

Laserlassen van complexe producten (fabricagetract)

Dit Tech-Info-blad is tot stand gekomen binnen het kader van het kennisoverdracht-project "Fabricage van producten met geavanceerde productiemiddelen voor het omvormen en verbinden - FPGP". In dit kader zijn ook de volgende publicaties uitgegeven: TI.07.36 - "Laser-MIG/MAG hybride lassen" en TI.07.38 - "Geautomatiseerd buigen". Uitgebreide informatie betreffende het laserlassen is tevens te vinden op de websites www.dunneplaat-online.nl en www.verbinden-online.nl, waarop tevens de volgende relevante Tech-Info bladen vrij gedownload kunnen worden: TI.99.08 - "Laserlassen van beklede plaat", TI.00.11 - "Oppervlaktebehandelingen met de laser (cladden, legeren en dispergeren)", TI.00.12 - "Laser en waterstraalsnijden van gelamineerde en beklede plaat", TI.07.34 - "Laserlassen vs. conventionele lastechnieken", TI.07.35 - "Omvormen", IOP 7.2 - "Lasertransformatieharding", alsmede de praktijkaanbeveling PA.02.13 - "Oppervlaktebewerkingen met hoogvermogen lasers".

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Laserlassen van complexe producten	2
2.1	Inleiding laserlassen	2
2.2	Definitie van complexe producten	2
2.3	Overzicht en laserlasdetails van complexe producten	3
2.4	Manipulators voor complexe producten	7
2.5	Laserlassen versus conventionele lastechnieken	10
3	Hulpmiddelen	11
3.1	Sensoren	11
3.2	Draadtoevoersystemen	14
3.3	Opspanmiddelen	15
3.4	Programmeertechnieken	18
4	Veiligheid	19
4.1	Inleiding	19
4.2	Robot	19
4.3	Laserstraling	20
4.4	Procesemissies (dampen en deeltjes)	20
5	Normen	20
6	Literatuur	20
7	Websites	21

1 Inleiding

Bij het verbinden van kleine series producten liggen er enerzijds uitdagingen in de vorm van complexe geometrieën en anderzijds dient het proces te geschieden binnen de toelaatbare proces- en producttoleranties. Dit geldt zowel voor het lijmen, mechanisch verbinden als voor moderne verbindingstechnieken zoals het laserlassen.

Het verbinden van producten in kleine series waaraan hoge nauwkeurigheidseisen worden gesteld tegen een zo laag mogelijke kostprijs kan alleen maar gerealiseerd worden indien het verbindingproces geautomatiseerd wordt uitgevoerd. Deze automatisering moet tevens leiden tot het flexibeler produceren met minder mankracht en een betere of beter voorspelbare kwaliteit van producten. Van de gangbare verbindingstechnieken (lassen, lijmen, mechanisch verbinden en solderen) zijn alleen het lassen en in iets mindere mate het mechanisch verbinden geschikt voor het flexibel en geautomatiseerd vervaardigen van kleine series producten. Van deze twee technieken is lassen verreweg de meest toegepaste verbindingstechniek binnen de Nederlandse industrie, vanwege zijn kwalitatief goede en betrouwbare verbindingen en vaak lage kosten.

Voor het geautomatiseerd lassen van (complexe) dunne plaat en buisvormige producten worden meestal conventionele lasprocessen ingezet in de Nederlandse industrie, zeker bij kleine series. Hier ligt een aantal oorzaken aan ten grondslag. De belangrijkste hiervan zijn de bekendheid met de (mogelijkheden van de) traditionele processen, de flexibiliteit van deze processen en het feit dat deze technieken reeds voorhanden zijn binnen bedrijven. Er zijn echter de afgelopen jaren interessante nieuwe lasprocessen voor de markt beschikbaar gekomen. Een be-

langrijke representant van deze nieuwe lasprocessen, vooral voor het verbinden van producten waaraan hoge nauwkeurigheidseisen worden gesteld, is het laserlassen. Lasers zijn in principe flexibele fabricagemiddelen, die echter meestal niet als zodanig worden ingezet. Lasers zijn geschikt voor het maken van grote en kleine series producten, mits men de randvoorwaarden kent. Het inzetten van lasertechnologie voor het lassen van complexe producten is in technische zin vaak geen enkel probleem, met als groot voordeel een hoge en gegarandeerde kwaliteit van de gelaste producten. Ten aanzien van de flexibiliteit voor het lassen van kleine series is er echter nog een inhaalslag te maken. Het probleem is hierbij echter niet de laser, maar het concept van het totale lasersysteem (programmeren, lasmatten, omstellen, enz.), waarbij geldt dat de flexibiliteit vaak al start op het moment dat het product ontworpen moet worden. De ontwikkelingen gaan echter de goede kant op. Steeds meer bedrijven en leveranciers zien de noodzaak in om oplossingen voor de gestelde problemen te vinden. In veel gevallen geldt dat de ervaringen die worden opgedaan bij het laserlassen van complexe producten in grote series (automobiellndustrie) model staan voor de mogelijkheden lasersystemen te ontwerpen voor het lassen van steeds kleinere series. Ingegeven door de verwachting dat lasers compacter en goedkoper worden, zullen op termijn veel MKB bedrijven voor de keuze komen te staan of het zinvol is van hun conventionele lastechnieken over stappen op laserlassen. In de ons omringende landen is dit al zichtbaar.

Deze publicatie heeft tot doel de gebruiker een overzicht te bieden van de mogelijkheden van laserlassen in relatie tot het verbinden van complexe producten opgebouwd uit plaat en/of buis en profiel. Binnen dit thema wordt de focus gelegd op het fabricagetract, m.a.w. de keuze voor het laserlassen heeft reeds plaatsgevonden in het voorbereidingstract. Binnen het fabricagetract dienen onderwerpen zoals keuze van manipulatietechniek in relatie tot productontwerp en -toleranties, programmeertechnieken en adequate productopspanning zich aan. Deze aspecten komen in deze publicatie aan de orde.

De werkvoorbereidingaspecten worden uitgebreid behandeld in de publicatie TI.07.34 "Laserlassen vs. conventionele lastechnieken" (werkvoorbereidingstract). Beide publicaties tezamen behandelen het totale tract van de voorbereiding en daadwerkelijke fabricage van producten.

In de beperkte omvang van deze publicatie is het goed te beseffen dat een dergelijk overzicht nooit volledig kan zijn, omdat er vele randvoorwaarden zijn die een rol spelen. Randvoorwaarden waarvan de gebruiker bepaalt of ze belangrijk zijn of niet. Ook vinden er op het moment van schrijven in hoog tempo vele nieuwe ontwikkelingen op het gebied van de laserlastechnologie en

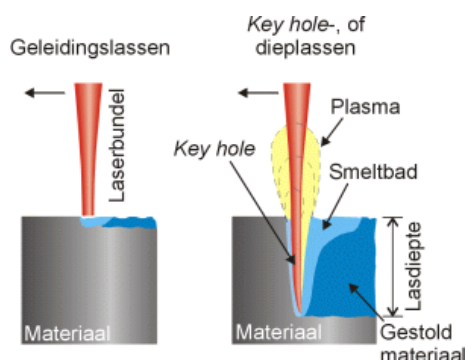
robotica plaats die niet in deze publicatie aan bod komen. Door de betrokkenen is bij het samenstellen van deze brochure daarom een keuze gemaakt ten aanzien van de onderwerpen die in deze publicatie aan bod komen.

Meer informatie kan worden gevonden op de website www.verbinden-online.nl.

2 Laserlassen van complexe producten

2.1 Inleiding laserlassen

Laserlassen (zie figuur 1.1) is een verbindingstechniek waarbij met behulp van een laserbundel de te verbinden onderdelen tot smelten worden gebracht.



figuur 2.1 Laserlassen, geleidingslassen (links) en keyhole of dieplassen (rechts)

In vergelijking met de conventionele lastechnieken (TIG/MIG/MAG voor plaat en pijp en puntlassen voor plaat) is het lassen met een hoogvermogen laser snel (tot wel 15 m/min) en nauwkeurig. Bovendien vertoont laserlassen een geringe warmte beïnvloede zone in het materiaal (minder dan 0,5 mm). Dit laatste heeft als voordeel dat er minder vervorming van het product optreedt. In het algemeen behoeft een laserlas geen nabewerking (slijpen, polijsten) wat een aanzienlijke kostenbesparing met zich mee kan brengen. Bovendien is laserlassen flexibel in termen van materiaalkeuze, productgeometrie en automatisering. Een nadelen van het lassen met een laser is de hoge eisen aan de toleranties van de te verbinden onderdelen (circa 0,5 mm en minder) en dus ook hoge eisen aan de productopspanning (lasmallen). Een ander nadeel is de relatief hoge investering in een laserlasinstallatie, die echter in veel gevallen snel kan worden terugverdiend i.v.m. de hoge las-snelheden. In het Tech-Info-blad TI.07.34 is verdere achtergrondinformatie over het laserlassen inclusief een overzicht van de beschikbare laserlasbronnen te vinden.

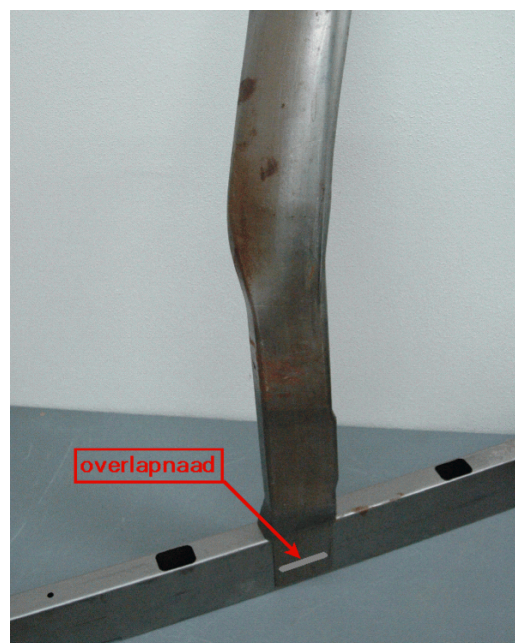
2.2 Definitie van complexe producten

Zoals hiervoor vermeld kan bij het laserlassen een hoge laskwaliteit worden bereikt met een hoge mate van flexibiliteit. Het verbindingsproces kenmerkt zich echter door zeer kleine procestoleranties, wat zich vertaalt in hoge nauwkeurigheidseisen voor zowel de productdelen, opspanmiddelen, als manipulatietechniek.

De hoge mate van flexibiliteit houdt in, dat met het laserlassen vele lasnaadtypes te realiseren zijn voor verschillende materialen en materiaaldiktes en vele manieren van bundelmanipulatie. Daarbij kan ofwel de laserkop worden bewogen, of het product.

Indien we de bovengenoemde kenmerken van het laserlassen combineren met het te lassen product, dan wordt duidelijk dat niet zozeer het productontwerp de mate van complexiteit bepaalt, maar vooral het ontwerp van de lasdetails. In tabel 1.1 staat een aantal aspecten die een rol spelen in de mate van deze complexiteit.

Indien de ontwerper in staat is een verbinding tussen zeer complexe productdelen te vertalen naar een eenvoudige lasdetail, valt er veel winst te behalen. In figuur 2.2 staat een voorbeeld weergegeven van een complex 3D product bestaande uit een verbinding van hydroform buis en kokerprofiel. Toch is de laserlasnaad een eenvoudige, lineaire overlapnaad.



figuur 2.2 Voorbeeld van complexe productdelen met een eenvoudige laserlasnaad

tabel 1.1 Onderdelen die meespelen in de complexiteit op lasnaad- en productniveau

Complexiteit laserlasnaad en product		Detailering
(enkele) lasnaad niveau	bereikbaarheid van de lasnaad	▶ eenvoudig bereikbaar voor laserlaskop ▶ moeilijk bereikbaar voor laserlaskop
	ruimtelijke ligging van de lasnaad	▶ 1D, 2D, 2.5D of 3D
	mate van kromming van de lasnaad	moet manipulator veel positie- en/of snelheidswisselingen maken? ▶ lineair traject ▶ enkelvoudig gekromd oppervlak ▶ dubbelgekromd oppervlak ▶ traject met scherpe hoeken/radii
productniveau	ruimtelijke ligging lasnaden totale lascyclus	▶ 1D, 2D, 2.5D of 3D
	lasposities van laserkop voor de verschillende lasnaden	▶ lasnaden te lassen vanuit 1 positie ▶ lasnaden te lassen in meerdere posities
	kan met het aantal vrijheidsgraden van de manipulator het product afgelast worden	▶ aantal vrijheidsgraden voldoende ▶ externe productmanipulators noodzakelijk

In figuur 2.3 staat een eenvoudig 2D plaatproduct. Indien men dit product met een 6-assige robot wil laserlassen, is de lasverbinding vanuit manipulatieoogpunt erg complex. De 6-assige robot heeft moeite om de scherpe hoek met een typische laserlassnelheid binnen de nauwkeurigheidseisen van het laserlassen te voltooien.



figuur 2.3 Voorbeeld van een eenvoudig product (vlakke plaatdelen) met een moeilijke laslasnaad (radius ~ 30 mm)

Bij het (laser)lassen van complexe producten dient aandacht te worden geschonken aan de volgende punten:

- ▶ geschiktheid van de laserbron/lasproces;
- ▶ geschiktheid van de manipulator/robot;
- ▶ de eventuele noodzaak van additionele manipulatie-apparatuur om de bereikbaarheid te vergroten;
- ▶ kleine toleranties op de voorbewerking;
- ▶ de meestal hogere kosten die aan de uitvoering zijn verbonden in vergelijking met 'eenvoudige' producten;
- ▶ de noodzaak van het nauwkeurig positioneren en klemmen van de productdelen door middel van een slimme lasmal;
- ▶ de mogelijke inzet van hulpmiddelen zoals sensoren, additionele draadtoevoer en slimme programmeertechnieken om de uiteindelijke uitvoer te vereenvoudigen.

In de hiernavolgende paragrafen worden de mogelijkheden van de laser en de hierboven genoemde aandachtspunten in relatie tot het verbinden van een aantal complexe producttypes besproken.

2.3 Overzicht en laserlasdetails van complexe producten

In Tech-Info-blad TI.07.34 worden een aantal lasnaadtypes besproken voor verbindingen uit plaat, en buis/profiel aan de hand van een gestileerd product. Dit product staat in in figuur 2.4 weergegeven.

Indien we de verbindingen verder differentiëren naar complexe producttypes dan kan hierin de volgende onderverdeling worden gemaakt:

- ▶ producten met verbindingen uit plaat/plaat (zie Tech-Info-blad TI.07.34);
- ▶ producten met verbindingen uit buis/buis;
- ▶ producten met verbindingen uit buis/profiel;
- ▶ producten met verbindingen uit buis/plaat;
- ▶ producten met verbindingen uit profiel/plaat.

In tabel 2.2 t/m 2.4 wordt voor deze verbindingen een overzicht gegeven van de mogelijkheden van de laserlastechnologie. Daarin worden de volgende aspecten behandeld:

Lasnaadgeometrie

Voor het lassen van complexe lasnaadgeometrieën dient de laserlaskop in vele gevallen in meerdere ruimtelijke locaties gepositioneerd en bewogen te worden. Dit kan in een 1D, 2D, 2.5D of 3D omgeving zijn.

Lasnaadtype

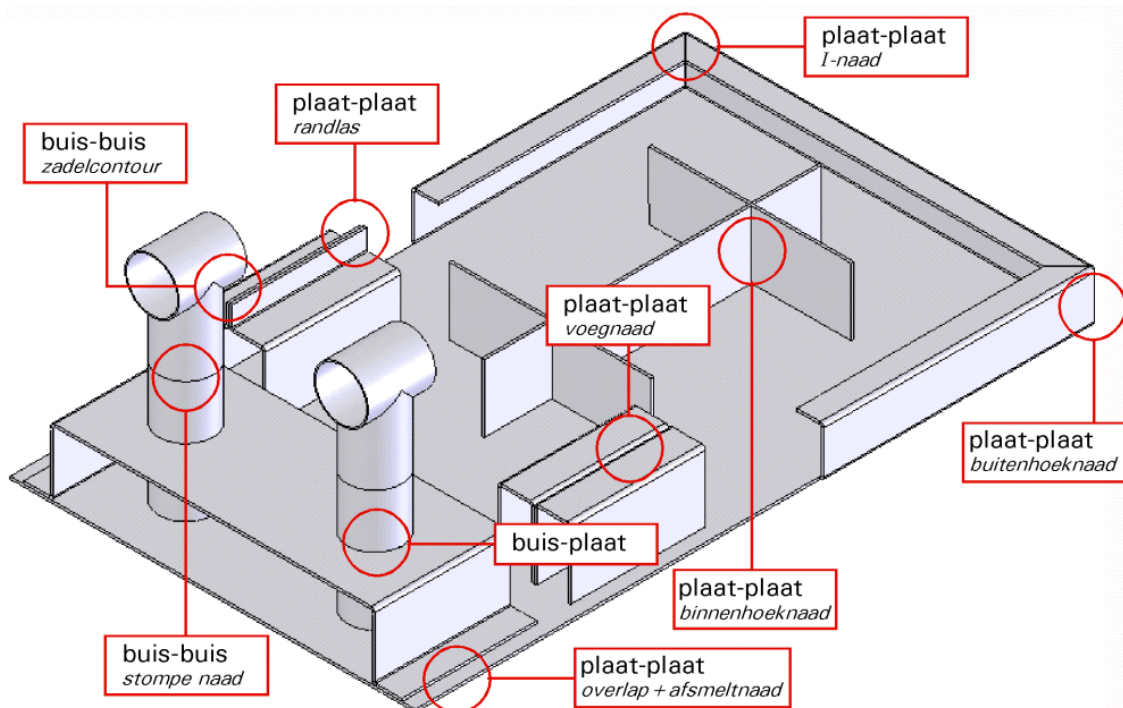
Met het lasnaadtype wordt aangegeven of de lasnaad via een stompe naad, overlap, afsmelt of hoeknaad kan worden gerealiseerd.

Manipulators

Zie paragraaf 2.4.

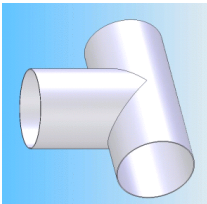
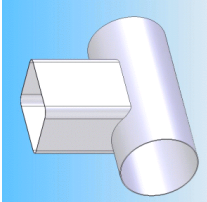
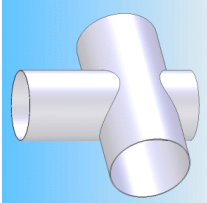
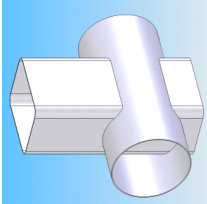
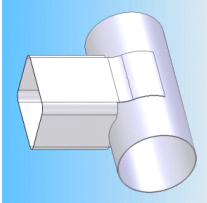
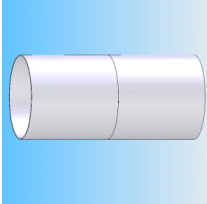
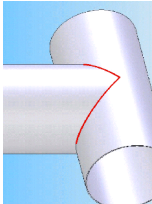
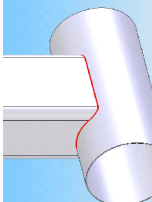
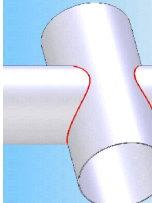
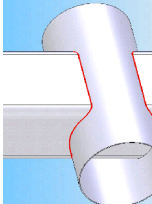
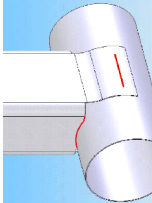
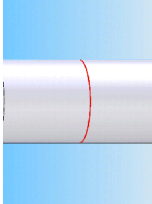
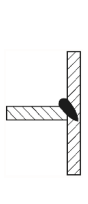
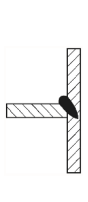
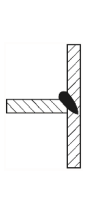
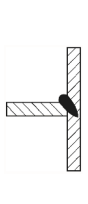
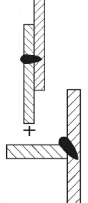
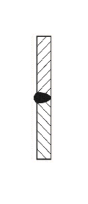
Additionele tools

Bij het laserlassen kunnen vele hulpmiddelen worden gebruikt. Een categorie zijn die hulpmiddelen, die een verruiming in de procestoleranties opleveren. Voorbeelden hiervan zijn de toepassing van koude-draad toevoer, een hybride laserlaskop, dan wel de inzet van een twin-spot



figuur 2.4 Gestileerd product

tabel 2.2 Laserlasdetails buis/buis en buis/profiel verbindingen

laserlasdetails van buis/buis en buis/profiel verbindingen						
productcombinatie	buis/buis type 1 (zadelcontour)		buis/buis type 2 (doorsteek)		buis/profiel type 3 (overlap)	buis/buis type 4 (stomp/rond)
						
lasnaadgeometrie	3D	3D	3D	3D	3D	1D/3D
laslocaties						
lasnaadtype						
mogelijkheden gantry	•	•	•	•	•	•
▶ aantal benodigde assen	5	5	5	5	5	1
▶ bereikbaarheid	•	•	•	•	•	•
▶ externe manipulator noodzakelijk?	nee	nee	nee	nee	nee	nee
mogelijkheden 6-assige robot	•	•	•	•	•	•
▶ aantal benodigde assen	6	6	6	6	6	6
▶ bereikbaarheid	•	•	•	•	•	•
▶ externe manipulator noodzakelijk?	ja (draai-kiep)	ja (draai-kiep)	ja (draai-kiep)	ja (draai-kiep)	ja (draai-kiep)	ja (draai)
mogelijkheden remote welding	0	0	0	0	• (hoekdetail niet mogelijk)	0
▶ aantal benodigde assen	–	–	–	–	1 scanspiegel	–
▶ bereikbaarheid	–	–	–	–	–	–
▶ externe manipulator noodzakelijk?	–	–	–	–	–	–
additionele tools	▶ koude-draad ▶ hybride laserlassen	▶ koude-draad ▶ hybride laserlassen	▶ koude-draad ▶ hybride laserlassen	▶ koude-draad ▶ hybride laserlassen	▶ koude-draad ▶ hybride laserlassen	▶ koude-draad ▶ hybride laserlassen
0 = niet geschikt • = redelijk geschikt •• = uitstekend geschikt						

tabel 2.3 Laserlasdetails profiel/profiel verbindingen

laserlasdetails van profiel/profiel verbindingen					
productcombinatie	profiel/profiel - type 1 (hoek)	profiel/profiel - type 2 (doorsteek)	profiel/profiel - type 3 (zadelcontour)		
lasnaadgeometrie	3D	3D	3D		
laslocaties					
lasnaadtype					
mogelijkheden gantry	•	•	•	•	•
▶ aantal benodigde assen	5	5	5	5	5
▶ bereikbaarheid	•	•	•	•	•
▶ externe manipulator noodzakelijk?	nee	nee	nee	nee	nee
mogelijkheden 6-assige robot	••	••	••	••	••
▶ aantal benodigde assen	6	6	6	6	6
▶ bereikbaarheid	••	••	••	••	••
▶ externe manipulator noodzakelijk?	nee	nee	nee	nee	nee
mogelijkheden remote welding	o	o	o	o	o
▶ aantal benodigde assen	—	—	—	—	—
▶ bereikbaarheid	—	—	—	—	—
▶ externe manipulator noodzakelijk?	—	—	—	—	—
additionele tools	▶ koude-draad ▶ hybride laserlassen	▶ koude-draad ▶ hybride laserlassen	▶ koude-draad ▶ hybride laserlassen	▶ koude-draad ▶ hybride laserlassen	▶ koude-draad ▶ hybride laserlassen
o = niet geschikt • = redelijk geschikt •• = uitstekend geschikt					

tabel 2.4 Laserlasdetails buis/plaat en profiel/plaat verbindingen

laserlasdetails van profiel/profiel verbindingen						
productcombinatie	profiel/profiel - type 1 (hoek)		profiel/profiel - type 2 (doorsteek)		profiel/profiel - type 3 (zadelcontour)	
lasnaadgeometrie	3D		3D		3D	
laslocaties						
lasnaadtype						
mogelijkheden gantry	•	•	•	•	•	•
▶ aantal benodigde assen	5	3	3	3	3	3
▶ bereikbaarheid	•	•	•	•	•	•
▶ externe manipulator noodzakelijk?	nee	nee	nee	nee	nee	nee
mogelijkheden 6-assige robot	•	•	•	•	•	•
▶ aantal benodigde assen	6	6	6	6	6	6
▶ bereikbaarheid	•	•	•	•	•	•
▶ externe manipulator noodzakelijk?	nee	nee	nee	nee	nee	nee
mogelijkheden remote welding	0	•	•	•	•	•
▶ aantal benodigde assen	-	2 scanspiegels	2 scanspiegels	2 scanspiegels	2 scanspiegels	2 scanspiegels
▶ bereikbaarheid	-	•	•	•	•	•
▶ externe manipulator noodzakelijk?	-	nee	nee	nee	nee	nee
additionele tools	▶ koude-draad ▶ hybride laserlassen		▶ twinspot optiek		▶ twinspot optiek	
0 = niet geschikt • = redelijk geschikt •• = uitstekend geschikt						

optiek, waarbij door middel van bundelsplitsing twee focuspunten ontstaan die het smeltbad en daarmee de procestoleranties vergroten. Een andere categorie van hulpmiddelen zijn de tools die een vereenvoudiging van het programmeren opleveren. Een voorbeeld hiervan is de inzet van een naadvolgsensor. Hulpmiddelen voor het laserlassen komen uitvoerig aan bod in hoofdstuk 3.

2.4 Manipulatoren voor complexe producten

2.4.1 Inleiding

Laserlasbewerkingen worden uitgevoerd met relatief hoge snelheden (tot meer dan 250 mm/s = 15 m/min). Samen met de nauwkeurigheid van het lasproces (in de orde van 0,1mm) stelt dit hoge eisen aan de manipulatoren.

Afhankelijk van de geometrie van een product kiest men voor een 1D systeem, bijvoorbeeld voor het rondlassen van rotatiesymmetrische buizen, voor een 2D of 2.5D systeem voor het lassen van plaatmateriaal of een 3D systeem voor het lassen van complexe driedimensionale producten. Naarmate het systeem van meer assen is voorzien, zal het in het algemeen minder nauwkeurig en duurder zijn.

Voor de vereiste nauwkeurigheid van de verschillende typen manipulatoren zijn geen absolute waarden te geven. De benodigde nauwkeurigheid wordt opgelegd door de proces- en producttoleranties. Uitgaande van de vereiste producttolerantie moet de absolute nauwkeurigheid van het manipulatiesysteem beduidend hoger zijn. De herhaalnauwkeurigheid ligt zelfs nog hoger.

In tabel 2.5 staat een overzicht van kenmerken van een aantal manipulatorsystemen die geschikt zijn voor het lassen van complexe producten. In de hierna volgende paragrafen zullen deze manipulatoren meer in detail worden behandeld.

tabel 2.5 Overzicht manipulatorsystemen

		gantrysysteem	knikarmrobot	remote welding systeem
aantal vrijheidsgraden	1D	✓	✓	✓
	2D	✓	✓	✓
	2.5D	✓	✓	✓
	3D	✓	✓	×
nauwkeurigheid		••	•	••
bereikbaarheid complexe lasgeometrie		•	••	o
flexibiliteit t.a.v. lasgeometrie/alle lasnaadtypen mogelijk?		••	••	o ¹⁾
investeringskosten		o/•	••	o/•
geschiktheid laserbron	CO ₂	✓	×	✓
	Nd:YAG, staaf	✓	✓	×
	Nd:YAG, disc	✓	✓	✓
	diode	✓	✓	×
	fiber	✓	✓	✓
o = niet geschikt/ongunstig				
• = redelijk geschikt/redelijk gunstig				
•• = uitstekend geschikt/zeer gunstig				
1) Alleen overlap				

2.4.2 Gantrysysteem

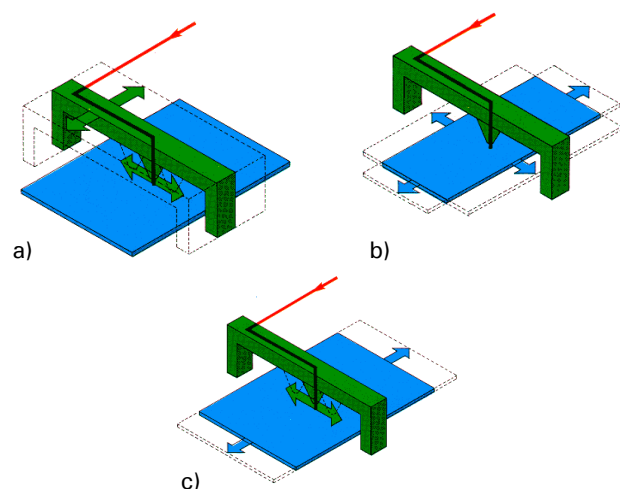
Gantrysystemen bestaan uit een aantal lineaire assen waarmee een 1, 2, 2.5 of 3D manipulatie tot stand kan worden gebracht. Voor het bewerken van driedimensionale producten zijn vijf vrijheidsgraden noodzakelijk, drie voor de positie en twee voor de oriëntatie van het

laserfocus. In figuur 2.5 is een voorbeeld van een 5-assige gantry manipulator weergegeven, waarbij naast de 3 assen voor de positie, de laskop oriëntatie door middel van 2 rotatieassen wordt verzorgd.



figuur 2.5 Voorbeeld 5-assig gantry systeem met XYZ-as voor positie en bc-as voor oriëntatie (bron: Trumpf Laser GmbH)

Om een laserspot t.o.v. van het product te bewegen, kan men gebruik maken van een productmanipulator met stationaire optiek, van een stationair product met 'flying optics' of een hybride variant (zie figuur 2.6). Welk van deze configuraties de beste bewerkingsresultaten levert hangt af van de vereiste bewerkingsnauwkeurigheid, -snelheid, en het gewicht en omvang van het te bewerken product.



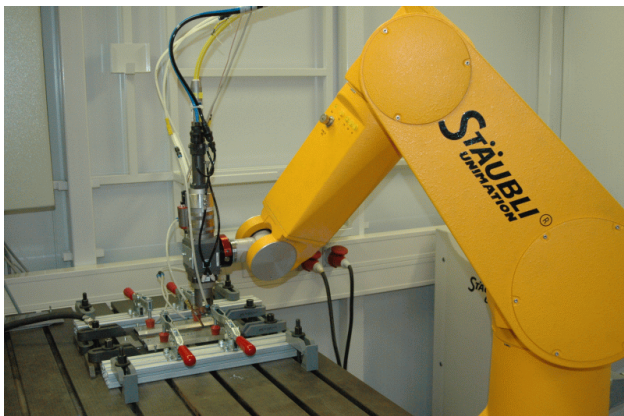
figuur 2.6 Optiek versus werkstukmanipulatie.
(a) flying optics
(b) stilstaand optiek + bewegend werkstuk
(c) hybride

In geval van lichte en kleine producten wordt vaak gekozen voor een productmanipulator met stationaire optiek of de hybride variant. Deze eenvoudige variant heeft bovendien als voordeel, dat tijdens de bewerking, de afstand tussen de laserbron en focusseeroptiek niet varieert, en er dus ook geen variatie is van de spotdiameter. Indien zwaardere producten bewerkt moeten worden (bijvoorbeeld het laserlassen van plaatmateriaal met grote afmetingen), kiest men gewoonlijk voor flying optics. Door het relatief lage gewicht van de bewerkingskop (circa 5 kg) kunnen hoge nauwkeurigheden en versnellingen worden gehaald, zelfs bij hoge bewerkingsnelheden. Flying optics worden verder onderverdeeld in systemen waarbij alleen de optiek wordt bewogen en die systemen waarbij ook de gehele laser wordt bewogen. Dit laatste is eigenlijk alleen voor de diodelaser interessant, gezien zijn relatief lage gewicht van circa 10 kg.

Gantrysystemen kenmerken zich door een hoge nauwkeurigheid (absolute nauwkeurigheid $\sim 0,05 - 0,1$ mm, herhaalnauwkeurigheid $< 0,05$ mm). Het concept en opbouw van een 5-assige gantry zorgt ervoor dat deze manipulator minder geschikt is voor echte 3D lasbewerkingen (zoals rondlassen van buisvormige constructies waarbij de buis stil staat).

2.4.3 Industriële robot

Voor het bewerken van 3D producten kan men behalve de nauwkeurige gantry manipulators ook een industriële robot inzetten. Samen met een laserbron, voorzien van een glasfiber, vormt een robot een zeer flexibel productiemiddel. Zie voor een voorbeeld van een robotopstelling figuur 2.7.



figuur 2.7 6-assige robot met laserlaskop en glasfiber

Moderne (laser)lasrobots beschikken over zes vrijheidsgraden en kunnen worden uitgebreid met additionele externe assen, 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 rechte of gekromde banen te beschrijven. Bij een industriële robot worden in het algemeen drie hoofdcomponenten onderscheiden:

- de robotarm;
- het besturingssysteem;
- de voedingseenheid.

De meest toegepaste industriële robot voor het laserlassen is een 6-assige robot: deze robot heeft 6 vrijheidsgraden en combineert een relatief groot werkgebied met een grote vrijheid en flexibiliteit van positioneren van de laserlaskop. Het werkgebied wordt nog groter, wanneer de robot ondersteboven wordt opgehangen.

De baannauwkeurigheid bij het volgen van een ingeleerd traject ligt voor een 6-assige robot in de orde van

$0,1 - 0,2$ mm. De herhalingsnauwkeurigheid bedraagt $0,05 - 0,1$ mm. Gezien de kleine procestoleranties van het laserlassen kan dit bij complexe lasgeometrieën mogelijkwijs voor problemen zorgen. Dit is echter sterk afhankelijk van de product- en lasgeometrie.

Het robotbesturingssysteem zorgt voor de synchrone aansturing van alle robotassen, waardoor een gecontroleerde trajectafloop kan worden bereikt. De robotbesturing verzorgt ook de juiste instellingen van de laserlasparameters en periferie zoals beschermgas, cross-jet en eventueel draadtoevoersystemen. Wanneer gebruik wordt gemaakt van vrij programmeerbare externe assen (externe manipulator), worden ook de manipulatorassen aangestuurd door het besturingssysteem van de robot, 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 wil lassen. Het besturingssysteem bevat tevens de hard- en software om de robot te programmeren en te bedienen. Het programmeren kan aan de robot zelf geschieden, met behulp van een zogenaamde 'teach pendant' (zie § 3.4.2). Tegenwoordig kan de robotbesturing ook verbinding met een externe PC maken, zodat het programmeren off-line kan plaatsvinden (zie hiervoor ook § 3.4.7).

De voedingseenheid verzorgt de stroomvoorziening die nodig is voor de aandrijvingen. Per bewegingsas is een aandrijfsysteem nodig.

Een standaard 6-assige robot kan worden uitgebreid met additionele positioneerapparatuur om het robotsysteem nog flexibeler en efficiënter in te kunnen zetten. Zo kan het bijvoorbeeld gewenst zijn producten te manipuleren, het werkgebied verder te vergroten, of om de product flow (logistiek) efficiënter te maken. De volgende uitbreidingen van een standaard 6-assig robotsysteem zijn mogelijk:

- externe manipulator (draai-kiep, indexeertafel);
- productwisseltafel;
- lineaire track/traverse.

Externe manipulator: draai-kieptafel

Bij het laserlassen kan het wenselijk zijn om producten in een bepaalde positie te lassen. Daarnaast kan bij complexe producten (bijvoorbeeld een haakse buis/buisverbinding) een 6-assige robot niet altijd aan de bereikbaarheidseis voldoen. Verder is het belangrijk dat bij het lassen van complexe lasgeometrieën snelle positiewisselingen van een robotarm voorkomen dienen te worden om aan de tolerantie eisen te voldoen. In bovengenoemde situaties kan het raadzaam zijn het product op een externe, 2-assige draai-kieptafel te plaatsen (zie figuur 2.8), waardoor de kritische robotbewegingen opgevangen worden. De besturing van deze externe manipulator kan volledig geïntegreerd zijn in het robotbesturingssysteem. De draai-kiep assen kunnen iedere willekeurige positie innemen, waarbij bovendien manipulator en de robot volledig gesynchroniseerd een beweging kunnen uitvoeren.

Externe manipulator: indexeer manipulator

Voor enkele laserlastoepassingen is het gebruik van een indexeerbare manipulator voldoende. Deze groep van manipulators kunnen slechts in een beperkt aantal posities worden gepositioneerd en zijn niet geschikt voor externe synchronisatie. Indexeerbare manipulators worden in het algemeen aangestuurd via de digitale uitgangen, waarover de meeste robotsystemen beschikken.

Productwisseltafel

Door het uitbreiden van een robotsysteem met een productwisseltafel kan worden voorzien in een vergroting van de productie efficiëntie. De productdelen kunnen reeds worden ingelegd en opgespannen terwijl de robot



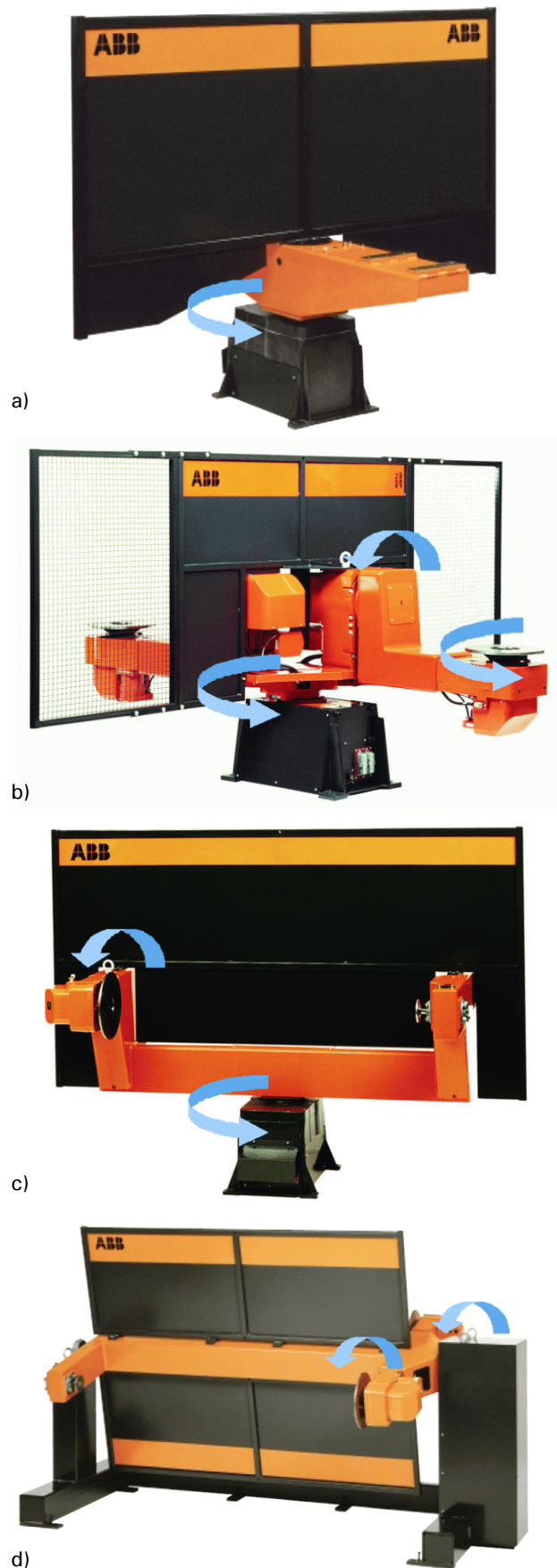
figuur 2.8 Voorbeeld van een 6-assige industriële robot met externe draai-kiep manipulator (bron: Trumpf Laser GmbH)

aan het lassen is (zie figuur 2.9). Indien de robot gereed is met de laserlasbewerking draait de tafel buiten het werkveld van de robot, waarna het gelaste product kan worden uitgenomen en de nieuwe productdelen wederom kunnen worden ingelegd/opgespannen.



figuur 2.9 Voorbeeld van een productwisseltafel (bron: Cloos)

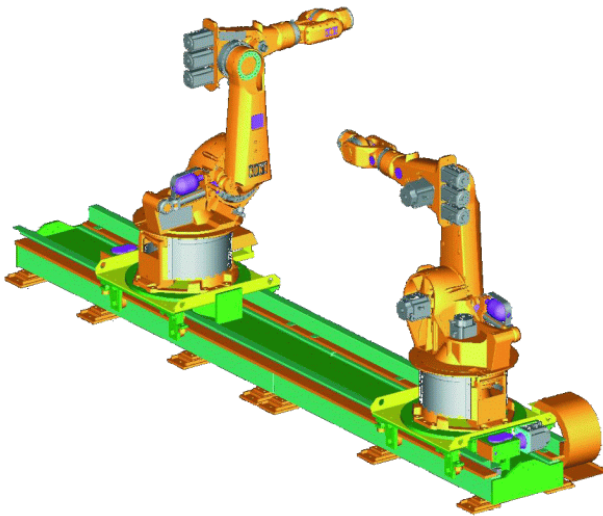
In figuur 2.10 staan een aantal varianten van productwisseltafels weergegeven. Productwisseltafels kunnen uitgevoerd worden als eenvoudige voordraaitafel met een enkele (niet synchrone) as (zie figuur 2.10a) dan wel als voordraaitafel met een synchrone draai-kiepmanipulator (zie figuur 2.10b). Een andere variant is de productrotatietafel, waarbij naast de productwisselfunctie het product via één of twee assen kan worden geroteerd (zie figuur 2.10c en d). Dit type tafel is met name geschikt voor het lassen van constructies opgebouwd uit buis en profiel.



figuur 2.10 Varianten van productwisseltafels: a) eenvoudige voordraaitafel; b) voordraaitafel met draaiklepmanipulator; c) 1-assige product rotatietafel; d) 2-assige product rotatietafel (bron ABB Robotics)

Sliding track/traverse

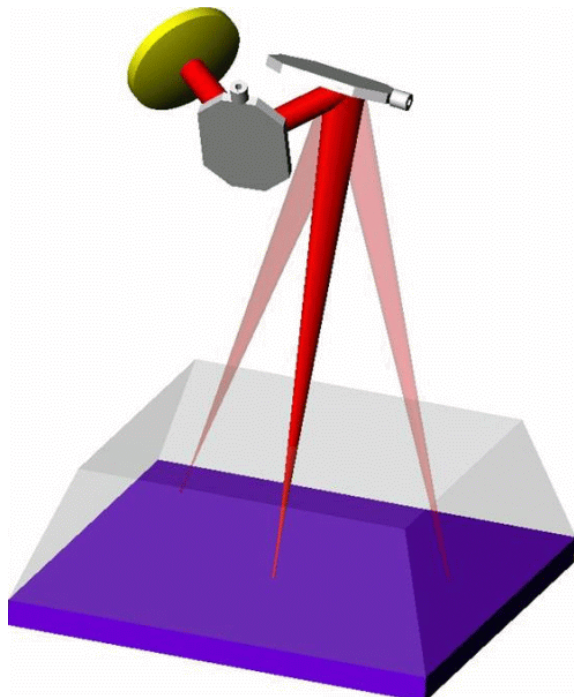
Een sliding track kan worden toegepast om enerzijds het werkgebied van de robot te vergroten, dan wel om de productie efficiëntie te verhogen door op meerdere laslocaties inzetbaar te zijn. Een voorbeeld van een sliding track systeem is gegeven in figuur 2.11.



figuur 2.11 Sliding track/traverse (bron: Kuka)

2.4.4 Remote welding systeem

Bij 'remote-welding' wordt een laserbundel gemanipuleerd door middel van een scanspiegel. Deze staat op grote afstand van het product, wat resulteert in een groot scanveld in een 2.5D vlak (zie figuur 2.12).



figuur 2.12 Principe remote-welding

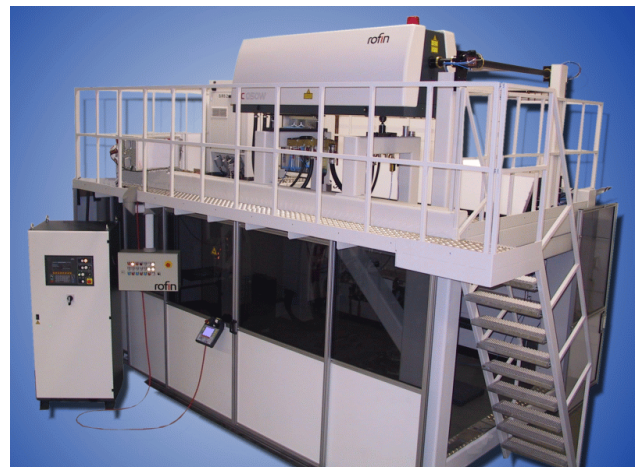
De scanspiegel is zeer licht en kan hierdoor met grote snelheid en hoge nauwkeurigheid worden bewogen. De absolute nauwkeurigheid van remote welding systemen liggen in de orde van 0,1mm bij zeer hoge positioneersnelheden ($> 10\text{m/s}$).

Dit systeem maakt het mogelijk om tussen de lastrajecten door met zeer hoge snelheid van las naar las te bewegen. Dit kan veel tijdsbesparing opleveren. Remote-welding komt het best tot zijn recht bij verbindingen die uit zeer veel lasjes (kettinglassen) bestaan; het systeem is een prima alternatief voor het weerstandslassen, waarbij de plaatdelen via overlappaden worden verbonden.

Een belangrijke voorwaarde voor het remote-welding is een laserbundel die een hoge straalkwaliteit bezit, zoals bijvoorbeeld de CO_2 -, Nd:YAG (disc)- en fiberlaser. Voor verdere informatie over deze lasertypes wordt verwezen naar Tech-Info-blad nr. TI.07.34.

Een ander aandachtspunt bij toepassing van de remote welding techniek is het ontbreken van een beschermgastoevoer vanuit de laserlaskop. Voor veel laserlas-toepassingen is vanuit sterkte oogpunt beschermgas niet een absolute noodzaak. Toch zijn er toepassingen waarbij bijvoorbeeld sterke nadruk op het lasuiterlijk wordt gelegd (bijv. zichtdelen), het basismateriaal dit noodzakelijk maakt (scheuren), of er vanwege de processtabiliteit beschermgas noodzakelijk is. Een voorbeeld van dit laatste is het laslassen van aluminiumlegeringen. In die gevallen kan een oplossing gevonden worden door de beschermgastoevoer vanuit de opspanmal te laten plaatsvinden.

Een praktische uitvoering van een remote welding systeem staat in afgebeeld in figuur 2.13.



figuur 2.13 Remote welding systeem (bron: Refin Sinar GmbH)

2.5 Laserlassen versus conventionele lasstechnieken

Het lassen van complexe producten is niet alleen voorbehouden aan het laserlassen; vaak kan met succes gebruik worden gemaakt van conventionele lastechnieken als het TIG-, MIG-, MAG-, Plasma- en puntlassen. Uit tabel 2.6 blijkt dat de belangrijkste overwegingen om voor het laserlassen te kiezen gebaseerd zijn op twee aspecten te weten: een hoge kwaliteit van de verbinding en de daarmee resulterende producten en het realiseren van hoge productiesnelheden. Dit houdt in dat bij de overweging om bij het lassen van complexe producten een laser toe te passen, er elke keer nagegaan zal moeten worden of de hoge kwaliteit van het laswerk en/of de hoge productiesnelheden noodzakelijk zijn.

De hoge investeringen die met het laserlassen gepaard gaan, zijn op zich geen reden om dit proces niet toe te passen, omdat het uiteindelijk gaat om het rendement op het geïnvesteerde vermogen (ROI). Zolang de investering zich binnen de gestelde termijn terugverdient, is

tabel 2.6 Relatieve vergelijking van het laserlassen met een aantal conventionele lasprocessen

	gekromde lasnaden	lasposities	type lasnaden	meerdere lagen	te lassen materialen staal/RVS/Alu	diktebereik economisch [mm]	kwiteit na het lassen	productiesnelheden	toelaatbare toleranties voorbewerking	nauwkeurigheid periferie	veiligheidskosten	initiele investering lasproces + robot ¹⁾
laserlassen	ja	alle	alle	nee	alle	< 5	++ +	++ +	---	---	---	---
TIG lassen	ja	alle	alle	ja	alle	< 6	++	+	-	--	+	+
plasmalassen	ja	alle	alle	ja	alle ²⁾	< 10	++	+	--	--	+	--
MIG/MAG lassen	ja	alle	alle	ja	alle	< 15	+	+(+)	+	-	+	+
puntlassen	ja	alle		nee	alle	< 3	+	+	++	+	-	-
							+++ zeer goed ++ goed + acceptabel	+++ zeer hoog ++ hoog + gemiddeld	--- zeer nauwk. -- nauwkeurig - redelijk nauwk. + ruim ++ zeer ruim	--- zeer hoog -- hoog - gemiddeld + laag	--- zeer hoog. - meer dan gem. + gemiddeld	--- zeer hoog. -- hoog - meer dan gem. + gemiddeld
1) er is van uit gegaan, dat de lasprocessen gekoppeld worden aan een 6-assige knikarmrobot												
2) niet aluminium												

dit nooit een argument om de techniek niet toe te passen. Als de kwaliteitsaspecten zo zwaar wegen dat laser-technologie de enige optie is en de kosten ondergeschikt zijn, is er ook geen reden om niet te kiezen voor het laserlassen. In alle andere gevallen kan met succes gebruik gemaakt worden van bestaande technieken, waarbij evenals bij het laserlassen de afweging voor een specifiek lasproces gebaseerd zal zijn op technische en economische gronden.

Uitgangspunt bij het laserlassen is dat de lassen in één laag gelegd worden; dit geldt zeker voor complexe producten. Het verdient dan ook de voorkeur om zonder toevoegmateriaal te werken. Echter binnen bepaalde omstandigheden is het gebruik van toevoegmateriaal noodzakelijk (zie § 3.2).

De praktijk leert dat voor het lassen van overlappenden in dunne plaat er nog steeds veel gebruik wordt gemaakt van het puntlassen. Is een dichte lasnaad gewenst, dan zal de keuze vallen op het TIG-, MIG-, MAG- en plasma lassen, dan wel het boogsolderen. Het gaat te ver om in het kader van dit Tech-info-blad aan te geven welke selectiecriteria hierbij een rol spelen, hiervoor kan op de websites www.dunneplaat-online.nl en www.verbinden-online.nl uitvoerige informatie worden gevonden.

3 Hulpmiddelen

3.1 Sensoren

Het laserlasproces staat bloot aan vele verstoringen, zoals uitlijnfouten tussen werkstuk en manipulator, onnauwkeurige naadvoorbewerking, manipulator onnauwkeurigheid en procesverstoringen die lasdefecten kunnen veroorzaken.

Bij handmatige lasprocessen is de operator in staat om veel van deze verstoringen intuïtief op te lossen; echter deze oplossingsstrategie is bij toepassing van de laser-technologie niet mogelijk, omdat dit proces in de meeste gevallen plaatsvindt in een gemechaniseerde

dan wel geautomatiseerde omgeving. De inzet van sensoren kan hierbij hulp bieden, waarbij onderscheid kan worden gemaakt in de toepassing. Sensoren kunnen worden ingezet om geometrische lasaspecten in kaart te brengen, zoals het startpunt van de las, de ligging van de lasnaad (autonoom lasnaad teachen) en voor lasinspectie, waarbij een profielmeting kan worden uitgevoerd van de gerealiseerde lasnaad. Een ander belangrijk inzetgebied van sensoren is het verschaffen van procesgerelateerde informatie. Allereerst kan de procesconditie in kaart worden gebracht, inclusief de eventuele verstoringen ('procesmeting'). Op basis van het sensor-sig-naal kan als verdere stap het lasproces autonoom worden geregeld naar een stabiele toestand ('proces control').

In § 3.1.2 worden sensoren voor het inleren en volgen van een lasnaad, dan wel het inspecteren van de lasnaadgeometrie besproken. De verschillende typen proces-sensoren, met het daarbij behorende inzetgebied, worden in de volgende paragraaf besproken.

3.1.1 Sensoren voor procesmeting en -control

Op dit moment zijn verschillende principes beschikbaar om de processtabiliteit in kaart te brengen en eventuele lasdefecten te detecteren. Daartoe kan een onderverdeling in werkingprincipe en inzetbereik worden gemaakt zoals aangegeven in tabel 3.1.

Men spreekt over procescontrol indien het sensorsig-naal als ingang van een regelkring wordt gebruikt en waarbij bijvoorbeeld het laservermogen als uitgang dienst doet. Op basis van deze regelkring kan bijvoorbeeld de door-lassing gehandhaafd blijven onder verschillende procescondities.

Bij laserlassen worden meestal optische sensoren ingezet voor procesmeting en - control. Details van deze sensoren zullen hierna behandeld worden.

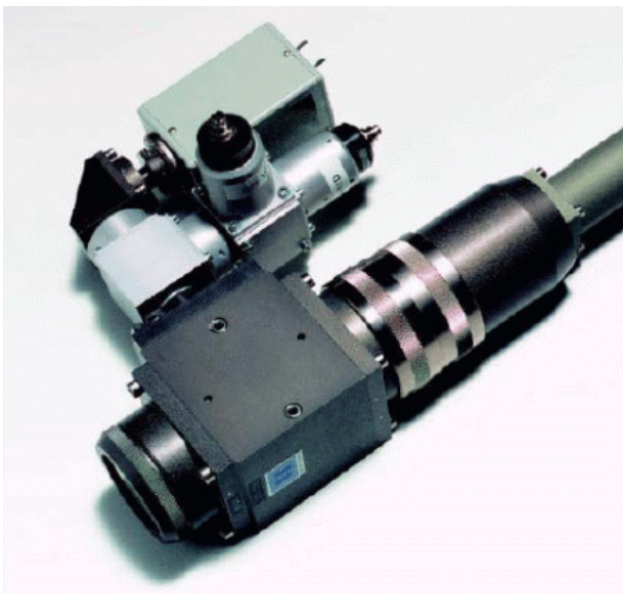
tabel 3.1 Overzicht sensoren voor procesmetingen

	materiaal & seriegrootte			procesinformatie						
	materiaal (staal, RVS, alu)	klein serie	grote serie	lasbad geometrie	processtabiliteit	volledige doorlassing	penetratiediepte	focuspositie	lasspatten	scheurvorming
optische sensoren: fotodiode	alle ¹⁾	●	●●	o	●●	●●	●	●●	●●	o
optische sensoren: CMOS camera	alle ¹⁾	o	●●	●●	●●	●	●	●	●●	o
akoestische sensoren ²⁾	alle	o	●	o	●●	●●	o	●	o	●
o = niet geschikt; ● = redelijk geschikt; ●● = uitstekend geschikt										
1) alu moeilijker										
2) toepassing van dit type sensoren bevindt zich nog in onderzoeksfase										

Fotodiodes en camerasystemen vallen beide onder de groep van optische sensoren. Deze kunnen worden ingezet voor een groot aantal taken, waaronder het bewaken van de processtabiliteit. Als basis van het principe staat het meten van de stralingsintensiteit gereflecteerd vanuit de laserlaspluim en/of het smeltbad met daarin de eventuele keyhole. Het signaal is sterk afhankelijk van het te lassen materiaal en de condities van het smeltbad en de keyhole.

Fotodiodes

Bij gebruik van fotodiodes levert de sensor een intensiteit versus tijdsignaal op. Veelal wordt de sensor aan de laserlaskop gemonteerd als onderdeel van het optische pad richting de uitrictcamera (zie figuur 3.1). Een voordeel van deze plaatsing is, dat de sensoren altijd coaxiaal met de laserbundel staan uitgelijnd. Dit principe laat het ook toe, dat verschillende sensoren elk met een eigen meetbereik gecombineerd¹⁾ kunnen worden. Hiermee kunnen verschillende eigenschappen van het laserlasproces en de daarbij optredende defecten geïnspecteerd worden.

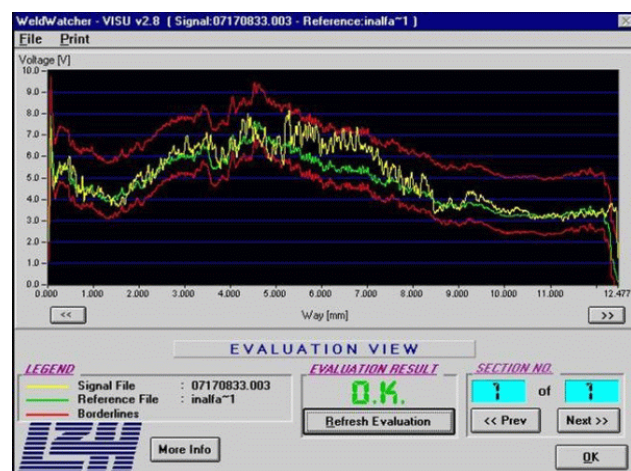


figuur 3.1 Processensoren gemonteerd aan de laserlaskop

De op de fotodiode gebaseerde sensor kan bij fibergeleide lasers (Nd:YAG-, fiber- en diodelaser) eveneens in de laserbron geplaatst worden. Hierbij wordt het gereflecteerde proceslicht door de laserfiber geleid en afgevangen in de laserbron. Voordeel is, dat de laserkop compact gehouden kan worden. Veelal kan echter met dit sensorsysteem naar slechts één specifiek meetbereik gekeken worden.

Voorbeeld optische sensoren (fotodiodes) voor procesbewaking

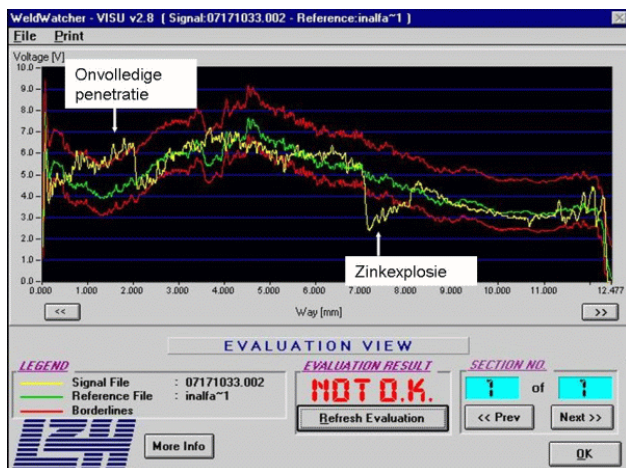
In figuren 3.2 en 3.3 wordt een voorbeeld gegeven van het gebruik van fotodiode sensor signalen als onderdeel van de procesbewaking bij het laserlassen van verzinkt staal in een overlapverbinding, waarbij de signalen per lastraject automatisch worden geregistreerd. Bij het instellen van het procesbewakingssysteem is allereerst een zogenaamd referentiesignaal van een laserlastraject gecreëerd; een gemiddeld lassignaal welke kenmerkend is voor goede laserlaskwaliteit. Op basis van dit referentiesignaal zijn er tolerantiebanden (borderlines) rond dit signaal aangebracht. Vervolgens kan het systeem op basis van het referentiesignaal gebruikt worden voor evaluatie en registratie van laserlassen in de productieomgeving. In figuur 3.2 is een voorbeeld te zien van een sensorsignaal behorende bij een laserlas die als goed wordt gekwalificeerd. In figuur 3.3 staat een voorbeeld



figuur 3.2 Sensorsignaal van een goede las

1) Bij inzet van meerdere sensoren wordt in de praktijk vaak in het volgende golflengte bereik gemeten:

- ▶ Temperatuursensor: $\lambda = 1000-1800$ nm (infrarood)
- ▶ Nd:YAG-laser reflectiesensor: $\lambda = 1064$ nm (nabij infrarood)
- ▶ Plasmasensor: $\lambda = 440-500$ nm (zichtbaar licht)



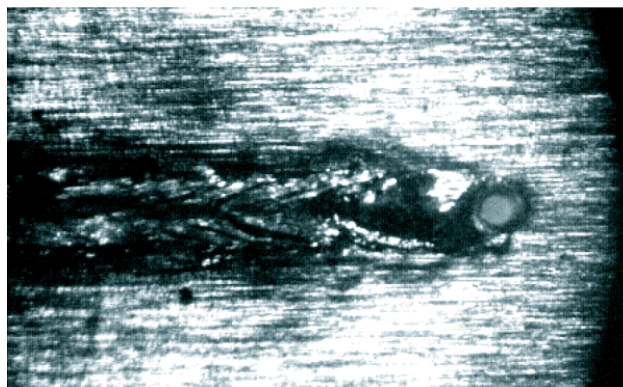
figuur 3.3 Sensorsignaal van een slechte las

van een slechte las. Na analyse van het signaal en visuele beoordeling is geconstateerd, dat er op sommige locaties onvolledige penetratie heeft plaatsgevonden; ook zijn er zinkexplosies opgetreden. Bij onvolledige penetratie piekt het sensorsignaal boven de tolerantiebanden uit, omdat het aandeel proceslicht ten gevolge van onvolledige doorlassing groter wordt. Bij het ontstaan van zinkexplosies zakt het sensorsignaal tot beneden de tolerantieband.

CMOS camera

Een alternatief voor de fotodiode is de inzet van een camera. Hiermee kan een volledig 2D beeld van de thermische straling vanuit het smeltbad worden verkregen als functie van de tijd. Als camera beeldsensor worden tegenwoordig hoofdzakelijk CMOS chips gebruikt, die in tegenstelling tot CCD chips een zeer hoog dynamisch bereik hebben. Dit betekent, dat het thermische beeld vanuit het smeltbad, ondanks de aanwezigheid van verstorend laser- of proceslicht, goed kan worden waargenomen.

Geometrische smeltbadinformatie kan met een CMOS camera worden verkregen door additionele procesverlichting (middels een specifieke golflengte van bijvoorbeeld een diodelaser) toe te passen. Deze techniek is ook geschikt voor die laserlastoepassingen waarbij de thermische straling vanuit het smeltbad moeilijk waarneembaar is (bijvoorbeeld bij het laserlassen van aluminium). In figuur 3.4 is een camerabeeld te zien van laserlassen van AA5182 aluminium met externe procesverlichting, waarbij de keyhole te onderscheiden is.



figuur 3.4 CMOS camerabeeld laserlassen van aluminium AA5182 met externe 805 nm diode procesverlichting waarbij de keyhole zichtbaar is

Op dit moment zijn er procesbewaking systemen beschikbaar op basis van een camera. De uitbreiding van dit soort systemen naar een volwaardig autonoom procescontrole systeem wordt op dit moment nog verder ontwikkeld.

3.1.2 Naadvolgsensoren

Een naadvolgsensor kan worden ingezet om het startpunt van een lasnaad te detecteren (lasnaad zoeken) en positioneerfouten van de laserbundel t.o.v. de lasnaad te corrigeren. Deze positioneerfouten kunnen het gevolg zijn van:

- ▶ producttoleranties;
- ▶ fouten in de lasmal en opspanning van de onderdelen;
- ▶ thermische vervorming van de onderdelen t.g.v. de ingebrachte warmte;
- ▶ positiefouten van de manipulator (robot).

Naadvolgsensoren zijn meestal componenten die extern aan de laskop worden gemonteerd. Dit kan bij het laserlassen van complexe producten nadelig zijn voor de bereikbaarheid. De meest gebruikte sensoren zijn tactiele en triangulatiesensoren. Met de laatstgenoemde sensor kan eveneens inspectie van de gerealiseerde lasnaad door middel van profielmeting achteraf worden uitgevoerd (geometrische laskwaliteitsinspectie).

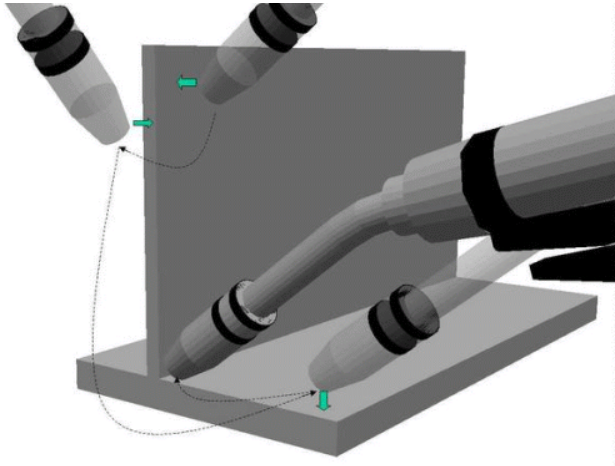
Hierna worden twee typen naadvolgsensoren behandeld: de tactiele en triangulatiesensor. In tabel 3.2 staat voor deze twee varianten een overzicht van het inzetgebied en de mogelijkheden in relatie tot het type lasnaad weergegeven.

tabel 3.2 Overzicht naadvolgsensoren

	materiaal & seriegrootte			lasnaadtypen						
	materiaal (staal, RVS, alu)	klein serie	grote serie	I - naad	overlapnaad	afsmeltnaad	hoeknaad (binnenhoek)	hoeknaad (buitenhoek)	voegnaad	randlas
tactiele sensor	alle	●●	●●	●	● ¹⁾	●●	●●	○	●●	●
triangulatiesensor	alle ²⁾	●●	●●	●	● ¹⁾	●●	● ³⁾	●	●●	●
○ = niet geschikt; ● = redelijk geschikt; ●● = uitstekend geschikt										
1) mogelijk indien off-set wordt toegepast tussen meetspot en laspositie										
2) alu moeilijker										
3) vereist softwarematige aanpassing besturing sensor										

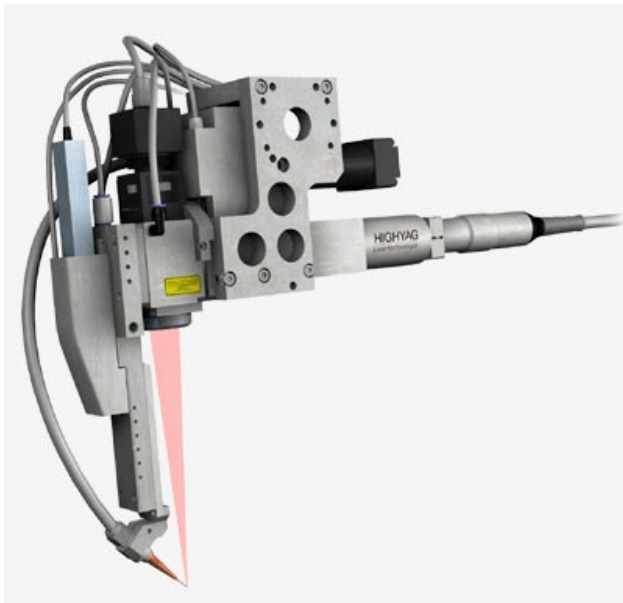
Tactiele naadvolgsensoren

Tactiele sensoren kunnen een positie bepalen op basis van fysiek contact tussen sensor en werkstuk. De meest eenvoudige versie van een tactiele sensor is een contact sensor waarbij een elektrisch geladen tip contact maakt met het werkstuk (zie figuur 3.5). Dit principe wordt veelal toegepast bij booglasprocessen, waarbij de elektrisch geladen gascup of lasdraad contact maakt met het werkstuk, waarbij kortsluiting ontstaat. Op basis hiervan kan de robotcontroller de actuele laspositie vergelijken met de positie uit het lasprogramma en, waar nodig, correcties uitvoeren.



figuur 3.5 Tactielsensor op basis van elektrisch contact

Bij een andere variant van een tactielsensor worden de krachten op de tip gemeten en kan worden afgeleid wanneer de tip het werkstuk/lasnaad raakt (zie figuur 3.6). Afhankelijk van het aantal sensoren en de positionering, kan zowel de positie als oriëntatie van de lasnaad worden gemeten. Als meettip kan naast een pen ook een kogel, rolcontact of wiel worden gebruikt, afhankelijk van de toepassing. Dit type tactielsensor is in de basis geschikt om te gebruiken in combinatie met laserlassen.

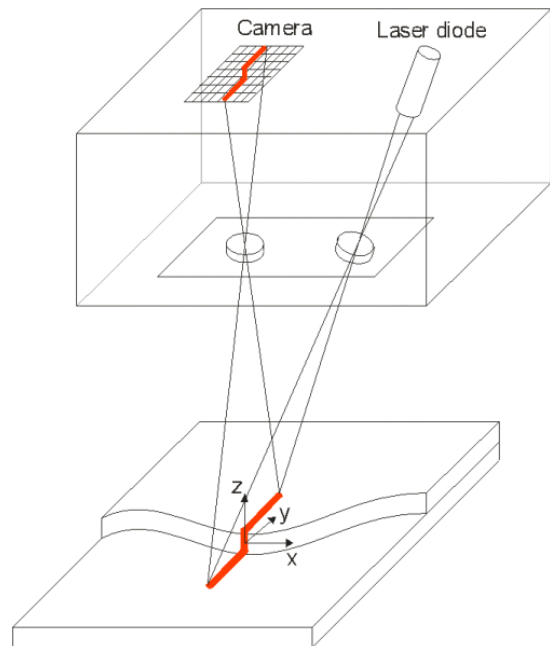


figuur 3.6 Tactielsensor op basis van gemeten kracht op sensortip (bron: High-YAG GmbH)

Triangulatie naadvolgsensoren

Bij naadvolgsensoren voor laserlassen die werken volgens het triangulatieprincipe wordt een lichtpatroon

(een lijn in figuur 3.7)) over de lasnaad geprojecteerd. Uit een camerabeeld van het (door de lasnaad vervormde) lichtpatroon kan vervolgens de locatie en de oriëntatie van de lasnaad worden bepaald.



figuur 3.7 Werkingsprincipe naadvolgsensor op basis van het triangulatieprincipe

Meetnauwkeurigheden liggen in de orde van $\pm 50 \mu\text{m}$. De sensor wordt gefixeerd t.o.v. de laskop en meet, bij voorkeur met een hoge frequentie ($> 200 \text{ Hz}$), vooruitlopend aan het lasproces, de locatie van de lasnaad. Vervolgens wordt tijdens het lassen de baan van de manipulator gecorrigeerd, opdat de laserspot op de naad blijft. Afhankelijk van de prestaties van de sensor en de manipulator kunnen positiefouten tot circa 1,5 mm worden gecorrigeerd.

Behalve het on-line corrigeren van de baan tijdens het lassen, kan de sensor ook off-line worden gebruikt voor het programmeren van de baan. D.w.z. de sensor meet voorafgaand aan het lassen (op lage snelheid) de lasnaad op en genereert automatisch NC data voor de manipulator. Daarnaast kan dezelfde sensor worden gebruikt voor lasnaadinspectie (profielmeting), nadat de las is gelegd.

3.2 Draadtoevoersystemen

3.2.1 Koudedraad toevoer

Het toepassen van koude draadtoevoer bij het laserlassen (zie figuur 3.8) heeft een tweeledig doel:

- Door het toevoegen van legeringselementen kunnen materiaalkundige eigenschappen van de las worden verbeterd.
- Toepassing van koudedraad verruimt de procestoleranties, waardoor spleten beter overbrugd kunnen worden

Bij het laserlassen van een aantal aluminiumlegeringen (5000 en 6000-serie) kan het toepassen van een koude draad veel voordelen bieden. Door keuze van het juiste type toevoegdraad kan de warmtegevoeligheid tijdens de afkoelfase drastisch worden verminderd. Ook kan de hardheid van de las en de warmte beïnvloede zone (WBZ) gunstig beïnvloed worden, wat resulteert in verbeterde sterkte- en vermoeiingseigenschappen. Daarnaast heeft het toepassen van koude draadtoevoer een gunstige uitwerking bij toepassingen waarbij ongelijksoortige materialen worden gelast.



figuur 3.8 Laskop met draadtoevoer (bron: Dinse)

Toepassing van koudedraad toevoer zorgt verder voor een verruiming van de procestoleranties. Bij kritische lasnaadvormen (bijvoorbeeld binnenhoeknaad), dan wel onnauwkeurige productdelen, zorgt het additionele materiaal voor een betere lasnaadvulling en verbeterde spleetoverbrugging. Dit heeft ook een positief effect op het lasuiterlijk.

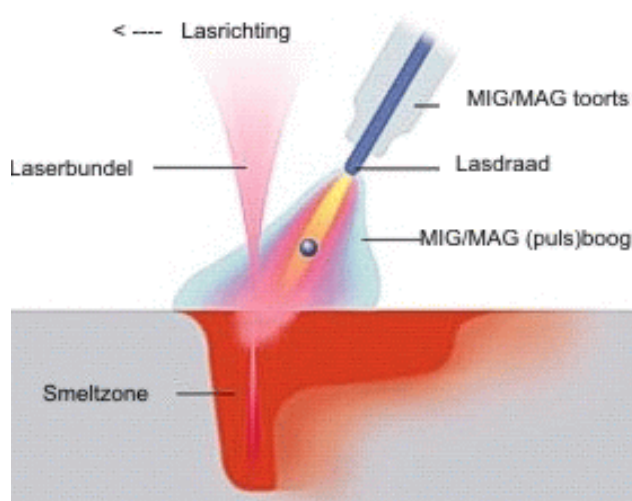
Koudedraad toevoersystemen zijn in principe ook geschikt voor het lasersolderen. Daarbij zorgt de laserbundel voor verhitting van de productdelen en vindt er door middel van een koper-, zink- of zilverhoudende draad (het soldeer) een soldeerverbinding plaats.

3.2.2 Voorverwarmde draad

Sommige draadtoevoersystemen hebben de mogelijkheid om de lasdraad voor te verwarmen. Dit heeft gunstige uitwerking op het rendement van het laserlasproces, omdat er minder laserenergie verloren gaat voor het smelten van de lasdraad. De lassnelheid kan hierdoor worden verhoogd.

3.2.3 Hybride laserlassen

Het hybride laserlassen is een combinatie van een laser met een plasma, TIG of MIG/MAG lasproces/laskop (zie figuur 3.9). Het laser-MIG/MAG hybride lassen wordt uitgevoerd met een laser (Nd:YAG, CO₂, fiber of diode) en het MIG/MAG lassen. Het grote voordeel van het hybride laserlassen is het verruimen van de proces- en producttoleranties ten gevolge van de toevoerdraad en het grotere smeltbad. Daarnaast heeft de combinatie van het booglas- en laserlasproces een gunstig effect op de processtabiliteit en kan in sommige gevallen de lassnelheid (in vergelijking met laserlassen) verder worden verhoogd. Als één van de nadelen kan de toename in procescomplexiteit worden genoemd, omdat bij hybride laserlassen de parameters voor twee processen geoptimaliseerd dienen te worden. Verder zorgt de praktische uitvoering van de laskop ervoor, dat er concessies aan de bereikbaarheid van de lasnaad worden gedaan. Meer informatie over het hybride laserlassen is te vinden in Tech-Info-blad nr. TI.07.36 "Laser-MIG/MAG hybride lassen".



figuur 3.9 Principe hybride laserlassen (bron Fronius)

3.3 Opspanmiddelen

3.3.1 Inleiding

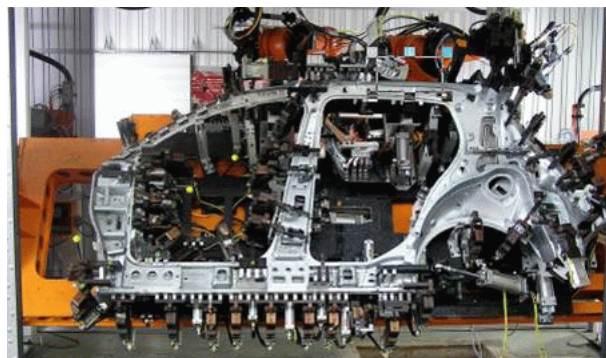
Een juiste keuze en ontwerp van opspanmiddelen is een essentiële stap bij het lassen in het algemeen en bij het laserlassen in het bijzonder.

Voor opspanmiddelen geldt:

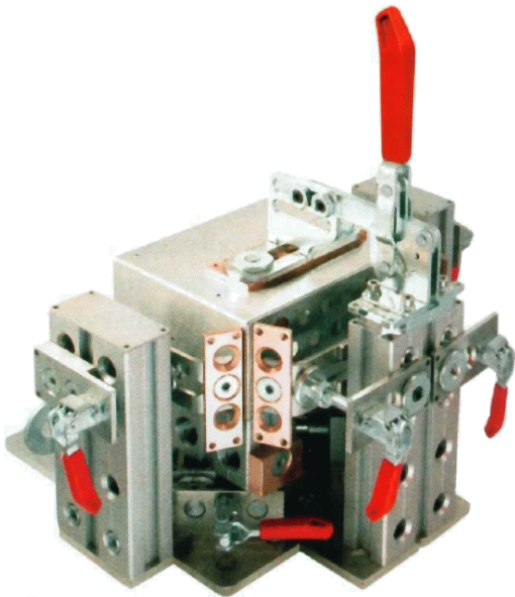
- de opspanmal bepaalt de kwaliteit van het te lassen product;
- de opspanmal bepaalt de mogelijke efficiëntie van de laserlasbewerking;
- opspanmallen mogen geen belemmering vormen voor de laserlasbewerking.

De afweging in de manier van opspannen is van belang voor de kostprijs van een product. Speciaal aangemaakte opspanmiddelen voor grote series (zie figuur 3.10) kunnen heel kostbaar zijn, maar door hun efficiëntie veel voordeel bieden. De seriegroottes in de Nederlandse maakindustrie worden steeds kleiner. Door deze ontwikkeling loont het zich steeds minder om speciale vaste opspanmiddelen aan te maken en worden universele, modulaire opspanmiddelen steeds belangrijker (zie figuur 3.11). Ongeacht welk opspanmiddel of welke opspanmethode er wordt gebruikt, de basisprincipes voor het opspannen blijven altijd van kracht.

Een lasmal bestaat meestal uit een basisframe of een universele opspan tafel 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.



figuur 3.10 Voorbeeld van een vaste opspanmal voor grote series producten



figuur 3.11 Voorbeeld van een universele modulaire opspanmal (bron: Thum-Tec GmbH)

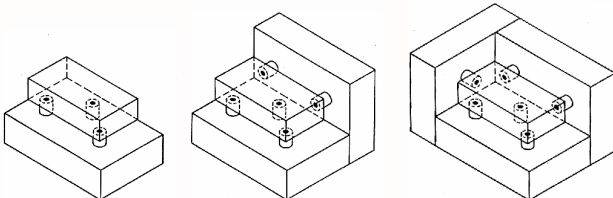
3.3.2 Basisprincipes voor het opspannen

Voor het verantwoord toepassen van bewerkingstechnologieën en het bepalen van de eindkwaliteit van het te bewerken product, moet er aan twee voorwaarden worden voldaan bij het opspannen:

- ▶ het product moet op de juiste manier in het opspanmiddel worden gepositioneerd;
- ▶ de klemkracht van het opspanmiddel moet op de juiste manier en met de juiste grootte op het product worden overgebracht.

Positioneren

Om aan de bovengenoemde punten te kunnen voldoen, moet er volgens het basisprincipe, de 3,2,1 regel worden gewerkt. De 3,2,1 regel gaat uit van 6 positioneerpunten ($3 + 2 + 1 = 6$). Deze positioneerpunten zorgen ervoor dat de vrijheidsgraden van het product wordt vastgelegd, waardoor de positie van het product wordt bepaald. Positioneerpunten moeten altijd zover mogelijk uit elkaar worden geplaatst. Positioneerpunten die dicht bij elkaar liggen verminderen de positioneernauwkeurigheid. Bij elke opspanmethode is het 3,2,1 principe van kracht. Wordt er van deze regel afgeweken, dan is de opspanning onderbepaald of overbepaald. In figuur 3.12 wordt weergegeven hoe de 3,2,1 regel werkt.



figuur 3.12 Het principe van de 3,2,1 regel bij opspannen

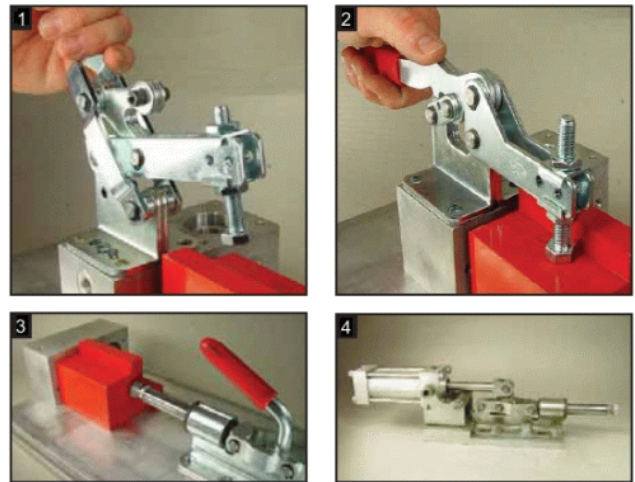
Klemmen

Het fixeren van het te bewerken product wordt gedaan door het product tegen de positioneerpunten aan te klemmen door middel van één of meer klemkrachten. Deze klemkrachten staan bij voorkeur loodrecht op de positioneerpunten.

Bij laserlasbewerkingen is het van belang dat de verhouding tussen spantijd en productietijd optimaal wordt gekozen: het is meestal niet wenselijk 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. Deze kunnen zowel handmatig als pneumatisch worden bediend (hydraulische bediening van spanners wordt bij lasmallen 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 zijn aanzienlijk hoger dan van handspanners, terwijl ook de pneumatische leidingen zodanig op de lasmal 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, grotere series en een lange levenscyclus.

Snelspanners werken veelal volgens het kniehefboomprincipe. Snelspanners bestaan in verticale, horizontale en schuifstanguitvoering (zie figuur 3.13). Behalve snelspanners op basis van het kniehefboomprincipe worden ook excenterspanners gebruikt (zie figuur 3.14). Deze spanners zijn vaak compacter te bouwen dan kniehefboomspanners.



figuur 3.13 Snelspanners: 1) verticaalspanner; 2) horizontaalspanner; 3) schuifstang snelspanner; 4) pneumatische snelspanner (bron: Schiltz)



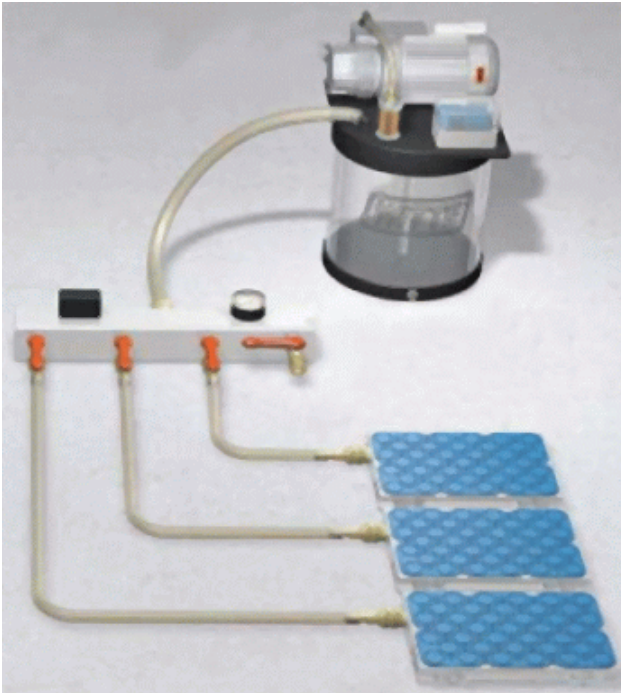
figuur 3.14 Excenterspanner (bron: Schiltz)

Soms wordt gebruik gemaakt van magneten of vacuümtafels als spanelementen (zie figuur 3.15). Wel dient men er rekening mee te houden, dat bij magneten geen constante klemkracht wordt geleverd en de reproduceerbaarheid minder is. Bovendien is de magneetkracht afhankelijk van de temperatuur van het werkstuk (opwarmeffect!). Vacuümtafels zijn toepasbaar voor het laserlassen van dunne plaat ($< 0,5$ mm) en folies.

3.3.3 Aandachtspunten opspannen bij laserlassen

Kleine procestoleranties

Vanwege de kleine laserspot, de geringe scherptediepte en de kleine toleranties moeten de te lassen onderdelen



figuur 3.15 Voorbeeld van een vacuüm opspanset

nauwkeurig worden opgespannen. Bovendien kan, ondanks de geringe warmte-inbreng tijdens het laserlassen, het product thermisch vervormen. Een voldoende nauwkeurige lasmal is dus vereist.

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 inclusief laserlaskop 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 manipulator en de laserlaskop zullen innemen tijdens de afloop van het bewerkingprogramma. Een goede methode om dit inzicht te verkrijgen, is het bevestigen van een gehecht of gelast product op de locatie waar deze door de manipulator zal worden gelast. Vervolgens dienen alle lasnaden door de laserlaskop in de juiste laspositie te worden benaderd, waarbij de ruimte die door de manipulator 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 off-line simulatiepakket. Met een dergelijk pakket kan een volledig driedimensionale simulatie van de afloop van een bewerkingprogramma op een computer worden uitgevoerd. Tijdens deze simulatie kunnen botsingsanalyses tussen de manipulator enerzijds en het product en mal anderzijds worden uitgevoerd.

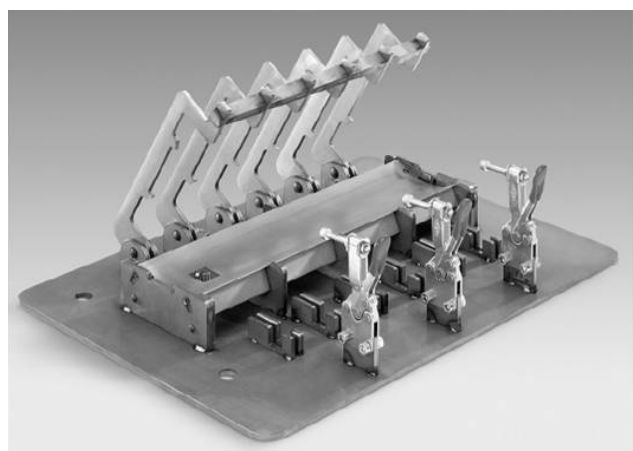
Overige aandachtspunten: tips

Bij het ontwerp van een lasmal voor laserlassen dient men de volgende aspecten in acht te nemen:

- ▶ de positie van de opspanmal moet tijdens de bewerking gehandhaafd blijven;
- ▶ indien lasmallen veelvuldig gewisseld worden (kleine series), dienen de mallen eenvoudig verplaatsbaar te zijn (voorzien van hijsogen/rollen) en is reproduceerbare positionering door middel van paspen/pas-

bussen essentieel. Ook is het belangrijk dat er adequate referentiepunten op de mal worden aangebracht voor het robotprogramma;

- ▶ het opspanmiddel mag het werkstuk niet (plastisch) vervormen als gevolg van de opspankracht;
- ▶ de lasmal dient op kritische plaatsen te worden gemaakt van een slijtvast staal om slijtage aan de lasmal (en dus verlies van opspanningsnauwkeurigheid), t.g.v. veelvuldig opspannen van producten, te voorkomen;
- ▶ essentiële delen van de mal waarop zich lasspatten kunnen hechten, kunnen van koper worden uitgevoerd. Een alternatief is het aanbrengen van spat-schermen, die essentiële delen zoals aanslagen beschermen tegen de lasspatten. Wel dient er rekening mee te worden gehouden, dat de bereikbaarheid van de manipulator niet in het geding komt;
- ▶ puntklemming en/of hoge klemkrachten, waardoor het product en de lasnaad ter plaatse van de klem vervormt, dienen te worden voorkomen;
- ▶ voorzie de lasmal van voldoende 'bulk materiaal' (van koper) voor de afvoer van laswarmte, zodat thermische vervormingen worden geminimaliseerd. Een watergekoelde lasmal kan een oplossing zijn voor kritische producten. Thermisch vervormen van de lasnaad (d.w.z. het gaan openstaan van de lasnaad tijdens het lassen) kan worden voorkomen door de producten te voorzien van (laser)hechtlassen (puntlassen), alvorens een continue las wordt gelegd;
- ▶ wanneer het product wordt bewogen, kan het onder invloed van massastraaligheden vervormen;
- ▶ zorg dat de laskop, de laserbundel en de buis voor gasafscherming vrij baan hebben langs de lasmal en klemmen (botsingsgevaar);
- ▶ voorzie de lasmal van een gastoevoersysteem (bijvoorbeeld kanaaltjes), wanneer het product wordt doorgelast. Zo wordt ook de onderzijde van de las beschermd. Bij toepassing van de remote welding techniek dient de lasmal die functie van beschermgastoevoer over te nemen indien dit vereist wordt vanuit het te lassen materiaal of vanuit de laskwaliteitseis;
- ▶ bij laserlassen treden er ten gevolge van de lage warmte-inbreng en het contactloze proces minimale reactiekrachten op. Daartoe kan de lasmal vaak eenvoudig worden uitgevoerd, waarbij wel aan de hoge nauwkeurigheidseisen voldaan wordt. Bij laserlassen van kleine series kunnen opspanmallen opgebouwd uit lasergesneden plaatdelen met pen-gat verbindingen een interessant alternatief zijn (zie figuur 3.16);



figuur 3.16 Opspanmal kleine serie producten bestaande uit lasergesneden plaatdelen (bron: Trumpf Laser)

- ▶ Ondanks het feit, dat laserlassen zich kenmerkt door een lage warmte-inbreng, kan het in sommige geval-

len wenselijk zijn, dat een lasmal ook een koelende functie heeft. Hierdoor kunnen ongewenste (thermische) vervormingen van de te lassen onderdelen worden onderdrukt. Als voorbeeld kunnen lastoepassingen genoemd worden, waarbij grote laslengten in dun plaatmateriaal worden aangebracht. De koelende functie kan worden bereikt door 'heat sinks' te gebruiken. Deze 'heat sinks' maken voldoende contact met het gelaste onderdeel en kenmerken zich door een goede warmtegeleiding en voldoende hoge warmtecapaciteit. Op deze manier wordt een afdoende koeling gewaarborgd. 'Heat sinks' worden in veel gevallen uit koper geconstrueerd. De koelende functie kan worden versterkt door waterkoeling toe te passen.

3.4 Programmeertechnieken

3.4.1 Inleiding

Het programmeren van een lasrobot kan op vele manieren plaatsvinden. Daarbij kan het onderscheid worden gemaakt in twee hoofdgroepen, namelijk het on-line programmeren en het off-line programmeren. Bij on-line programmeren wordt het lasprogramma direct in de robotbesturing geprogrammeerd; het off-line programmeren vindt plaats buiten de robotcel, waarna het programma naar de robotbesturing wordt gestuurd. Binnen deze twee hoofdgroepen zijn de nodige varianten en combinaties tussen on-line en off-line mogelijk.

3.4.2 Handmatig teachen ('teach-in')

Een methode die veelal wordt toegepast is het handmatig teachen, ook wel teach-in genoemd. Bij deze on-line programmeermethode wordt met behulp van het teach pendant (zie figuur 3.17) de laskop bewogen over het lastraject, waarbij discrete posities met de daarbij behorende oriëntaties worden opgeslagen. Tegelijkertijd worden in deze posities gegevens zoals bewegingstype, lassnelheid en lasparameters vastgelegd.

3.4.3 NC programmeren

Bij het NC programmeren (zie voorbeeld in figuur 3.18) wordt iedere afzonderlijke sequentiële programmapstap handmatig geprogrammeerd. Dit kan zowel on-line als off-line plaatsvinden. De bijbehorende robotposities en oriëntaties worden vervolgens aan de robot door middel van teachen met behulp van het pendant vastgelegd.



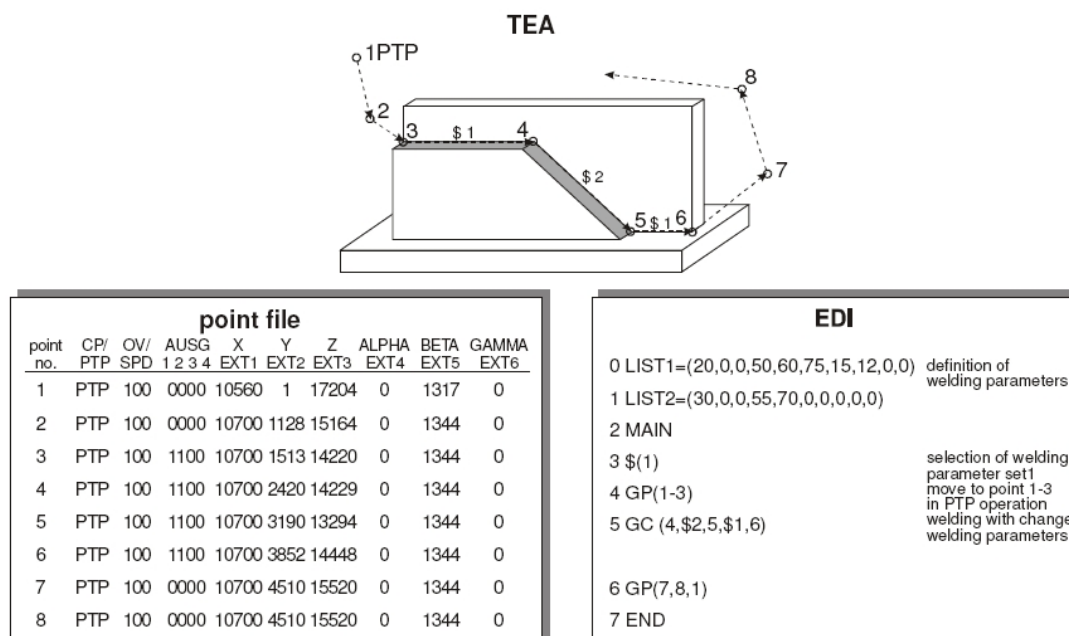
figuur 3.17 Teach pendant (bron: Fanuc)

3.4.4 Macro programmeren

Een variant van het (handmatig) NC programmeren is het macro programmeren. Dit biedt een oplossing voor robotbewegingen die in een laserlasjob meerdere keren worden uitgevoerd en waarbij slechts de beginposities en/of oriëntaties van het lastraject worden gewijzigd. Het lastraject hoeft slechts eenmalig te worden geteached, waarbij de macro van dit traject in het NC programma telkens wordt aangeroepen. Naast de lasposities en -trajecten kunnen lasparameters in een macro worden geplaatst.

3.4.5 Parametrisch programmeren

Het parametrisch programmeren is eveneens een variant van het (handmatig) NC programmeren. Indien het te lassen product onderdeel is van een productfamilie met variaties in afmetingen, dan kunnen de lasposities worden vastgelegd, waarbij een variabele meegegeven kan worden waarvan de waarde afhankelijk is van het producttype. De laserlasparameters kunnen ook afhankelijk van deze variabele worden gemaakt. Zodoende kan veel



figuur 3.18 Voorbeeld van een NC programma

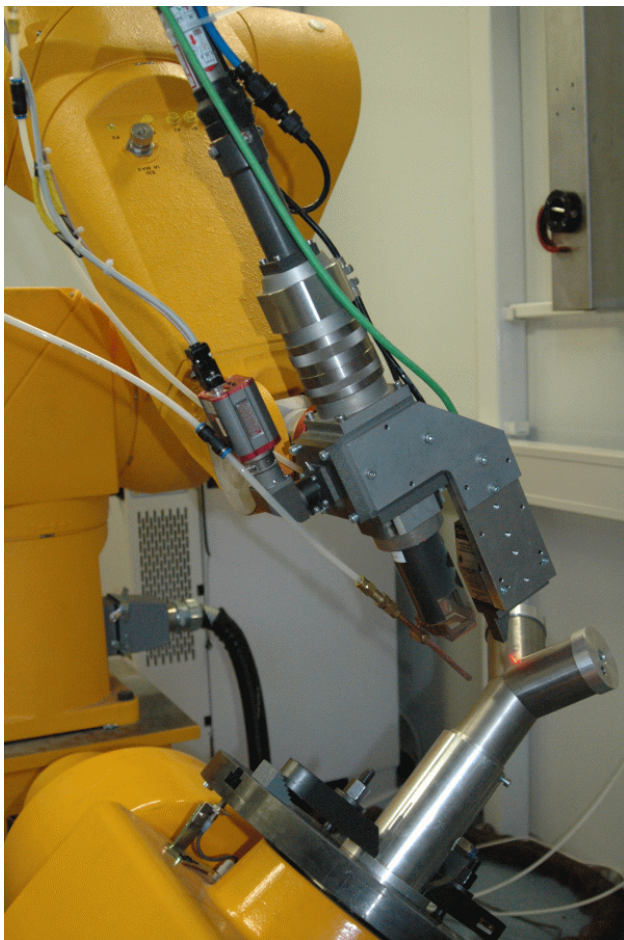
programmeertijd worden bespaard en kan een efficiënte productwissel plaatsvinden. Essentieel bij het parametrisch programmeren is een zeer reproduceerbare opspanning waarop nauwkeurige referentiepunten zijn vastgelegd.

3.4.6 *Sensor gestuurd teachen/real-time naadvolgen*

Het programmeren van complexe 3D lastrajecten kan behoorlijk arbeidsintensief zijn. Daarbij komt, dat de eisen van positioneer-nauwkeurigheid hoog zijn. Het toepassen van een lasnaadvolgsensor bij het inleren van een laserlastraject kan hierbij hulp bieden. Daarbij zijn er twee methoden mogelijk:

1. Het automatisch inleren van lasnaadlocaties met behulp van een lasnaadvolgsensor (sensor gestuurd teachen), waarna de lasparameters kunnen worden toegevoegd aan het robotprogramma. Vervolgens kan de lasnaad worden afgelast (tweestapsmethode).
2. Real-time naadvolgen tijdens het laserlassen. Hierbij wordt de naadvolgsensor op enige afstand van de laserbundel geplaatst en kan het lastraject tijdens het lassen worden gecorrigeerd (eenstapsmethode).

Bij sensor gestuurd teachen (methode 1) beweegt de robot op lage snelheid naar de opeenvolgende teachpunten, waarna de robot telkens stopt en de exacte locatie van de lasnaad met hoge nauwkeurigheid wordt vastgelegd. Verstoringen ten gevolge van robotdynamica en synchronisatiefouten tussen de robotbeweging en het vastleggen van het sensorbeeld worden hiermee voorkomen. In figuur 3.19 wordt een voorbeeld gegeven van sensorgestuurd teachen van een complex 3D product.

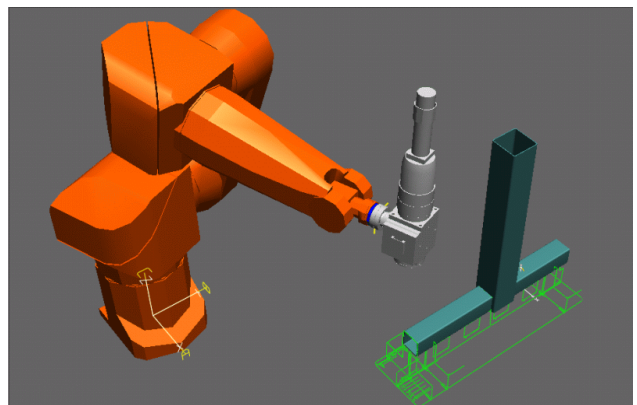


figuur 3.19 Sensor gestuurd teachen van complex 3D product (bron: Universiteit Twente/NIMR)

Methode 2, het real-time naadvolgen is efficiënter dan het sensor gestuurd teachen, omdat de extra inleerstap kan worden weggelaten. Bij deze methode wordt veel rekenkracht van de robotbesturing gevraagd en dient de communicatie tussen sensor en robotbesturing voldoende snel te zijn om de exacte locaties van de lasnaad real-time door te geven en de nodige correcties uit te kunnen voeren, terwijl de laskop op lassignelheid over de lasnaad beweegt. Deze programmeermethode is niet op ieder robotsysteem te implementeren in verband met bovengenoemde performance eisen.

3.4.7 *Off-line programmeren*

Off-line programmeren (zie figuur 3.20) vindt plaats buiten de robotcel. Hiermee wordt een efficiënte inzet van de robot gewaarborgd, omdat er niet aan de machine geprogrammeerd hoeft te worden. Het off-line programmeersysteem gebruikt een CAD model van de robot, de laserlaskop en overige periferie zoals lasmanipulator en het te lassen product. Verschillende productoriëntaties kunnen worden getest, waarbij een optimale bereikbaarheid en het voorkomen van botsingen geverifieerd kunnen worden. Vanuit de off-line programmeeromgeving kunnen NC programma's van de laserlasjob automatisch worden gegenereerd en kunnen cyclustijden worden berekend als basis voor de kostencalculatie. Nadat het NC programma naar de robotbesturing is gestuurd, hoeft er slechts een werkstukkalibratie plaats te vinden, voordat het NC programma tot uitvoer kan worden gebracht.



figuur 3.20 Voorbeeld van off-line programmeren

4 *Veiligheid*

4.1 *Inleiding*

Zoals bij alle bewerkingsmachines moet ook bij een laserinstallaties aandacht aan de veiligheid worden geschonken. De gebruiker dient met name aandacht te besteden aan de volgende risico's:

- risico's in relatie tot werken met robot;
- blootstelling aan laserstraling;
- blootstelling aan procesemissies (dampen, deeltjes).

Wanneer een complete laserinstallatie wordt aangeschaft, zal door de leverancier/systeemintegrator in de meeste veiligheidsvoorzieningen reeds zijn voorzien.

4.2 *Robot*

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 in deze norm 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.

Soms worden er door de gebruiker combinaties van veiligheidsvoorzieningen aangebracht. Het is echter niet de bedoeling veiligheid op veiligheid aan te brengen.

Naast deze, door de gebruiker aan te brengen, veiligheidsvoorzieningen rust de fabrikant een robotinstallatie meestal standaard uit met een aantal veiligheidsvoorzieningen die vooral tot doel hebben de robot uit te schakelen als de robotarm iets raakt (mechanische beveiliging).

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 mogelijke situaties die zich voor kunnen doen, terwijl het wenselijk is deze controles op regelmatige tijdstippen te herhalen.

4.3 Laserstraling

Laserbronnen en lasersystemen worden in vier risico-klassen (1 t/m 4) ingedeeld. De indeling van een laser in een klasse is gebaseerd op de stralingschade die de laserbron bij het meest ongunstige gebruik kan veroorzaken (hoe hoger de klasse des te groter de schade). De betreffende laserklasse wordt door de fabrikant op het systeem aangegeven, of moet anders door de verantwoordelijke leiding worden vastgesteld. Hoogvermogen lasers voor het lassen van metalen, vallen altijd in de hoogste gevarenklasse. Gevaar bestaat niet alleen bij het direct kijken in de laserbundel, maar ook nadat de bundel gereflecteerd is op bijvoorbeeld het smeltbad bij het laserlassen, of een verkeerd gepositioneerd product of op een opspangereedschap. Voldoende veiligheid wordt in alle gevallen geboden door een "lichtdichte" afscherming, waarbinnen zich geen gebruiker bevindt tijdens de bewerking. Een en ander is vastgelegd in de normen: NEN 10825, NEN 12626, en NEN 12254.

4.4 Procesemissies (dampen en deeltjes)

Bij metaalbewerkingen met lasers kunnen materiaaldampen en stofdeeltjes vrijkomen die schadelijk zijn, en bij onvoldoende afscherming en afzuiging snel tot boven de toelaatbaarheids grens (MAC-waarde) uitkomen. Ook (schadelijke) proces- en beschermgassen dienen te worden afgezogen, wanneer deze in grote hoeveelheden vrijkomen.

Het beoordelen, meten en evalueren van de blootstelling aan dampen en deeltjes dient te gebeuren volgens NEN-EN 689 (1995). In hoofdstuk 5 volgt een volledig overzicht van de belangrijkste normen die van toepassing zijn ten aanzien van de emissie van dampen, deeltjes en gebruik van chemische stoffen bij (laser)lasbewerkingen.

Voor meer info wordt verwezen naar de volgende websites: www.nen.nl, www.nil.nl en www.lasrook-online.nl.

5 Normen

De lijst van Nederlandse normen op het gebied van het lassen is zodanig van omvang dat het ondoenlijk is deze allemaal te noemen. In deze publicatie wordt slechts volstaan met het noemen van een aantal algemene normen die betrekking hebben op het lassen en die ook relevant zijn voor de selectietabellen die genoemd zijn in deze publicatie.

Meer gedetailleerde bibliografische informatie is te vinden op de website www.nen.nl onder: Normshop.

Woordenlijst E/F/D

Termen en definities lassen:

NEN-EN 1792:2003; NEN-EN 1792:1997;
NPR-CR 14599; NEN 2064

Lasprocessen definities:

EN ISO 17659

Nummering lasprocessen:

EN 14610; NEN-ISO 857-1;
NEN-EN-ISO 4063 (nl);
NEN-ISO 4063 (nl)

Aanduiding van smeltlas-verbindingen op tekening:

NEN EN ISO 2553

Lasposities

Definities:

NEN-EN-ISO 6947 (nl)

Vergelijking van Europese. en Amerikaanse lasposities:
CEN/TR 14633 DTR

Laserlasnormen

Deel 6 van de Europese standaard NEN-EN 1011 geeft een overzicht en richtlijnen voor de productie van goede laserlassen, alsook een overzicht van mogelijke (las)problemen en hoe die te voorkomen. De nadruk ligt op het lassen van metalen, maar ook niet-metalen worden behandeld. In de NEN-EN ISO 15609-4 wordt de lasmethodebeschrijving voor gebruik bij het laserlassen gegeven. De kwalificatie van de lasprocedure wordt beschreven in NEN-EN ISO 15614-7 voor deklaaglassen met de laser en NEN-EN ISO 15614-11 voor verbindinglassen met de laser. De definitie van de kwaliteit van laserlassen (in staal en aluminium) is vastgelegd in de norm NEN-EN-ISO 13919. Hierbij worden kwaliteitsniveaus gedefinieerd op basis van het aantal scheuren, poreusheid en een aantal geometrische defecten, waaronder ondersnijding. Afnametests voor twee-dimensionale CO₂ lasersnij- en -lasinstallaties zijn vastgelegd in de norm NEN-EN-ISO 15616. In de voorlichtingspublicatie VM121 "Hoogvermogen lasers voor het bewerken van metalen" wordt nader op de mogelijkheden en beperkingen van lasers ingegaan, inclusief tabellen en figuren met procesinstellingen.

Veiligheid

Normen laserstraling

NEN 10825, NEN 12626, en NEN 12254

Normen procesemissies (dampen en deeltjes)

NEN-EN-ISO 10882-1 (2000): Veiligheid en gezondheid bij lassen en verwante processen - Monitoring van de in lucht zwevende deeltjes en gassen in het ademgebied van de lasser. Deel 1: Monsterneming van de in de lucht zwevende deeltjes.

NEN-EN-ISO 10882-2 (2000): Veiligheid en gezondheid bij lassen en verwante processen - Monitoring van de in lucht zwevende deeltjes en gassen in het ademgebied van de lasser. Deel 2: Monsterneming van gassen.

NEN-EN 689 (1995): Werkplekatmosfeer - Leidraad voor beoordeling van de blootstelling bij inademing van chemische stoffen voor de vergelijking met de grenswaarden en de meetstrategie.

NEN-EN 14042 (2000): Werkplekatmosfeer - Richtlijn voor de toepassing en het gebruik van procedures voor de beoordeling van blootstelling aan chemische en biologische stoffen.

6 Literatuur en bronvermelding

- [1] Van website www.dunneplaat-online.nl de volgende brochures:

- ▶ Verbinden van dunne plaat en buis (TI.03.13)
- ▶ Lasprocessen voor dunne plaat en buis (TI.03.14)
- ▶ Laserlassen vs. conventionele lastechnieken (TI.07.34)
- ▶ Eenvoudige mechanisatie bij het booglassen (TI.07.39)

- ▶ Ontwerp voor gemechaniseerd lassen (TI.07.40)
 - ▶ Geavanceerde lasmechanisatie en sensoren (TI.07.41)
 - ▶ Construeren voor booglassen met robots (VM105)
- [2] Fascinating world of sheet metal, Trumpf GmbH + Co., Ditzingen (Ger), 2005
 - [3] Introduction to industrial laser material processing, Rofin Sinar, Hamburg (Ger), 2004
 - [4] Handbook of the EuroLaser Academy volume 1: Lasers, D. Schuöcker, 1998
 - [5] Handbook of the EuroLaser Academy volume 2: Processes, D. Schuöcker, 1998
 - [6] Welding Technology 1 - Welding and cutting technologies, U. Dilthey, ISF Aachen, 2005
 - [7] Laser weld quality monitoring -02, R. Paura, Dynamic Laser Solutions, 2005
 - [8] Laser weld quality monitoring considerations, Icaleo workshop, R. Paura, 2001
 - [9] Chapter 2, PhD Thesis D. Iakovou, University of Twente, 2007
 - [10] Colledictaat Materiaalbewerkingen met lasers (vakcode 113740), J. Meijer, G.R.B.E. Römer, Universiteit Twente, 2002

Alle overige gegevens en figuren waarbij de bronvermelding niet bij de figuur staat weergegeven, zijn aangeleverd (of aangepast) door het NIMR/Leerstoel Toegepaste Lasertechnologie van de Universiteit Twente te Enschede.

7 Websites

Algemeen:

www.dunneplaat-online.nl
www.verbinden-online.nl
www.fme.nl
www.fdp.nl
www.tno.nl
www.nimr.nl
www.nil.nl
www.utwente.nl
www.tudelft.nl
www.syntens.nl
www.awl.nl
www.hollandia.s3c.nl
www.las-online.nl
www.demarlaser.nl
www.plaatbewerker.nl
www.ewf.be
www.iiv-iis.org
<http://info.tuwien.ac.at/iflt/leonardo/ela.html>
www.lac-online.nl
www.syntens.nl
www.mikrocentrum.nl

Laserfabrikanten:

www.trumpf-laser.com
www.rofin.com
www.ipgphotonics.com/
www.laserline.de
www.alphatron.nl
www.coherent.nl

Robotfabrikanten/-leveranciers:

www.abb.com
www.cloos.nl
www.fanuc.nl
www.kuka.com
www.motoman.de
www.valkwelding.nl
www.awl.nl
www.rolan.nl
www.morotech.nl

Auteur

Deze voorlichtingspublicatie is opgesteld in opdracht van de Vereniging FME-CWM in het kader van het project 'Fabricage van producten met geavanceerde productiemiddelen voor het omvormen en verbinden - (FPGP)'. Hierbij waren de volgende organisaties betrokken: SenterNovem, FDP, NIL, NIMR, Syntens, TNO, Universiteit Twente, TU Delft en de Vereniging FME-CWM/Industrieel Technologie Centrum (ITC).

De auteurs, J. Olde Benneker (NIMR) en A. Gales (TNO) werden ondersteund door een begeleidingsgroep bestaande uit: R.G.K.M. Aarts (Universiteit Twente), H.J.M. Bodt (NIL), H.J.M. Raaijmakers (FDP), P. ter Horst (Demar Lasers), J. van de Put (Syntens), R. Verstraeten (Trumpf Laser Nederland), P.F. Senster (TNO Industrie en Techniek), G. Vaessen (GVA) en P. Boers (FME).

Technische informatie:

Voor technisch inhoudelijke informatie over de in deze voorlichtingspublicatie behandelde onderwerpen kunt u zich richten tot de auteurs J. Olde Benneker (tel.: 053-4892432, e-mail: j.oldebenneker@nimr.nl), A. Gales (tel.: 040-2650247, e-mail: anton.gales@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

© Vereniging FME-CWM/november 2007 - 01

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



Netherlands Institute
for Metals Research



SenterNovem



Universiteit Twente
de ondernemende
universiteit



Federatie
dunne plaat



FME CWM