 1 oplegpunt(en)

Voorwaarde hierbij is, dat de aangeslagen vlakken niet evenwijdig mogen lopen, maar bij voorkeur loodrecht op elkaar staan. Bovendien wordt ervan uitgegaan dat het object een oneindige stijfheid heeft. De punten die op één werkstukvlak aanslaan dienen zo ver mogelijk uit elkaar te liggen. Een praktisch voorbeeld van de benodigde vlakken is weergegeven in figuur 2.4. Het is mogelijk dat een component als aanslag in meer dan één vlak functioneert.



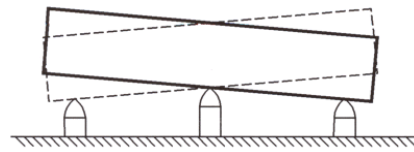
figuur 2.4 Praktische opstelling van de aanslagen volgens de 1-2-3 regel

De aanslagpunten moeten theoretisch puntcontacten zijn, in figuur 2.4 zijn de aanlegvlakjes te beschouwen als puntcontacten, omdat ze klein zijn ten opzichte van het product. In de praktijk zullen ook vaak bolle aanslagen gebruikt worden, alhoewel hier de kans op slijtage groter is.

Als er te weinig aanslagen zijn, blijven er één of meerdere bewegingsmogelijkheden over. De constructie is dan statisch onbepaald en niet eenduidig positioneerbaar.

De eenduidigheid kan ook verloren gaan als er sprake is van te veel aanslagen, waardoor een overbepaalde situatie ontstaat. Figuur 2.5 illustreert dit. In deze situatie

kan het lichaam op meerdere manieren worden gepositioneerd, doordat het lichaam om de middelste aanslag kan kantelen.



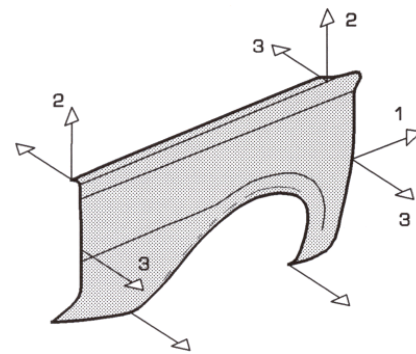
figuur 2.5 Voorbeeld van een overbepaald opgespannen product

Overpositionering van een product kan worden vermeden door:

- ▶ het toepassen van niet meer dan 6 aanslagen;
- ▶ de aanslagen te plaatsen volgens de 1-2-3 regels, waarbij:
 - ◆ niet meer dan 2 aanslagen in één lijn mogen liggen;
 - ◆ niet meer dan 3 aanslagen in één vlak, dan wel in 2 of meer evenwijdige vlakken mogen liggen;
 - ◆ vlakcontact en lijncontact tussen de aanslagen en het werkstuk minimaal worden gehouden.

Als toch gebruik wordt gemaakt van een vlakcontact of een lijncontact in plaats van een puntcontact, dan dienen deze te worden beschouwd als respectievelijk 3 of 2 aanslagpunten.

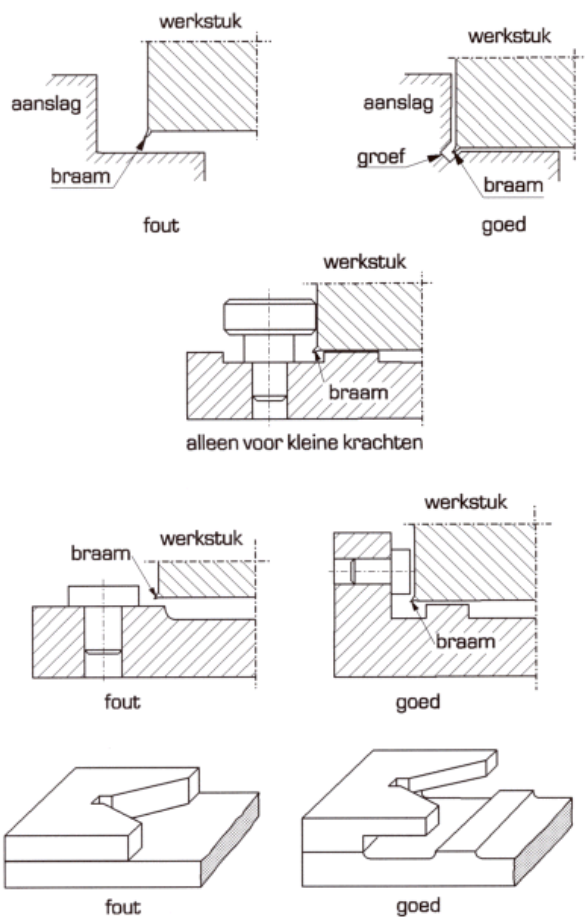
In de praktijk wordt vaak gebruik gemaakt van meer dan 6 aanslagpunten. Dit hangt samen met de eindige stijfheid die met name dunwandige onderdelen hebben, waardoor doorbuiging van de onderdelen kan optreden. In figuur 2.6 wordt hier een voorbeeld van gegeven. Het betreft een voorspatbord van een auto. De zwarte driehoeken geven de aanslagen weer die nodig zijn volgens de 1-2-3 regel. Hierdoor is de positie van het product in principe volledig bepaald. Bij dit onderdeel zijn echter drie extra steunpunten nodig om het doorbuigen van het product te voorkomen. Deze worden in dit voorbeeld aangegeven door een open driehoek.



figuur 2.6 Het aangeven van de ondersteuningspunten en de referentiepunten voor een voorspatbord

Bij het positioneren van onderdelen tegen aanslagen kunnen onnauwkeurigheden optreden door bramen aan de onderdelen. Een eenvoudige oplossing van dit probleem is ervoor te zorgen dat alle onderdelen afgebraamd zijn. Indien dit echter functioneel niet nodig is, kan het voordeliger zijn de bramen niet te verwijderen, maar in plaats hiervan voorzieningen te treffen in de aanslagen (zie figuur 2.7).

Aanslagen hoeven niet uitsluitend vaste punten te zijn, in voorbeeld V (ANWB-pijl) is op de foto een roteerbare aanslag te zien. Deze constructie was nodig om het product na het lassen uitneembaar te laten zijn. Deze roterende aanslag zorgde tevens voor fixatie van een onderdeel.



figuur 2.7 In een goed geconstrueerde positioneeropstelling is ruimte aanwezig voor het opnemen van eventuele bramen, die de betrouwbaarheid van de positionering van het werkstuk zouden kunnen schaden

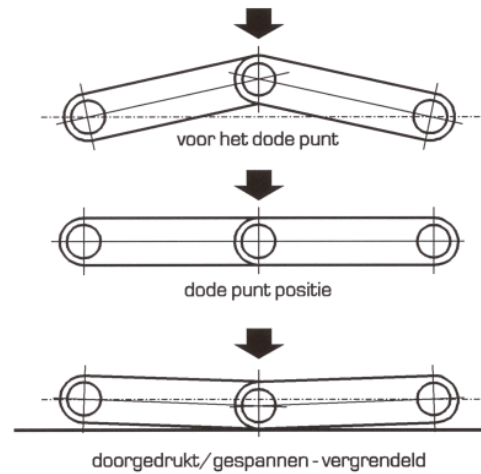
2.6 Klemmen van de onderdelen

Het opspannen van een werkstuk is eigenlijk een noodzakelijk kwaad. Het kost tijd en alleen daarom al geld. Maar belangrijker is misschien wel het feit dat opspannen op zichzelf nog niets aan het werkstuk verandert. Vandaar dat het klemmen vaak het sluitstuk van het denken en begroten is.

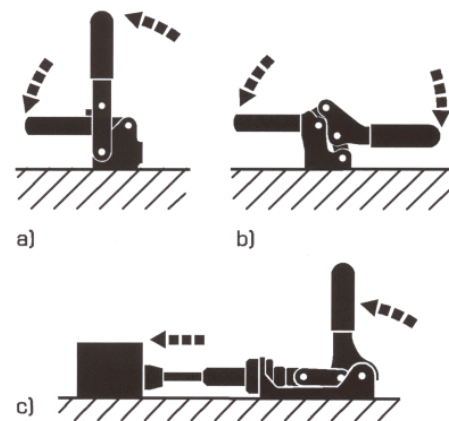
Het is van belang dat de verhouding tussen spantijd en productietijd optimaal wordt gekozen. Wanneer gebruik wordt gemaakt van een lasrobot, zal het in het algemeen niet wenselijk zijn dat de robot op het klemmen van het product moet wachten. Het gebruik van kikkerplaten, machineklemmen, schroefklemmen e.d. schiet in verband hiermee meestal te kort en vandaar dat in het algemeen gebruik wordt gemaakt van snelspanners (zie voorbeeld VI). Deze kunnen zowel handmatig als pneumatisch worden bediend. Een hydraulische bediening van spanners wordt bij lasmatten zeer zelden toegepast. Voor de operator is het gebruik van pneumatische spanners in vergelijking met handmatige spanners gebruikersvriendelijker. Met een druk op de knop kunnen meerdere spanners tegelijkertijd worden bediend, waardoor het laden en lossen sneller kan plaatsvinden. De kosten van dit soort spanners op zich is al aanzienlijk hoger dan van handspanners, terwijl ook de hydraulische leidingen zodanig op de lasmat moeten worden bevestigd dat ze niet in de weg zitten en beschermd zijn. De kosten van de mal worden dus aanzienlijk hoger. Deze oplossing zal in de praktijk alleen voorkomen bij producten met zeer veel spanners, grote series en een lange levenscyclus.

Snelspanners werken veelal volgens het kniehefboomprincipe (figuur 2.8). Deze constructie maakt het mogelijk

om met één beweging de opspanning tot stand te brengen en te verbreken. De verkregen spankracht is relatief hoog ten opzichte van de bedieningskracht. Dit principe tezamen met de "doorgedrukte dode punt positie" zorgen voor een zekere vergrendeling van de spanners, ook bij trillingen en veelvuldig gebruik. Snelspanners bestaan in verticale, horizontale en schuifstanguitvoering (zie figuur 2.9a, b en c).



figuur 2.8 Kniehefboomprincipe

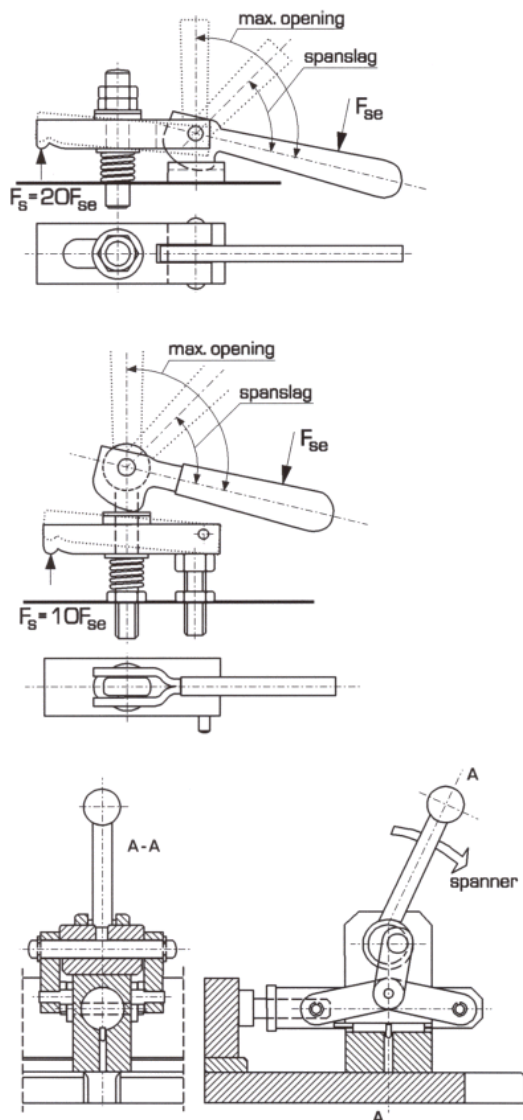


figuur 2.9 a) Verticale spanner;
b) Horizontale spanner;
c) Schuifstangspanner

Bij snelspanners spelen twee krachten een belangrijke rol. Enerzijds is er de eerder genoemde spankracht, dat is de kracht waarmee de spanner het werkstuk op zijn plaats houdt, en aan de andere kant een houdkracht, dat is de maximale kracht die op de spanner mag worden uitgeoefend. Deze laatste kracht is van primair belang voor het kiezen van de juiste spanner. Daarnaast spelen de werkomgeving en de in te nemen ruimte van de spanners (in verband met inbouwruimte en afloop robotprogramma) een belangrijke rol bij een juiste keuze van een snelspanner.

Behalve snelspanners op basis van het kniehefboomprincipe worden ook excenterspanners gebruikt, of combinaties (zie figuur 2.10). Deze spanners zijn vaak compacter te bouwen dan kniehefboomspanners.

Soms wordt gebruik gemaakt van magneten als spanelementen. Ondanks de schijnbare voordelen (flexibiliteit, snel werken) is gebruik hiervan af te raden. Enkele redenen om niet met magneten te werken zijn: geen constante klemkracht, geen repeteerbare positionering en afwijkingen van de lasboog. Bovendien is de magneetkracht afhankelijk van de temperatuur van het werkstuk en derhalve van de warmtedoorstraling.



figuur 2.10 Voorbeelden excenterspanner

3 Systematiek bij de ontwikkeling van een lasmal

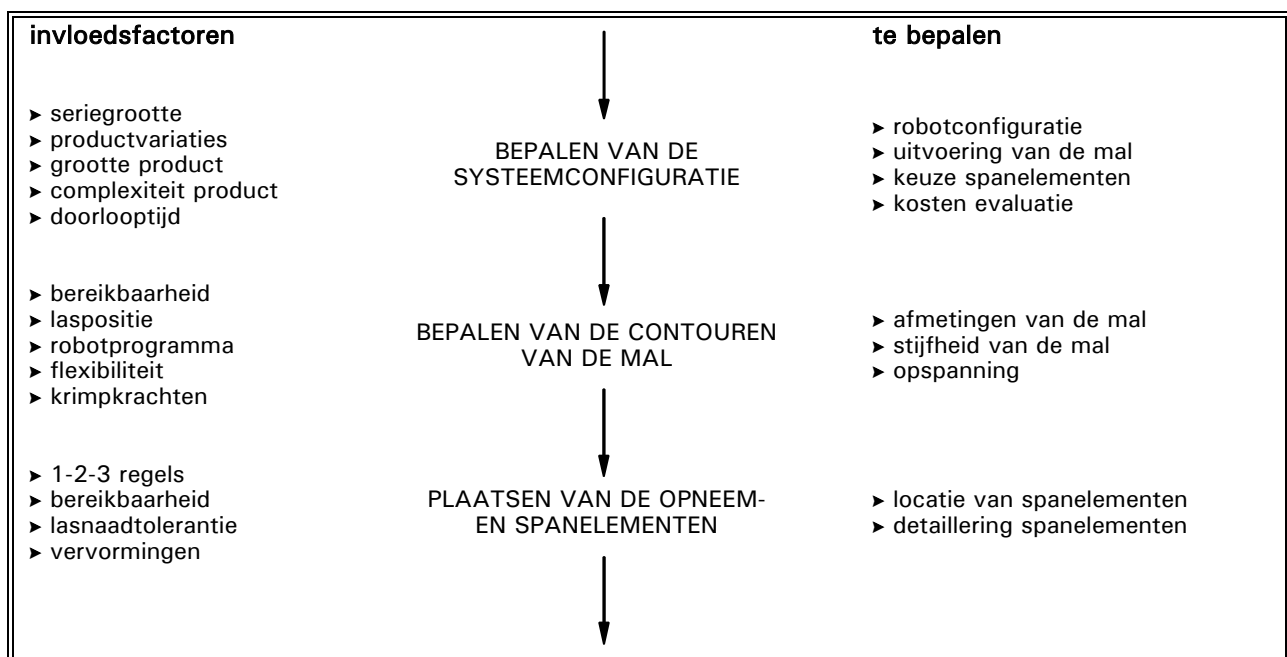
Met de ervaringen die zijn opgedaan in twee onderzoeksprojecten uitgevoerd in opdracht van het Nederlands Instituut voor Lastechniek op het gebied van het booglassen met robots, is een systematiek ontwikkeld, die kan worden toegepast bij de ontwikkeling van een lasmal. Deze systematiek dient als leidraad bij het ontwikkelingsproces. Het biedt geen pasklare oplossingen, maar draagt bij aan een logische en complete benadering. Binnen de onderzoeksprojecten is de systematiek een aantal malen met succes toegepast.

Alvorens de systematiek toe te passen is het van groot belang het ontwerp van het product te optimaliseren, tenminste voor zover het de functionele eisen betreft. Daarnaast dient men een goed beeld te hebben van de ruimte die het ontwerp nog biedt op het gebied van de productietechnische eisen. Het productietechnisch optimaliseren kan ook al gestart worden, maar gedurende de ontwikkeling van de mal zullen zeker de productietechnische eisen nog moeten worden bijgesteld.

Voor het verkrijgen van informatie over de eisen is het nuttig een team te formeren waarin de verschillende betrokken partijen zoals engineering, werkvoorbereiding, productie, inkoop en marketing zijn vertegenwoordigd. Eventueel kan ook gebruik worden gemaakt van de diensten van een onafhankelijk adviseur die, juist doordat hij niet "beladen" is met voorkennis over het product, hier onbevangen tegenaan kan kijken en daardoor nuttige, nieuwe en verfrissende ideeën in kan brengen. Hierdoor kunnen discussies op gang komen die het ontwerp ten goede komen. Ook robotleveranciers kunnen bijdragen in het ontwerp van een goede lasmal.

3.1 Stroomdiagram

De systematiek kan worden weergegeven als een stroomdiagram (figuur 3.1). Het stroomdiagram beschrijft een optimale situatie, namelijk de situatie waarin nog alle keuzemogelijkheden aanwezig zijn. In veel gevallen zal al een robot en een hoeveelheid periferie aanwezig zijn. De vraag is dan of het probleem met de bestaande robot plus periferie kan worden opgelost, of dat het noodzakelijk is andere periferie aan te schaffen. Binnen dit stroom-



figuur 3.1 Stroomdiagram voor het construeren van een mal voor een robot

diagram worden drie niveaus onderscheiden die achter-
envolgens steeds gedetailleerder op de lasmal inzoomen:

- ▶ het bepalen van de systeemconfiguratie;
- ▶ het bepalen van de contouren van de mal;
- ▶ het plaatsen van de aanslagen en spanelementen.

3.1.1 *Het bepalen van de systeemconfiguratie*

In het geval van consumentenproducten is de vraag naar het product sterk afhankelijk van de prijs van het product. Bij industriële producten is deze afhankelijkheid veelal wel aanwezig, maar minder sterk. Marketing kan bepalen welke prijs/vraagcombinatie in een gegeven situatie optimaal is. Hieruit volgen de toelaatbare productiekosten.

De kosten van de mal maken deel uit van de productiekosten. Zowel het ontwerp als de kosten van de mal zullen sterk afhankelijk zijn van het product, zowel van de complexiteit als de te verwachten aantallen.

In deze eerste stap zal een globale definitie van de systeemconfiguratie en de bijbehorende kosten moeten worden vastgesteld, zodanig dat de geschatte productiekosten niet worden overschreden.

3.1.2 *Het bepalen van de contouren van de mal*

De volgende stap is het bepalen van de contouren van het basisframe van de mal. Hierbij kan men kiezen uit verschillende constructies, zoals een rechthoekig frame, een balkconstructie, enz. Hierbij zal rekening moeten worden gehouden met het werkbereik en de mogelijkheden van een eventueel al aanwezige robot. Voor elk product zal de constructie variëren, afhankelijk van het gewicht van het product, de bereikbaarheid van de lasen, enz. De bevestiging van de verschillende mallen aan een manipulator of spanplaat moet bij voorkeur voor alle mallen gelijk zijn.

3.1.3 *Het plaatsen van de aanslagen en spanelementen*

Als laatste zullen de posities en de uitvoeringen van de aanslagen en spanelementen worden gedetailleerd. Veel aanslagen en spanelementen kunnen standaard uit de handel worden verkregen, waarbij men de keuze heeft uit een grote verscheidenheid aan uitvoeringen. Het kan echter voorkomen dat met standaardelementen geen goede opspanning kan worden verkregen. De uitvoering en de positie van het element op het basisframe moeten ervoor zorg dragen dat de onderdelen op een éénduidige wijze aan de robot worden aangeboden, waardoor een reproduceerbaar productieproces ontstaat.

Ook moet rekening worden gehouden met de toleranties van de aangeleverde onderdelen en de benodigde toleranties die gelden voor de robot of het lasproces in relatie tot de gevraagde toleranties op het eindproduct.

Op de drie fasen van de systematiek zijn verschillende factoren van invloed. In de volgende paragrafen zullen deze factoren nader worden beschreven.

3.2 *Het bepalen van de configuratie*

Voor het definiëren van de configuratie zijn de volgende aspecten van belang:

- ▶ de seriegrootte en de verwachte productietijd (levenscyclus van het product);
- ▶ het aantal productvarianties;
- ▶ de grootte en complexiteit van het product;
- ▶ de snelheid waarmee de producten moeten worden ingelegd c.q. de vereiste doorlooptijd.

Na een analyse van deze aspecten kan de configuratie van de robot en periferie worden vastgelegd. Een eerste opzet van het ontwerp van de mal is nu ook bekend en er kan een inschatting worden gemaakt van de te verwachten kosten hiervoor.

3.2.1 *Seriegrootte*

De seriegrootte bepaalt voor een groot gedeelte de maximaal te besteden kosten voor het fabriceren van de mal, waarbij de kosten in verhouding moeten staan tot de verwachte opbrengst. Bij een grote serie zal een korte cyclustijd zeer belangrijk zijn. Deze cyclustijd wordt bepaald door de tijden voor het inleggen van de onderdelen in de mal, het lassen en het verwijderen van het product uit de mal. Indien bijvoorbeeld de inlegtijden van de producten een groot gedeelte van de cyclustijd bepalen, zullen deze zo kort mogelijk moeten zijn.

Een mogelijkheid om de inleg- en uitneemtijd te verkorten, is gebruik te maken van pneumatische spanklemmen, die via een PLC-besturing of de robotbesturing worden gesloten en geopend. De extra kosten van een dergelijke mal zullen hoog zijn, maar doordat deze over een groot aantal producten kan worden afgeschreven, zullen deze per product relatief laag zijn.

Bij kleine series zullen de kosten van de mal over enkele producten moeten worden terugverdiend en is men genoodzaakt om de kosten van de mal te beperken. Om de kosten te beperken wordt vaak met eenvoudige spanklemmen gewerkt.

Wanneer gebruik wordt gemaakt van een enkel uitgevoerde mal dan is de cyclustijd opgebouwd uit de inleg-, las- en uitneemtijd. Een verkorting van de inleg- en uitneemtijd vertaalt zich direct in een kortere cyclustijd en daardoor lagere kostprijs per product.

Gaan we uit van een dubbel uitgevoerde mal, dan vindt het inleggen en uitnemen van het product tegelijkertijd plaats met het lassen van het product, waardoor de cyclustijd korter wordt. De extra kosten voor de dubbel uitgevoerde mal en de indextafel dienen te worden gecompenseerd door de verkorte cyclustijd.

Zolang de lastijd de inlegtijd plus uitneemtijd overtreft, is de robot vol in bedrijf en levert verdere verkorting van de inlegtijd geen extra besparing op.

Om een inschatting te maken van de te besteden kosten is het van belang te weten wat de verwachtingen zijn ten aanzien van het aantal te maken producten per jaar en het aantal jaren van productie. Indien de serie éénmalig wordt geproduceerd, dan zal de mal op deze serie moeten worden afgeschreven. Indien echter de eerste 5 jaar de producten worden vervaardigd, kan een langere afschrijvingstermijn worden aangehouden, bijvoorbeeld 3 of 5 jaar.

Ten aanzien van de verschillende tijden waaruit de cyclustijd is opgebouwd, dienen schattingen te worden gemaakt. Deze schattingen kunnen zijn gebaseerd op simulaties of ervaringsgetallen, opgedaan bij vergelijkbare producten.

3.2.2 *Productvarianties*

Het komt bij de meeste kleinere bedrijven maar weinig voor dat een volledige bezetting van de robot wordt gerealiseerd met het lassen van één product. Meer gebruikelijk is dat meerdere producten op de robot worden gelast, waarmee ook tevens het voordeel van de robot kan worden uitgebuit, namelijk de rol als een flexibel productiegereedschap.

Om alle producten met de robot te kunnen lassen, zal de configuratie van de robot hiervoor geschikt moeten zijn. Deze configuratie bepaalt op zijn beurt de uitvoering van de mal. Een mogelijke methode voor het analyseren van de producten is het indelen van de producten naar grootte en complexiteit.

De kosten van de mal zullen sterk afhankelijk zijn van de keuze voor vaste of flexibele mallen.

3.2.3 *Grootte van het product*

De grootte van het product bepaalt mede of het mogelijk is het product te lassen in een mal of dat het product in een gehechte toestand aan de robot wordt aan-

geleverd en zonder mal afgelast. Hierbij heeft men de keuze uit drie mogelijkheden:

1. Het hechten van de onderdelen wordt zeer nauwkeurig uitgevoerd, waarbij de positie van de las constant is. Indien dit op een eenduidige wijze gebeurt, kan de robot voor alle gelijksoortige producten hetzelfde programma gebruiken. Om de onderdelen zeer nauwkeurig te hechten, wordt gebruik gemaakt van een hechtmaal.
2. Het hechten gebeurt als in 1, echter de posities van de lassen blijken, gemeten over een aantal producten, te variëren. Dit heeft tot nadeel dat het programma voor elk product moet worden gewijzigd. In deze tijd kan niet worden gelast, waardoor de inschakelduur van de robot afneemt. In het algemeen is een dergelijke werkwijze ongewenst.
3. Het hechten gebeurt als in 2, echter door gebruik te maken van een sensor, kunnen kleine variaties worden gecorrigeerd, zonder het programma aan te passen.

3.2.4 *Complexiteit van het product*

De complexiteit van het product bepaalt voor een groot gedeelte de laspositie en de bereikbaarheid van de lasnaden.

Afhankelijk van lasnaadvorm, plaatdikte en lasproces zal een laspositie worden gekozen om het product met de robot te lassen. In de praktijk blijkt dat 75% van de lassen worden vervaardigd in laspositie PA, namelijk 'onder de hand'. In deze positie heeft de zwaartekracht een gunstig effect op het uitvloeien van het smeltbad en kunnen een hoge lasstroom en draadaanvoersnelheid worden toegepast, waardoor de lastijd minimaal is. De uitvoering van de mal wordt sterk beïnvloed door de complexiteit van het product, zeker als het product veel geroteerd moet worden om de lassen in een gunstige laspositie te brengen.

3.2.5 *Doorlooptijd*

Binnen de gehele productiestroom, van het maken van de onderdelen tot de eindassemblage van het product, zal de robot een gedeelte van de doorlooptijd beïnvloeden. Indien de robot een bottleneck in de productiestroom is, zal een verkorting van de cyclustijd een verkorting geven van de totale doorlooptijd van het product. Indien de bottleneck in het productieproces bij een voor- of nabewerking ligt, zoals het snijden, buigen of assembleren, dan zal de aandacht zich eerst op deze bewerkingen dienen te richten, voordat de cyclustijd van de robot behoeft te worden verbeterd. Een goede afstemming met de andere activiteiten binnen de productiestroom is gewenst.

3.3 *Het bepalen van de contouren en het frame van de mal*

Als eerste aanzet zullen de globale contouren van de mal worden bepaald. De volgende aspecten hebben invloed:

- ▶ de bereikbaarheid van de lassen;
- ▶ de lasposities en het hieraan gekoppelde robotprogramma;
- ▶ de grootte en het gewicht van het product;
- ▶ de verwachte inzetbaarheid van de mal;
- ▶ de verwachte krimpkrachten tengevolge van het lassen.

3.3.1 *Bereikbaarheid van de lassen en lasposities*

De bereikbaarheid van de lassen wordt bepaald door het product en de robotconfiguratie. De volgende aspecten kunnen van belang zijn:

- ▶ Liggen de lassen aan de buitenzijde van het product? Indien dit het geval is, dan zal dit meestal geen beperkingen opleveren voor de bereikbaarheid. Moet de las via de binnenzijde van het product of de mal worden benaderd, dan is er een verhoogde kans op botsing van de lastoorts of de arm met het product of de mal.

- ▶ Is het mogelijk alle onderdelen te positioneren door middel van spangereedschap zonder dat hiermee de bereikbaarheid van de lassen wordt verminderd?

Voor het positioneren van de onderdelen is het vaak gewenst de spanelementen zo dicht mogelijk bij de las te positioneren om de toleranties op de lasnaad te beperken. Dit kan ten koste gaan van de bereikbaarheid van de lassen.

De laspositie wordt beïnvloed door vele factoren, zoals de plaatdikte, het lasproces, de lasnaadvorm, enz. Algemene aanbevelingen betreffende de lasposities zijn moeilijk te geven, ze zijn voor elke toepassing verschillend. Zo zal voor dunne plaat de voorkeursposities onder de hand en verticaal neergaand zijn, terwijl bijvoorbeeld voor een halve V-naad een voorkeur zou kunnen uitgaan naar het uit de zij lassen. Voor iedere toepassing zal dit proefondervindelijk moeten worden bepaald. Indien het product moet worden geroteerd om de juiste laspositie te krijgen, kan dit invloed hebben op de bereikbaarheid.

3.3.2 *De grootte en het gewicht van de mal en het product*

De grootte en het gewicht van het product bepalen gedeeltelijk de gewenste stijfheid van de mal. Deze moet aan de volgende voorwaarden voldoen:

- ▶ het gewicht van het product en de mal en de ligging van het zwaartepunt van product en mal moeten gerelateerd zijn aan de capaciteit van de manipulator;
- ▶ het frame zal voldoende stijf moeten zijn om het eigen gewicht en dat van het product op te kunnen nemen, zonder dat de mal gaat doorbuigen;
- ▶ het product en de mal moeten een voldoende stijfheid bezitten om tijdens het manipuleren niet door te buigen. Doorbuiging kan immers de positionering van de las ten opzichte van de naad beïnvloeden;
- ▶ de mal moet zodanig zijn uitgevoerd dat geen vervorming optreedt bij transport per kraan en/of heftruck.

3.3.3 *De inzetbaarheid van de mal*

Indien meerdere producten in kleine series met de robot worden gelast, is het van belang de mal binnen een redelijke tijd te kunnen wisselen. Dit kan worden bereikt door:

- ▶ de verschillen in lengte van de producten op te vangen in de mal. Hierbij zullen de buitencontouren van het frame van alle malen constant zijn. Malen voor zowel kleine als grote producten hebben een gelijke maat van het basisframe. De positie van de manipulator en de tegenhouder zal niet variëren;
- ▶ de verschillen in lengte van de producten op te vangen door het wijzigen van de robotconfiguratie. Hierbij wordt de mal precies afgestemd op het product en zal de positie van de manipulator, het tegenlager en mogelijk zelfs de robot worden aangepast aan de afmetingen van het product. Deze optie vraagt een meer flexibele opstelling van de robot met bijvoorbeeld een geautomatiseerde verschuiving van de manipulator of robot. De constructie zal relatief zwaar moeten worden uitgevoerd om speling en slijtage binnen de perken te kunnen houden;
- ▶ de malen uit te voeren met een snelwisselsysteem, waardoor het wisselen van de mal per product snel kan verlopen.

3.3.4 *Optredende krimpkrachten tengevolge van het lassen*

Door het inbrengen van warmte bij het lassen zal krimp optreden. De optredende krimpkrachten kunnen groot zijn en de mal doen vervormen. Het kan voorkomen dat het product hierdoor niet of nauwelijks meer uit de mal kan worden genomen. De volgende factoren kunnen deze krachten verlagen:

- ▶ de lasnaden zo symmetrisch mogelijk plaatsen, zodat krimpkrachten in evenwicht zijn;

- ▶ hoe geringer de warmte-inbreng, des te geringer de krachten. Dus het lassen met een hoge lassnelheid of het beperken van het lasvolume zal de krachten verlagen.

3.4 *Het plaatsen van de aanslagen en de panelementen*

Voor het plaatsen van de panelementen zijn de volgende regels van belang:

- ▶ de onderdelen moeten op een eenduidige manier aan de robot worden aangeboden. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de 1-2-3 regel, waarbij een product wordt vastgezet in drie hoofdrichtingen;
- ▶ de plaats van de elementen moet geen problemen geven voor de bereikbaarheid van de lassen;
- ▶ de tolerantie van de onderdelen kan ter plaatse van de las deels worden gecorrigeerd door de aandrukkracht van het panelement. Hierbij moeten de verwachte toleranties van de lasnaadvoorbewerking door de onnauwkeurigheden van de onderdelen in overeenstemming zijn met de toelaatbare toleranties van het lasproces;
- ▶ indien vrije krimp van een product toelaatbaar en mogelijk is, zal hiermee rekening moeten worden gehouden bij het plaatsen van de klemmen, zodat zo min mogelijk spanningen geïntroduceerd worden;
- ▶ na het verwijderen van de klemmen moet het product slechts in toelaatbare mate vervormen;
- ▶ na het lassen moet het product uit de mal kunnen worden verwijderd, zonder dat hierbij hulpgereedschap aan te pas moet komen.
- ▶ de aanslagen en panelementen moeten beschermd zijn tegen vervuiling door lasspatten, en beschermd tegen beschadiging bij het inleggen en uitnemen van onderdelen.

3.5 *Opslag, verzorging en controle van mallen*

Voordat een lasmal kan worden ingezet voor productie, wordt in de meeste gevallen een aantal producten proefgelast. Op grond van de resultaten hiervan zal in veel gevallen de mal nog aangepast moeten worden. Pas daarna is een mal gereed voor productie.

Een mal is een duur productiemiddel en verdient derhalve de nodige aandacht. Het is verstandig tevoren de belangrijke maten van een mal vast te leggen in een meetprotocol, al was het alleen maar om bij problemen te kunnen nagaan of een maatwijziging van de mal de oorzaak is, of dat deze elders moet worden gezocht.

Om verwisseling van mallen te voorkomen, is het nuttig elke mal te voorzien van een code, waaruit men kan opmaken voor welk product hij is. Verder is het nuttig voor elke mal een instructie te maken met gegevens omtrent het positioneren van de mal, de volgorde van inleggen en klemmen van onderdelen, en dergelijke.

3.6 *Veiligheid & ARBO*

Ter bescherming van de bedieningsman zal de mal aan een aantal veiligheidseisen moeten voldoen. Dit kan de toegankelijkheid van de mal nadelig beïnvloeden. Bij het construeren van de mal zal men met de diverse veiligheidsvoorzieningen rekening moeten houden. De veiligheid van de operator gaat voor een verbeterde toegankelijkheid.

Ter beveiliging kan de mal met een productdetectie-systeem worden uitgerust. Hiervoor zijn twee mogelijkheden:

1. Detectie of het product in de mal aanwezig is. Dit kan worden bereikt door aan de onderzijde van bijvoorbeeld een spanklem een inductieve sensor te plaatsen. Indien een product aanwezig is, zal de sensor een signaal uitsturen om het sluiten van de

spanklem mogelijk te maken, of om het programma vrij te geven voor uitvoering.

2. Detectie of de spanklem gesloten is. Bij het bewegen van de lastoorts kan de ruimte voor de beweging beperkt zijn door de afmetingen of de vorm van het product of de mal. Hierdoor moet de lastoorts zich vlak langs de klemmen bewegen. Om een botsing van de toorts met een klem te vermijden kan het gewenst zijn zeker te weten of de klemmen open of dicht zijn. Dit kan worden gedetecteerd door aan de bewegingshefboom van de klem een inductieve sensor te monteren die een signaal geeft bij een open of gesloten stand van de klem.

Bij seriematige fabricage kan een combinatie van beide systemen worden toegepast om een optimale veiligheid te waarborgen.

Naast beveiligingen van de mal dient het gehele systeem te zijn uitgerust met diverse veiligheidsvoorzieningen, zoals bijvoorbeeld hekwerken en lichtgordijnen. Voor meer informatie hierover wordt verwezen naar de norm NEN-EN 775 en NEN-EN-ISO 10218-1:2006.

Het slangenpakket en eventuele elektrische, pneumatische of hydraulische leidingen aan de robot, de mal of overige periferie dienen ook beschermd te worden tegen spatten of overige beschadigingen. Dit kan geschieden door ze door de mal te voeren, of achter beschermkappen. Het slangenpakket kan in een speciale, spatongevelige, kunststofslang worden beschermd.

4 *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 Mestdagh, 1986
- [5] Booglassen met robots; E.J. Stroetinga; TNO-publicatie WGBR1-66
- [6] Sensoren voor booglassen; Voorlichtingspublicatie VM 96; Vereniging FME-CWM, 1994 (vervangen door Automatisering 03)
- [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

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

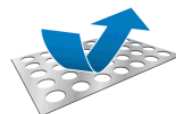
Informatie over, en bestelling van VM-publicaties, Praktijkaanbevelingen en Tech-Info-bladen:

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

SenterNovem



© Vereniging FME-CWM/december 2007 - 02

Niets uit deze uitgave mag worden vervaelvoudigd 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

