

Lasprocessen voor dunne plaat en buis

In deze publicatie wordt ingegaan op het verbinden van dunne plaat en buis met behulp van de diverse lasprocessen. Deze publicatie is er een uit een serie van vijf die naast de algemene publicatie (TI.03.13) tevens drie andere verbindingstechnieken behandelen, zoals lijmen (TI.03.15), mechanisch verbinden (TI.03.16) en solderen (TI.03.17).

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Indeling en kenmerken van lasprocessen	1
3	Kiezen van het juiste lasproces	3
4	Lastechnisch construeren	3
5	Lasdetails	3
6	Voorbehandeling en voorbereiding van onderdelen voor het lassen	4
7	Nabewerking en -behandeling bij het lassen	5
8	Apparatuur voor het lassen	5
9	Lasprocessen voor dunne materialen	5
10	Lastoevoegmaterialen	5
11	Beschermen van het smeltbad	6
12	Mechaniseren van het lassen	6
13	Economische aspecten met betrekking tot het lassen	7
14	ARBO-aspecten in relatie tot het lassen	8
15	Normen voor het lassen van dunne plaat	9

1 Inleiding

Het lassen is niet op een achternamiddag ontwikkeld, maar kent een lange geschiedenis. De belangrijkste ontwikkelingen op het gebied van het lassen vallen samen met de beschikbaarheid van voldoende elektriciteit (rond 1900). In de achterliggende ruim honderd jaar zijn er ongeveer 65 verschillende lasprocessen ontwikkeld, waarvan er ook weer vele zijn verdwenen. Het goede is overgebleven, wat wil zeggen dat die lasprocessen die een goede kwaliteit lasverbinding combineren met lage kosten, tegenwoordig het meest worden toegepast.

Veel industriële activiteiten zouden niet uitgevoerd kunnen worden zonder de mogelijkheid van het kunnen verbinden van onderdelen door middel van lassen. De dagelijkse beschikbaarheid van energie, voedsel, vele producten, brandstof, enz. wordt in belangrijke mate bepaald door constructies die door middel van lassen zijn vervaardigd. Het lassen is ingewikkeld en vraagt vaak om een multidisciplinaire aanpak van tenminste de proces-technologie gecombineerd met de materiaaltechnologie. Materiaalkundige kennis is noodzakelijk om lasbaarheidsproblemen in combinatie met een juiste keuze van het lastoevoegmateriaal het hoofd te kunnen bieden. Procestechische kennis is vooral belangrijk om de juiste procesparameters te kunnen bepalen, met name bij het lassen van dunne plaat. Samengebundeld stellen ze de gebruiker in staat verantwoorde keuzes te maken met als doel een optimale lasverbinding tegen de laagste kosten.

2 Indeling en kenmerken van lasprocessen

Lassen is één van de meest efficiënte manieren om metalen te verbinden en is als verbindingstechniek niet weg te denken in ons dagelijks bestaan. Efficiëntie laat zich voor de meeste bedrijven al snel vertalen in economie en ook in dit opzicht kan worden gesteld, dat lassen een zeer economische methode is om metalen delen blijvend te verbinden.

Lassen is de enige manier om twee of meer metalen delen zodanig te verbinden, dat ze zich gedragen als één geheel. Lassen wordt in absolute zin steeds meer toegepast, maar er komt meer concurrentie van andere verbindingstechnieken waaronder lijmen, mechanisch verbinden en solderen. Alternatieve verbindingstechnieken

(voor het lassen) kunnen vaak met succes worden ingezet bij het verbinden van ongelijksoortige metalen of metalen met deklagen maar ook voor tal van andere toepassingen. Als een verbinding gelast is kan deze niet meer worden losgenomen.

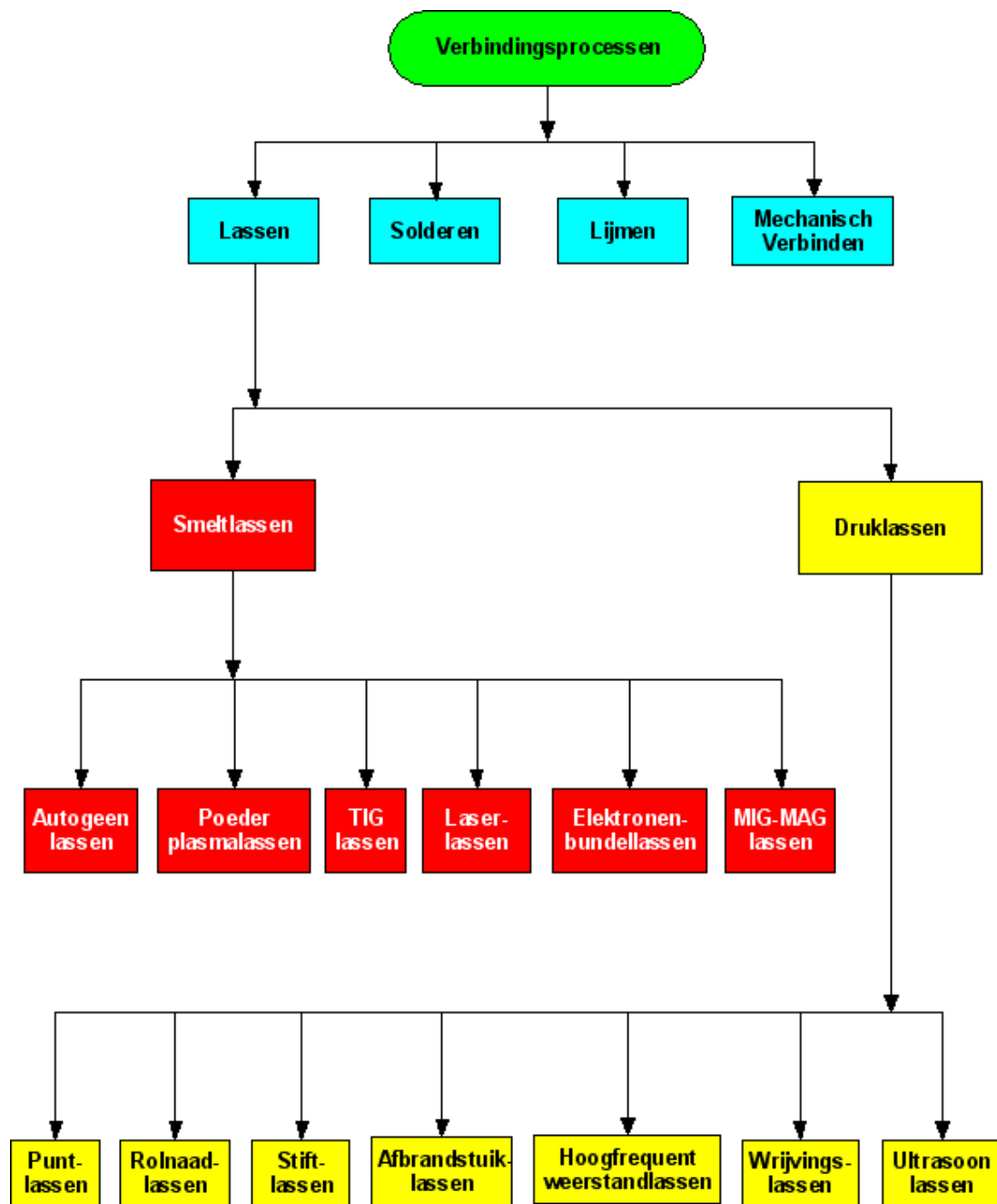
Naar het doel van het lassen onderscheidt men verbindinglassen en oplassen. Het *verbindinglassen* is het lassen van twee of meer werkstukdelen tot één onlosmakelijk geheel.

Het *oplassen* is het aanbrengen van een deklaag door middel van lassen op een gedeelte van of op het gehele onderdeel. Dit wordt gedaan om bijvoorbeeld het product tegen corrosie, slijtage of hoge temperaturen te beschermen. Corrosie en slijtage van metalen kosten jaarlijks miljarden euro's tengevolge van schade of noodzakelijk onderhoud. Zowel corrosie-, hitte- als slijtagebestendige lagen kunnen als zeer dunne of dikke lagen worden aangebracht, afhankelijk van het gekozen lasproces. In deze brochure wordt alleen aandacht geschonken aan het verbindinglassen.

Lassen is complex en er is een grote mate van vakmanschap vereist is om een goede lasverbinding te maken. Er zijn veel verschillende manieren om lasverbindingen te vervaardigen en er zijn talloze verschillende soorten lasverbindingen. In een aantal gevallen worden de te verbinden metalen tot smelten gebracht. Soms wordt uitwendige druk toegepast en bij sommige processen binnend elektriciteit als energiebron gebruikt, terwijl bij andere lasprocessen de benodigde warmte wordt ontwikkeld door de verbranding van gas, een bombardement van elektronen, of elektromagnetische straling (laser).

De kern van het lassen is te komen tot een metallische binding. Om een metallische binding te verkrijgen is het noodzakelijk om de atomen van de te verbinden metalen binnend elkaars invloedssfeer te brengen. Voor metalen geldt dat als de atomen op een onderlinge afstand van circa 10x hun atoomdiameter kunnen worden gebracht, er sprake is van een metallische (ver)binding. Om atomen op een dergelijke korte afstand van elkaar te brengen, kunnen twee wegen worden gevolgd. Er wordt een grote druk uitgeoefend, of de onderdelen worden tot smelten gebracht. Soms wordt een combinatie van beiden gebruikt. Deze twee mogelijkheden hebben geleid tot de indeling van lasprocessen in twee groepen te weten: *druklasprocessen* en *smeltlasprocessen*. Deze indeling is dus gebaseerd op de manier waarop de verbinding tot stand wordt gebracht. Bij *druklasprocessen* wordt altijd uitwendige druk gebruikt om de verbinding tot stand te brengen, terwijl bij het *smeltlassen* de materialen tot smelten worden gebracht. Er zijn ook processen die beide combineren de zogenaamde *warmdruklasprocessen*. Deze indeling van lasprocessen is voor een aantal veel gebruikte lasprocessen voor dunne plaat en buis weer gegeven in figuur 1.

Meestal worden de lasprocessen in de praktijk nog verder onderverdeeld. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het smeltlassen, waarbij de zogenaamde booglasprocessen (processen die gebruikmaken van een elektrische boog) en gasbooglasprocessen (processen die gebruikmaken van een elektrische boog én een extra beschermgas) worden onderscheiden.



figuur 1 Lasprocessen voor dunne plaat, uitgesplitst naar de twee belangrijkste hoofdgroepen: smeltlassen en druklassen

Lassen kent, zoals elke verbindingstechniek, zowel voordelen als beperkingen. Zo zijn de belangrijke voordelen van het lassen:

- ▶ Lassen is in veel gevallen de verbindingmethode met de laagste kosten per meter;
- ▶ Door middel van lassen kunnen alle metalen worden verbonden (let op niet met alle lasprocessen!);
- ▶ Lassen kan overal worden toegepast (zelfs onder water; dit geldt echter uiteraard niet voor alle lasprocessen);
- ▶ Lassen geeft een grote vrijheid in het ontwerp;
- ▶ Lassen kan zeer sterke verbindingen geven, zowel statisch als dynamisch;
- ▶ Lassen geeft metallische verbindingen, d.w.z. verbindingen met een goede elektrische- en warmtegeleidbaarheid;
- ▶ Veel lasprocessen kunnen eenvoudig gemechaniseerd worden;
- ▶ Lassen kan vloeistof- en gasdichte verbindingen geven.

Als beperkingen van het lassen kunnen worden genoemd:

- ▶ Lassen geeft geen losneembare verbindingen;
- ▶ De kwaliteit van handmatig gemaakte lassen is sterk afhankelijk van het vakmanschap van de lasser;
- ▶ Lassen gaat bijna altijd gepaard met warmte-inbreng in het materiaal en dus met degradatie van de materiaaleigenschappen;
- ▶ Niet alle metalen kunnen met alle lasprocessen worden gelast;
- ▶ Het vervaardigen van ongelijksoortige verbindingen vereist veel kennis en vaardigheid en is soms (metaalkundig) onmogelijk;
- ▶ Lassen geeft *altijd* metallische bindingen, d.w.z. bindingen die elektrisch- en warmtegeleidend zijn, Daarnaast kunnen ook intermetallische bindingen worden gevormd.

3. Kiezen van het juiste lasproces

Geen enkel lasproces is geschikt voor alle toepassingen, daarvoor lopen de toepassingen eenvoudigweg veel te ver uiteen. Er moet dus altijd een keuze worden gemaakt voor een specifiek lasproces, gebaseerd op de te verbinden onderdelen en kwaliteitseisen. Technische aspecten als te verbinden materialen, materiaalaafmetingen, toelaatbare toleranties zijn belangrijke criteria voor de selectie van het juiste lasproces. Ook de kosten van de investeringen en uitvoering bepalen in belangrijke mate de processelectie.

Als hulpmiddel bij de selectie van het juiste lasproces kan het selectieprogramma dienen dat in het kader van een project van de FME-CWM in samenwerking met onder meer Federatie Dunne Plaat, NIL, TNO Industrie is ontwikkeld en dat op verschillende websites te vinden is (www.Dunneplaat-online, www.nil.nl, www.fdp.nl).

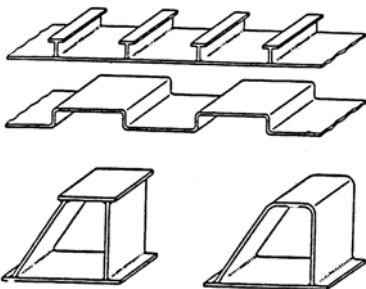
4. Lastechnisch construeren

Voor het samenstellen van een product door middel van lassen kan uit zeer veel verschillende processen worden gekozen. De keuze wordt bepaald door zowel technische als economische aspecten. Hierna volgen een aantal aandachtspunten, waarop moet worden gelet bij het ontwerpen van dunne plaatconstructies vanuit het oogpunt van lassen. Het is belangrijk hierbij te beseffen dat het rendement van de productie bij dunne plaatproducten vaak niet wordt bepaald door de lastijd, maar door de combinatie van de totale cyclustijd van een product en de reproduceerbaarheid van de verbinding.

Productopbouw

Het product dat uit dunne plaat is opgebouwd, stelt vaak specifieke eisen aan het samenstellen. Belangrijk hierbij zijn de volgende overwegingen:

- ▶ maak het product uit zo min mogelijk onderdelen (hierdoor kan er ook minder worden gelast) of bouw het product op uit een of meerdere subsamenstellingen (zie figuur 2);
- ▶ het hechten, samenstellen en lassen bij voorkeur uitvoeren in één arbeidsgang of lasmal (dit is gunstig met betrekking tot de toelaatbare toleranties);
- ▶ het verdient aanbeveling reproduceerbare referentiematen of een assenstelsel op te nemen in het product of de lasmal (dit verhoogt de nauwkeurigheid, maakt het programmeren van bijvoorbeeld een lasrobot eenvoudiger en zorgt ervoor dat de geometriegegevens makkelijker in een off-line pakket kunnen worden ingevoerd);
- ▶ de eisen die worden gesteld aan het eindproduct, moeten worden vertaald naar de eisen die aan de lasprocessen moeten worden gesteld; de eigenschappen van de gebruikte materialen en de eisen die moeten worden gesteld aan eventuele lasmallen.



figuur 2 Producten vervaardigen uit zo min mogelijk onderdelen. Het zetten van productdelen kan hierbij goede diensten bewijzen

Vanuit de functionele eisen die aan het product worden gesteld en die de basis vormen voor het ontwerp, wor-

den altijd afgeleide eisen gedefinieerd die verder moeten worden ingevuld. Dit kunnen onder andere eisen zijn ten aanzien van het materiaal, de geometrie van de materialen (toleranties), de productvoorbewerking, de plaats van de lassen en eisen aan bijvoorbeeld lasmallen. Hieronder wordt een aantal van deze aspecten kort toegelicht.

Eisen te stellen aan de materiaaleigenschappen:

Eisen die vanuit de 'functionele eisen' van het product aan de materialen worden gesteld, hebben over het algemeen betrekking op:

- ▶ de chemische samenstelling van de materialen;
- ▶ de fysische en mechanische eigenschappen van de materialen;
- ▶ de oppervlakteconditie van de materialen.

Eisen te stellen aan de geometrische eigenschappen van het basismateriaal:

Naast de hierboven genoemde materiaaleigenschappen is het ook belangrijk dat de geleverde materialen aan vooraf gestelde vormtoleranties voldoen. Vaak zijn dergelijke toleranties opgenomen in de verschillende normen die door de leveranciers worden gehanteerd.

Vormtoleranties hebben onder andere betrekking op:

- ▶ variaties in de dikte;
- ▶ variaties in de vlakheid (profielzuiverheid);
- ▶ eventuele lokale vervormingen van bijvoorbeeld profielen.

Eisen te stellen aan de productvoorbewerking:

Nadat de afzonderlijke productdelen zijn voorbereid, is het wenselijk ze te controleren op bijvoorbeeld:

- ▶ de juiste vorm van de contour van de onderdelen;
- ▶ de rechtheid van de onderdelen;
- ▶ eventuele afrondingen en braamvorming;
- ▶ vorm en locatie van gaten en uitsparingen;
- ▶ overige maatvoering.

Eisen te stellen aan vorm en plaats van de lasverbindingen:

De constructeur kan veel invloed uitoefenen op de lasbaarheid van de producten (de lasbaarheid kan in dit geval worden gezien als de grootte van de inspanning die moet worden gepleegd om het laswerk uit te kunnen voeren), door te letten op:

- ▶ voor de lasser goed bereikbare lasplaatsen;
- ▶ het vermijden van scherpe buitenhoekverbindingen;
- ▶ het vermijden van stompe lassen en dus bij voorkeur overlap- en hoeklassen;
- ▶ zo klein mogelijk lasvolume.

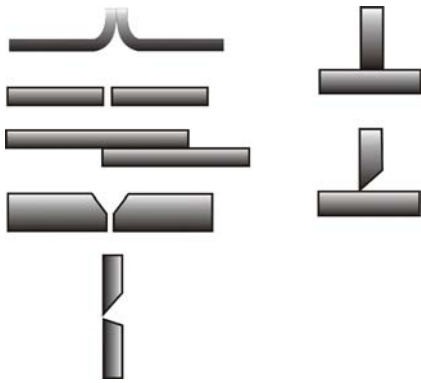
Eisen te stellen aan de constructie van lasmallen:

1. op de juiste plaats aanbrengen van fixeerpunten:
 - ▶ niet aanslaan op contour(en);
 - ▶ voorkeur voor aparte opneemgaten voor het fixeren van het product in de mal;
 - ▶ minimaal één op de drie aanslagen in een vlak moet instelbaar zijn.
2. voor bewegende delen in een lasmal geldt:
 - ▶ de invloed op maatvoering zo klein mogelijk houden;
 - ▶ dat deze zo soepel mogelijk te bedienen moeten zijn;
 - ▶ dat het onderhoud zo eenvoudig mogelijk moet zijn.

5. Lasdetails

Om tot een goede keuze van het lasdetail te kunnen komen, is een verregaande kennis van de lasprocestechnologie noodzakelijk. Een verkeerd gekozen lasdetail kan ertoe leiden dat het product niet, niet goed of slechts tegen hoge kosten kan worden gemaakt. De volgende groepen lasdetails (zie ook figuur 3) worden wel onderscheiden:

- ▶ A- delen onder een hoek (bij voorkeur 90°) t.o.v. elkaar, bijvoorbeeld hoeklassen;
- ▶ B- delen in hetzelfde vlak zoals stompe lasverbindingen en overlapverbindingen.



figuur 3 Enige voorbeelden van lasdetails onder een hoek en in elkaars verlengde

Bij de keuze van het lasdetail zijn de volgende aandachtspunten belangrijk:

- ▶ de technische eisen die aan de las worden gesteld:
 - sterkte en kwaliteit (= minimaal aantal lasfouten), incl. eventueel toepassing bij verhoogde of verlaagde omgevingstemperaturen;
 - dichtheid: vloeistof- of gasdicht, met onder- of overdruk;
 - levensduur: corrosie, slijtage en erosie-aspecten;
 - afwerking: coatings of andere nabehandelingen, visuele of esthetische aspecten.
- ▶ de kosten van voorbereiden en samenstellen;
- ▶ de keuze van het lasproces ook in relatie tot eventuele nabewerkingen;
- ▶ de bereikbaarheid van de lasnaad;
- ▶ de mogelijkheid om het proces te mechaniseren of te automatiseren.

De volgende lasnaadvormen zijn specifiek geschikt voor dunne plaat:

1. de hoeknaad (binnen en buiten), intermitterend (kettingglas) of doorlopend gelast;
2. de overlapnaad, tweezijdig afgelast, intermitterend (kettingglas) of doorlopend gelast;
3. de T-naad en I-naad gesloten, één of tweezijdig intermitterend (kettinglas) of doorlopend afgelast;
4. gat-, sleuf- of propllas.

Ten aanzien van al deze lasnaadvormen kan een tweetal groepen worden onderscheiden:

- ▶ stompe lasnaden (geen spleet tussen de verbonden onderdelen na het lassen);
- ▶ niet-stompe lasnaden.

Beide groepen hebben hun specifieke kenmerken en dus toepassingsgebieden.

Stompe lasnaden verdienen de voorkeur als de constructie wisselend wordt belast. Ze geven over het algemeen een betere krachtdoorleiding en zijn meer geschikt voor toepassingen waarbij corrosie een belangrijke rol speelt. Nadeel is dat bij grotere plaatdikten de kosten voor het aanbrengen van de juiste lasnaadvorm groter zijn. Bij dunne plaat en buis is dit echter niet het geval.

Niet-stompe lasnaden verdienen de voorkeur als de constructie statisch wordt belast, omdat deze over het algemeen met lage kosten te maken zijn en gemakkelijk gemechaniseerd kunnen worden gelast. Een ander nadeel van niet-stompe lasnaden is dat soms (spleet)corrosie een probleem kan vormen.

In de praktijk wordt bij het lassen van dunne plaat veel gebruik gemaakt van zogenaamde kettinglassen. Hierbij wordt het product dus niet over de volle lengte gelast, maar telkens met onderbroken lassen. Bij dubbele (hoek)lassen kan dit ook nog versprongen worden uitgevoerd. De belangrijkste voor- en nadelen van kettinglassen worden hierna kort weergegeven.

Voordelen kettinglassen

Bij een kettinglas wordt minder warmte in het materiaal gebracht, terwijl er uiteraard ook een kleinere laslengte gelegd hoeft te worden, hetgeen resulteert in lagere laskosten. Een ander voordeel (vooral interessant bij nauwkeurige dunne plaatproducten) zijn de korte stops (periode dat er niet gelast wordt), waardoor een snellere afkoeling wordt verkregen. Vooral als kettinglassen geautomatiseerd of gemechaniseerd worden uitgevoerd, kunnen ze goed en goedkoop worden gemaakt.

Kettinglassen zijn zeer geschikt voor het lassen van dun plaatwerk, uitgevoerd in lasmatten. Kettinglassen geven een lage warmte-inbreng en een beheersbare en reproduceerbare vervorming en dus maatvoering van het gelaste product, mits men de lasvolgorde en lasparameters zeer consequent aanhoudt. Een interessante toepassing is de zogenaamde pen-gat verbinding. Hierbij wordt vaak gebruikgemaakt van lasergesneden gaten en pennen die in elkaar passen. Op deze manier zijn producten te realiseren met een zeer hoge maatvastheid.

Nadelen kettinglassen

Een van de nadelen van kettinglassen is dat er veel starts en stops moeten worden gemaakt. Kettinglassen zijn minder eenvoudig netjes te maken, tenzij dit geautomatiseerd gebeurt. Kettinglassen kosten meer tijd in de voorbereiding (aftekenen, wat moet wel en wat moet niet worden gelast?). De lengte van kettinglassen is voor een handlasser moeilijk aan te houden, de lasser schat in waar hij moet starten en stoppen. Dit wordt al gauw een rommelig geheel door de ongelijke laslengtes. Bij gelijkwaardige sterkte ten opzichte van doorlopend lassen is een zwaardere las nodig, met als gevolg een hogere, plaatselijke warmte-inbreng. Dit kan bij dunne plaat tot lokale vervormingen en sterke aftekeningen aan de achterkant leiden. Er is een groter risico op lasfouten en randinkarteling of kraters door de lasstops. Kettinglassen zijn relatief bewerkelijk voor de lasser en resulteren dus in een verlaagde inschakelduur. Er kunnen geen dichte verbindingen worden gemaakt met deze techniek. Bij kettinglassen is er altijd een risico van spleetcorrosie in de lasnaad na het lassen.

6. Voorbehandeling en voorbereiding van onderdelen voor het lassen

Voorbehandeling

Afhankelijk van de te lassen metalen kan de voorbereiding en -behandeling verschillen. Uitgangspunt bij het lassen is altijd, dat de te verbinden materialen metallisch blank en schoon moeten zijn. Dit houdt in dat er geen vet, vuil en verf ter plaatse van de te verbinden delen aanwezig mogen zijn. Voor het reinigen van te verbinden delen zijn uitstekende middelen in de handel. Als er zich op de te verbinden delen een (dikke) oxidelaag bevindt (walshuid, roest, aluminiumoxide, enz), moet deze voor het lassen altijd worden verwijderd, bij voorkeur door mechanische middelen als borstelen of slijpen. Bij het borstelen is het gebruikelijk hiervoor een stalen borstel te gebruiken. Voor roestvast staal en non-ferro metalen moet echter altijd een roestvaststaal borstel worden gebruikt.

Het is aan te raden roestvaststaalborstels alleen maar voor één specifiek materiaal te gebruiken en niet onderling te wisselen voor de verschillende materialen in verband met contaminatie.

Bij het gebruik van elektrisch gereedschap (roterende borstels en schuur- of slijpschijven), moet de druk niet te hoog worden opgevoerd, omdat er anders aanloopkleuren kunnen ontstaan. Deze aanloopkleuren geven aan dat er een verbrande oxidehuid gevormd is op het metaal. Met name bij roestvast staal is, ter plaatse van de aanloopkleuren, de corrosievastheid van het materiaal verminderd.

Afhankelijk van de toepassing kan het soms noodzakelijk zijn de gereinigde oppervlakken niet meer met blote handen of vuile handschoenen aan te raken, daar er dan weer vet op het oppervlak terecht kan komen.

Vorbewerking

Afhankelijk van de materiaalsoort, de materiaaldikte, de laspositie, de kwaliteitseisen, de belasting, enz. in combinatie met het lasproces, kan het noodzakelijk zijn (als een volledige doorlassing gewenst is), de te verbinden delen van een afschuining te voorzien. De ervaring leert dat dit zelden het geval is bij dunne plaat (≤ 3 mm). Meestal worden deze materiaaldikten zonder afschuining van de plaat of buis gelast. Dit wil echter niet zeggen dat er geen sprake is van een lasnaadvoorbewerking. Bij sommige lasprocessen is het van essentieel belang dat de lasnaadkanten nauwkeurig voorbereid zijn voor het lassen. Het aanbrengen van rechte lasnaadkanten kan op veel verschillende manieren plaatsvinden. Er moet hierbij vaak een compromis worden gevonden tussen gewenste kwaliteit en de kosten voor het aanbrengen.

Meestal wordt een onderscheid gemaakt tussen thermisch (autogeen snijden, plasmasnijden, lasersnijden) en niet-thermisch voorbereiden (draaien, frezen, schaven, ponsen, knippen, zagen en waterstraalsnijden). Voor een verdere detaillering van een aantal van deze technieken wordt verwezen naar de algemene publicatie (TI-03-13).

7. Nabewerking en -behandeling na het lassen

De nabewerking en -behandeling moeten worden afgestemd op de te lassen metalen. Nabehandelen bestaat soms uit het verwijderen van de verkleuring tengevolge van het lassen (chemisch: beitsen; mechanisch: schuren, borstelen) of het verwijderen van overdikte van de las (slijpen). Nabehandeling kan echter ook bestaan uit het uitvoeren van een warmtebehandeling, om de spanningen te verminderen, dan wel de structuur en/of mechanische eigenschappen te verbeteren. Als de vormafwijkingen ontoelaatbaar groot zijn geworden tengevolge van het lassen, is het soms noodzakelijk producten of productonderdelen te strekken of te richten. Hiervoor zijn tal van technieken beschikbaar, lopend van het mechanisch strekken en richten tot het thermisch richten.

8. Apparatuur voor het lassen

De apparatuur die gebruikt wordt voor het lassen, is zeer divers en hangt voornamelijk af van het lasproces waarmee wordt gewerkt. Bij elektrische lasprocessen wordt altijd gebruikgemaakt van stroombronnen.

Afhankelijk van het type lasproces kunnen deze stroombronnen simpel van opzet zijn tot zeer geavanceerd. Met name ten aanzien van de ontwikkeling van stroombronnen en de aansturing hiervan is de afgelopen jaren grote vooruitgang geboekt. Vooral rond 1980 heeft er een snelle ontwikkeling plaatsgevonden ten aanzien van de stroombronnen die we nu 'moderne stroombronnen' noemen. Deze snelle ontwikkeling is vooral mogelijk gemaakt door de komst van de groot-vermogen halfgeleiders tegen een redelijke prijs.

De elektronica heeft het mogelijk gemaakt dat er compacte, lichte stroombronnen (inverters) kunnen worden gebruikt voor vrijwel alle elektrische lasprocessen. De sturing van dergelijke stroombronnen is nog steeds volop in ontwikkeling. De nieuwe generatie stroombronnen zal zich, naast een optimale gebruikersvriendelijkheid en misschien zelfs wel gebruikersonafhankelijkheid, vooral richten op het beheersen van het lasproces (warmte-inbreng) om de las kwaliteit van de lasverbinding te kunnen waarborgen.

9. Lasprocessen voor dunne materialen

Voor het lassen van dunne materialen kunnen zeer veel lasprocessen worden ingezet (zie tabel 1).

Het is niet eenvoudig een gerichte keuze te maken ten aanzien van het meest geschikte lasproces. De gebruiker/constructeur/werkvoorbereider kent als enige de belangrijkste criteria waaraan het lasproces moet voldoen. Als het goed is, komt hij op basis hiervan tot een gefundeerde keuze van het lasproces.

De onderkenning dat het voor een gebruiker/constructeur/werkvoorbereider zeer moeilijk is inzicht te hebben in alle varianten die bij de proceskeuze een rol spelen, is de aanleiding geweest tot het ontwikkelen van een verbindingsmatrix en selectiemethodiek.

tabel 1 Lasprocessen geschikt voor het lassen van plaatdikten ≤ 3 mm met hun ISO procesnummers

Lasproces	nummer lasproces (ISO 4063)
Afbrandstuijclassen zonder voorwarmen	242
Booglassen met beklede elektrode, Rutiel AC	111
Boog soldeerlassen (MIG/MAG)	972
Boog soldeerlassen (TIG)	972
Boog soldeerlassen (plasma)	972
Electronenbundel lassen	51
Hoogfrequent weerstandlassen	291
Laserlassen (Diode)	-
Laserlassen (Gas: CO ₂)	522
Laserlassen (Vaste stof: Nd:YAG)	521
MAG-lassen met massieve draad	135
MAG-lassen met metaalgevulde draad	136
MAG-lassen, gepulseerd met massieve draad	135
MAG-lassen, gepulseerd met metaalgevulde draad	136
MIG-lassen met massieve draad	131
MIG-lassen met wisselstroom (MIG-AC)	131
Onderpoeder lassen, eendraads (DC)	121
Plasmalassen	15
Plasmalassen (micro en keyhole)	15
Poeder plasmalassen	152
Puntlassen, direct	212
Puntlassen, indirect	211
Projectielassen, direct	232
Projectielassen, indirect	231
Rolnaadlassen met contactstrip	226
Rolnaadlassen van overlappenden	221
Stiftlassen	78
TIG-lassen met gelijkstroom (DC); elektrode negatief	141
TIG-lassen met gelijkstroom (DC); elektrode positief	141
TIG-lassen met pulserende gelijkstroom (DC)	141
TIG-lassen met wisselstroom (AC)	141
Ultrasoonlassen	41
Wrijvingslassen	42
Wrijvingsroerlassen	-

10 Lastoevoegmaterialen

De lasdraad vormt al afsmeltend een deel van het smeltbad. Onder invloed van de boogwarmte en invloeden uit de omgeving van het smeltbad kan de samenstelling van het smeltbad ongewenste veranderingen ondergaan.

Door een lasdraad van de juiste samenstelling te kiezen, kan een las van de gewenste kwaliteit worden verkregen.

Als principe voor toevoegmaterialen geldt dat de samenstelling gelijk is aan die van het te lassen materiaal. Er zijn redenen om af te wijken van dit principe. Een aantal redenen zijn:

- ▶ het basismateriaal is erg scheurgevoelig; het lastoevoegmateriaal moet dan een hoger gehalte aan legeringselementen bevatten om scheurvrij te kunnen lassen.
- ▶ bepaalde elementen in het lastoevoegmateriaal verdampen sterk in de boog. Het toevoegmateriaal moet dan een verhoogd gehalte aan deze elementen bevatten om een las met de vereiste samenstelling te krijgen.
- ▶ het basismateriaal heeft een bepaalde warmtebehandeling ondergaan, waardoor de sterkte is opgevoerd. Het lastoevoegmateriaal moet nu door zijn samenstelling aan de sterkte-eisen van het basismateriaal kunnen voldoen.
- ▶ desoxidanten toevoegen om ongewenste invloeden van het beschermgas te elimineren.

Bij het lassen van materiaalcombinaties wordt meestal gekozen voor een lastoevoegmateriaal dat aangepast is aan de laagst gelegeerde van de twee. Een uitzondering op deze regel is het lassen van een ongelegeerde staal-soort aan een roestvaste staalsoort. Voor deze combinatie gebruikt men een zogenaamde bufferlaag. Dit is toevoegmateriaal met een verhoogd gehalte aan legeringselementen, dat er voor zorgt dat ongewenste hardingsverschijnselen worden voorkomen.

Normen en procedures

Voor classificering van het type toevoegmateriaal kan worden verwezen naar relevante Europese normen.

Indien geen Europese norm voorhanden is, kan hier bijvoorbeeld de ISO-, DIN- of AWS-codering worden ingevuld. Teneinde misverstanden te voorkomen, moet bij voorkeur goedgekeurd lastoevoegmateriaal worden gebruikt. Onder dit begrip wordt verstaan: een lastoevoegmateriaal of combinatie van lastoevoegmaterialen, dat door een onafhankelijke beoordelaar of keuringsinstantie is beproefd en gecertificeerd.

Procedures waarin de beheersing van de lastoevoegmaterialen wordt gespecificeerd, moeten door de fabrikant worden gemaakt, gebruikt en onderhouden. Uitgebreide testen op charges lastoevoegmateriaal is slechts dan noodzakelijk, wanneer het contract dit vereist. Voorbeelden van beheersing van toevoegmaterialen zijn die voor opslag, uitgifte en inname van het materiaal, waarbij veel aandacht dient te worden geschonken aan het voorkomen van vervuiling.

Opslag van lasdraden

De eigenschappen van massieve lasdraden worden niet beïnvloed door langdurige opslag, mits deze opslag geschiedt in de originele verpakkingen en bij een relatieve vochtigheid van maximaal 60 % en een temperatuur van 5 °C. Na opslag onder afwijkende condities is een periodieke inspectie noodzakelijk. Soms is het noodzakelijk aangepaste maatregelen te treffen.

11. Beschermen van het smeltbad

Het smeltbad moet beschermd worden tegen invloed van de omgevingslucht. Met name zuurstof, stikstof en waterstof uit de omgevingslucht kunnen elk voor ongewenste problemen zorgen, indien ze toe kunnen treden tot het lasbad.

Vanuit de lastechniek zijn, afhankelijk van het lasproces, verschillende mogelijkheden om ervoor te zorgen, dat de omgevingslucht niet tot het smeltbad toe kan treden:

- ▶ toepassen van beschermgassen;
- ▶ toepassen van een beschermend poeder;
- ▶ combinaties van bovenstaande methoden;
- ▶ toepassen van een vacuüm.

Met name het beschermen van het lasbad door middel van een beschermgas is erg belangrijk. Binnen de Nederlandse industrie maken de twee meest toegepaste booglasprocessen het TIG- en MIG/MAG-lassen hiervan gebruik. Naast het beschermen van het lasmetaal tegen de omgevingslucht heeft het beschermgas invloed op de processen in de boog, de druppelovergang, de reacties in het smeltbad, de vorm van de inbranding in het werkstuk of moedermateriaal en de mechanische eigenschappen van het lasmetaal.

Er wordt gebruikgemaakt van inerte beschermgassen (reageren nergens mee) en actieve beschermgassen; afhankelijk van het gekozen lasproces en de te lassen materialen.

Veel gebruikte inerte beschermgassen zijn argon (Ar), helium (He) of mengsels van argon en helium (Ar + He). Ten aanzien van de actieve beschermgassen is er een heel scala aan gassen met als basis argon of helium en toevoegingen van verschillende percentages CO₂, O₂, H₂ of combinaties hiervan.

Het verdient aanbeveling de gassamenstelling en draadkeuze volgens aanwijzingen van de fabrikant(en) op elkaar of te stemmen. Ook in verband met bepaalde goedkeuringen door keurings- en kwalificatieinstanties is het gewenst om de voorschriften op te volgen, in verband met acceptatie en geldigheidsgebieden.

Vele beschermgassen zijn reukloos en/of smaakloos en niet giftig. Ze kunnen echter de ademlucht verdringen of door reactie(s) giftige verbindingen veroorzaken. Dus voldoende ventileren bij het lassen is noodzakelijk.

Backinggassen

Naast het gebruik van beschermgassen om de buitenlucht uit de omgeving van het smeltbad weg te houden, is het voor sommige materialen ook noodzakelijk de onderkant (doorlassing) van het smeltbad te beschermen, waarvoor zogenaamde backinggassen worden gebruikt. Hiervoor kunnen zowel inerte als actieve gassen worden gebruikt, afhankelijk van de te lassen materialen. Een veel toegepast backinggas voor met name roestvast staal is een mengsel van stikstof met waterstof het zogenaamde 'formeergas'. Het gebruik van dit type backinggas en alle andere waterstofhoudende backinggassen is af te raden voor staal, aluminium en koper.

12. Mechaniseren van het lassen

Het is aan te bevelen nooit direct van het handmatig lassen naar het gemechaniseerd lassen over te stappen, maar eerst kritisch te kijken naar de uitvoering van het lassen, zoals dit nu plaatsvindt. Dit houdt in dat er eerst *geoptimaliseerd* moet worden. Dit wil zeggen dat er kritisch moet worden gekeken naar aspecten ten aanzien van de voorbereiding van de productonderdelen, de bereikbaarheid van de lassen, de positie waarin de lassen moeten worden gelegd, de kwaliteit van de lasmallen en de logistiek rond het lassen.

Hierna is het noodzakelijk eerst naar eenvoudige mechanisatie van het lassen te kijken. Dit kan in de vorm van het gebruik van manipulatoren, lasbomen, laswagentjes, enz.

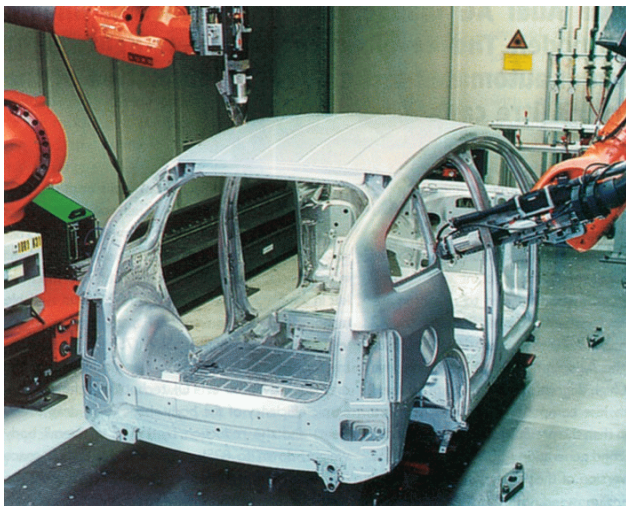
Als dit onvoldoende rendement oplevert, dan kan, afhankelijk van onder andere de seriegrootte, worden nagegaan of er specifieke productie-automaten moeten worden ontwikkeld (grote series), of dat er met lasrobots kan worden gewerkt (middelgrootte en kleine series). Met name het lassen met robots is in de achterliggende jaren zeer sterk in omvang toegenomen.

Een ding is duidelijk: *een robot kan niet lassen*, ondanks dat er met robots wordt gelast! Een robot is immers niets meer dan een bewegingsmanipulator, die geprogrammeerd kan worden.

Een robot kan een lastoorts hanteren en een bewegingspatroon volgen.

Als er hiernaast ook nog gebruik wordt gemaakt van een geavanceerde besturing, dan kunnen hierin de lasparameters worden ingebracht en kan de robot zelfs een lasnaad opzoeken en volgen. Het is verder mogelijk om gebruik te maken van zogenaamde lastabellen die hele serie voorgeprogrammeerde lasgegevens kunnen bevatten. Ondanks al deze zaken bezitten de huidige robotsystemen geen enkele lastechnische kennis. De lastechnische kennis moet van de robotbediener/lasser komen die de robot op de juiste plaatsen van goede lasparameters moet voorzien. Zonder deze 'kennis' is de robot niet in staat om een goede lasverbinding te maken. Er kan wel controle op het lasproces worden uitgeoefend, maar ook hier krijgt de robot zijn informatie niet direct van het gedrag van het lasbad, maar van bepaalde ingangssignalen. Het robotprogramma kan alleen nagaan of aan bepaalde voorwaarden wordt voldaan of niet.

Lasrobots werden in het begin voornamelijk gebruikt voor het weerstandlassen (auto-industrie), zie figuur 4; al snel echter gevolgd door een reeks van de meest uiteenlopende toepassingen.



figuur 4 Lassen van de Audi A2 met robots

De laatste jaren zijn het vooral de MIG/MAG-lasrobots die op grote schaal binnen de industrie worden ingezet. Dit is op zich niet verwonderlijk omdat het MIG/MAG-lassen van huis uit al een semi-automatisch lasproces is, waarbij het toevoegmateriaal gemechaniseerd wordt aangevoerd. Hiernaast speelt het feit dat het gebruik van het MIG/MAG-lassen nog steeds stijgende is binnen de Nederlandse industrie. Dit is eveneens een belangrijk aspect, waarom juist dit proces voor robotfabrikanten en gebruikers zo interessant is. Met de huidige trends bij het MIG/MAG-lassen, waaronder het gevulde draad lassen (meer rookontwikkeling) en het lassen met hoge neersmeltsnelheden (hoge fysieke belastbaarheid voor de lasser), is de verwachting dat het gebruik van robots voor het MIG/MAG-lassen alleen nog maar zal toenemen.

Naast het MIG/MAG lassen met robots komen er ook meer robots op de markt voor het TIG- en zelfs plasma-lassen. Bij het TIG- of plasma-lassen en in nog belangrijker mate het laserlassen worden veel hogere eisen gesteld aan de nauwkeurigheid van de robot. Toch worden ook deze processen gerobotiseerd toegepast; zij het voorlopig nog op een veel bescheidener schaal dan het MIG/MAG-lassen. Het lassen met robots kan in principe worden uitgevoerd voor de volgende lasprocessen:

- ▶ puntlassen;
- ▶ MIG/MAG-lassen;
- ▶ TIG-lassen;
- ▶ plasma-lassen;

- ▶ laserlassen (CO₂ en Nd:YAG, hoogvermogen diode-laser - HDL).

In de auto-industrie is vooral belangstelling voor het laserlassen (Nd:YAG en diodelaser) gekoppeld aan robots. Het voordeel van de genoemde lasers is, dat de laserbundel via een fiber van de laser naar de robot en uiteindelijk naar het werkstuk kan worden getransporteerd. Dit geeft de gebruiker een aanzienlijke vrijheid in het programmeren van de robot. Nog een stap verder is het gebruik van hybride systemen (combinatie van een gasbooglasproces en een laser).

Deze systemen staan echter nog in de kinderschoenen; de verwachting is echter dat dit soort systemen de komende jaren verder zal worden ontwikkeld.

Robots zijn tegenwoordig uiterst betrouwbare productiemachines en kunnen uitstekend bij seriematige productie worden ingezet. De steeds stringenter milieueisen, eisen vanuit de Arbo-wet, gewenste hogere productiesnelheden en (het liefst) een lagere kostprijs zijn enkele overwegingen, waarom bedrijven meer en meer overgaan op de robotisering van het lassen. Bij een goede voorbereiding en begeleiding zal dit meestal het verwachte rendement opleveren. Risico's zijn er natuurlijk ook, maar deze kunnen voor een groot deel worden beperkt door het opstellen van een goed Plan van Aanpak en een adequate uitvoering hiervan.

13. Economische aspecten met betrekking tot het lassen

Vele factoren beïnvloeden de laskosten. Een groot aantal hiervan zijn soms moeilijk te benoemen. Hierna volgt een overzicht van kwantificeerbare kosten. Hierbij onderscheiden wij BLK - bruto laskosten en NLK - netto laskosten. Naar de laatste kosten wordt in de praktijk wel goed gekeken, naar de eerste veel minder!

De bruto laskosten (BLK) zijn opgebouwd uit:

$$BLK = V + A + LNK + N + O + R + W$$

- V = Voorbewerkingskosten, inclusief markering, productgerichte uitsortering en de logistieke opslag, aanvoer naar de productielocatie (op tijd, juiste aantal, specifieke kwaliteit: vorm, toleranties, oppervlaktecondities, markering, enz).
- A = Aanbouwkosten, stellen, hechten, kraanhulp, voorverwarmen, kleine hulpmiddelen, (geen lasmatten, deze zijn projectgebonden en worden apart afgeschreven), afscherming: tocht, UV en Infrarood, lasdampafzuiging, verlichting, enz.
- LNK = Lassen en uitvoeringskosten van het proces, visuele inspectie, opstellen procedures;
- N = Nabewerken; als slijpen, schuren, borstelen.
- O = Onderzoekskosten: formele in- of externe inspecteurs, röntgen-, US-, penetrantonderzoek, magnetisch onderzoek, enz., incl. vastlegging, foto's, rapportage, afstemming, overleg, enz.
- R = Reparatiekosten (% van het totaal), incl. herinspectie en administratieve afhandeling.
- W = Warmtebehandelingen, gloeien, narichten, kalibreren maatvoering, enz.

Binnen deze formule is de post NLK: de netto laskosten; deze kunnen als volgt worden berekend:

$$NLK = \frac{L \times F \times \text{tarief} / \text{uur}}{I \times D \times ID}$$

Hierbij is:

- L = laslengte in cm;
- F = oppervlak van de lasdoorsnede in cm²;
- tarief/uur = lasser, apparatuur, toevoegmateriaal;
- I = stroomsterkte in A (ampère);
- D = neersmelt in cm³/amp/uur;
- ID = aantal % inschakelduur.

De inschakelduur is hierbij van essentieel belang, voorbeelden hiervan zijn gegeven in tabel 3.

tabel 3 Inschakelduur van enkele lasprocessen

proces	theorie	praktijk
Elektrode lassen	30%	gemiddeld 20% is goed
MIG/MAG handlassen	40%	gemiddeld 25% is goed
MIG/MAG gemechaniseerd	60%	gemiddeld 35% is haalbaar
TIG handlassen	20%	gemiddeld 10-15% is haalbaar

De stroomsterkte wordt bepaald door materiaalsoort en -dikte, het lasproces en de laspositie.

De neersmelt wordt bepaald door de keuze van de lasparameters bij het gekozen proces en de gegeven las-toevoegmaterialen (diameter, type), de beschermgas- of poederkeuze en de laspositie.

De inschakelduur wordt sterk bepaald door het organiseren van het proces rond het lassen en het zoveel mogelijk alles voor de lasser te regelen en klaar te zetten. Een lasser moet lassen en niet zoeken, regelen en minder effectief steeds maar allerlei noodgedwongen nevenactiviteiten uitvoeren.

In dit verband is het noodzakelijk ook aandacht te schenken aan de beschikbaarheid en inzetbaarheid van de apparatuur, zoals het lasapparaat, slangenpakket, de afzuiging, licht, stroom, enz. en de vereiste hulpmaterialen als gas, draad, poeder. Verder moet de lasser exact weten wat er van hem wordt verlangd, qua vakmanschap en doorlooptijd.

Hierbij is het goed te beschikken over lasprocedures, werkplanning en technische (up to date) tekeningen. Met name aan het laatste ontbreekt het nogal eens, waardoor onduidelijk is waar welke las moet komen, in welke posities gelast moet worden, eventueel van wie en wanneer er hulp verwacht kan worden.

Het gebruik van een goed en gemakkelijk te gebruiken kostprijsberekeningsprogramma zoals COSTCOMP[®], uitgegeven door het NIL, is bij de prognose en evaluatie van laskosten een belangrijk hulpmiddel. Ten aanzien van het doorrekenen van de laskosten van dunne plaatproducten waarbij andere aspecten dan neersmeltsnelheden een belangrijke rol spelen, is er (nog) geen universeel bruikbaar kostprijsberekeningsprogramma beschikbaar.

Bovenstaande kosten zijn de operationele kosten van het lassen. Hiernaast zijn er de vaste kosten die groten deels zijn gebaseerd op de investeringen en afschrijvingen, die gedaan moeten worden om het laswerk uit te kunnen voeren.

De operationele kosten en de vaste kosten bepalen samen de uiteindelijke (product)kosten. De ervaring leert dat elk bedrijf zijn eigen methoden heeft van het berekenen van deze kosten.

14. ARBO-aspecten in relatie tot het lassen

Bij het lassen kan de lasser en zijn omgeving bloot worden gesteld aan onder meer de volgende factoren:

- ▶ de warmtestraling, afkomstig van de warmtebron, nodig om het metaal tot smelten te brengen;
- ▶ de zichtbare lichtstralen, afkomstig van de elektrische boog bij de booglasprocessen;
- ▶ onzichtbare ultraviolette en infrarode stralen vanuit de elektrische boog;
- ▶ geluid afkomstig van de elektrische boog;
- ▶ spatten vanuit de boog en het smeltbad;
- ▶ lasrook, ontstaan door het tot smelten brengen van het te lassen materiaal en met name lastoevoegmateriaal.

Voor de blootstelling aan gevaarlijke stoffen tijdens het werk hanteert de Arbeidsinspectie grenswaarden (MAC-waarden). Deze grenswaarden geven de

maximale concentratie aan, waaraan men zonder risico voor de gezondheid gedurende een arbeidsleven mag worden blootgesteld.

Per 1 januari 2003 is de grenswaarde voor lasrook van ongelegeerd staal 3,5 mg per m³ lucht. Dit is een wettelijke grenswaarde, d.w.z. overschrijding van deze waarde is een overtreding van de wet. Dit is de MAC-waarde voor lasrook bij het lassen van ongelegeerd staal; verwerkt men een gelegeerd materiaal of toevoegmateriaal (bijvoorbeeld roestvast staal), dan moet men de MAC-waarde voor de stof/stoffen die hierbij kunnen vrijkomen (Cr, Ni, e.d.) hanteren. Afhankelijk van de schadelijkheid van de stoffen die vrijkomen bij het lassen, kunnen ze een lagere MAC-waarde hebben. Voor chroom(VI)-verbindingen geldt bijvoorbeeld een grenswaarde van 0,025 mg/m³ lucht.

De Arbeidsinspectie hanteert anno 2003 de PRAKTIJK-RICHTLIJN (versie 13 maart 2002) "Beschrijving doeltreffende maatregelen bij blootstelling aan rook en/of gassen afkomstig van lassen en/of verwante processen", zoals genoemd en naar verwezen in Arbo beleidsregel 4.9-2.

Maatregelen die moeten worden getroffen om blootstelling aan gezondheidsgevaarlijke stoffen terug te brengen tot een niveau dat geen risico oplevert, moeten worden uitgevoerd volgens de zogenaamde Arbeids Hygiënische Strategie (AHS).

De AHS is in de wet vastgelegd en onderscheidt de volgende maatregelen die men achtereenvolgend moet nemen:

1. Vervanging van schadelijke stof of proces door een minder schadelijk stof of proces.
2. Afzuiging aan de bron en ventilatie van de ruimte.
3. Scheiding van mens en bron.
4. Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM).

Het is duidelijk dat investeringen in lasrookbeheersingsystemen de totale laskosten verhogen. Men moet zich echter realiseren dat bij het gasbooglassen van ongelegeerd staal, zonder gebruikmaking van lasrookafzuigsystemen, de laskosten als volgt zijn verdeeld:

- ▶ ca. 10 % kosten lasmetaal;
- ▶ ca. 2 % investeringskosten;
- ▶ ca. 88 % loonkosten.

Investering in afzuig- en overige hulpapparatuur zal de kosten doen toenemen. Echter door investering in afzuigapparatuur en goede ventilatie zal de lasser zich 'comfortabel' voelen bij zijn werkzaamheden en zal zijn inschakelduur toenemen. Tevens is de kans groot dat zijn foutpercentage zal afnemen. Hierdoor neemt zijn productie per dag toe en zullen de extra investeringen in de vorm van ventilatie of afzuigapparatuur eerder terugverdiend kunnen worden dan gedacht.

Wat kunnen we in de (nabije) toekomst verwachten?

Allereerst zal men blijven streven naar het verlagen van de MAC-waarde voor lasrook, waarbij het streven is uit te komen op 1 mg/m³. Momenteel kan een groot deel van de Nederlandse industrie zonder meer niet voldoen aan de met ingang van 1 januari 2003 geldende MAC-waarde van 3,5 mg/m³, laat staan aan de waarde van 1 mg/m³. Het bedrijfsleven zal moeten investeren in goede afzuig- en ventilatie apparatuur. Alleen, daarmee zijn we er echter niet. Intensief onderzoek op het gebied van lasprocessen, lastoevoegmaterialen, beschermgassen, enz. zal nodig zijn om op termijn een verlaging van de lasrookconcentratie die lager is dan 3,5 mg/m³ te realiseren.

Voor verder informatie wordt verwezen naar de uitstekende Internet site www.lasrookonline.nl, een site die tot stand is gekomen door de gezamenlijke inspanning van het CNV, de FME-CWM, het FNV, de Metaalunie, het Ministerie van Sociale Zaken, het NIL, Syntens, de Unie en de VHP Metalektro.

15. Normen voor het lassen van dunne plaat

Hierna wordt een kleine selectie aan normen gegeven voor het lassen (van dunne plaat).

- ▶ NEN-ISO 10042:1994 NL
Booglasverbindingen in aluminium en lasbare aluminiumlegeringen; Richtlijn voor het vaststellen van kwaliteitsniveaus voor onvolkomenheden.
- ▶ NEN-EN 1011-1:1998 EN
Lassen; Aanbevelingen voor het lassen van metalen;
Deel 1: Algemene leidraad voor booglassen.
- ▶ NEN-EN 1011-1:1998/A1:2002 EN
Lassen; Aanbevelingen voor het lassen van metalen;
Deel 1: Algemene richtlijnen voor booglassen.
- ▶ NEN-EN 1011-2:2001 EN
Lassen; Aanbevelingen voor het lassen van metalen;
Deel 2: Booglassen van ferritische staalsoorten.
- ▶ NEN-EN 1011-3:2000 EN
Lassen; Aanbevelingen voor het lassen van metalen;
Deel 3: Booglassen van corrosievaste staalsoorten.
- ▶ NEN-EN 1011-4:2000 EN
Lassen; Aanbevelingen voor het lassen van metalen;
Deel 4: Booglassen van aluminium en aluminiumlegeringen.
- ▶ NEN-EN 1011-5:2001 Ontw. EN
Lassen; Aanbevelingen voor lassen van metalen;
Deel 5: Lassen van geplateerd staal.
- ▶ NEN-EN 1011-7:2002 Ontw. EN
Lassen; Aanbevelingen voor het lassen van metalen;
Deel 7: Electronenbundellassen.

Veel meer normen kunnen worden gevonden op de website van het NNI (Nederlands Normalisatie Instituut). Deze website kan worden gevonden op het volgende Internet adres: www.nen.nl, via de index en de keuze Normenshop, evenals het invoeren van de gewenste keuze criteria, kan men een overzicht van alle beschikbare normen verkrijgen.

Auteur

Deze voorlichtingsbrochure is tot stand gekomen, middels een samenwerkingsverband van de Federatie Dunne Plaat FDP), het Hechtingsinstituut, het Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL), het Netherlands Institute for Metals Research (NIMR), Syntens, TNO Industrie en de Vereniging FME-CWM.

De auteur, A. Gales (TNO Industrie) werd ondersteund door een werkgroep bestaande uit: H.J.M. Bodt LPI (NIL), P. Boers (FME-CWM), H. de Kruijk (TNO Industrie), M. de Nooij (TNO Industrie), H. Poulis (Hechtingsinstituut), J. van de Put (Syntens) en H.H. van der Sluis (adviseur TNO Industrie).

Technische informatie:

Voor technisch inhoudelijke informatie over de in deze voorlichtingspublicatie behandelde onderwerpen kunt u zich richten tot de auteur A. Gales (tel.: 040-2650247, e-mail: a.gales@ind.tno.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: pbo@fme.nl
Internet: <http://www.fme-cwm.nl>

Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL)

Adres: Krimkade 20,
2251 KA VOORSCHOTEN
Telefoon: (071) 560 10 70
Fax: (071) 561 14 26
E-mail: info@nil.nl
Internet: <http://www.nil.nl>

© Vereniging FME-CWM/mei 2003

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

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

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



Netherlands Institute
for Metals Research

