

onder poeder lassen

vm 123

VWM

Onder poeder lassen

vm 123



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

Boerhaavelaan 40

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

© Vereniging FME-CWM/januari 2008

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

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

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

Onder poeder lassen

toelichting

Voor u ligt de voorlichtingspublicatie "Onder poeder lassen". Dit blad is een update van het NIL-voorlichtingsblad "Onder poeder lassen" dat in 1988 is opgesteld als onderdeel van het gelijknamige onderzoeksproject dat uitgevoerd is onder supervisie van het Nederlands Instituut voor Lastechniek.

Daar er in de periode tussen verschijning van de eerste uitgave en nu een aantal belangrijke ontwikkelingen op het gebied van het onder poeder lassen is geweest, was een aanpassing aan de huidige stand der techniek noodzakelijk.

De Nederlandse overheid heeft geld ter beschikking gesteld om een aantal verouderde voorlichtingspublicaties aan te passen aan de stand der techniek; de FME heeft de coördinatie daarvan op zich genomen. Voor de aanpassing van deze publicatie heeft zij het NIL de opdracht gegeven. De oude voorlichtingspublicatie vormt de basis van deze update, zodat verwijzingen naar geraadpleegde literatuur aanvullend aan de oude publicatie zijn.

samengesteld door

Ing. W. Pors IWE (NIL), terwijl als co-lezers hebben opgetreden de heren Ing. J. Hilkes IWE (Lincoln Smitweld BV) en Ing. H. de Jong IWE (NIL).

Daarnaast is dankbaar gebruik gemaakt van fotomateriaal van Lincoln Smitweld te Nijmegen en de Verwater Group te Hoogvliet.

technische informatie

Nederlands Instituut voor Lastechniek

- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| - bezoekadres | Boerhaavelaan 40, Zoetermeer |
| - correspondentie-adres | Postbus 190, 2700 AD ZOETERMEER |
| - telefoon | 088 - 400 85 60 |
| - telefax | 079 - 3531 11 78 |
| - e-mail | info@nil.nl |
| - website | 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, Zoetermeer |
| - correspondentie-adres | Postbus 190, 2700 AD ZOETERMEER |
| - telefoon | 079 - 353 11 00 / 353 13 41 |
| - telefax | 079 - 353 13 65 |
| - e-mail | info@fme.nl |
| - website | www.fme.nl |

Inhoud

1 Inleiding	5	7 Praktijktoeepassingen	35
1.1 Kenmerken van het onder poeder lassen	5	7.1 Het lassen van hoge rekgrens staal S690	35
1.2 Procesnummers	5	7.2 Oplossen van cilindrische lichamen	36
1.3 Historische ontwikkeling	6	7.2.1 Inleiding	36
2 Beschrijving basisproces	7	7.2.2 Oplassen van zogenaamde wikkel- en trekrollen	36
2.1 Algemeen	7	7.3 Oplassen continugietmachinerollen	36
2.2 Apparatuur	7	7.4 Toepassing van het onder poeder lassen bij de bouw van offshore constructies	37
2.2.1 Opbouw	7	8 Economische aspecten van het onder poeder lassen	39
2.2.2 Stroombron	8	8.1 Inschakelduur	39
2.2.2.1 Algemeen	8	8.2 Neersmeltsnelheid	39
2.2.2.2 Magnetische blaaswerking	8	8.3 Naadvorm	41
2.2.2.3 Gelijkstroombronnen	8	9 Oorzaken en preventie van lasonvolkomenheden	43
2.2.2.4 Wisselstroombronnen	9	9.1 Poreusheid	43
2.3 Booglengteregeling	9	9.2 Slakinsluitingen	43
2.4 Poederdoseringssysteem	10	9.3 Onvolkomen doorlassing	44
2.5 Bewegingssysteem	11	9.4 Bindingsfouten	45
3 Procesparameters	13	9.5 Scheuren in de las of directe omgeving	45
3.1 Polariteit van de draad	13	9.5.1 Warmscheuren	45
3.2 Stroomsterkte en draaddiameter	13	9.5.2 Koudscheuren	45
3.3 Boogspanning	14	9.6 Randinkarteling	46
3.4 Voortloopsnelheid	15	10 Veiligheid en gezondheid	47
3.5 Uitsteeklengte	15	11 Normen	48
3.6 Stand van de lasdraad	15	12 Geraadpleegde literatuur	49
3.7 Warmte-inbreng	16	Bijlage Overzicht kenmerken van het onder poeder lasproces met varianten	50
4 Lastoevoegmaterialen	17		
4.1 Lasdraden	17		
4.2 Laspoeders	19		
4.3 Factoren die de taaiheidseigenschappen van ongelegeerd en laaggelegeerd las- metaal beïnvloeden	22		
4.4 Speciale poeders	23		
4.5 Behandeling en opslag van poeders	24		
4.6 Aanduiding draad-poeder combinatie	24		
5 Lasnaadvormen en lasbadondersteuning	25		
5.1 Toepassingsgebied	25		
5.2 Eénzijdig doorlassen met lasbadonder- steuning	25		
5.3 Laag-tegenlaag principe	26		
5.4 Het vullen van met de hand doorgelaste naden	27		
5.5 Hoeklassen	27		
6 Procesvarianten	28		
6.1 I ² R-lassen	28		
6.2 "Twin-arc" lassen	29		
6.3 Tandem-lassen	29		
6.4 Onder poeder lassen met toevoeging van metaalpoeder	31		
6.5 Bandlassen	31		
6.6 Onder poeder lassen met toevoeging van koude draad	32		
6.7 Onder poeder lassen met toevoeging van warme draad	32		
6.8 Half gemechaniseerd onder poeder lassen	33		
6.9 Onder poeder lassen uit de zij	33		
6.10 Lassen met gevulde draad	33		

Hoofdstuk 1

Inleiding

Deze voorlichtingspublicatie heeft tot doel de lezer een objectief en technisch verantwoord inzicht te verschaffen in het onder poeder lasproces.

In tabel 1 is het onder poeder lasproces op een aantal belangrijke en kenmerkende punten vergeleken met een drietal andere veel gebruikte lasprocessen.

In deze voorlichtingspublicatie wordt aandacht besteed aan de beschrijving van het basisprincipe van het proces en de meest bekende procesvarianten. Daarnaast worden apparatuur, lasdraden, laspoeders, lasnaadvoorbewerking, foutpreventie en de economische aspecten besproken. Praktijktoeepassingen met voorbeelden, waarbij onder meer wordt ingegaan op de keuze van de draad-poeder combinatie en op de warmte-inbreng in relatie tot de vereiste mechanische eigenschappen, completeren het geheel.

1.1 Kenmerken van het onder poeder lassen

Typische kenmerken zijn o.a.:

- het hoge thermische procesrendement door de isolerende werking van de slak;
- de diepe inbranding;
- de intensieve slak-badreacties door de hoge temperatuur van het lasbad;
- de mogelijkheid om met dikke en dunne massieve én gevulde draden bij hoge stroomsterkten te lassen;
- voornamelijk toepasbaar in de horizontale positie;
- geen boogstraling;
- een (half) gemechaniseerd proces.

Kenmerkende voordelen van het onder poeder lassen zijn:

- hoge neersmelt met daaraan gekoppeld lage loonkosten per kg neergesmolten metaal;

- geringe warmte-inbreng per eenheid laslengte, waardoor de krimpvervormingen enigszins beperkt kunnen blijven;
- goede aanpassingsmogelijkheden van de mechanische eigenschappen van het lasmetaal aan het basismateriaal door verschillende mogelijke procesvariabelen;
- de vorm van de lasrupsdoorsnede is door middel van de procesparameters te beïnvloeden;
- de opharding in de warmte beïnvloede zone is (afhankelijk van het staaltype) beperkt door de relatief hoge warmte-inbreng van het proces;
- het proces is milieuvriendelijk (schoon proces) en veroorzaakt geen zichtbare ultraviolette straling (lasogen).

Een aantal ongunstige aspecten van het onder poeder lassen zijn:

- bij éénlaaglassen ontstaan vaak forse lasrupsen met een grove gietstructuur die segregatie en poreusheid tot gevolg kunnen hebben. De kerfslagwaarden van het lasmetaal kunnen hierdoor worden verlaagd. In bepaalde gevallen kan dit ook aanleiding zijn tot warmscheuren en/of H/B-scheuren;
- bij onvoldoende lasbadondersteuning kan tijdens het lassen doorbranding optreden;
- de naadvoorbewerking moet nauwkeurig worden uitgevoerd, omdat de naad voor de lasser niet zichtbaar is en er daardoor moeilijk correcties van de lasparameters kunnen worden uitgevoerd;
- het proces vereist veelal hulpmiddelen of manipulatoren voor een optimale toepassing;
- alleen toepasbaar in de horizontale positie.

In de bijlage op pagina 50 is een uitgebreid overzicht gegeven van de kenmerken van de verschillende varianten van het onder poeder lassen.

1.2 Procesnummers

Om een uniform en internationaal spraakgebruik te krijgen, zeker wat betreft de lasprocedures, zijn internationaal de verschillende lasprocessen in groepen ingedeeld en voorzien van een referentienummer. In de

tabel 1 Positionering van het onder poeder lasproces op kenmerkende aspecten ten opzichte van een aantal andere veel gebruikte lasprocessen

Lasproces Procesfactoren	onder poeder enkel draads	beklede elektrode	MAG massieve draad	MAG gevulde draad
flexibiliteit	slecht	hoog	hoog	hoog
mobilititeit	slecht	zeer goed	goed	goed
mechanisatiegraad	hoog	zeer laag	zeer hoog	zeer hoog
haalbare inschakelduur (I.D.)	zeer hoog	laag	laag	laag
neersmeltsnelheid	zeer hoog	afhankelijk type elektrode	hoog, afhankelijk type procesvariant	hoog, afhankelijk type procesvariant
arbo en veiligheidsomstandigheden	weinig belastend	hoog belastend	hoog belastend	hoog belastend
procesbetrouwbaarheid	zeer hoog	afhankelijk lasser	hoog, afhankelijk lasser	hoog, afhankelijk lasser
lasposities	alleen horizontaal	alle posities	alle posities	alle posities
inbrandingsdiepte	zeer groot	beperkt	beperkt	beperkt

norm NEN-EN-ISO 4063 "Lassen en verwante processen - Termen voor processen en referentienummers" zijn deze nummers opgenomen. Deze zijn voor het onder poeder lassen en de procesvarianten daarvan:

- 12 Onder poeder lassen
- 121 Onder poeder lassen met draadelektrode
- 122 Onder poeder lassen met bandelektrode
- 123 Onder poeder lassen met meervoudige draad-elektroden
- 124 Onder poeder lassen met toevoeging van metaal-
liek poeder
- 125 Onder poeder lassen met gevulde draadelektrode

De hiervoor genoemde varianten van het onder poeder lassen zullen in deze publicatie beknopt worden besproken.

Opmerking: op de website van het NIL (www.nil.nl)

vindt u een compleet overzicht van alle procesnummers.

1.3 Historische ontwikkeling

Het onder poeder lassen is in de dertiger jaren van de vorige eeuw in Rusland en Amerika (Union Melt lassen) ontwikkeld. Het proces werd in zeer korte tijd bekend en heeft zich in de loop der jaren snel ontwikkeld. In de eerste twintig ontwikkelingsjaren was de aandacht vooral gericht op de hoge neersmeltsnelheid. De voordelen van het toepassen van meer draden, al dan niet in combinatie met meer stroombronnen, en het lassen met een vergrote uitsteeklengte (I^2R -lassen) waren toen reeds bekend. De materialen die toen gelast werden en nog steeds worden gelast, zijn voornamelijk ongelegeerd, laaggelegeerd en hooggelegeerd staal, ferritische en austenitische roestvaste staalsoorten, nikkel(legeringen) en koperlegeringen. De bepaling van de mechanische eigenschappen bleef in de eerste ontwikkelingsfase slechts beperkt tot de treksterkte en soms de kerfslagwaarden van het lasmetaal bij kamertemperatuur. Aan de eigenschappen van de warmte beïnvloede zone werd nauwelijks aandacht besteed, totdat in de tweede wereldoorlog Liberty-schepen broos braken ten gevolge van een grofkorrelige structuur met lage sterkte in de zone direct grenzend aan de las, de zogenaamde warmte beïnvloede zone (wbz).

Na de jaren vijftig in de vorige eeuw zet het gebruik van meerdraadssystemen zich voort. Veel verbeteringen worden aangebracht aan de apparatuur. De mogelijkheden van toepassing van wisselstroom en van gelijkstroom (elektrode + en -) werden onderzocht. De rol van Japan en, in mindere mate, ook die van Europa, werd steeds groter bij het vernieuwen van de processen. Het bandlassen met één en twee banden werd ontwikkeld.

Het toepassen van extra toevoegmateriaal in de vorm van metallische poeders of koude draden doet zijn intrede; de neersmelt wordt verhoogd en de laskwaliteit wordt verbeterd.

Omstreeks 1970 wordt door het toevoegen van een zogenaamde "warme" draad bij het lassen van stompe naden en bij het oplassen een nog grotere neersmeltsnelheid mogelijk. Met al deze vernieuwingen leek de toepassing van het proces, zeker wat apparatuur betreft, onbeperkt.

In de zestiger en zeventiger jaren wordt echter ook steeds duidelijker dat het toepassen van zeer hoge stromen en de daarmee samenhangende grote opmenging met het basismateriaal, goede mechanische eigenschappen in de weg kunnen staan. Kerftaaiheidstudies aan de hand van "Charpy-V-notch" (CVN) en

later ook C.T.O.D.-beproevingen bij lagere temperaturen dan kamertemperatuur, toonden dit aan. Bij deze studies werden ook de eigenschappen van de warmte beïnvloede zone niet vergeten. Daardoor werd bekend, dat de warmte-inbreng moet worden beperkt om de vereiste mechanische eigenschappen van het staal ook in de warmte beïnvloede zone te kunnen waarborgen. Verbeteringen in de niet-destructieve onderzoekstechnieken, NDO-technieken, zoals ultrasoon onderzoek, maakten een betere inspectie mogelijk. Zo kwamen de factoren die warm- en koudscheuren beïnvloeden meer onder de aandacht. De destructieve invloed van waterstof op de warmte beïnvloede zone en in mindere mate op het lasmetaal gaf en geeft nog steeds aanleiding tot het bestuderen van de draad- en poeder-productietechnieken. Zo is onder meer het lassen met gevulde draden als vervanging van het lassen met massieve lasdraden sterk opgekomen. Naast de hogere neersmeltsnelheid die hiermee kan worden gerealiseerd, kan met de toepassing van gevulde draden meer aan specifieke eisen worden voldaan dan met massieve lasdraden.

De belangrijkste toepassingsgebieden voor het onder poeder lassen zijn:

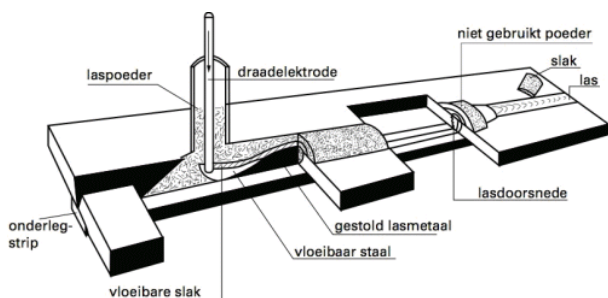
- ▶ pijplassen (langsnaad en spiraal gelaste pijpen);
- ▶ bruggenbouw;
- ▶ drukvatenbouw;
- ▶ motorenbouw;
- ▶ apparatenbouw;
- ▶ offshore;
- ▶ scheepsbouw.

Hoofdstuk 2

Beschrijving basisproces

2.1 Algemeen

In figuur 1 is schematisch het principe van het onder poeder lasproces weergegeven.



figuur 1 Schematische weergave van het onder poeder lasproces [8]

Een op een haspel gewikkelde draad, de elektrode, wordt door een draadaanvoermotor continu aangevoerd en door een koperen contactbuis gevoerd. Deze contactbuis is verbonden met een pool van de stroombron, terwijl het werkstuk met de andere pool is verbonden. Om de van de draad afkomstige metaaldruppels tijdens de overgang van draad naar werkstuk als ook het smeltbad te beschermen tegen de inwerking van de omgevingslucht, wordt een korrelig laspoeder via een slang vanuit een trechter naar de lasplaats gevoerd.

Om te voorkomen dat de lasdraad wordt oververhit, vindt de stroomoverdracht zo dicht mogelijk bij de boog plaats. De boog brandt in de boogruimte, die gevuld is met gasen (CO_2 , CO, enz.) afkomstig van het laspoeder, en metaaldampen. Aan de voorkant grenst de boogruimte aan het (nog) niet gesmolten basismateriaal en aan de achterkant aan het stollende lasmetaal. De boogruimte wordt bedekt door een laagje gesmolten slak. Figuur 1 toont ook dat het gestolde lasmetaal bedekt wordt met een laagje gestolde slak, dat na elke lasrups moet worden verwijderd. De lasboog is geheel bedekt door het laspoeder, wat het proces karakteriseert. Hierdoor is er geen uitstraling vanuit de boog van het felle en verblindende licht en de irriterende UV-straling, zodat een lasschild niet nodig is voor bescherming van het gelaat.

Het laspoeder wordt nooit volledig gebruikt. Het niet gesmolten poeder kan met de hand of via een pneumatisch opzuigstelsysteem worden verzameld en teruggevoerd naar de poedertrechter voor hergebruik. Er bestaan half gemechaniseerde onder poeder lasapparaten, maar het meeste onder poeder laswerk gebeurt volledig gemechaniseerd.

Door de isolerende werking van de poederlaag blijven de warmteverliezen beperkt, waardoor de inbranding verbetert en de opmenging met het basismateriaal en de hoeveelheid neergesmolten lasmetaal toeneemt. De thermische rendementsfactor (k-factor) ter bepaling van de warmte-inbreng bij het lassen volgens de formule uit de norm NEN 1011, wordt op 1 gesteld. Verder treden er als gevolg van het afdekken geen spatverliezen op. Het poederverbruik en het draadverbruik

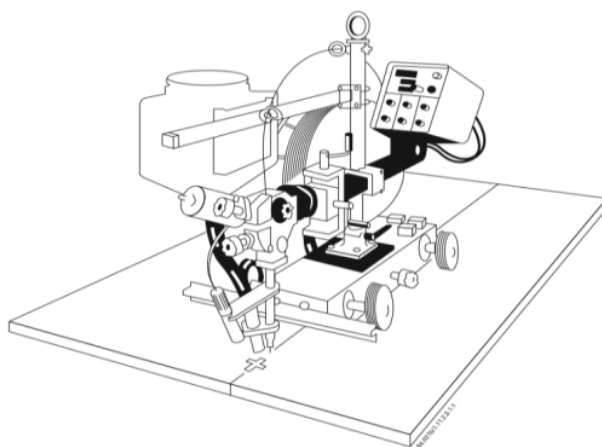
liggen ongeveer in dezelfde orde van grootte. De verhouding draadverbruik/poederverbruik hangt onder meer af van het poedertype en de gebruikte lasparameters. Voor elk proces waarbij de lasdraad mechanisch wordt aangevoerd geldt de voorwaarde dat de draadaanvoersnelheid gelijk moet zijn aan de afsmeltsnelheid van de draad. Hoe hieraan bij het onder poeder lassen wordt voldaan, is omschreven in de volgende paragraaf.

2.2 Apparatuur

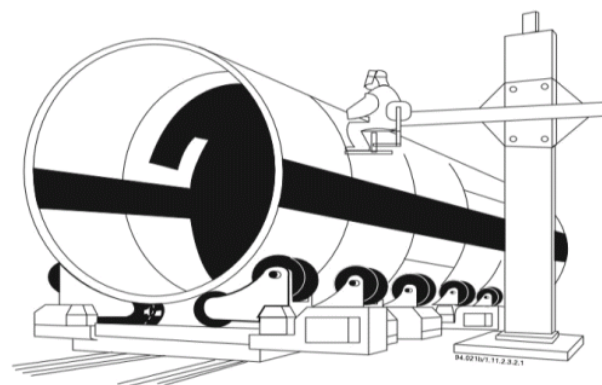
2.2.1 Opbouw

Apparatuur voor het onder poeder lassen kan afhankelijk van de opbouw in twee hoofdgroepen worden ingedeeld, te weten:

- ▶ verrijdbare lasapparatuur; de lasapparatuur beweegt over het stationair opgestelde werkstuk. De laskop is gemonteerd op een zogenaamde "lastractor" (figuur 2).
- ▶ vast opgestelde apparatuur; het werkstuk beweegt. De apparatuur (laskop) is in dit geval gemonteerd aan een laskolom (figuur 3), een statief of een portaal.



figuur 2 Onder poeder lastractor [10]



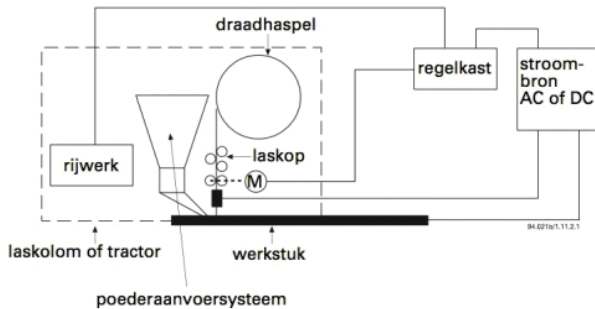
figuur 3 Laskop op laskolom gemonteerd [10]

Een lasapparaat kan, afhankelijk van de toepassing, uitgerust zijn met:

- ▶ één, twee of meer laskoppen;
- ▶ één of meer draden;
- ▶ één of meer stroombronnen;
- ▶ massieve draad, gevulde draad of band;
- ▶ toevoeging van koude draad, warme draad of metaalpoeder.

De belangrijkste delen van een complete onder poeder lasinstallatie zijn (zie figuur 4):

- de stroombron;
- de laskop;
- een regelsysteem ter handhaving van een constante booglengte;
- het poeder aanvoer- en doseringssysteem;
- het bewegingssysteem (rijwerk).



figuur 4 Schematische opbouw van een complete onder poeder lasinstallatie

2.2.2 Stroombron

2.2.2.1 Algemeen

Bij het onder poeder lassen kan zowel gelijkstroom alsook wisselstroom worden toegepast. De snelheid waarmee de lasdraad bij het onder poeder lassen afsmelt, is afhankelijk van de stroomsterkte en de polariteit van de elektrode (lasdraad). De grootste warmteontwikkeling vindt plaats aan de negatieve pool. Wordt gelast met de elektrode positief, dan is de inbranding groter dan bij de elektrode negatief; is de elektrode negatief, dan is de neersmeltsnelheid groter dan bij de elektrode positief. Het lassen met de elektrode negatief heeft als nadeel dat de boog iets minder stabiel is; bij het lassen met wisselstroom worden beide voordelen gecombineerd. De tot nu toe meest gebruikte wisselstroombronnen voor het onder poeder lassen hebben een sinusvormig verloop van de wisselstroom en een vaste frequentie van 50 Hz. De sinusvorm is symmetrisch. Dit houdt in dat het niet mogelijk is om bijvoorbeeld met een gemiddeld hogere positieve stroom te lassen voor een diepere inbranding of met een gemiddeld hogere negatieve stroom voor een grotere neersmeltsnelheid. Door gebruik te maken van de invertertechniek kan dit wel worden gerealiseerd en kan bijvoorbeeld ook met een blokvormig verloop van de wisselstroom worden gelast.

De stroombronnen die voor het onder poeder lassen kunnen worden gebruikt worden beknopt in § 2.2.2.3 besproken.

2.2.2.2 Magnetische blaaswerking

Tot de zestiger jaren, toen men gewend was met hoge stroomsterkten (tot ca. 3.000 A) te lassen, werd de voorkeur gegeven aan wisselstroom om blaaswerking die bij het lassen met gelijkstroom op kan treden, te vermijden. Onder blaaswerking wordt verstaan: het afbuigen van de boog onder meevoering van de afsmeltende druppels. Deze afbuiging wordt veroorzaakt door de onderlinge beïnvloeding van het magnetische veld om elk van de stroomgeleidende delen (de lasdraad en de te lassen plaat). Het verschijnsel is het sterkst aan de uiteinden van de plaat (verdichting krachtlijnen) en

kan enigszins worden tegengegaan door de massaklem zodanig op het werkstuk te plaatsen, dat van de klem af kan worden gelast.

Doordat de afsmeltende druppels eveneens worden afgebogen, wordt de lasdoorsnede beïnvloed. De doorsnede wordt, in breedterichting gezien, aan één kant dikker en de inbranding komt verschoven te liggen ten opzichte van de gewenste plaats. Bij het lassen met wisselstroom treedt geen blaaswerking op. Wanneer met één draad wordt gelast, wordt tegenwoordig omwille van de inbranding en de beschikbaarheid van laspoeders de voorkeur gegeven aan gelijkstroom.

2.2.2.3 Gelijkstroombronnen

Voor het lassen met gelijkstroom komen in principe twee soorten stroombronnen in aanmerking, namelijk:

- omvormers;
- gelijkrichters.

Omvormers

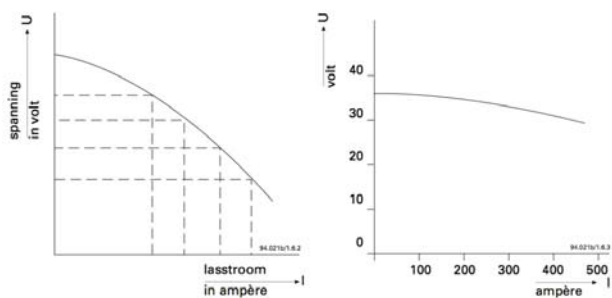
Tot de jaren vijftig werden haast alleen generatoren (omvormers) als gelijkstroombron ingezet. Voor een motorgenerator bedraagt de maximaal op te wekken stroom ongeveer 1000 A. Het grote voordeel van een generator is dat de opgewekte gelijkstroom zeer gelijkmatig is. Enkele nadelen zijn:

- vergt vrij veel onderhoud;
- veel lawaai bij stationair lopen en tijdens het lassen;
- hoge aanschaffkosten.

De nieuwere typen omvormers (zonder koolborstels) lopen rustiger en vergen minder onderhoud, maar komen slechts voor het lassen van dunne platen en voor het oplossen in aanmerking.

Gelijkrichters

Sinds de invoering van de siliciumdiode heeft de gelijkrichter pas goed zijn intrede gedaan in de lastechniek. Evenals omvormers zijn ze leverbaar met een vlakke of een dalende statische stroom-spanningskarakteristiek; ook wel aangeduid met respectievelijk C.P. (constant potential) en C.C. (constant current). Figuur 5 geeft van beide een grafische voorstelling.



figuur 5 Dalende karakteristiek (links) en vlakke karakteristiek (rechts)

Gelijkrichters met diodes hebben een heel groot stroomgebied; voor gelijkrichters met een vlakke karakteristiek is dat ongeveer 80 - 1.200 A en voor gelijkrichters met een dalende karakteristiek tot 2.000 A. De helling van de vlakke stroom/spanningskarakteristiek ligt tussen 1 en 3 Volt per 100 A. In principe wordt een vlakke karakteristiek toegepast voor het lassen met dunne draden (hoge draadsnelheden) en voor bandlassen, en een dalende karakteristiek voor het lassen met dikke draden (lage draadsnelheden); zie ook § 2.3 "De booglengte-regeling".

Voor het lassen van dunne platen zijn stroombronnen met een vlakke karakteristiek (C.P.) geschikt. Voor het lassen met hoge stroomsterkten van dikke platen vanaf ongeveer 12 mm wordt de voorkeur gegeven aan een dalende karakteristiek (C.C.). Tegenwoordig zijn er gelijkrichters beschikbaar die omschakelbaar zijn van dalende naar vlakke karakteristiek, zodat ze zowel voor het lassen van dunne draad, bandlassen, als voor het MIG-/MAG-lassen te gebruiken zijn.

Voor het starten van een lasboog bij een vlakke karakteristiek is geen speciaal ontstekingssysteem nodig, omdat de open spanning laag is en de stroomsterkte hoog. Voor het starten van een boog bij een dalende karakteristiek moet een speciale techniek worden toegepast, zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van een bolletje staalwol tussen plaat en draadeinde, het schrapen van de schuin afgeknipte lasdraad over de startplaats, of eventueel het superponeren van een hoog-frequente spanning over de lasspanning.

Ook is het mogelijk de draad langzaam toe te voeren. Op het moment dat er een stroom gaat lopen, reageert de besturing door de draad iets terug te trekken. De boog ontstaat en vervolgens wordt het gebruikelijke regelsysteem toegepast. Dit principe staat bekend als het zogenaamde "feed-retrack-systeem".

Een gelijkrichter met een dalende karakteristiek heeft een constante open spanning (60 - 80 V), een gelijkrichter met een vlakke karakteristiek heeft een instelbare (lagere) open spanning (25 - 55 V).

Afhankelijk van het type van de statische karakteristiek wordt of de stroomsterkte (dalend) of de spanning (vlak) ingesteld, terwijl dan de andere parameter, direct of via een andere parameter hieraan wordt aangepast; zie § 2.3 "De booglengteregeeling".

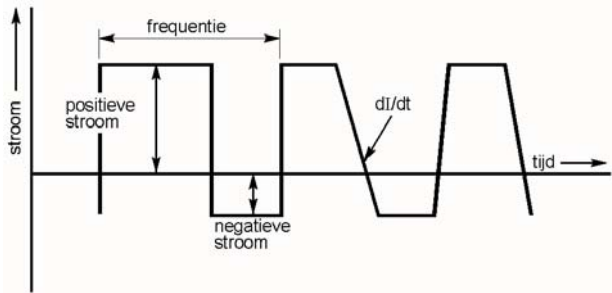
2.2.2.4 Wisselstroombronnen

Voor het opwekken van wisselstroom wordt een las-transformator gebruikt met een minimale open spanning van circa 70 V. Alleen lastransformatoren met een dalende karakteristiek worden toegepast. Bij het lassen met wisselstroom is de stroomsterkte instelbaar en de spanning te regelen. Bij éénfasige wisselstroom is de belasting van het net erg hoog en asymmetrisch. Daarom wordt bij het lassen met meer dan één draad een twee- of driefasige wisselstroom toegepast.

Onder bepaalde voorwaarden kunnen lasstroombronnen aan elkaar geschakeld worden. Een typisch voorbeeld hiervan is de bij het tandemlassen gebruikelijke Scott-schakeling voor twee lastransformatoren. De belangrijkste voordelen hiervan zijn de gunstige afbuiging van de twee lasbogen en een meer symmetrische belasting van het net. Het aansluiten en aan elkaar koppelen van lasbronnen (vooral transformatoren) kan echter nadelig zijn voor de belasting van het net, wat tot extra kosten kan leiden. Daarom, maar vooral om veiligheidsredenen, moeten bij het combineren van stroombronnen de technische aansluitvoorwaarden van de stroomleverancier en de algemeen geldende elektrotechnische voorschriften scherp in acht worden genomen.

Zoals al eerder aangehaald, is recent het lassen met een blokvormige wisselstroom ontwikkeld. Deze blok-vormige wisselstroom wordt opgewekt via de inverter-techniek. Deze techniek biedt ongekende mogelijkheden om het verloop van stroom en spanning voor een bepaalde toepassing te optimaliseren [9]. Zo kan worden gewerkt met een variabele frequentie van de wisselstroom en kan ook de tijdsduur en grootte van

zowel het positieve alsook het negatieve deel van de wisselstroom afzonderlijk worden ingesteld. Verder kan bij een blokvormig verloop van de wisselstroom de stijg- en daalsnelheid (up- en downslope) worden gevarieerd. Dit is van belang voor een gelijkmatige afsmelting van de lasdraad en voor een probleemloos verlopemde materiaaloverdracht, met als resultaat een uiterst glad en regelmatig lasoppervlak. De instelmogelijkheden van de inverter stroombronnen zijn schematisch weergegeven in figuur 6.



figuur 6 Instelmogelijkheden wisselstroomverloop als functie van de tijd [9]

De ruime instelmogelijkheden van de stroombron zorgen ervoor dat de lasparameters optimaal ingesteld kunnen worden voor ieder laskarwei.

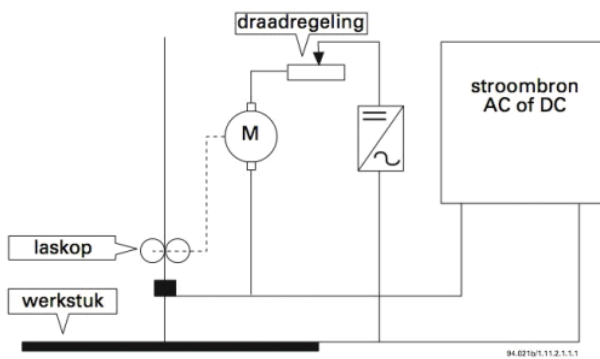
Inbrandingsdiepte en neersmeltsnelheid zijn daarbij te variëren zonder variatie in de warmte-inbreng. Van het gegeven dat een diepe inbranding wordt verkregen bij elektrode positief en een vlak en breed lasbad bij elektrode negatief, kan heel mooi gebruik worden gemaakt bij het lassen met meerdere draden van bijvoorbeeld een V-naad in dik materiaal.

2.3 Booglengteregeeling

Bij lasprocessen waarbij de lasdraad mechanisch wordt aangevoerd, moeten voor een stabiel procesverloop (constante booglengte) de draadaanvoersnelheid en de afsmeltsnelheid aan elkaar gelijk zijn. Afhankelijk van de statische stroom-spanningskarakteristiek van de stroombron (dalend of vlak) zijn er twee verschillende regelsystemen die tot taak hebben de booglengte tijdens het lassen, en daarmee ook het procesverloop, constant te houden. Deze twee regelsystemen zijn:

- de uitwendige of C.C.-regeling voor een stroombron met een dalende karakteristiek;
- de inwendige of C.P.-regeling voor een stroombron met een vlakke karakteristiek.

Uit de dalende karakteristiek in figuur 5 blijkt dat boogspanningsvariaties gepaard gaan met slechts geringe stroomsterkteveranderingen (constant current). Dit betekent dat kleine booglengteveranderingen, die tijdens het lassen onvermijdelijk zijn, niet of nauwelijks gepaard gaan met stroomsterkteveranderingen. Voor een zo constant mogelijk verloop van het proces moet alleen de booglengte zich snel herstellen. Dit kan gebeuren door de draadsnelheid continu aan te passen; d.w.z. de draadsnelheid te verhogen bij vergrootte booglengte (= verhoogde boogspanning) of te verlagen bij verkorte booglengte (= verlaagde boogspanning). Dit wordt bewerkstelligd door de boogspanning te gebruiken als regelgrootte voor het toerental van de draadaanvoermotor. Figuur 7 geeft schematisch deze regeling weer.



figuur 7 Schema boogspanningsregeling

Het toerental wordt verhoogd als de boogspanning toeneemt en neemt af als de boogspanning afneemt. Dit regelprincipe wordt uitwendig regelmechanisme genoemd. Het wordt toegepast bij stroombronnen met een hoge open spanning (dalende karakteristiek), die gebruikt worden voor het lassen met dikke draden (hoge stroom!). De aanvoersnelheid van een dikke draad is relatief laag, wat een voorwaarde is om een dergelijk regelmechanisme te kunnen toepassen. Bij dunne draden is de aanvoersnelheid dermate hoog, dat dit systeem niet kan worden toegepast.

Om toch een relatie te krijgen van de draadaanvoersnelheid en de afsmeltsnelheid bij het lassen met dunne draden moet een stroombron met een vlakke karakteristiek worden toegepast (figuur 5). Deze heeft als kenmerk dat een kleine boogspanningsverandering gepaard gaat met een grote stroomsterkteverandering bij gelijkblijvende draadsnelheid. Bij een vergroting van de booglengte (toename van de boogspanning) neemt de stroomsterkte af en daarmee ook de afsmeltsnelheid, totdat de boogspanning (= booglengte) weer zijn ingestelde waarde heeft bereikt. Evenzo gaat een verkleining van de booglengte gepaard met een verhoging van de stroomsterkte en dus een verhoogde afsmeltsnelheid, totdat de boogspanning weer zijn ingestelde waarde heeft bereikt. Een dergelijk regelsysteem heet inwendig regelmechanisme. De booglengte, op deze wijze geregeld, wordt wel een zelfregelende boog genoemd.

Uit de omschrijving van de regelmechanismen wordt het volgende duidelijk:

- bij een stroombron met een dalende karakteristiek wordt in principe de lasstroom ingesteld en wel door het kiezen van een bepaalde karakteristiek (continu instelbaar). De boogspanning is daarbij aan te passen via een potentiometer die ook indirect de draadsnelheid regelt;
- bij een gelijkstroom bron met een vlakke karakteristiek wordt in principe de lasspanning ingesteld en wel door het kiezen van een bepaalde karakteristiek (continu of in stappen). Daarnaast is ook de draadsnelheid instelbaar, die een nagenoeg lineair verband heeft met de stroomsterkte.

Tabel 2 geeft een overzicht van de kenmerken van zowel het C.C.-lassen als het C.P.-lassen.

2.4 Poederdoseringssysteem

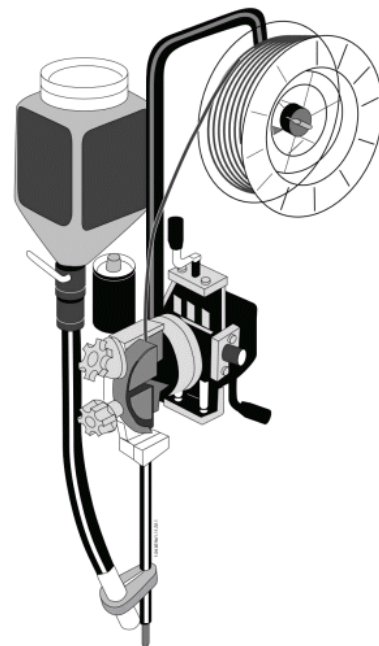
Het laspoeder wordt gewoonlijk vlak voor of direct rondom het contactmondstuk op de te lassen plaats gedoseerd. Het poeder valt vanuit een hoger aange-

tabel 2 Kenmerken van zowel dalende alsook vlakke karakteristiek

kenmerk	C.C.-lassen/dalende karakteristiek	C.P.-lassen/vlakke karakteristiek
stroombron	hoge open spanning 60-80 V	lage open spanning 25-55 V
instelling	stroom instelbaar	spanning instelbaar
stroomsoort	wissel- of gelijkstroom	gelijkstroom
boogspanning	onrustig (variatie $\pm 2V$)	rustig (geen variaties)
booglengte-regeling	door middel van draadaanvoersnelheid	zelf regelend via de boogspanning

brachte trechter via een slang naar de gewenste plaats. De storthoogte (dikte van de poederlaag) wordt bepaald door de schrapende werking van de uitstroomopening over de zich vormende poederrug. Deze afstand moet voldoende groot zijn om te voorkomen dat de boog zichtbaar wordt.

Figuur 8 geeft een voorbeeld van een dergelijk systeem. Wanneer het poeder rondom het contactmondstuk wordt gestort, biedt dit het voordeel dat zowel voor- als achteruit kan worden gelast. Het vóór het contactmondstuk storten van het poeder heeft het voordeel van geringe storingsgevoeligheid, terwijl tevens in het geval van poederstoring nog tijdig actie kan worden genomen.



figuur 8 Poederaanvoersysteem

Poederaanvoer

Indien er boven de lasplaats geen ruimte is voor een poedertrechter (bijvoorbeeld bij het inwendig lassen van pijpen), moet het poeder op een andere manier naar de lasplaats worden getransporteerd. Dit gebeurt over het algemeen pneumatisch, en wel of direct door middel van perslucht, of door middel van injecteurwerking en perslucht.

Wanneer direct met perslucht wordt gewerkt, wordt het poeder opgeslagen in een container onder druk.

Het poeder wordt via een slang, aan de onderzijde van de container bevestigd, naar de stortplaats gevoerd. Het systeem is betrouwbaar, maar heeft als nadeel dat er tijdens het vullen van de container geen poeder kan worden gedoseerd. Hieraan kan enigszins worden tegemoet gekomen door afwisselend een tweede container te gebruiken.

De tweede manier is die waarbij gebruik wordt gemaakt van injecteurwerking. Wanneer door een mondstuk perslucht opzij in de toevoerbuis wordt geblazen, treedt achter dit mondstuk in de toevoerbuis een onderdruk op, waardoor het laspoeder vanuit de erachter liggende poedercontainer wordt meegezogen naar de stortplaats (ejecteurwerking). De ejecteurwerking kan worden vergroot door aan de boring in de toevoerbuis de vorm van een venturi te geven. Hierdoor is het mogelijk het laspoeder uit een scheidingstank van een afzuiginstallatie te onttrekken. Een nadeel van dit systeem is dat de hoeveelheid aan te voeren poeder beperkt is en dat de benodigde hoeveelheid lucht groot is. Bovendien zijn de systemen niet geschikt voor alle poedersoorten; dit in verband met de verschillen in korrelgrootte. Aan alle pneumatische systemen moet de eis worden gesteld dat de perslucht droog moet zijn. Om deze reden worden ook wel mechanische transportsystemen gebruikt, bijvoorbeeld een transportband.

Poeder opzuiging

Zoals eerder gesteld neemt niet alle aangevoerde laspoeder deel aan het lasproces. Het laspoeder dat niet aan het proces heeft deelgenomen kan opnieuw worden gebruikt. Recycling ervan kan via het opvegen en terugstorten in de poederbunker, of via een poeder opzuigstelsel.

Een poeder opzuigstelsel is vergelijkbaar met een stofzuiger, waarbij een poederverzameltank in de afzuigslang is opgenomen. Doordat de lichtsnelheid in de verzameltank afneemt, wordt het meegevoerde laspoeder daar afgezet. Wanneer de verzameltank zich boven de stortplaats bevindt, kan het poeder meteen weer terugvallen op de lasplaats. Figuur 9 is een schema van zo'n systeem op een tractor. De tractor voert behalve de verzameltank ook de zuiginstallatie mee. Er zijn ook systemen waarbij de zuiginstallatie een vaste opstelling heeft.

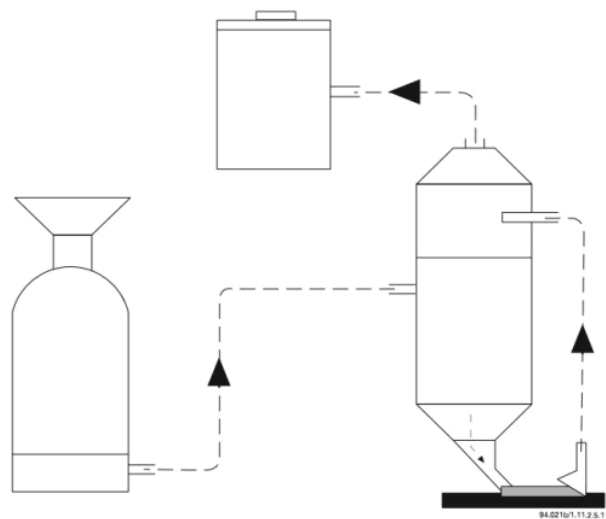
Ter afscheiding van het fijne stof van het poeder passeert het opgezogen poeder een cycloon. Het aandeel "fijn" wordt hier gescheiden van de rest van het poeder en neemt niet meer deel aan het proces. Aanbevolen wordt het poeder niet meer dan drie maal te recycleren. Door het opzuigen en transport door de slangen zal een deel van het poeder in korrelgrootte afnemen, waardoor het aandeel fijn poeder toeneemt, hetgeen resulteert in porositeiten in het lasmetaal.

2.5 Bewegingssysteem

Bij het onder poeder lassen kunnen verschillende bewegingssystemen voorkomen.

Zo kan de onder poeder laskop met regelkast op een onderwagen (lastractor) zijn gemonteerd, die langs de te lassen naad over de plaatvelden rijdt (figuur 2). De fijninstelling van de laskop boven de te lassen naad vindt plaats via een paar kleine langs- en dwarsverstelsteunpunten en een hoogteverstelsteunpunt.

Ook kan de laskop op een uithouder van een dwarsbalk worden gemonteerd, waarbij het steunpunt enkel een langsbeweging toelaat. Ook hier vindt de fijninstelling van de laskop plaats via een stelsel van kleine steunpunten.



figuur 9 Schematische weergave van poederrecirculatiesysteem

De regelkast is ook op het dwarssteunpunt gemonteerd en kan langs het werkstuk meebewegen. Een dergelijk bewegingssysteem kan worden toegepast bij bijvoorbeeld het oplassen van rollen of het lassen van plaatvelden in een grote klemmenbank. Bij het oplassen van rollen liggen deze op een rolstelling, zoals afgebeeld in figuur 10.



figuur 10 Rolstelling (foto Lincoln Smitweld BV)

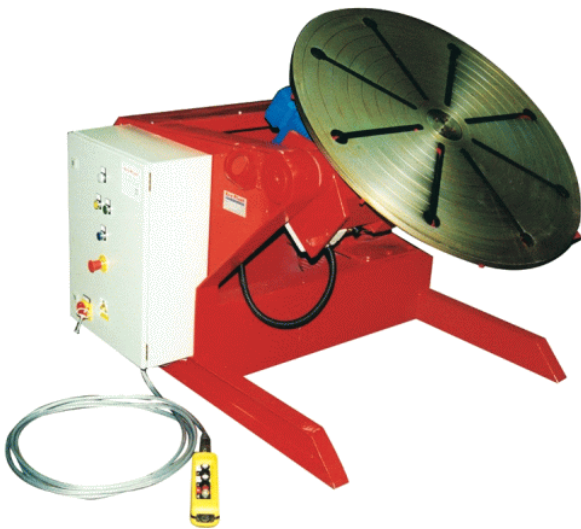
Een derde methode van beweging is de laskop te monteren op de arm van een laskolom (figuur 11). Hierbij kan de onderwagen van de laskolom verrijdbaar zijn opgesteld op rails, zodat een langsbeweging kan plaatsvinden. Veelal kan de laskop loodrecht op de rijrichting worden bewogen, doordat, hetzij de kolom een mortoraangedreven beweegbare arm heeft, hetzij op de vaste arm van de kolom zich een beweegbaar steunpunt bevindt.

De hoogte en de dwarspositie van de laskop kunnen zowel met de hand als elektrisch vanuit de besturingskast worden ingesteld.

Tot de hulpapparatuur voor het verplaatsen van het werkstuk worden onder meer gerekend: kleminrichtingen, draaitafels en rollenbanken. Ter illustratie geven figuur 12 en 10 een voorbeeld van respectievelijk een draaitafel en een rolstelling.



figuur 11 Laskolom (foto Lincoln Smitweld BV)



figuur 12 Draaitafel (foto Lincoln Smitweld BV)

Hoofdstuk 3

Procesparameters

Om goede lasverbindingen te kunnen maken zonder lasonvolkomenheden, zoals scheuren, poreusheid, randinkartelingen, enz., is het noodzakelijk dat de lasomstandigheden worden aangepast aan de te lassen plaatdikte en de naadvorm.

De procesparameters die belangrijke invloed uitoefenen, zijn:

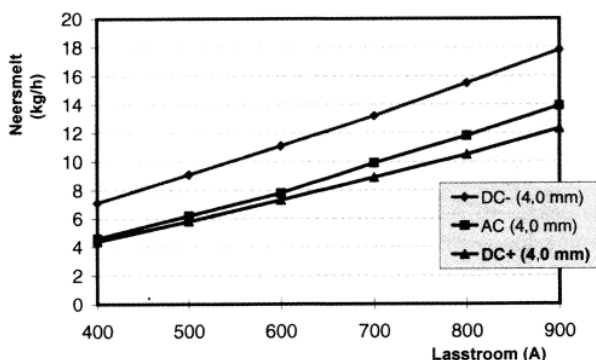
- de polariteit van de draad (+ of – geschakeld);
- de stroomsterkte;
- de diameter van de elektrode (ook in relatie tot de stroomsterkte);
- de boogspanning;
- de lassnelheid;
- de uitsteeklengte;
- de stand van de draad (contactbuis).

De hier genoemde parameters oefenen invloed uit op:

- de grootte van de oppervlakte van de lasdoorsnede;
- de vorm van de lasdoorsnede (inbrandingsprofiel);
- de inbrandingsdiepte;
- metallurgische effecten, zoals korrelgroei, scheurvorming, poreusheid en de chemische samenstelling van het smeltbad.

3.1 Polariteit van de draad

De diepste inbranding bij het onder poeder lassen wordt gewoonlijk verkregen bij het lassen met gelijkstroom en een positief geschakelde draad. Met een positief geschakelde draad wordt ook een optimaal lasuiterlijk en een goede vorm van de lasrupsdoorsnede verkregen. De kans op poreusheid is met positief geschakelde draad gering. Bij negatief geschakelde draad neemt de hoeveelheid neergesmolten lasmetaal toe (circa 35%) en de inbranding af, doordat de grootste warmteontwikkeling plaatsvindt aan de punt van de draad in plaats van aan het werkstukoppervlak. In figuur 13 is de invloed van de stroomsoort en de poling op de neersmeltsnelheid weergegeven.

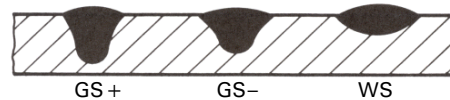


figuur 13 Invloed stroomsoort en poling op de neersmeltsnelheid [7]

Om deze reden wordt gelijkstroom met een negatieve draad vaak toegepast voor het lassen van staal met een beperkte lasbaarheid en voor het oplassen, omdat voor beide gevallen de inbranding in het basismateriaal tot een minimum moet worden beperkt. Bij minpolariteit is de verhouding poeder/draadverbruik kleiner dan bij

pluspolariteit. Daardoor is het toeleggen van het lasmetaal via het laspoeder het geringst bij minpolariteit. Bij het omschakelen van plus naar min kan het noodzakelijk zijn de boogspanning iets te verhogen om een overeenkomstig lasrupsprofiel te krijgen.

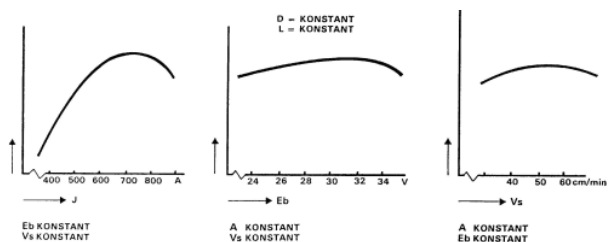
Wisselstroom geeft een resultaat dat het midden houdt tussen dat van pluspolariteit en minpolariteit. Het toepassen van wisselstroom is vooral nuttig wanneer blaaswerking moet worden voorkomen. Figuur 14 illustreert de invloed van de polariteit op de vorm inbranding.



figuur 14 Invloed van de polariteit op de inbrandingsdiepte

3.2 Stroomsterkte en draaddiameter

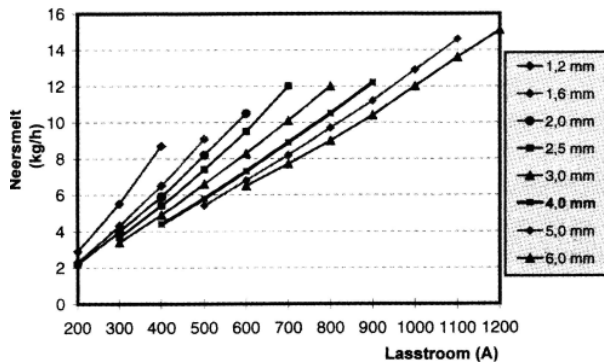
De stroomsterkte, de belangrijkste parameter, bepaalt in hoge mate de inbrandingsdiepte, de neersmeltsnelheid (kg/uur) en de lasoverdikte. De inbrandingsdiepte wordt in feite bepaald door de stroomdichtheid; dit is de stroomsterkte per mm² draaddoorsnede. Hoe hoger de stroomdichtheid, des te dieper de inbranding. Voor elk laspoeder is de boogstabiliteit afhankelijk van een bepaalde kritieke stroomdichtheid. Wanneer de stroom bij een bepaalde draaddiameter te laag is, verliest de boog zijn stabiliteit en ontstaat er een ruwe, onregelmatige lasrups. Een te hoge stroomdichtheid veroorzaakt een instabiele boog ten gevolge van oververhitting van de draad. Daarnaast kan dit tot randinkarteling leiden. Wanneer de lasomstandigheden eenmaal zijn vastgelegd en de lasspanning en lassnelheid zodanig worden gekozen dat er bruikbare lasrupsdoorsneden ontstaan, is de inbranding ongeveer evenredig met de stroomsterkte (figuur 15). In deze figuur is de relatie tussen de verschillende lasparameters en de inbrandingsdiepte, die op de verticale as is uitgezet, schematisch weergegeven.



figuur 15 Invloed stroomsterkte, boogspanning en voortloopsnelheid op de inbrandingsdiepte [7]

Deze relatie is sterk afhankelijk van de lasnaadvorm. Als vuistregel kan worden gehanteerd dat voor I-naden en voor lassen op een vlakke plaat circa 100 A nodig is per mm inbranding. Voor Y-naden bedraagt de benodigde stroomsterkte ongeveer 140 A per mm inbranding in het staande deel van de lasnaad. De inbrandingsdiepten hebben uiteraard betrekking op de eerste laag. De hoeveelheid neergesmolten lasmetaal per tijdseenheid, meestal uitgedrukt in kg/uur, is sterk afhankelijk van de stroomsterkte. Ook de stroomdichtheid is van invloed: een 3,2 mm draad verlast met 500 A zal een duidelijk hogere neersmeltsnelheid geven dan een 4 mm draad verlast met dezelfde stroomsterkte. De dickere draad zal echter in het algemeen met een hogere stroomsterkte worden verlast en dan een hogere neersmeltsnelheid geven. Dit wordt veroorzaakt doordat

de neersmelt, bij een gegeven draaddiameter, evenredig is met de stroomsterkte. Een en ander wordt verduidelijkt in figuur 16. Deze figuur toont voor verschillende diameters van ongelegeerde lasdraden de relatie tussen de draaddiameter, de stroomsterkte en de neersmeltsnelheid.



Figuur 16 Stroomsterktegebieden en neersmeltsnelheden van de verschillende massieve draaddiameters [8]

In de praktijk wordt de stroomsterkte bepaald op grond van een gewenste inbrandingsdiepte. De stroomsterkte bepaalt op zijn beurt de te gebruiken lasdraaddiameter. Omdat de stroomgebieden voor de verschillende draaddiameters elkaar overlappen, is de keuze voor de draaddiameter niet eenduidig. De keuze voor een dikkere of een dünnere draad wordt bepaald door de toepassing. Een dünnere draad geeft bij dezelfde stroomsterkte een diepere inbranding en een hogere neersmelt, maar tevens een ongunstigere hoogte/breedte-verhouding van de las dan een dikke draad. Een dikke draad geeft een geringere inbrandingsdiepte en daardoor een verminderde kans op doorbranden. Tegelijkertijd zal het starten moeilijker worden en de boogstabiliteit zal afnemen. Als vuistregel voor de berekening van de hoeveelheid neer te smelten lasmetaal geldt in de praktijk: neersmelt = ca 30 gram/100A. min.

3.3 Boogspanning

De invloed van de boogspanning op de vorm van de lasrups wordt dikwijls verkeerd geïnterpreteerd. De boogspanning beïnvloedt meer de opmenging dan de inbranding. Bij het lassen op een vlakke plaat of het lassen van een gesloten I-naad, nemen de breedte van de las en de opmenging met het basismateriaal toe met toenemende boogspanning, terwijl de inbranding nagenoeg constant blijft. In figuur 17 is de invloed van de lasparameters op de rupsbreedte, uitgezet op de verticale as, schematisch weergegeven.

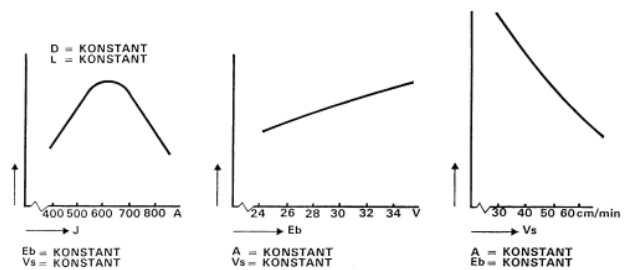
Als de naad open is, zoals bijvoorbeeld bij een Y-naad en de openingshoek is klein, dan kan een toename van de boogspanning zelfs aanleiding geven tot een verminderde inbranding (figuur 18).

De spanning moet in verhouding staan tot de stroomsterkte. De toelaatbare stroomsterkte kan worden berekend op grond van de formule:

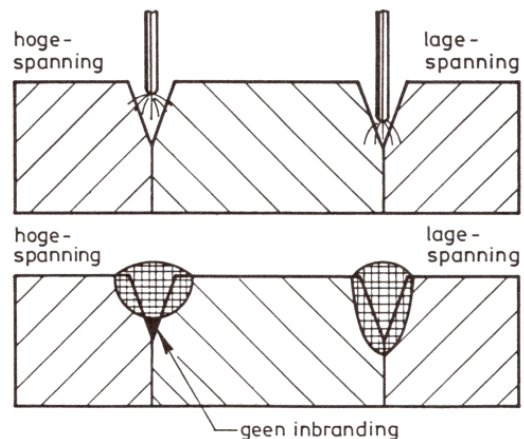
$$I_{\text{toelaatbaar}} = 4(d + 1) \times U$$

waarin d = draaddiameter in mm

U = boogspanning



figuur 17 Invloed stroomsterkte, boogspanning en voortloopsnelheid op de rupsbreedte [8]

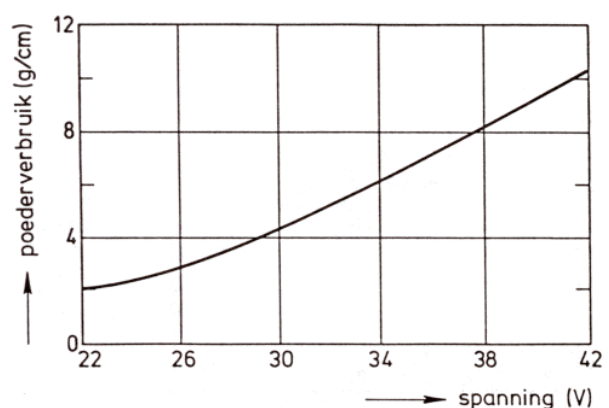


figuur 18 Invloed van de boogspanning op de lasdoorsnede bij het lassen in een (te) kleine openingshoek

Verhogen van de boogspanning brengt een verlenging van de boog met zich mee. Dit heeft de volgende consequenties:

- ▶ de breedte van de lasrups neemt toe en daardoor de opmenging;
- ▶ de lasoverdikte neemt af;
- ▶ het laspoederverbruik neemt toe;
- ▶ de verhouding draad/poederverbruik neemt af;
- ▶ de kans op blaswerking neemt toe;
- ▶ de kans op randinkarteling neemt toe.

De toename van de opmenging met het basismateriaal en het hogere poederverbruik kunnen een verandering van de samenstelling van het smeltbad met zich mee brengen. Hiermee moet vooral rekening worden gehouden wanneer men via het laspoeder legeringselementen wil toevoegen. Figuur 19 toont het poederverbruik als functie van de boogspanning.



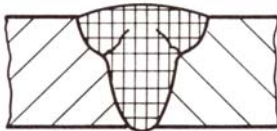
figuur 19 Relatie boogspanning en laspoederverbruik

Bij een stijging van de boogspanning met één volt neemt het poederverbruik met ongeveer 10% toe. De boogspanning beïnvloedt ook de poreusheid; in het algemeen stijgt deze met toenemende spanning. Bij hoeklassen geeft een te hoge spanning aanleiding tot onvoldoende inbranding en randinkarteling. Een te lage spanning veroorzaakt altijd een ruwe las met een overmatige overdikte en een slechte slaklossing.

3.4 Voortloopsnelheid

Ook de voortloopsnelheid (lassnelheid) heeft invloed op de doorsnede van de lasrups. De grootte van het oppervlak van de rupsdoorsnede is omgekeerd evenredig met de lassnelheid: hoe hoger de snelheid des te kleiner het oppervlak. De vorm van de doorsnede verandert weinig. Zeer belangrijk is de invloed van de lassnelheid op de inbrandingsdiepte. Naarmate de lassnelheid daalt zal de inbrandingsdiepte toenemen. Bij een te hoge snelheid krijgt de lasboog onvoldoende tijd om in het onderliggende materiaal te branden, terwijl bij een te lage lassnelheid de boog constant op het smeltbad brandt. Hierdoor neemt de inbrandingsdiepte weer af. Daarnaast doet het toenemen van de lassnelheid de lasrupsbreedte afnemen. Een en ander is weer gegeven in de figuren 15 en 17.

Voor enkeldraadssystemen bedraagt de lassnelheid waarbij deze situatie zich voordoet circa 20 cm/min. Naarmate de neersmeltsnelheid van het lasproces groter is, zal de, uit het oogpunt van inbranding, kritische snelheid op een hoger niveau komen. Een lage lassnelheid, gecombineerd met een hoge boogspanning, kan aanleiding zijn tot het ontstaan van zogenaamde schouderscheuren (figuur 20).



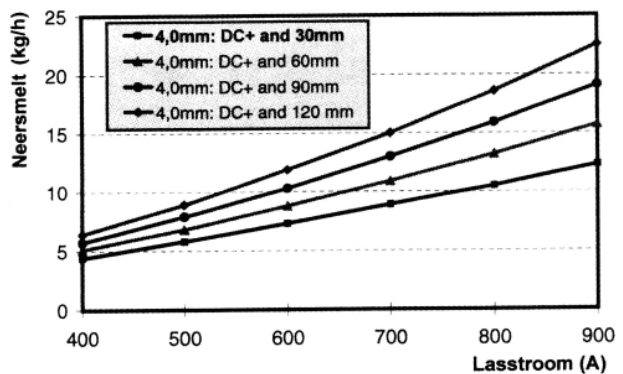
figuur 20 Schematische voorstelling van schouderscheuren

Schouderscheuren zijn warscheuren; de specifieke configuratie van het smeltbad veroorzaakt in de "schouder" van de las ongunstige afkoelcondities. Bepaalde materialen kunnen onder deze omstandigheden warm-scheurvorming (zowel liquidation (smeltscheuren) als solidification cracking (stolscheuren)) vertonen. Een verhoging van de lassnelheid (en een verlaging van de boogspanning) is meestal een afdoende remedie tegen dergelijke scheurvorming. Andere gevolgen van verhoging van de lassnelheid zijn:

- verlaging van de hoeveelheid ingebrachte warmte;
- grotere gevoeligheid voor randinkarteling;
- grotere gevoeligheid voor poreusheid.

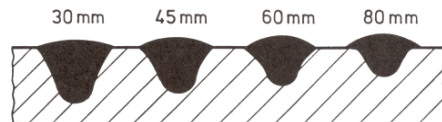
3.5 Uitsteeklengte

De uitsteeklengte van de draad (=afstand contactbuis tot plaatoppervlak verminderd met de booglengte) heeft invloed op de hoeveelheid neergesmolten lasmetaal: hoe groter deze lengte is hoe groter de neersmeltsnelheid. De weerstandsverhitting van het vrije draadeinde, het zogenaamde $I^2 R$ -effect, veroorzaakt namelijk een toename van de neersmeltsnelheid. Dit effect is het grootst bij het lassen op gelijkstroom met de draad aan de pluspool (zie figuur 21).



figuur 21 Invloed uitsteeklengte op de neersmeltsnelheid [8]

Een tweede effect van een vergrote uitsteeklengte is een vermindering van de inbranding. Figuur 22 laat de invloed zien van de vrije draadlengte op de vorm van de lasrups (zie ook hoofdstuk 6 "Procesvarianten")

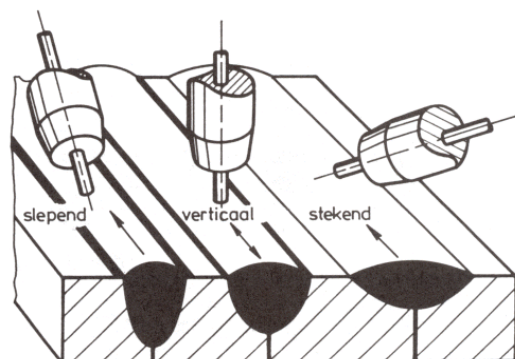


figuur 22 Invloed van de uitsteeklengte op de vorm van de lasrups

Alhoewel de uitsteeklengte anders gedefinieerd is, bedoelt men in de praktijk met uitsteeklengte de afstand tussen werkstukoppervlak en de contactbuis (elektrische uitsteeklengte).

3.6 Stand van de lasdraad

De stand van de lasdraad oefent zowel bij stompe lassen als bij hoeklassen invloed uit op de vorm van de lasrupsdoorsnede, de inbrandingsdiepte en op de aanwezigheid van randinkarteling. Figuur 23 toont de tendens van de resultaten bij het slepend of stekend lassen ten opzichte van die bij het lassen met de lasdraad in de neutrale, verticale stand.

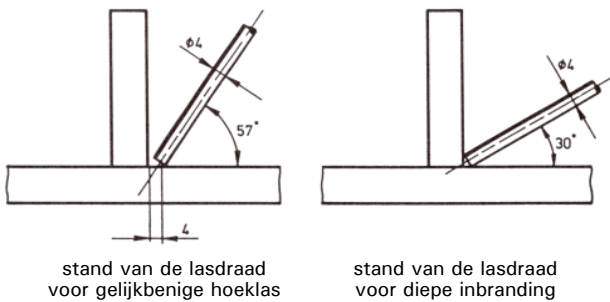


figuur 23 Invloed van de stand van de lasdraad op de lasdoorsnede

Inbranding, lasoverdikte en kans op inkartelingen worden bij slepend lassen groter, bij stekend lassen kleiner. Bij het maken van hoeklassen in PB-positie (figuur 24) is het belangrijk, dat de draad de juiste hoek maakt met de te verbinden delen. Afhankelijk van wat het

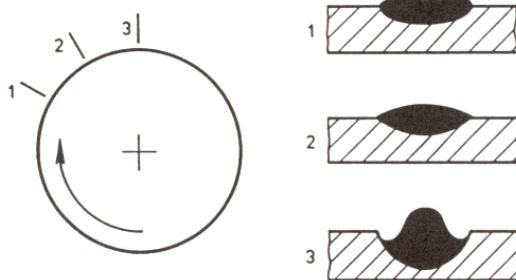
belangrijkste is voor de toepassing, kan de draad zodanig worden gericht, dat een diepere inbranding of een gelijkbenige hoeklas wordt verkregen. Hierbij speelt ook nog de plaatdikte een belangrijke rol.

Wanneer de hoek groter wordt dan in de figuur is aangegeven, neemt de kans op inkartelingen in het staande deel toe.



figuur 24 Invloed stand van de elektrode

Bij het lassen van rondnaden met een stilstaande laskop en een roterend werkstuk, speelt de positie van de draad ten opzichte van het hoogste punt, bij een gegeven draairichting van het werkstuk, als gevolg van de invloed van de zwaartekracht, een zeer belangrijke rol. Figuur 25 laat de invloed zien van drie principieel verschillende posities.



figuur 25 Invloed positie elektrode bij het rondgaand lassen

3.7 Warmte-inbreng

Het begrip "warmte-inbreng" is al een paar maal genoemd. Onder de warmte-inbreng wordt verstaan de door de lasboog ingebrachte energie per lengte-eenheid las. In NEN-EN 1011 deel 2 wordt uitgebreid ingegaan op dit begrip. Hier volstaan we met het geven van de formule om de warmte-inbreng te bepalen.

$$W I = k \frac{U \times I}{v \times 1000} \text{ kJ/mm}$$

waarin: U = boogspanning in volts

I = lasstroomsterkte in ampères

v = lassnelheid in mm/sec

k = thermisch rendement van het proces

Uit de formule blijkt dat de warmte-inbreng recht evenredig is met de boogspanning en de lasstroom en omgekeerd evenredig met de lassnelheid.

Hoofdstuk 4

Lastoevoegmaterialen

Het onder poeder lassen wordt in de praktijk toegepast voor het verbindings- en oplassen van en op:

- ongelegeerd koolstofstaal
- laaggelegeerd koolstofstaal
- roestvast staal (ferritisch, austenitisch en duplex)
- hittebestendige staalsoorten
- nikkel en nikkellegeringen
- koper en koperlegeringen
- slijtvaste lagen
- corrosievaste lagen

Voor alle hier genoemde materiaalgroepen zijn in principe voor het verbindingslassen draad-poeder combinaties en voor het oplassen ook band/poeder-combinaties ontwikkeld. De lastoevoegmaterialen moeten bij alle onder poeder procesvarianten, met uitzondering van het oplassen, een lasverbinding opleveren, die zoveel mogelijk dezelfde eigenschappen heeft als het basismateriaal, bijvoorbeeld wat vloeigrens, kerftaaiheidseigenschappen, sterkte bij verhoogde temperatuur, corrosiebestendigheid, enz. betreft.

In deze paragraaf worden alleen de laspoeders en -draden besproken voor het lassen van ongelegeerd en laaggelegeerd staal. Het oplassen met band is een zeer specialistische techniek, waarvan de bespreking achterweg blijft.

Uit de inleiding is reeds duidelijk geworden dat het onder poeder lasproces zich aanvankelijk toespitste op het lassen met hoge stroomsterkten, teneinde de neersmelt te verhogen. Hierbij werden hoog stroombelastbare zure poeders toegepast, die ten gevolge van hun samenstelling ongunstige kerftaaiheidseigenschappen van het lasmetaal opleverden. Het streven naar verbetering van de taaiheidseigenschappen heeft een duidelijk stempel gedrukt op de ontwikkeling van de lastoevoegmaterialen voor ongelegeerd en laaggelegeerd staal. Zowel door de intrede van de geagglomereerde basische laspoeders als door het aanpassen van de chemische samenstelling van de lasdraden en het toepassen van betere smelttechnieken bij de vervaardiging van staal voor de lasdraden, is men erin geslaagd dit doel voor een groot deel te bereiken.

Zoals reeds is vermeld bij de algemene procesbeschrijving (hoofdstuk 2), vormt het laspoeder bij het lassen een gesmolten slak, die het smeltbad en de afsmeltende metaaldruppels komende vanaf de lasdraad bedekt en beschermt tegen atmosferische invloeden. Tussen de gesmolten slak en het vloeibare lasmetaal treden chemische reacties op. Deze reacties vinden voornamelijk plaats tijdens de druppelovergang als gevolg van de hoge temperaturen en de grote oppervlakte/volume-verhouding van het vloeibare metaal. Welke reacties optreden, hangt af van het type laspoeder en de samenstelling van de lasdraad. In het algemeen zijn het echter reacties die het mangaan-, silicium-, koolstof- en zuurstofgehalte van het lasmetaal reguleren. Hierna worden achtereenvolgens afzonderlijk de lasdraden en de laspoeders besproken die gebruikt worden voor het lassen van ongelegeerd en laaggelegeerd staal. Bovendien wordt ingegaan op de wisselwerking tussen de poeders en de draden.

4.1 Lasdraden

Lasdraden voor het onder poeder lassen van on- en laaggelegeerde staalsoorten zijn in de norm EN 756 - 2004 "Lastoevoegmaterialen - massieve draden, massieve draad-poeder en gevulde draad-poeder combinaties voor het onder poeder lassen van on- en laaggelegeerde fijnkorrelstaalsoorten - Aanduiding" weergegeven. Voor de technische leverspecificaties wordt verwezen naar de norm EN ISO 544 - 2003; hierin zijn de draaddiameters alsook de daarop geldende toleranties alsook de mogelijke verpakkingsvormen opgenomen.

De lastoevoegmaterialen voor het lassen van ongelegeerd en laaggelegeerd staal zijn in principe in te delen op grond van hun chemische samenstelling. Tabel 3 geeft een overzicht van de meest gebruikelijke massieve draden met hun chemische samenstelling. Tabel 4 geeft een overzicht van de meest gebruikelijke gevulde draden met hun chemische samenstelling. Opgemerkt moet worden dat de draadkeuze ook bepaald wordt door het te gebruiken laspoeder. In feite wordt een draad-poeder combinatie gekozen op grond van de toepassing en de daaraan gekoppelde eisen.

Alle massieve draden voor ongelegeerd en laaggelegeerd staal worden in de norm aangeduid met de letter S van "Solid wire", gevolgd door een getal. Dit getal is het gemiddelde mangaangehalte van de draad in procenten, gedeeld door twee. Zo worden onderscheiden: S1-, S2-, S3-, en S4- draden, met gemiddelde mangaangehalten van respectievelijk 0,5, 1,0, 1,5 en 2,0%. Wanneer de lasdraad behalve met mangaan met een tweede element is gelegeerd, wordt dit aangegeven met het scheikundige symbool ervan, eventueel gevolgd door een cijfer, dat het legeringspercentage aanduidt.

De gevulde draden worden aangeduid met de letter T van "Tubular wire".

Tabel 3 geeft de codering van een aantal veel voorkomende lasdraden volgens de norm NEN-EN 756 - 2004.

Het toenemende mangaangehalte in de serie ongelegeerde draden leidt tot een verhoging van de vloeigrens en de treksterkte van het lasmetaal en een verbetering van de kerftaaiheidseigenschappen. Het optimum wat de kerftaaiheidseigenschappen betreft, blijkt bij 1,6% Mn te liggen. Deze tendens is afgestemd op wat bij constructiestaalsoorten als S355 valt waar te nemen. De S1-draad wordt in de regel met een licht zuur of een neutraal poeder verlast (silicaat- of aluminaattypen).

De draad S4 met het hoger mangaangehalte wordt normaliter met zure poeders verlast (calcium- en mangaansilicaat-typen). Deze poeders zijn goed bestand tegen hoge stroomsterkten en zijn daarom zeer geschikt voor het lassen van dikwandig staal. De mangaanafbrand door het laspoeder wordt in grote mate gecompenseerd door het hoge mangaangehalte van de draad.

De SSi-draden (verhoogd Si-gehalte) worden toegepast voor het lassen van ongekalmeerde en half rustige staalsoorten. Het verhoogde Si-gehalte is bedoeld voor een betere desoxidatie. Het gevaar voor poreusheid neemt hierdoor af, ook bij het lassen van sterk ge-roeste plaat of van materiaal met gesegregeerde zones.

tabel 3 Classificatie volgens NEN-EN 756 - 2004 van de meest gebruikte massieve lasdraden

Classificatie	Chemische samenstelling (%)						
	C	Si	Mn	P en S	Mo	Ni	Cr
SZ	Elke overeengekomen samenstelling						
S1	0,05 - 0,15	0,15	0,35 - 0,60	0,025	0,15	0,15	0,15
S2	0,07 - 0,15	0,15	0,80 - 1,30	0,025	0,15	0,15	0,15
S3	0,07 - 0,15	0,15	1,30 - 1,75	0,025	0,15	0,15	0,15
S4	0,07 - 0,15	0,15	1,75 - 2,25	0,025	0,15	0,15	0,15
S1Si	0,07 - 0,15	0,15 - 0,40	0,35 - 0,60	0,025	0,15	0,15	0,15
S2Si	0,07 - 0,15	0,15 - 0,40	0,80 - 1,30	0,025	0,15	0,15	0,15
S3Si	0,07 - 0,15	0,15 - 0,40	1,30 - 1,85	0,025	0,15	0,15	0,15
S2Mo	0,07 - 0,15	0,05 - 0,25	0,80 - 1,30	0,025	0,45 - 0,65	0,15	0,15
S2Ni1	0,07 - 0,15	0,05 - 0,25	0,80 - 1,30	0,020	0,15	0,80 - 1,20	0,15
S2Ni2	0,07 - 0,15	0,05 - 0,25	0,80 - 1,30	0,020	0,15	1,80 - 2,40	0,15
S2Ni1Mo	0,07 - 0,15	0,05 - 0,25	0,80 - 1,30	0,020	0,45 - 0,65	0,80 - 1,20	0,20

► Voor verkoperde draden wordt de invloed van de verkopering meegerekend.
 ► Voor alle draden geldt: C = max. 0,30 % en Al ≤ 0,030 %.
 ► De enkelvoudige waarden zoals gegeven zijn maxima.

Lasdraden waaraan 0,5% molybdeen is toegevoegd zijn wat minder warmseurigevoelig dan de gewone mangaan-draden. De vloeigrens en de treksterkte van het lasmetaal nemen toe. De SMO-draden worden daarom toegepast voor het lassen van fijnkorrelige constructiestalen met verhoogde sterkte-eigenschappen. Indien goede kerftaaiheidseigenschappen (Charpy V-overgangstemperatuur) bij lage temperaturen worden geëist, wordt in de regel nikkel aan het lasmetaal toegevoegd (1 - 2,5% Ni). Worden daarbij ook nog verhoogde vloeigrenzen en treksterkten geëist, dan worden naast nikkel ook molybdeen, of molybdeen en chroom toegevoegd.

Voor constructiestalen als S355, kan voor het behalen van voldoende sterkte-eigenschappen worden volstaan met een S3-type. Het is echter aan te bevelen een laag fosfor- en zwavelgehalte (elk < 0,010%) toe te passen. Deze "schone" draden geven een hogere maximale waarde ("upper-shelf") bij de kerfslagbeproeving.

De 0,5% molybdeenhoudende lasdraden worden ook toegepast voor het zogenaamde laag-tegenlaag lassen. Het molybdeen heeft een korrelverfijnd effect, waardoor, ondanks de ontstane gietstructuur in het lasbad, deze toch een fijne kristalstructuur heeft met voldoende hoge sterkte-eigenschappen.

Voor offshore-toepassingen wordt het nikkelgehalte veelal aan een maximum gebonden (< 1%) om de mogelijkheden voor het optreden van H₂S-spanningscorrosie (zwavelwaterstofcorrosie) te beperken (de NACE-eis)

Voor het lassen van kruipvaste staalsoorten worden met molybdeen-chroom gelegeerde draden gebruikt. Het Cr-gehalte varieert van 0,5 - 12%. De volgende molybdeen-gelegeerde draden worden het meest toegepast: 0,5 Mo, 0,5% Mo - 1,25% Cr, 1% Mo - 2,25% Cr.

Voor het lassen van staal worden, behalve massieve, ook gevulde draden toegepast. De gevulde draden hebben het voordeel, dat het gemakkelijker is om een hoog percentage legeringselementen in het lasmetaal te krijgen. Daarnaast kunnen ze sneller en in kleinere hoeveelheden (economisch) worden vervaardigd.

Gevulde draden worden gebruikt voor verbindingslassen en oplassen.

Gevulde draden geven een hogere neersmeltsnelheid dan een massieve lasdraad met dezelfde diameter. Gevulde draden kunnen goed verlast worden op lage alsook hoge stroomsterkten, zodat er vanaf de doorlassing tot sluitlagen één en dezelfde draad toegepast kan worden.

De classificatie van de gevulde draden voor het verbindingslassen van on- en laaggelegeerde staalsoorten volgens NEN-N 756 - 2004 is weergegeven in tabel 4.

tabel 4 Classificatie van gevulde draden volgens NEN-EN 756 - 2004

Classificatie	Chemische samenstelling (%)			
	Mn	Ni	Mo	Cu
TZ	Elke overeengekomen samenstelling			
T2	1,4			0,3
T3	1,4 - 2,0			0,3
T2Mo	1,4		0,3 - 0,6	0,3
T3Mo	1,4 - 2,0		0,3 - 0,6	0,3
T2Ni1	1,4	0,6 - 1,2		0,3
T2Ni1,5	1,6	1,2 - 1,8		0,3
T2Ni2	1,4	1,8 - 2,6		0,3
T2Ni3	1,4	2,6 - 3,8		0,3
T3Ni1	1,4 - 2,0	0,6 - 1,2		0,3
T2Ni1Mo	1,4	0,6 - 1,2	0,3 - 0,6	0,3
T2Ni1Cu	1,4	0,8 - 1,2		0,3 - 0,6

► Indien niet gespecificeerd : Mo ≤ 0,2%, Ni: ≤ 0,5%, Cr: ≤ 0,2%, V ≤ 0,08%, Nb ≤ 0,05%, C : 0,03 - 0,15%, Si ≤ 0,8%, S ≤ 0,025%, P ≤ 0,025%.
 ► De enkelvoudige waarden zoals gegeven zijn maxima.

4.2 Laspoeders

Het laspoeder oefent soortgelijke functies uit als de bekleding van een laselektrode, te weten:

1. Het verbeteren van de geleidbaarheid van de "gas-sen in de boogruimte" (ionisatie), waardoor:
 - a. de lasboog beter start;
 - b. de lasboog stabiel is.
2. Het vormen van een slak, die:
 - a. de vorming van een boogruimte toestaat;
 - b. de druppel en het smeltbad tegen invloeden van de atmosfeer beschermt;
 - c. metallurgische invloeden uitoefent op het vloeibare lasmetaal;
 - d. de vorm van de lasrups beïnvloedt;
 - e. de las beschermt tijdens stollen en afkoelen.
3. Het desoxideren, oplegeren en reinigen van het vloeibare lasmetaal door middel van:
 - a. oxiden in de slak (bijvoorbeeld CaO verlaagt S-gehalte);
 - b. ferrolegeringen (alleen bij geagglomereerde poeders); uit het FeMn werkt het mangaan desoxiderend.

Een groot verschil tussen het lassen met een beklede elektrode en het lassen met een draad-poeder combinatie is echter, dat bij het elektrodelassen de afsmelt-verhouding bekleding/kerndraad constant is, terwijl bij het onder poeder lassen het draad-poederverbruik niet constant is, maar bepaald wordt door o.a. de lasparameters.

De laspoeders zijn naar hun bereidingswijze te verdelen in:

- gesmolten poeders;
- geagglomereerde poeders.

In Nederland worden hoofdzakelijk de geagglomereerde en in mindere mate de gesmolten poeders toegepast. De gesmolten poeders hebben een glasachtige structuur en zijn in principe geschikt voor hoge stroomsterkten en lassnelheden en vertonen nauwelijks slijtage tijdens het gebruik en hergebruik. De aard van het bereidingsproces maakt het echter onmogelijk om desoxiderende bestanddelen aan de gesmolten poeders toe te voegen. Verbindingen als ferromangaan en calciumsilicium reageren met de gesmolten oxiden, bijvoorbeeld met het veelal in ruime mate aanwezige SiO_2 (zuurvormend oxide) en worden geoxideerd. Dit betekent dat met de gesmolten zure laspoeders nooit lage zuurstofgehalten met daaraan gekoppeld goede taaiheidseigenschappen in het lasmetaal kunnen worden gerealiseerd.

Vanuit de gesmolten zure poeders zijn in de loop der tijd de basische geagglomereerde poeders ontwikkeld. Deze poeders bevatten minder silicaten (SiO_2) en meer kalk (CaO). Dit laatste wordt bij voorkeur toegevoegd in de vorm van calciumsilicaat. Om het SiO_2 gehalte tot onder het calciumsilicaatgehalte te verlagen zonder toevoeging van kalk, worden ook wel calciumfluoride (CaF_2) en aluminiumoxide (Al_2O_3) toegevoegd. Dit leidde tot de bekende geagglomereerde basische poeders. Daar het CaO erg hygroscopisch is, worden eisen gesteld aan de opslag van deze poeders.

Geagglomereerde laspoeders zijn minder bestand tegen hoge stroomsterkte dan de gesmolten laspoeders. De geagglomereerde basische poeders worden daar toegepast, waar hoge kerftaaiheidseigenschappen worden geëist. Deze eigenschappen kunnen slechts worden gerealiseerd met lage zuurstofgehalten in het lasmetaal.

Tevens moet, om goede kerftaaiheidseigenschappen in het lasmetaal en in de warmte beïnvloede zone te realiseren, worden gelast met een beperkte warmte-inbreng. Het minder bestand zijn tegen hoge stroomsterkten is daarom geen al te groot bezwaar. Een bezwaar van deze poeders is wel dat ze gevoelig zijn voor vochtopname vanuit de lucht. Dit kan leiden tot een verhoogd waterstofgehalte in het lasmetaal, waardoor zogenaamde koude scheuren kunnen ontstaan in de warmte beïnvloede zone en in mindere mate ook in het lasmetaal.

Behalve de ontwikkeling van gesmolten (zure) poeders naar geagglomereerde (basische) poeders, zijn er ook enkele andere ontwikkelingen geweest. Zo is het mangaansilicaatpoeder ontwikkeld, geschikt voor hoge lassnelheden, alsook de op aluminiumoxide gebaseerde poeders. Deze laatste hebben als voordeel dat ze wel tegen hoge stroomsterkten kunnen, terwijl ze lagere zuurstofgehalten in de las geven dan de mangaansilicaatpoeders. Ook zijn er enkele typen beschikbaar die tussen de zure en de basische typen in liggen wat de samenstelling en de mogelijkheden betreft.

De laspoeders kunnen, behalve naar de vervaardigingswijze, ook worden ingedeeld op grond van hun hoofdbestanddelen.

Tabel 5 geeft deze indeling, die is overgenomen uit NEN-EN 760 - 1996.

Op grond van de samenstelling van de poeders is het mogelijk de basiciteitsgraad uit te rekenen. Hieronder verstaat men de verhouding tussen de hoeveelheden basisch reagerende en zuur reagerende slakbestanddelen. De meest gebruikte formule hiervoor is de formule van Boniczewski:

$$B = \frac{\text{N}(\text{CaO} + \text{NMgO} + \text{NBaO} + \text{N}(\text{CaF}_2 + \text{NK}_2\text{O} + 0,5(\text{NMnO} + \text{NFeO}))}{\text{NSiO}_2 + 0,5(\text{NAl}_2\text{O}_3 + \text{NTiO}_2 + \text{MZrO}_2)}$$

Hierbij geldt: $B < 1$: zuur karakter
 $B \pm 1$: neutraal karakter
 $B 1-2$: basisch karakter
 $B > 2$: hoog basische karakter

De basiciteitsgraad van een laspoeder heeft een grote invloed op de af- en toebrand van de elementen silicium en mangaan en op de kerftaaiheid van het lasmetaal vanwege de meer of minder reinigende werking van het smeltbad.

Poedersoorten

Van de twee meest voorkomende poedersoorten kunnen enkele karakteristieke eigenschappen worden gemeld: legeren is bij gesmolten poeders niet mogelijk, ze zijn ongevoelig voor waterstofopname maar kunnen wel waterstof produceren en geven geen optimale mechanische eigenschappen. Geagglomereerde poeders daarentegen zijn poreus en daardoor doorgaans vichtgevoeliger, er treden intensieve smeltbadreacties op, waardoor een zuiverende werking wordt verkregen, die optimale mechanische eigenschappen mogelijk maken. Een overzicht van de invloed van enkele belangrijke bestanddelen op de kenmerkende eigenschappen van O.P.-laspoeder, wordt gegeven in tabel 6.

tabel 5 Aanduiding en hoofdsamenstelling van de laspoeders (NEN-EN 760 - 1996)

Symbol	Type poeder	Hoofdbestanddelen	Hoeveelheid in %
MS	Mangaan-silicaat	MnO + SiO ₂ CaO	min. 50 max. 15
CS	Calcium-silicaat	CaO + MgO + SiO ₂ CaO + MgO	min. 55 min. 15
ZS	Zirkoon-silicaat	ZrO ₂ + SiO ₂ + MnO ZrO ₂	min. 45 min. 15
RS	Rutiel-silicaat	TiO ₂ + SiO ₂ TiO ₂	min. 50 min. 20
AR	Aluminaat-rutiel	Al ₂ O ₃ + TiO ₂	min. 40
AB	Aluminaat-basisch	Al ₂ O ₃ + CaO + MgO Al ₂ O ₃ CaF ₂	min. 40 min. 20 max. 22
AS	Aluminaat-silicaat	Al ₂ O ₃ + SiO ₂ + ZrO ₂ CaF ₂ + MgO ZrO ₂	min. 40 min. 30 min. 5
AF	Aluminaat-fluoride basisch	Al ₂ O ₃ + CaF ₂	min. 70
FB	Fluoride-basisch	CaO + MgO + CaF ₂ + MnO SiO ₂ CaF ₂	min. 50 max. 20 min. 15
Z		iedere andere samenstelling	

tabel 6 Eigenschappen van de laspoeders

Eigenschappen	Type				
	Mangaan-silicaat (MS)	Calcium-silicaat (CS)	Aluminaat-rutiel (AR)	Aluminaat-basisch (AB)	Fluoride-basisch (FB)
Stroombelastbaarheid	+++	+++	++	++	+
Wisselstroombelastbaarheid	+(+)	++	+++	+++	(+)
Risico voor porositeit	+++	++	++	++	++
Mogelijkheid voor hoeklassen	+	++	++	++	+
Overbrugging van openingen	+	++	+++	++	++
Lassnelheid	++	++	+++	++	+
Slaklossing	+	+++	+++	++	++
Naaduitlijking	+++	+++	+++	++	+
Weerstand tegen scheuren	+	+	+	++	+++
Taaheid	+	+	+	++	+++
+ = normaal ++ = goed +++ = zeer goed					

De Europese norm NEN-EN 760 gaat echter veel verder in de indeling van de laspoeders. Hierbij een verkort overzicht van de indeling zoals de norm het beschrijft.

► Mangaan-silicaat type (MS)

Basiciteitsgraad volgens Boniczewski 0,7 - 0,8

Laspoeders van dit type bevatten belangrijke hoeveelheden MnO en SiO₂. In het algemeen worden ze gekarakteriseerd door een grote mangaantoebrand, zodat ze bij voorkeur worden toegepast met laag-mangaanhoudende draden. Siliciumopname door het lasmetaal is eveneens hoog. Veel poeders van dit type geven lasmetaal met een beperkte taaheid, hetgeen gedeeltelijk wordt veroorzaakt door een hoog zuurstofgehalte.

Deze poeders hebben een grote stroombelastbaarheid en zijn geschikt voor hoge lassnelheden. Zelfs bij het lassen van roestige platen is het risico voor porositeit gering. De oppervlakte van de las is regel-

matig en zonder inkarteling. De beperking in de taaheid van deze poeders brengt met zich mee dat ze voornamelijk worden gebruikt voor meer-lagen lassen, hoewel ze ook geschikt zijn voor het lassen van dunnere materialen met hoge snelheden en voor het lassen van hoeknaden.

► Calcium-silicaat type (CS)

Basiciteitsgraad volgens Boniczewski ca 1,0

De algemene samenstelling van deze poeders bestaat uit CaO, MgO en SiO₂. Er zijn licht-zure poeders die een hoge stroombelastbaarheid hebben en "grote" hoeveelheden Si in het lasmetaal brengen. Deze poeders zijn geschikt voor het lassen in twee lagen van dikke materialen, waar de eisen aan de mechanische eigenschappen niet al te hoog zijn. Ook zijn er meer basische poeders die minder siliciumtoebrand hebben en daardoor kunnen worden toegepast voor meer-lagen lassen waarbij tevens de eisen wat strenger zijn. De stroombelastbaarheid van

deze poeders daalt met een toename van de basiciteit, het uiterlijk van de las is glad en vrij van inkarteling.

► Zirconium-silicaat type (ZS)

Laspoeders van dit type zijn samengesteld uit de hoofdbestanddelen ZrO_2 en SiO_2 . Ze worden speciaal aanbevolen voor hoge lassnelheden en één-laags lassen in schone plaat. Ze hebben goede bevochtigingseigenschappen waardoor uniforme lassen kunnen worden gelegd met hoge snelheden en vrij van randinkarteling.

► Rutiel-silicaat type (RS)

Poeders van dit type zijn samengesteld uit TiO_2 en SiO_2 als voornaamste componenten. Zij veroorzaken een grote mangaanafbrand en een hoge siliciumtoebrand, waardoor ze slechts kunnen worden gebruikt in combinatie met gemiddeld tot hoog Mn-gehalte. De taatheid van het lasmetaal is beperkt vanwege het hoge zuurstofgehalte.

De stroombelastbaarheid is redelijk, waardoor één- en meer-lagen lassen op hoge lassnelheden mogelijk is. Een typisch toepassingsgebied is de laag-tegen-laag techniek (één laag aan beide zijden van een verbinding) bij de fabricage van grotere diameters pijp.

► Aluminaat-rutiel type (AR)

Basiciteitsgraad volgens Boniczewski: 0,4 - 0,5
Deze poeders bevatten voornamelijk Al_2O_3 en TiO_2 . Het transport van Mn en Si naar het lasmetaal is gemiddeld. De hoge viscositeit van de slak geeft enkele belangrijke voordelen zoals een goed lasuiterlijk, hoge lassnelheid en een goede slaklossing, speciaal bij hoeklassen. De poeders zijn geschikt voor gelijk- en wisselstroom, waardoor ze geschikt zijn voor meer-draads lassen. Het hoge zuurstofgehalte geeft gemiddelde mechanische eigenschappen. De voornaamste toepassingen worden gevonden in dunwandige vaten en pijpen en in hoeklassen in staalconstructies en de scheepsbouw.

► Aluminaat-basisch type (AB)

Basiciteitsgraad volgens Boniczewski 1,0 - 1,3
Naast Al_2O_3 bevatten deze poeders ook MgO en CaO. De mangaantoebrand in het lasmetaal is gemiddeld. Het poeder geeft een optimale balans tussen goede eigenschappen van het lasmetaal en uitstekende operationele eigenschappen. Als gevolg van het basische karakter van de slak zijn ook de taatheidseigenschappen goed; speciaal in lassen volgens de laag-tegenlaag techniek.

Dit slaktype wordt veel gebruikt voor het lassen van ongelegeerd en laaggelegeerd constructiestaal. Lassen op zowel gelijk- als wisselstroom is mogelijk.

► Aluminaat-silicaat type (AS)

Dit type poeder wordt gekarakteriseerd door een redelijk hoog gehalte aan basische componenten als MgO en CaF_2 , uitgebalanceerd met bepaalde hoeveelheden silicaten als Al_2O_3 en ZrO_2 . Het metallurgische gedrag van deze poeders is grotendeels neutraal, maar een geringe mangaanafbrand is mogelijk. Bij voorkeur moeten dus draden met een verhoogd mangaangehalte (S3- types) worden toegepast. Als gevolg van de hogere basiciteit wordt een laag-zuurstofhoudend lasmateriaal met een hoge zuiverheidsgraad verkregen; in combinatie met een lage viscositeit van de slak worden de operationele las-eigenschappen verklaard: beperkte stroombelastbaarheid en lassnelheid. Slaklossing en lasuiterlijk zijn

goed, zelfs wanneer "narrow-gap" (in nauwe naden) gelast wordt. Lassen met gelijkstroom heeft de voorkeur, maar wisselstroom is voor bepaalde toepassingen eveneens mogelijk: lassen met meer draden. Dit type poeder wordt, net als het fluoride-basische type, bij voorkeur ingezet bij het lassen in meer lagen, zeker wanneer hoge taatheidseisen worden gesteld. Om deze reden wordt dit type poeder veel toegepast bij het lassen van hoge-sterkte en fijnkorrel staal-soorten.

► Aluminaat-fluoride-basisch type (AF)

Bij dit type wordt gebruik gemaakt van een samenstelling met Al_2O_3 en CaF_2 als hoofdbestanddelen. Dit type wordt hoofdzakelijk toegepast in combinatie met gelegerde draden zoals roestvast staal en nikkel-basis legeringen. Met betrekking tot Mn, Si en de meeste andere legeringselementen is de neersmelt neutraal. Een hoog gehalte aan fluoriden maakt dat deze poeders een goede bevochtiging hebben bij een mooi lasuiterlijk. De boogspanning ligt, als gevolg van de samenstelling, op een hoger niveau in vergelijking met de eerder besproken types.

► Fluoride-basisch type (FB)

Basiciteitsgraad volgens Boniczewski: 1,7 - 3,1
Karakteriserend voor deze poeders is het hoge gehalte aan CaO, MgO, MnO en CaF_2 , en een gering gehalte aan SiO_2 . Het metallurgische gedrag is nage-nog neutraal, maar een geringe mangaanafbrand is mogelijk. Ook hiervoor geldt dus dat een hoger mangaangehalte (S3- type) in de draad gewenst is. De hoge basiciteit in de slak zorgt voor een laag zuurstofhoudend lasmetaal met een hoge graad van zuiverheid. Er kunnen hoge waarden voor de kerftaatheid worden bereikt, zelfs bij lage temperaturen. Op het operationele vlak veroorzaakt het basische karakter en de lage viscositeit van de slak een beperkte stroombelastbaarheid en dito lassnelheid. Slaklossing en lasnaaduiterlijk zijn goed, zelfs bij toepassing van het "narrow-gap" proces. Lassen met gelijkstroom heeft de voorkeur maar wisselstroom is voor bepaalde draden eveneens mogelijk: lassen met meerdere draden kan worden toegepast. De poeders worden speciaal aanbevolen voor het lassen in meer lagen, bij voorkeur zelfs daar waar hoge taatheidseisen worden gesteld, zoals bij het lassen van hoge-sterkte en fijnkorrel staalsoorten. Poeders van deze soort kunnen ook worden toegepast voor het lassen van roestvast staal en legeringen op nikkelbasis.

► Types met een andere samenstelling (Z)

In deze groep kunnen alle andere laspoeders worden ondergebracht.

In tabel 7 zijn de belangrijkste specifieke eigenschappen van de hier genoemde poedertypen samengevat.

Het poederverbruik is behalve van de parameters ook afhankelijk van het zogenaamde "stortgewicht". Onder het stortgewicht verstaat men de massa van een mengsel laspoederkorrels en lucht per volume-eenheid. Uiteraard wordt de massa voor een groot deel bepaald door de soortelijke massa van het laspoedermateriaal, echter eveneens door de dichtheid van het mengsel. De dichtheid is afhankelijk van de gemiddelde korrelgrootte en van de spreiding in grootte. Hoe hoger het stortgewicht, des te groter is het poederverbruik. Fijnkorrelige poeders hebben ten opzichte van grofkorrelige poeders een hoger stortgewicht en derhalve een

relatief hoger poederverbruik. Fijnkorrelige poeders hebben het voordeel van goed bestand te zijn tegen hoge stroomsterkten en maken daarom hogere lassnelheden mogelijk.

Grofkorrelige poeders hebben daarentegen het voordeel van een betere ontgassing en dragen daardoor bij aan een geringere poreusheid van het lasmetaal. Geagglomereerde poeders vertonen gewoonlijk een lager verbruik dan de gesmolten poeders.

De "korrelgrootte" van een bepaald poeder wordt aangegeven door de grenzen van het gebied, waarbinnen de korrelgrootte varieert. Deze grenzen worden uitgedrukt in mm en is op de verpakking aangegeven (zie tabel 7). Deze tabel is overgenomen uit EN 760 - 1996.

tabel 7 Aanduiding korrelgrootte

Korrelgrootte (mm)	Aanduiding
2,5	25
2,0	20
1,6	16
1,25	12
0,8	8
0,5	5
0,315	3
0,2	2
0,1	1
<0,1	D

Afhankelijk van het type van het poeder is het meer of minder gevoelig voor vochtopname. Het moet daarom droog worden opgeslagen om koudscheuren, vooral bij het lassen van staalsoorten met verhoogde sterkte, te voorkomen. Wanneer poeders vochtig zijn geworden, moeten ze gedroogd worden volgens het voorschrift van de fabrikant.

Richtlijnen hiervoor zijn:

- gesmolten poeders: twee uur op 250 - 300°C
- geagglomereerde poeders: vier uur op 300 - 350°C.

Symbolen voor de toepassing van de laspoeders

In NEN-EN 760 - 1996 zijn de laspoeders ingedeeld naar gelang de toepassing in de volgende klassen:

- Klasse 1** poeders voor het onder poeder lassen van on- en laaggelegeerde staalsoorten, hoge sterkte staalsoorten en kruipvast staalsoorten met een chroomgehalte onder de 5%. In het algemeen bevatten deze poeders geen legeringselementen, behalve Mn en Si. Deze poeders kunnen zowel voor het verbindings- alsook het oplassen worden gebruikt.
- Klasse 2** poeders voor verbindings- en oplassen van kruipvast staal met Cr > 5%, roest- en hittevast staal en nikkelbasis legeringen. De mate waarin andere legeringselementen dan Si en Mn toebranden, wordt aangegeven door het relevante chemische symbool te noemen (bijv. Cr).
- Klasse 3** poeders die voornamelijk zijn bedoeld voor het oplassen van slijtagebestendige lagen waarbij legeringselementen als C, Cr of Mo via het poeder in de smelt worden gebracht. De mate waarin andere legeringselementen dan Si en Mn toebranden, wordt aangegeven door het relevante chemische symbool te noemen (bijv. C, Cr).

Metallurgisch gedrag van het poeder

Zoals al eerder opgemerkt is de gebruikte draad-poeder combinatie sterk bepalend voor de hoeveelheid van bepaalde elementen in een smeltbad.

Het verschijnsel dat er winst of verlies aan bepaalde elementen kan optreden, noemen we toe- respectievelijk afbrand. De elementen die dit betreffen zijn vooral koolstof, mangaan en silicium.

Het is echter niet alleen de draad-poeder combinatie die tot toe- of afbrand van elementen bijdraagt. Ook de lasparameters spelen een belangrijke rol. Ter bepaling van de afbrand, neutraliteit en de toebrand van een laspoeder wordt een draad type S2 onder gedefinieerde lasparameters met het betreffende laspoeder verlast en worden de elementen koolstof, mangaan en silicium van de zuivere neersmelt bepaald. De verschillen ten opzichte van de elementen in de draad geven de invloed van het poeder op deze elementen. In tabel 8 is een code (volgens NEN-EN 760 - 1996) wat betreft de toebrand, neutraliteit en de afbrand weer van klasse 1 poeders.

tabel 8 Metallurgisch gedrag van klasse 1 poeders

	Codenummer	Gewichtsprocenten
Afbrand	1	>0,7
	2	>0,5 - 0,7
	3	>0,3 - 0,5
	4	>0,1 - 0,3
Neutraal	5	0 - 0,1
Toebrand	6	>0,1 - 0,3
	7	>0,3 - 0,5
	8	>0,5 - 0,7
	9	>0,7

Een andere en meer aansprekende methode om de invloed van het laspoeder op de toe- en/of afbrand aan te geven toont figuur 26. Hierin is de invloed van het poeder op de samenstelling van het lasmetaal, verkregen uit verschillende lasdraden te herkennen. Deze figuur is een voorbeeld waarin de invloed van een drietal verschillende laspoeders gegeven, verlast onder gelijke omstandigheden (4 mm draad, $580 \pm 20A$, $29 \pm 1V$, $v = 55 \pm 2$ cm/min).

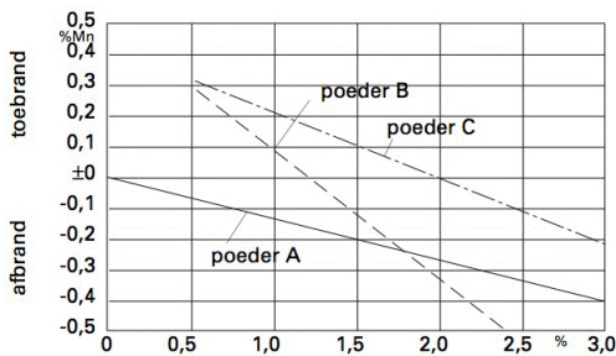
Voorts worden aan de codering van laspoeders nog symbolen toegevoegd voor het waterstofgehalte (H5, H7, H10 en H15 voor resp. 5, 7, 10 en 15 ml diffundeerbare waterstof per 100 g neergesmolten lasmetaal), alsook een voor de korrelgrootte.

De poeders zijn, afhankelijk van hun samenstelling, in meer of mindere mate vochtgevoelig.

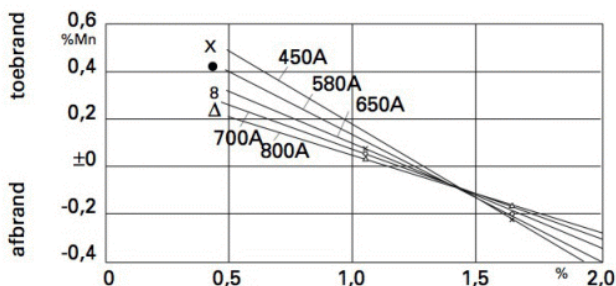
Poeders kunnen worden geleverd in zakken of blikken met 25 kg inhoud, in vaten van ca. 250 kg alsook in zogenaamde "big bags" met een inhoud tot ca. 1000 kg.

4.3 Factoren die de taaiheidseigenschappen van ongelegeerd en laaggelegeerd lasmetaal beïnvloeden

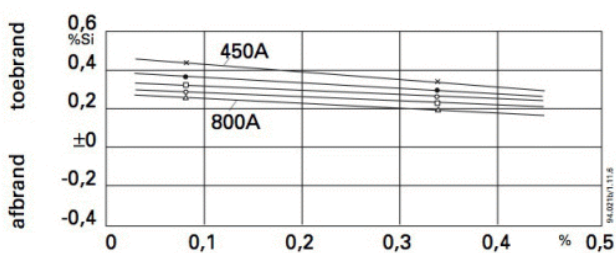
Bij de bespreking van de lasdraden en de laspoeders is reeds duidelijk geworden dat de kerftaaiheidseigenschappen van ongelegeerd en laaggelegeerd lasmetaal bepaald worden door o.a. de chemische samenstelling van het lasmetaal, basiciteit van het laspoeder, alsook de wisselwerking tussen beide. Het zuurstofgehalte in



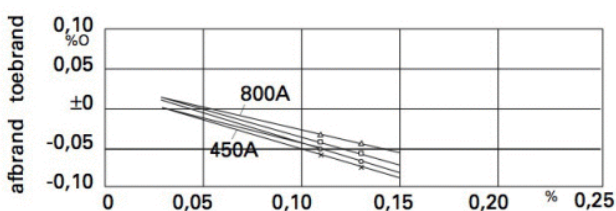
a) Mn-gehalte in draad



b) Mn-gehalte in draad



c) Si-gehalte in draad



d) C-gehalte in draad

figuur 26 a) Invloed van de poedersoort op toe- en afbrand van Mn. b) t/m d) Invloed van de stroomsterkte op de toe- en afbrand van resp. Mn, Si en C

het lasmetaal is bepalend voor de hoeveelheid niet-metallische insluitsels en de grootte van de verdeling ervan in het lasmetaal. Veel grove insluitsels komen voor bij lasmetaal met een hoog zuurstofgehalte en veroorzaken lage (maximale) kerfslagwaarden. Behalve deze twee factoren spelen ook nog een rol:

- de microstructuur;
- de warmte-inbreng tijdens het lassen;
- de plaatdikte;
- een eventuele warmtebehandeling na het lassen (spanningsarmgloeien);
- lasnaadvorm: I of V.

De warmte-inbreng en de plaatdikte zijn bepalend voor de grootte van de afkoelsnelheid, die, afhankelijk van

de chemische samenstelling, de uiteindelijke microstructuur van het lasmetaal bepaalt. De kristal grootte en de samenstellende bestanddelen van de structuur en de hoeveelheden ervan, bepalen de weerstand tegen brose breuk en in hoge mate de Charpy V-notch overgangstemperatuur taai - bros. Een fijnere korrel levert betere kerftaaiheidseigenschappen (lagere Charpy V-notch overgangstemperatuur) en ook hogere sterkte-eigenschappen (vloei grens) op dan een grovere korrel. Structuren die zijn ontstaan als gevolg van een relatief snelle afkoeling leveren over het algemeen goede kerftaaiheidseigenschappen van het lasmetaal op (lage Charpy V-notch overgangstemperaturen) voor zover het éénlaaglassen betreft. Bij het lassen van meer dan één laag beïnvloedt een nieuwe laag de eerder gelegde lagen, zodat hier andere regels gelden.

De meest voorkomende gloeibehandeling na het lassen is het spanningsarmgloeien op circa 600°C. Spanningsarmgloeien kan de taaiheid zowel in positieve als in negatieve zin beïnvloeden.

Een positieve invloed is het temperen van eventuele martensietgebieden, wat de kerftaaiheid verhoogt. Tevens worden de aanwezige spanningen verlaagd. De eventuele negatieve invloed is het optreden van precipitatieharding door de vorming van carbiden, nitriden of carbonitriden zoals: Mo_2C , V_4C_3 , Fe_4N , TiN of Nb(CN) . Dit betekent dat lasmetalen waarin genoemde elementen voorkomen, hetzij vanuit het basismateriaal of de lasdraad, hetzij via het laspoeder, na spanningsarmgloeien lagere kerftaaiheidseigenschappen kunnen hebben dan vóór het gloeien.

Evenals het lasmetaal wordt ook het basismateriaal door de warmte tijdens het lassen beïnvloed. Over het algemeen bestaat deze beïnvloeding uit een zekere harding direct naast de smeltlijn van de las. Hoe hoog de maximale hardheid in de warmte beïnvloede zone wordt na het lassen, hangt af van de samenstelling van het staal en de afkoeltijd $\Delta t_{800-500^\circ\text{C}}$. Een vuistregel voor deze afkoeltijd is: $\Delta t_{800-500^\circ\text{C}}$ in seconden is ca. 5 x de warmte-inbreng in kJ/mm. Voor de gewone constructiestaalsoorten met verhoogde sterkte-eigenschappen, geldt vrij algemeen dat een hoge warmte-inbreng, hetgeen vooral bij dunwandig materiaal gepaard gaat met lange afkoeltijden, leidt tot een lage sterkte van het lasmetaal en tot slechte kerftaaiheidseigenschappen van zowel de warmte beïnvloede zone als het lasmetaal.

Tegenwoordig zijn constructiestaalsoorten type S355 verkrijgbaar met een laag koolstofgehalte ($\leq 0,08\%$ C) en tevens gelegeerd zijn met enig koper en nikkel. Deze staalsoorten danken hun sterkte aan een thermomechanische behandeling (walsen onder de rekristallisatietemperatuur van de austeniet, gevolgd door een versnelde afkoeling). Bij deze materialen blijft de maximaal optredende hardheid in de warmte beïnvloede zone beperkt, ook al wordt er met een relatief lage warmte-inbreng gelast.

4.4 Speciale poeders

Onder deze groep kunnen we de poedersoorten indelen die, naast de gebruikelijke componenten, ook legeringselementen bevatten.

Deze poedersoorten worden vooral gebruikt bij het oplassen met bandelektroden. Vanuit het poeder wordt dan een bijdrage geleverd aan de hoeveelheid legeringselementen die in de las terechtkomen.

Het toevoegen van legeringselementen via het poeder heeft een aantal beperkingen, zoals:

- ▶ kans op ontmengen van het poeder. Dit komt vooral voor als het verschil in soortelijke massa van de componenten groot is;
- ▶ het poederverbruik is afhankelijk van de lasparameters en daarmee verandert ook de hoeveelheid legeringselementen die afsmelten.

Behalve legeringselementen, zoals chroom, nikkel en molybdeen, kan ook ijzerpoeder aan het poeder worden toegevoegd. Dit dient dan om het rendement van het poeder te vergroten en daardoor de neersmeltsnelheid van het proces te verhogen.

4.5 *Behandeling en opslag van poeders*

Het poeder bij het onder poeder lassen heeft een vergelijkbare functie als de bekleding bij elektroden. Dit geldt ook voor de vochtgevoeligheid.

Afhankelijk van de samenstellende bestanddelen is het poeder meer of minder vochtgevoelig.

Voor de meeste toepassingen wordt het poeder vooraf gedroogd, dat wil zeggen op een zodanige temperatuur gebracht, dat het (meeste) vocht verdwijnt. De temperatuur waarbij dit gebeurt, is afhankelijk van de samenstelling en wordt door de fabrikant opgegeven. Het poeder wordt meestal in plastic zakken geleverd. Het verdient aanbeveling deze zakken ongeopend in een geconditioneerde ruimte te bewaren. Kort voor het gebruik wordt dan zo nodig nog gedroogd.

Na het drogen wordt het poeder in een warmhoudoven op voorraad gehouden. Het verdient aanbeveling de hoeveelheid die in voorraad gehouden wordt af te stemmen op het verbruik.

Vaak is de poedersilo van de lasmachine voorzien van een verwarmingselement.

Als met vochtgevoelige poeders, bijvoorbeeld de basische poeders, wordt gewerkt, moet het poeder dat aan het einde van de werktijd nog in een (niet verwarmde) silo aanwezig is, teruggebracht worden naar een warmhoudoven.

4.6 *Aanduiding draad-poeder combinatie*

De norm EN 756-2004 geeft de genormeerde aanduidingen van de verschillende draad-poeder combinaties weer. De aanduiding bestaat uit een aantal symbolen, zoals bijvoorbeeld S 46 3 AB S2.

Aan de hand van de tabellen 9, 10 en 11 is de aanduiding te herleiden.

De aangegeven aanduiding S 46 3 AB S2 houdt dus het volgende in:

- S = onder poeder lassen met solid wire (massieve lasdraad)
- 46 = sterkte eigenschappen volgens tabel 9
- 2 = kerftaaiheidseigenschappen volgens tabel 11
- AB = type laspoeder volgens tabel 5
- S2 = draadtype volgens tabel 3.

tabel 9 Symbool voor de sterkte-eigenschappen bij meerlaags lassen

symbool	minimum vloeigrens (N/mm ²)	treksterkte (N/mm ²)	minimum rek (%)
35	355	440 - 570	22
38	380	470 - 600	20
42	420	500 - 640	20
46	460	530 - 680	20
50	500	560 - 720	28

tabel 10 Symbool voor de sterkte-eigenschappen van de two-run techniek

symbool	minimum vloeigrens basismateriaal (N/mm ²)	minimum treksterkte van de gelaste verbinding (N/mm ²)
2T	275	370
3T	355	470
4T	420	520
5T	500	600

tabel 11 Symbool voor kerftaaiheidseigenschappen

symbool	temperatuur voor de minimum kerftaaiheid van 47 J (°C)
Z	geen eisen
A	+ 20
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60
7	-70
8	-80

Hoofdstuk 5

Lasnaadvormen en lasbadondersteuning

5.1 Toepassingsgebied

Het onder poeder lassen wordt in principe toegepast om twee redenen en wel vanwege

- de hoge neersmelt;
- de diepe inbranding.

Dit betekent dat het proces tot zijn recht komt bij platen met een dikte vanaf 6 mm. Er zijn echter voorbeelden uit de praktijk bekend, waarbij het proces met succes wordt toegepast op materialen met een dikte van 3 - 4 mm (butagas flessen), waarbij gebruik wordt gemaakt van een overlapverbinding, of dat gelast wordt op een ondersteuning. Naar boven toe is de plaatdikte nauwelijks aan grenzen gebonden.

Het zal duidelijk zijn dat het grote diktebereik aanleiding geeft tot een aantal verschillende lasnaadvormen bij stompe lasverbindingen; hoeklassen vormen een aparte groep van lasverbindingen. De toe te passen naadvorm bij het onder poeder lassen van stompe verbindingen hangt echter niet alleen af van de plaatdikte, maar ook van de aard van de industrie waar het proces wordt toegepast. Wanneer bijvoorbeeld de scheepsbouw en de apparatenbouw met elkaar worden vergeleken, lijkt de volgende conclusies gerechtvaardigd: in de scheepsbouw worden in het algemeen dunnere platen toegepast van veelal een lagere kwaliteit dan in de apparatenbouw. Dientengevolge zullen de eisen die aan de lasverbindingen worden gesteld in de apparatenbouw hoger liggen.

Het zal duidelijk zijn dat men in de apparatenbouw omwille van de gewenste kwaliteit en ook gedwongen door de plaatdikte, veel meer gebruik maakt van meerlagen technieken dan in de scheepsbouw. In de scheepsbouw zal men met meer nadruk gebruik kunnen maken van de specifieke voordelen van het onder poeder lassen: de diepe inbranding en de hoge neersmelt en/of lassnelheid.

Rekening houdend met bovenstaande, komen voor stompe lasverbindingen de volgende naadvormen in aanmerking:

- I-naden; voor plaatdikten van 6 - 16 mm;
- Y-naden; voor plaatdikten van 6 - 22 mm;
- V-naden; voor plaatdikten vanaf 6 mm (ook > 20 mm indien de lasnaad slechts éénzijdig toegankelijk is, anders een X naad);
- X-naden; voor plaatdikten van 16 mm en dikker;
- U-naden; voor plaatdikten van 40 mm en dikker.

Uit deze indeling valt op te merken dat de lasnaadvormen in principe uiteen vallen in twee groepen, te weten:

- lasnaden met staand deel: I-, Y- en X-naden;
- lasnaden zonder staand deel: V- en scherpe X-naden.

De U-naad vormt een uitzondering en is eigenlijk op te vatten als een V- of een X-naad met een kleinere (economischer) naadinhoud en een staand deel. Het is moeilijk om strakke, algemeen geldende regels op te stellen voor de te volgen lasmethode, samenhangend met de twee groepen lasnaadvormen. Met enige voorzichtigheid kan evenwel het volgende worden opgemerkt: de lasnaden met een staand deel worden dikwijls toegepast voor de dunnere platen in een staalkwaliteit

t/m S355, met uitzondering van de U-naad. Aan de lassen worden geen hoge kerftaaiheidseisen gesteld (beproeving bij -20°C of hoger). Deze naden worden normaliter in zijn geheel (d.w.z. inclusief de grondlaag) met het onder poeder lasproces gelast. Hiervoor komen twee methoden in aanmerking:

- het éénzijdig doorlassen met behulp van een lasbadondersteuning, gewoonlijk in één of meer lagen (I- en Y-naden);
- het laag/tegenlaag principe, d.w.z. de plaat wordt eerst van één kant gelast, vervolgens omgekeerd en tegengelast (I-, Y- en X- naden).

De lasnaden zonder staand deel (V- en scherpe X-naden) worden meer toegepast in dikkere platen in de staalkwaliteiten S355 en hoger. Aan de mechanische eigenschappen van deze lasverbindingen worden over het algemeen hoge eisen gesteld (beproeving bij -40°C en lager).

In deze groep kan ook de U-naad worden gerangschikt. Om de randen van de plaat voor te bewerken komen onder meer twee verschillende methoden in aanmerking:

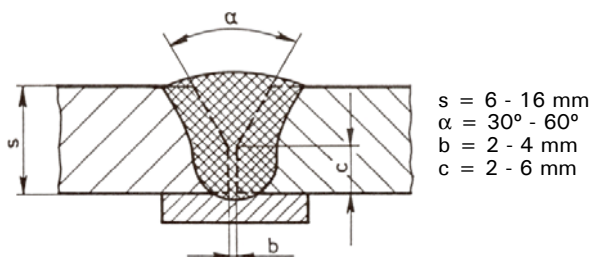
- het snijbranden;
- het mechanisch verspanen (schaven/draaien, enz.).

5.2 Eénzijdig doorlassen met lasbadondersteuning

Wanneer éénzijdig moet worden doorgelast, is het wenselijk om gebruik te maken van een lasbadondersteuning. De reden hiervan is, dat bij het snijbranden geen kleine toleranties te realiseren zijn. De naadvormen die voor het éénzijdig doorlassen in aanmerking komen, zijn de I-naad en de Y-naad met een staand deel. In de loop der jaren is een grote verscheidenheid van lasbadondersteuning ontwikkeld.

Stalen onderlegstrips

Stalen onderlegstrips vormen een eenvoudige en goedkope lasbadondersteuning. Ze zijn echter niet gemakkelijk te verwijderen. Wanneer de strip niet wordt verwijderd en de naad niet wordt tegengelast, is de lasverbinding niet geschikt voor hoge statische of dynamische belastingen. Figuur 27 toont de naadvoorbewerking van een Y-naad met een stalen onderlegstrip.

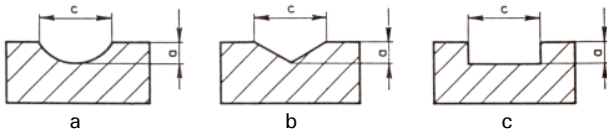


figuur 27 Naadvoorbewerking voor het éénzijdig doorlassen van een Y-naad op een stalen onderlegstrip

Koperen onderlegstrip

In tegenstelling tot de stalen onderlegstrip wordt een koperen strip niet meegelast. De koperen strip is meestal watergekoeld. Het meest kenmerkende van het lassen op een koperen onderlegstrip is de gladde regelmatige doorlassing die kan worden verkregen. Hiertoe moeten de platen goed aanliggen tegen de strip voor een regelmatige warmteafvoer. Figuur 28

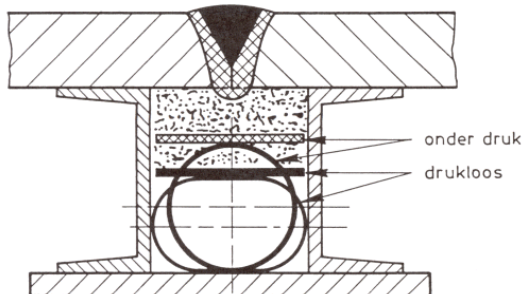
laat de verschillende groefvormen zien die bij koperen onderlegstrips worden toegepast.



figuur 28 Groefvormen voor koperen onderlegstrips
a: groef voor lassen zonder vooropening
b en c: groef voor lassen met vooropening

Poederlaag

Een poederlaag (zelfde poeder als voor het lassen wordt gebruikt of een smeltpoeder) kan eveneens goed dienst doen als lasbadondersteuning. Figuur 29 toont het principe van een dergelijke steunlaag.



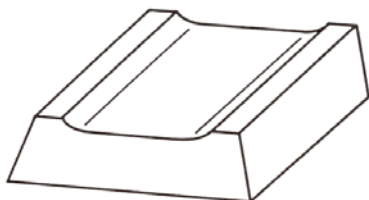
figuur 29 Principe van een poedersteunlaag

De toe te passen druk is afhankelijk van de dikte van de te lassen plaatdikte. Voor plaatdikten van 4 tot 8 mm is een druk nodig van circa 10 bar, voor plaatdikten ≤ 30 mm een druk van 5 bar. Vermeld dient te worden dat de druk de vorm van de lasdoorsnede beïnvloedt. Een te hoge druk werkt een holle doorlas-sing en een overmatige lasoverdikte in de hand. Een te lage druk kan een enigszins doorgezakte las opleveren.

Keramisch materiaal

Keramisch materiaal wordt aangepast aan de lasnaad-vorm, geleverd in bijvoorbeeld cilindrische staafjes of vlakke strips met een groefvorm, dikwijls ook voorzien van zelfklevend materiaal of andere bevestigings-mogelijkheden.

In deze toepassing wordt het aanbevolen om met een basisch poeder te lassen. Figuur 30 geeft een voor-beeld van een stukje keramisch onderlegmateriaal.



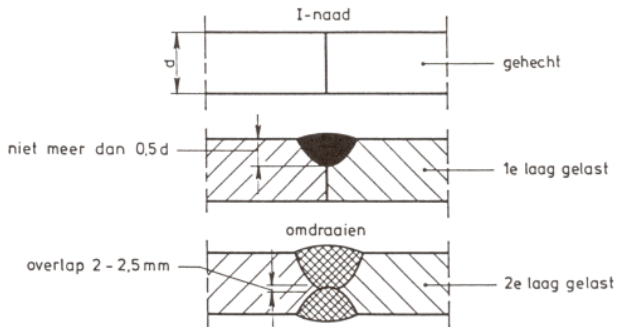
figuur 30 Keramische onderlegstrip

Glasvezelstrip in een gootje

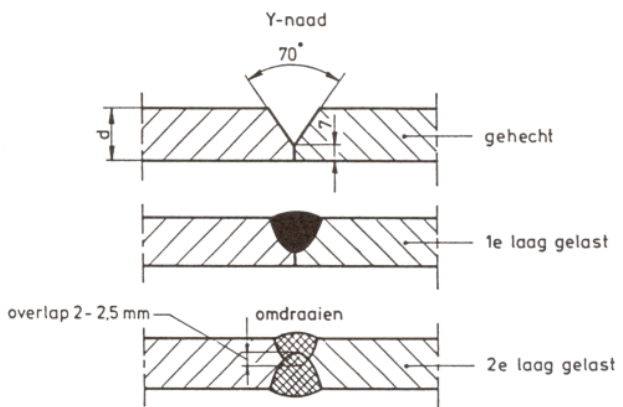
Glasvezelstrips voorzien van een laagje poeder kunnen ook als badondersteuning dienst doen.

5.3 Laag-tegenlaag principe

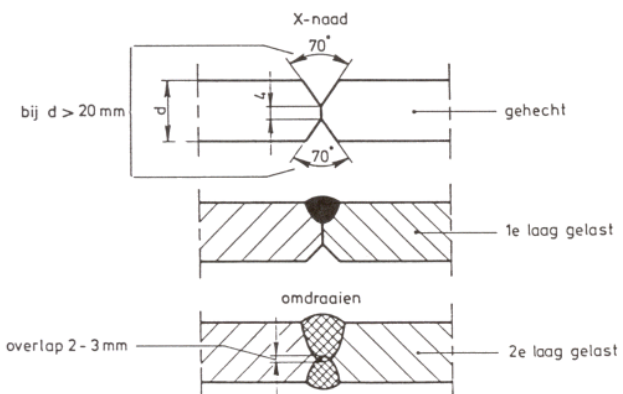
Zoals eerder is opgemerkt komen de I-, Y- en X-naden met staand deel in aanmerking voor het laag/tegen-laag principe (ook wel de two-run techniek genoemd). De keuze van de naadvorm is hierbij direct afhankelijk van de plaatdikte. Het benodigde aantal snoeren is af-hankelijk van de plaatdikte, van de naadvorm en van de capaciteit van de lasinstallatie (maximale stroom-sterkte). Figuur 31 toont de laswijzen voor de I-naad, figuur 32 die voor de V-naad en figuur 33 die voor de X-naad.



figuur 31 Laag-tegenlaag bij een I-naad.
Inbranding: 1^e en 2^e zijde ≈ 1 mm/100 A



figuur 32 Laag-tegenlaag bij een V-naad.
Inbranding: 1^e zijde $\approx 0,7$ mm/100 A
2^e zijde ≈ 1 mm/100 A



figuur 33 Laag-tegenlaag bij een X-naad.
Inbranding: 1^e en 2^e zijde $\approx 0,7$ mm/100 A

De in figuur 33 voorgestelde laswijze voor naden met een staand deel brengt twee gevaren met zich mee, te weten:

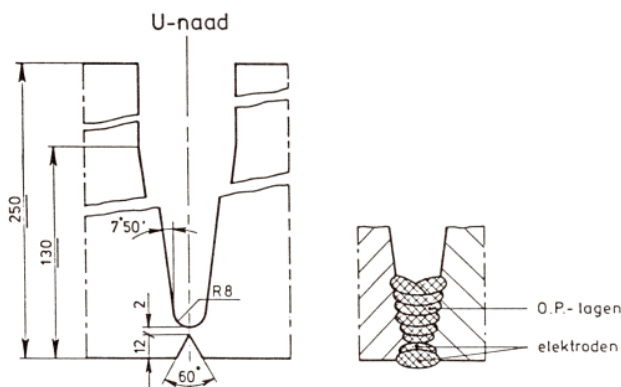
- ▶ er treedt een grote opmenging op van het lasmetaal met het basismateriaal. Dit kan slechte mechanische eigenschappen met zich meebrengen;
- ▶ de (gewenste) diepe inbranding van de tegenlaag in het hart van de las verhoogt de kans op H/B-scheuren (zie ook hoofdstuk 9 "Oorzaken en preventie van lasfouten").

Om deze problemen te voorkomen wordt de X-naad meestal uitgevoerd zonder staand deel. De doorlassing in het hart van de las wordt dan door middel van een ander lasproces (MIG/MAG of beklede elektrode) tot stand gebracht. Deze steunlaag (= grondlaag) wordt in de regel uit meer dan één laag opgebouwd. Voorafgaand aan het onder poeder tegenlassen wordt de doorlassing meestal gegutst en/of geslepen.

5.4 *Het vullen van met de hand doorgelaste naden*

Om de problemen van het laag-tegenlaag principe te voorkomen, wordt voor lasverbindingen waaraan hoge eisen ten aanzien van de mechanische eigenschappen worden gesteld, het staande deel in de naadvoorbereiding weggelaten. Een met de hand gelaste grondlaag (meestal meer dan één laag) doet dienst als ondersteuning voor de vullagen. Deze ondersteuning kan, afhankelijk van de keuze van het handlasproces en het toevoegmateriaal, bepaalde gewenste mechanische eigenschappen bezitten. Indien dergelijke naden moeten worden tegengelast, wordt de doorgelaste zijde gegutst en/of geslepen. Het vullen van de naden geschiedt met het onder poeder proces. Meestal wordt hierbij een meerlagen-techniek (multi-run techniek) toegepast, met een geschikte draad-poeder-combinatie en een beperkte warmte-inbreng.

Figuur 34 geeft een voorbeeld van een op deze wijze te lassen U-naad, die onder in de naad eerst met een handlasproces is gelast. Na deze lagen worden 1 of twee lagen aangebracht, voordat men met verkanten begint.

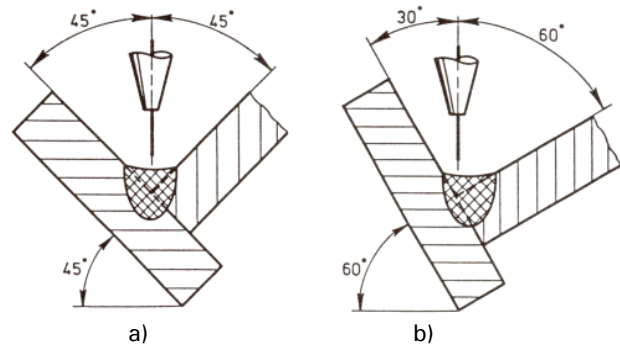


figuur 34 Voorbeeld van een U- of kelnraad

5.5 *Hoeklassen*

Staande hoeklassen kunnen zowel "in het gootje" (PA) als in de normale "staande" (PB) positie worden gelast. In de horizontale positie kunnen evenwel grotere a-hoogten worden bereikt. Bij het lassen kan de nadruk worden gelegd op het gelijkbenig zijn van de

hoeklas, of op de diepte van de inbranding. Het resultaat is afhankelijk van de stand van de contactbuis ten opzichte van de twee platen. Figuur 35 laat dit zien voor "in het gootje" (PA) lassen.



figuur 35 Invloed van de stand van de draad op de ligging van de hoeklas
a) gelijkbenige hoeklas
b) hoeklas met diepe inbranding

Met de in figuur 35b voorgestelde laswijze is het theoretisch mogelijk om een plaatdikte van 12 mm via een dubbele hoeklas volledig door te lassen. In de praktijk levert een dergelijk lasdetail echter onoverkomelijke problemen op. Bij het lassen van staande hoeknaden (positie PB) moet men bedacht zijn op randinkartelingen in het staande deel van de verbinding. Een nauwkeurige werkwijze is een eerste vereiste. Indien een dubbele hoeklas wordt vereist, is het raadzaam deze gelijktijdig te lassen. Overlapnaden kunnen eveneens als hoeklassen worden opgevat.

Hoofdstuk 6

Procesvarianten

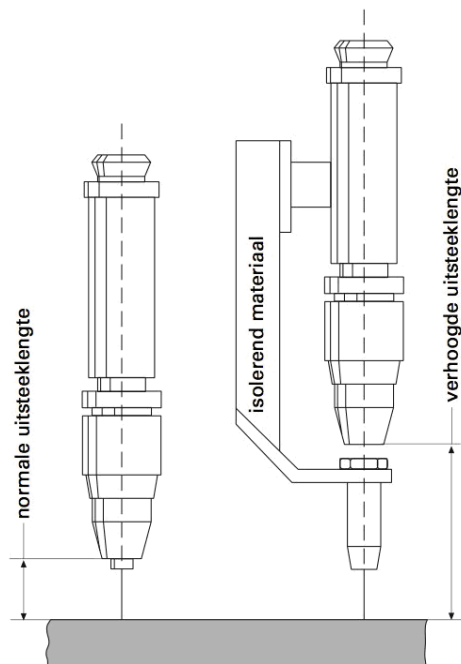
Van het normale onder poeder lassen met één draad en één stroombron zijn vele varianten afgeleid. De meeste daarvan hebben tot doel de neersmelt verder te verhogen. Achtereenvolgens worden hier behandeld:

- het I^2R -lassen;
- het "twin-arc"-lassen;
- het tandem-lassen;
- het lassen met metaalpoedertoevoeging;
- het bandlassen;
- het lassen met toevoeging van een koude draad;
- het lassen met toevoeging van een warme draad;
- het half-automatisch onder poeder lassen;
- het lassen uit de zij.

De beide laatste punten hebben tot doel om het toepassingsgebied te vergroten en niet direct het verhogen van de neersmeltsnelheid.

6.1 I^2R -lassen

Onder I^2R -lassen wordt verstaan het lassen met een vergrote uitsteeklengte ten opzichte van het normale enkeldraadslassen. De vergrote uitsteeklengte wordt gerealiseerd door de stroomvoerende contactbuis met een hiervan geïsoleerd stukje buis te verlengen. Figuur 36 toont het principe.

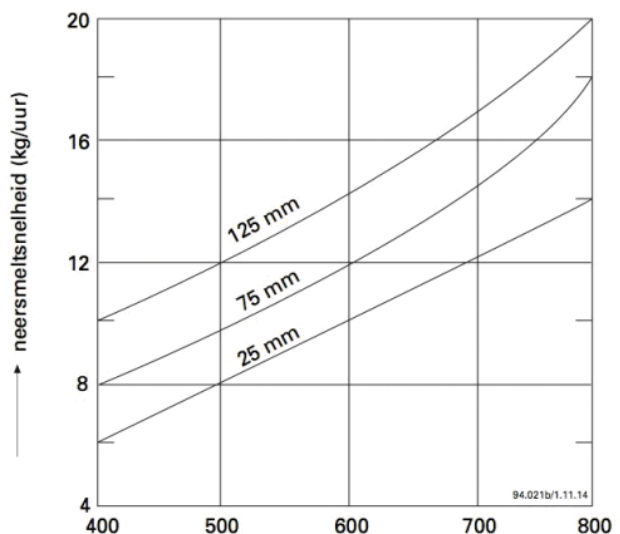


figuur 36 Normale en vergrote uitsteeklengte bij het enkeldraads onder poeder lassen

Door weerstandsverhitting stijgt de temperatuur in het verlengde vrije draadeinde aanzienlijk ($> 300^\circ\text{C}$). De daarbij ontwikkelde warmte is gelijk aan I^2R , het kwadraat van de stroomsterkte maal de elektrische weerstand van het vrije draadeinde. Hieraan is de naamgeving van deze procesvariant ontleend. De verhoogde temperatuur van de draad doet de hoeveelheid neergesmolten lasmetaal toenemen. Het effect is het grootst

bij dunne draden aan de minpool met hoge stroomdichtheden. Zo is de procentuele toename van de neersmelt (kg/uur) bij een draad met een diameter van 2,4 mm en een uitsteeklengte van 75 mm even groot als bij een draad met een diameter van 4,0 mm en een uitsteeklengte van 125 mm. De hoge neersmelt die met I^2R -lassen te bereiken is vereist een hoge lassnelheid en daarmee ook een nauwkeurige besturing tijdens het lassen. Een stroombron met vlakke karakteristiek leent zich hiervoor het best.

Figuur 37 toont welke neersmeltsnelheid kan worden gerealiseerd voor een 4,0 mm draad bij verschillende uitsteeklengten.



figuur 37 Neersmelt in kg/uur in afhankelijkheid van de stroomsterkte bij verschillenden vrije uitsteeklengten. Draaddiameter 4,0 mm; draad aan de min-pool

Ter compensatie van het spanningsverlies over het vrije draadeinde wordt 1 volt per cm draadlengte gerekend, wanneer

$$\frac{I \times l}{d^2} > 2750 \text{ wordt.}$$

Hierin is I : stroomsterkte in A
 l : vrije uitsteeklengte in mm
 d : draaddiameter in mm

Voordelen van het I^2R -lassen zijn:

- de hoge neersmeltsnelheid;
- de warmte-beïnvloede zone is als gevolg van de hogere voortloopsnelheid smaller dan bij het normale eendraadslassen, wat voordelig kan zijn voor fijnkorrelstalen;
- het biedt mogelijkheden voor het oplossen met weinig inbranding.

Nadelen van het I^2R -lassen zijn:

- het proces start relatief moeilijk;
- de inbranding en de vorm van de lasdoorsnede zijn moeilijk te beheersen;
- de boog heeft de neiging tot zwabberen.

Aan te bevelen uitsteeklengten zijn:

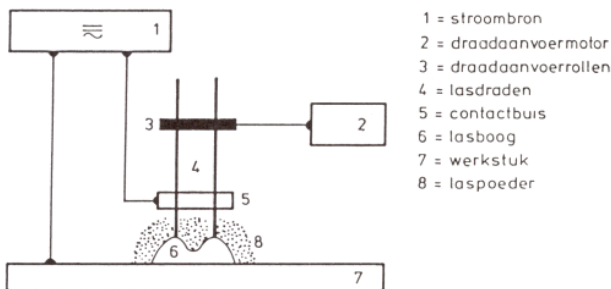
- ≤ 80 mm voor draden met een diameter van 2,0 mm en 3,0 mm;
- ≤ 125 mm voor draaddiameters groter dan 4,0 mm.

De noodzakelijke extra investeringen zijn zeer gering.

6.2 "Twin-arc"-lassen

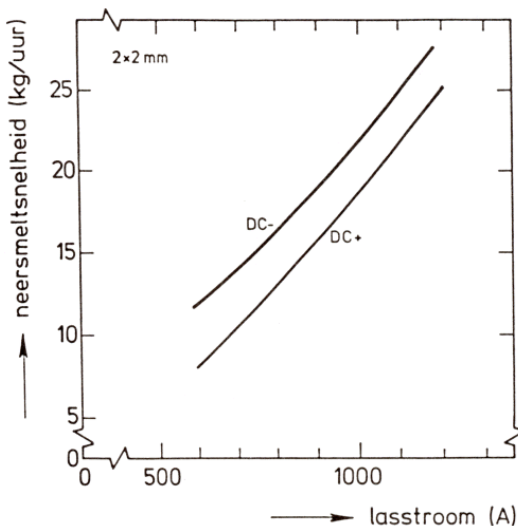
Bij het "twin-arc"-lassen worden twee evenwijdige lasdraden met een onderling vaste, soms instelbare afstand door één contactbuis gevoerd. Bij de gebruikelijke draadafstanden (2 à 4 x de draaddiameter) smelten beide lasdraden in één boogruimte af. Bij deze variant wordt slechts één stroombron gebruikt. De draden worden parallel geschakeld en lopen via hetzelfde draadaanvoermechanisme.

Figuur 38 toont schematisch het "twin-arc"-lassen.



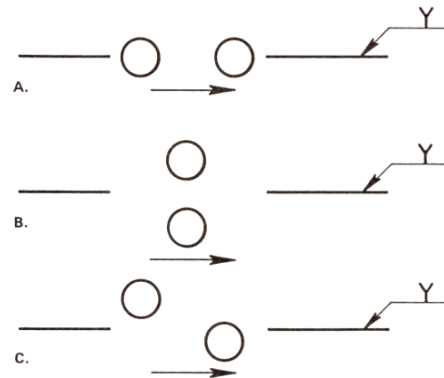
figuur 38 Principe van het "twin-arc"-lassen

Ten opzichte van het normale enkeldraadslas is er bij twee parallel lopende draden een hogere stroomdichtheid vanwege de kleinere draaddiameters (meestal $\varnothing 2,0$ mm), hetgeen in een hogere neersmelt resulteert. De toelaatbare stroomdichtheid en de inbrandingsdiepte nemen met toenemende draadafstand af. In het algemeen kan bij het lassen met gelijkstroom (draad positief) met een lagere stroomsterkte worden gelast dan bij het lassen met wisselstroom. Bij dezelfde stroomsterkte is de neersmelt bij gelijkstroom groter (zie figuur 39). De procesvoordelen worden bij stroomsterkten boven 750 A zichtbaar ten opzichte van het enkeldraadssysteem.



figuur 39 Neersmelt "twin-arc" lassen

Het "twin-arc"-lassen biedt behalve het verhogen van de neersmelt nog andere mogelijkheden. Deze mogelijkheden zijn direct afhankelijk van de plaatsing van de draden ten opzichte van elkaar en ten opzichte van de lasnaad. Figuur 40 laat deze mogelijkheden zien.



figuur 40 Positie van de draden ten opzichte van elkaar bij het "twin-arc"-lassen.

- A. draden achter elkaar; voor hoge lassnelheden en een normale inbranding;
- B. draden naast elkaar; bij een slechte naadvorbereiding en voor een geringe inbranddiepte;
- C. draden schuin achter en naast elkaar; dit biedt mogelijkheden voor aanpassing aan elke willekeurige toepassing

Draden achter elkaar

Als de draden achter elkaar worden geplaatst, zoals ook bij het hierna te bespreken tandem-las, wordt een voor onder poeder las een normale inbranding verkregen. De neersmelt is daarbij hoger dan bij het enkeldraadslas. Een ander voordeel is dat het lange smeltbad beter ontgast. Het "twin-arc"-lassen met de draden achter elkaar vindt toepassing bij hoeklassen en bij het vullen van grote lasnaden. Hierbij worden hogere lassnelheden bereikt dan bij het lassen met een enkele draad.

Draden naast elkaar

Bij het lassen met de draden naast elkaar worden boogwarmte en lastoevoegmateriaal in breder richting over de lasnaad verdeeld. Dit maakt de las breder, wat echter ten koste van de inbranding gaat. Een voordeel is evenwel dat een vooropening beter kan worden overbrugd.

De hoge neersmelt en de geringe inbranding maken het "twin-arc"-lassen met naast elkaar geplaatste draden zeer geschikt voor het oplas. Verder wordt het toegepast bij het verbindingslassen van austenitische materialen; de warmtegevoeligheid wordt beperkt door de gunstige stolrichting van het lasmetaal. De voordelen kunnen daar worden benut waar geringe opmengingen zijn vereist.

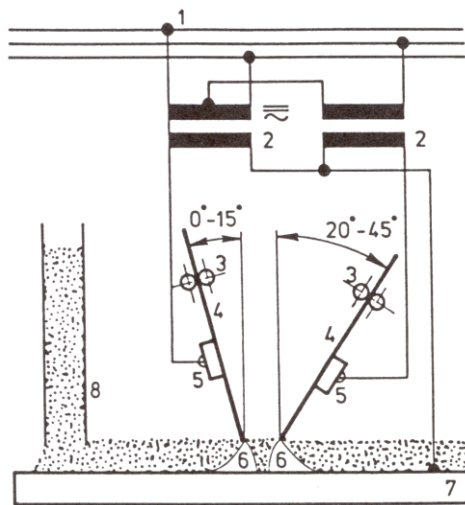
Draden schuin achter en naast elkaar

Wanneer de draden schuin achter en naast elkaar worden geplaatst, kan dit worden opgevat als een positie die ligt tussen beide hiervoor besproken posities in.

De investeringen die moeten worden gedaan zijn gering ten opzichte van de voordelen die het "twin-arc"-lassen biedt. Deze bedragen ongeveer de helft van die voor tandem-las, terwijl de resultaten (hoge lassnelheid, hoge neersmelt, lage warmte-inbreng) dikwijls slechts met tandem-las kunnen worden geëvenaard.

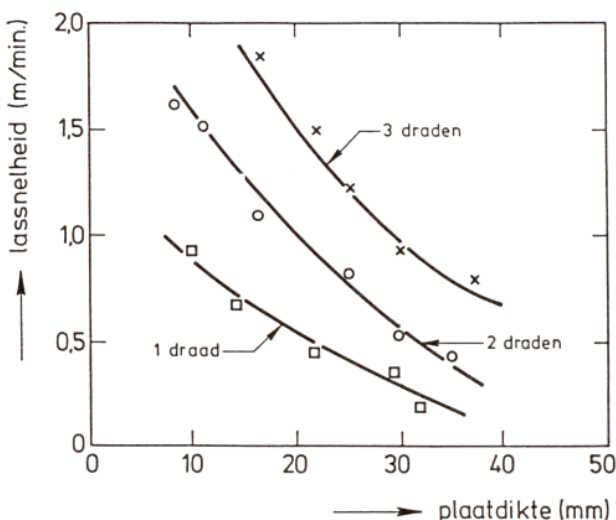
6.3 Tandem-las

Het tandem-las is in figuur 41 schematisch weer gegeven.



figuur 41 Schematische voorstelling van het tandem-lassen
1 = net; 2 = stroombron; 3 = draadaanvoerrollen; 4 = lasdraad; 5 = contactbuis; 6 = lasboog; 7 = werkstuk; 8 = poedertrechter

Zoals de figuur laat zien, wordt het tandem-lassen uitgevoerd met twee achter elkaar geplaatste draden. In tegenstelling tot het "twin-arc"-lassen gebeurt het tandem-lassen met gescheiden laskoppen, besturingen, draadaanvoermechanismen en stroombronnen, terwijl ook de lasbogen gescheiden blijven. De lasbogen kunnen elk een eigen boogruimte hebben of kunnen in één boogruimte branden. Bij het tandem-lassen kunnen per draad hogere stroomsterkten worden toegepast dan bij het lassen met één draad. Hierdoor kan de neersmelt meer dan verdubbeld worden. Het belangrijkste kenmerk voor het tandem-lassen is echter, dat de lassnelheid ten opzichte van het lassen met één draad ongeveer kan worden verdubbeld bij gelijkblijvende lasdoorsnede en warmte-inbreng. Figuur 42 laat zien welke lassnelheden mogelijk zijn bij het lassen met één, twee en zelfs drie lasdraden, in afhankelijkheid van de plaatdikte.

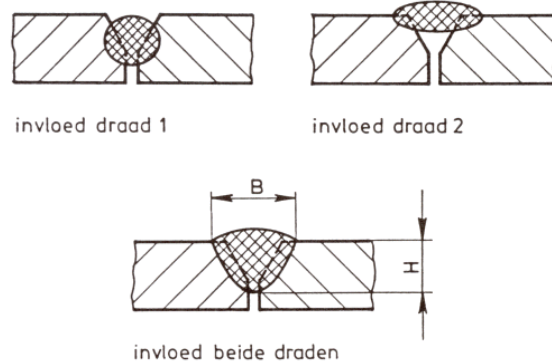


figuur 42 Lassnelheden bij het lassen met een, twee en drie lasdraden en evenzoveel stroombronnen

Doordat de warmte-inbreng nagenoeg constant blijft, zullen ook de mechanische eigenschappen van het las-

metaal en de warmte-beïnvloede zone slechts weinig worden beïnvloed door het met één of met twee draden lassen.

Bij het tandem-lassen hebben de twee lasbogen verschillende taken. De eerste draad (licht slepend opgesteld) wordt verlast met gelijkstroom (draad positief), zodat hiermee een maximale inbranding wordt verkregen. De tweede draad volgt de eerste op 12 à 16 mm en is 20 - 45° stekend met de eerste geplaatste en zorgt voor een vlakke deklaag. Deze draad wordt verlast met wisselstroom om blaaswerking te beperken. Figuur 43 toont de invloeden van beide draden afzonderlijk en laat tevens het uiteindelijke resultaat zien.



figuur 43 Invloed van beide lasbogen op het lasresultaat bij het tandem-lassen

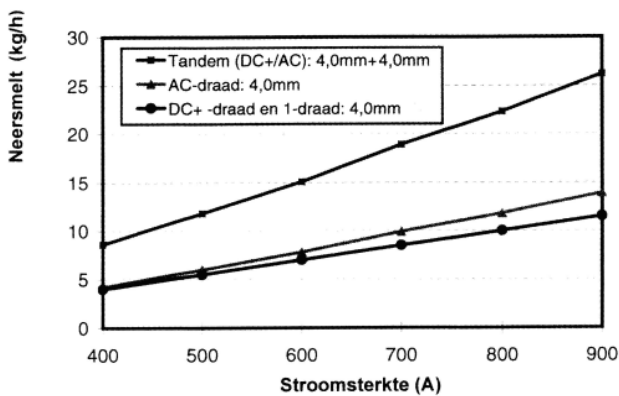
Een direct gevolg van hetgeen in figuur 43 te zien is, is dat bij het tandem-lassen een grotere H/B-verhouding toelaatbaar is dan bij het enkeldraadslas, namelijk 1 : 0,8 bij het tandem-lassen en 1 : 1,2 bij het lassen met een draad. Tevens ontgast een langer smeltbad goed, zodat de kans op poreusheid bij het tandem-lassen kleiner is.

Bij het tandem-lassen is, in vergelijking met het normale onder poeder lassen, het poeder tegen een circa 30% hogere stroomsterkte bestand. Dit brengt vooral voordelen mee voor basische poeders, die normaliter met relatief lage stroomsterkten moeten worden verlast. Bij het hier beschreven tandem-lassen voert de voorste draad gelijkstroom (+) en de achterste draad wisselstroom. Het proces kan ook worden uitgevoerd met beide draden op wisselstroom of beide draden op gelijkstroom. In het laatste geval wordt de draad in de voorste laskop positief geschakeld (diepe inbranding) en de achterste draad negatief (hoogste neersmelt). De afstand tussen beide draden is dan ongeveer 80 mm. Deze maatregelen worden genomen om blaaswerking en een ongunstig lasuiterlijk enigszins tegen te gaan. Het tandem-lassen wordt hoofdzakelijk toegepast om via de hoge lassnelheden de totale productietijd te verkorten. Figuur 44 geeft een indruk van de te realiseren neersmeltsnelheden van het tandem lassen.

Mogelijke toepassingsgebieden zijn: pijplassen, constructiebouw, ketel- en apparatenbouw, scheepsbouw en het lassen van langs- en rondnaden (bij voldoende grote diameter) in pijpen alsook dikke plaat.

De belangrijkste voordelen van het tandem-lassen ten opzichte van het normale enkeldraadslas zijn:

- ▶ tweemaal zo hoge lassnelheden zijn mogelijk;
- ▶ goed lasuiterlijk;
- ▶ minder aantal laslagen en daardoor een beperking van de krimpvervorming.



figuur 44 Neersmeltsnelheden bij het tandem lassen [8]

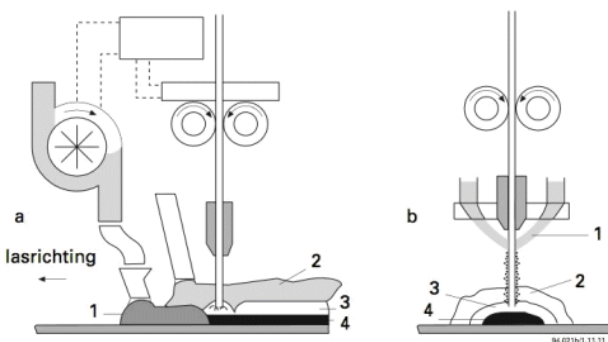
Een nadeel van het tandem-lassen vormen de hogere investeringskosten. Deze zijn echter voor de totale kosten per meter laslengte niet van doorslaggevende betekenis. Terwijl de machinekosten per uur bij het tandem-lassen ongeveer 10% meer bedragen, zijn de totale kosten veel lager dan bij het enkeldraadslassen.

6.4 Onder poeder lassen met toevoeging van metaalpoeder

Bij deze procesvariant wordt metaalpoeder als extra toevoeging in de lasnaad gebracht. Hierdoor wordt de boogwarmte effectiever gebruikt en neemt de hoeveelheid neergesmolten lasmetaal toe. Het metaalpoeder kan op de volgende wijzen worden aangebracht:

- ▶ vooraf in de naad doseren (forward feed system);
- ▶ met de (magnetische) draad meevoeren (wire feed system).

Figuur 45 geeft beide principe schematisch weer.



figuur 45 Onder poeder lassen met metaalpoedertoevoeging
Links: forward feed system
Rechts: wire feed system

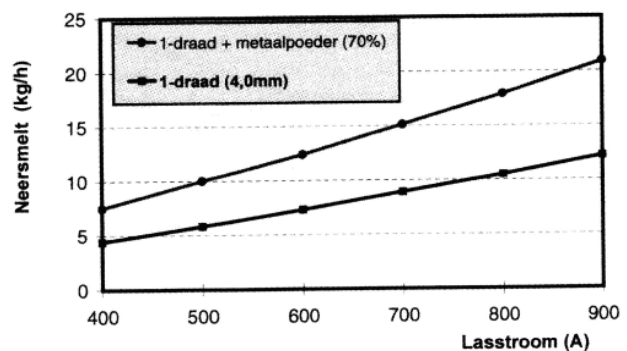
Het toegevoegde metaal heeft een bepaalde korrelgrootte en bestaat uit een samenstelling met de noodzakelijke legeringselementen. De legeringsbasis van de meest toegepaste metaalpoeders is: MnSi, MnMo of MnNiMo.

Het proces wordt zowel voor het verbindingslassen als voor het oplassen gebruikt.

"Bulk welding" is een procesvariant, die, volgens de Duitse literatuur, bedoeld is voor het oplassen. De toevoeging bestaat bij het oplassen hoofdzakelijk uit FeCr-, FeMn- en CrNi-metaalgranulaat met een hoog koolstof-

gehalte, dat in afgemeten hoeveelheden op het metaaloppervlak wordt gestort. De lasdraad is ongelegeerd. De oplassingen kunnen zijn: slijtvast, hittebestendig of corrosiebestendig. Het doseringssysteem werkt zodanig dat per cm aangevoerde lasdraad een instelbare hoeveelheid granulaat wordt aangevoerd. Ook voor roestvast staal oplassingen kan worden volstaan met een ongelegeerde draad, omdat chroom via het metaalgranulaat kan worden toegevoegd.

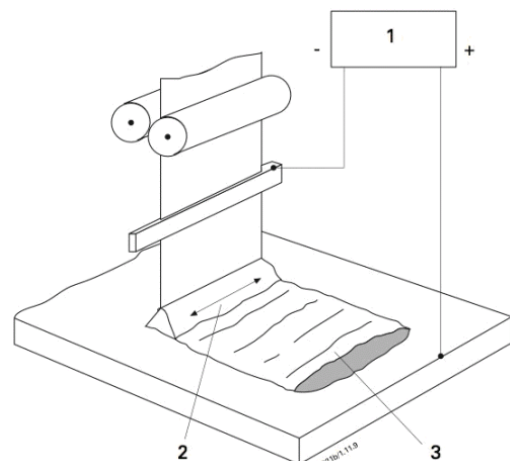
"Bulk welding" wordt ook toegepast voor verbindingslassen. De voordelen van het proces liggen voornamelijk in de hoge neersmelt. In figuur 46 wordt wat de neersmelt betreft "bulk welding" vergeleken met het normale enkeldraadslassen. De opmenging bedraagt bij deze variant van het onder poeder lassen slechts 10 a 15%.



figuur 46 Vergelijking van de neersmeltsnelheid bij metaalpoeder toevoer en het enkeldraadslassen [8]

6.5 Bandlassen

Het bandlassen is een variant van het onder poeder lassen. In plaats van een draad wordt gebruikgemaakt van een band als lastoevoegmateriaal. Het doel van het bandlassen is het oppervlak van een werkstuk te bedekken met een laag, die bepaalde eigenschappen heeft zoals: corrosiebestendigheid, slijtvastheid, hittebestendigheid, enz.. De eisen die men aan het bandoplassen stelt zijn: een geringe opmenging met het onderliggende materiaal, een glad uiterlijk en een hoge neersmelt. Figuur 47 geeft schematisch de eenvoudigste vorm van het bandlassen weer.



figuur 47 Schematische weergave van het bandlassen
1 = stroombron
2 = verplaatsing van de boog
3 = neergesmolten lasmetaal

In de figuur is de band aan de minpool van de gelijkstroombron gekoppeld. Deze schakelwijze voldoet aan de eisen: geringe opmenging en een hoge neersmelt. Een nadeel is echter dat de randen van de oplassing niet vlak en ook minder strak zijn dan bij het lassen met een positief geschakelde band. Het lasuiterlijk van de positief geschakelde band is beter, omdat de boog, die zich tijdens het lassen continu langs de volle bandbreedte verplaatst, stabiel is. De schakelwijze van de band (+ of -) hangt dus duidelijk af van de toepassing. Bij een twee-lagen-systeem zou bijvoorbeeld de eerste laag met een negatief geschakelde band kunnen worden gelast (geringe opmenging) en de tweede laag met een positief geschakelde band (beter lasuiterlijk). Het bandlassen kan ook met twee (of meer) banden tegelijk worden uitgevoerd. Hierbij kan nog onderscheid worden gemaakt tussen één of twee stroomvoerende banden. Bij toepassing van meer dan twee banden zijn alle banden stroomvoerend. Een veel toegepaste bandafmeting is: $60 \times 0,5$ mm. Wanneer bredere banden worden gebruikt (bijvoorbeeld $180 \times 0,5$ mm), is het gebruik van magnetische boogbeïnvloeding noodzakelijk. Door het aanbrengen van externe magnetische velden wordt het pendelen van de boog langs het afsmeltende uiteinde van de band bevorderd. In tabel 12 zijn ter vergelijking de neergesmolten hoeveelheden lasmetaal, de opmengpercentages en het aantal op te lassen m^2 per uur voor een aantal bandoplasmethoden gegeven.

tabel 12 Vergelijking van een aantal oplasmethoden

oplasmethode	opmenging %	neersmelt kg/h (gem)	m^2/h (gem)
met één band; $60 \times 0,5$ mm	5 - 20	12	0,5
met twee stroomvoerende banden; $2 \times 60 \times 0,5$ mm	5 - 15	25	0,9
met één brede band; $120 \times 0,5$ mm	5 - 15	28	0,8
met een zeer brede band; $180 \times 0,5$ mm	5 - 15	30	0,9
met zes draden $\varnothing 1,6$ mm	20 - 30	40	0,6

Het bandoplassen van corrosievaste lagen vindt toepassing in de ketel- en apparatenbouw (chemische en nucleaire industrie), maar kan ook worden gebruikt voor het oplassen van slijtvaste lagen. De banden voor oplassen kunnen bestaan uit:

- ▶ austenitisch roestvast uit (gestabiliseerd, ongestabiliseerd, molybdeenhoudend en hittebestendig);
- ▶ nikkel en nikkellegeringen;
- ▶ hooggelegeerde slijtbestendige materialen;
- ▶ koper en koperlegeringen;
- ▶ ongelegeerd staal (koolstofarme bufferlagen).

Naast massieve banden zijn ook gevulde banden verkrijgbaar. Deze worden hoofdzakelijk gebruikt voor het oplassen van slijtvaste lagen. Deze banden hebben over het algemeen een breedte van 25 - 30 mm en een dikte van 1,5 - 2 mm.

De voordelen van het bandlassen zijn:

1. hoge neersmelt;
2. geringe inbrandingsdiepte die gepaard gaat met een geringe opmenging van het lasmetaal met het basismateriaal;
3. slechts een geringe overmaat aan legeringselementen is nodig door de geringe opmenging;

4. gering poederverbruik per kg neergesmolten lasmetaal.

Voor het bandlassen zijn de noodzakelijke investeringen vergelijkbaar met die voor het enkeldraadslassen. Indien de stroombron omschakelbaar is van C.C. (dalende karakteristiek) naar C.P. (vlakke karakteristiek) kunnen beide procesvariabelen met dezelfde bron worden uitgevoerd.

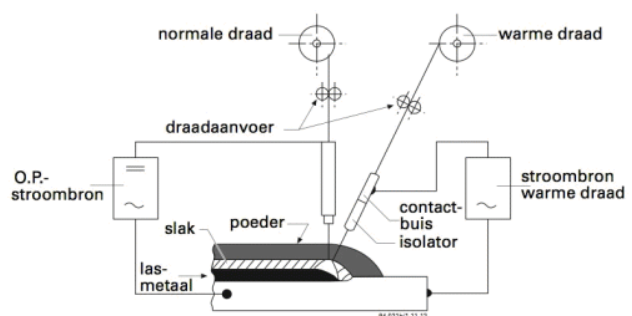
6.6 Onder poeder lassen met toevoeging van koude draad

Het onder poeder lassen waarbij een koude stroomloze draad extra wordt toegevoegd, geeft een verhoogde neersmelt, maar tevens een verminderde inbrandingsdiepte. Door het smelten van de koude draad wordt een gedeelte van de ontwikkelde warmte aan de boog en aan het smeltbad onttrokken. Via de draadaanvoer-snelheid kunnen de inbrandingsdiepte en de neersmelt worden geregeld.

De koude draad wordt schuin aan de voorkant onder een kleine hoek met de plaat toegevoerd en wel zodanig dat het smeltende draadeinde aan de rand van de laskrater zonder druppelvorming in het smeltbad overgaat. Door beide laskoppen te laten pendelen, kan de breedte van de las worden vergroot. De neersmelt neemt ten opzichte van het normale enkeldraadslassen met circa 30% toe, terwijl de inbranding duidelijk afneemt. Deze procesvariant is geschikt voor oplassen en voor het lassen van vullagen.

6.7 Onder poeder lassen met toevoeging van warme draad

Bij het onder poeder warme draadproces wordt, naast de normale lasdraad die meestal aan de pluspool van de stroombron is gekoppeld, een extra lasdraad met een kleinere diameter naar het smeltbad gevoerd. Deze draad is aangesloten op een stroombron met een dalende karakteristiek en een lage open spanning en wordt door weerstandsverwarming tot bijna aan het smeltpunt toe verhit. Het principe is schematisch weergegeven in figuur 48.



figuur 48 Schematische weergave van het onder poeder lassen met warme draadtoevoer

De weerstandsverwarming vindt plaats in het vrije draadeinde tussen de contactbuis en het punt van contact met het werkstuk. De draad vormt geen boog en wordt aan de voorkant in het smeltbad gevoerd, zodat die niet in de deegachtige slak vastloopt. Om blaaswerking tegen te gaan wordt wisselstroom toegepast.

Het onder poeder lassen met warme draadtoevoer wordt gekarakteriseerd door:

- ▶ het goede vulvermogen en de vermindering van het aantal nodige laslagen. De neersmelt bedraagt ongeveer het dubbele van de neersmelt bij het normale enkeldraadlassen en wel tussen 12 en 25 kg/uur;
- ▶ de warmte-inbreng per volume-éénheid neergesmolten lasmetaal is zeer laag. Ten opzichte van het enkeldraadlassen wordt de neersmelt verdubbeld, waarbij de warmte-inbreng slechts met ca. 12% toeneemt. De krimpvervorming is daarom gering en de warmte-beïnvloede zone is beperkt in afmetingen;
- ▶ de mechanische eigenschappen zijn, afhankelijk van de toegepaste condities, gelijk aan die bij het tandem- of enkeldraadlassen.

6.8 *Half gemechaniseerd onder poeder lassen*

Het half gemechaniseerd onder poeder lassen is een procesvariant, waarbij de laskop met de hand wordt voortbewogen in plaats van mechanisch. Hoewel er in principe kan worden gelast met gelijk- of wisselstroom, verdient het lassen met een gelijkstroombron met een vlakke karakteristiek de voorkeur. De toe te passen draaddiameters zijn klein, namelijk 1,6 - 3,0 mm. De laskop van een apparaat voor half gemechaniseerd lassen heeft een motor met een loopwiel en een instelknop voor het regelen van de voortloopsnelheid. Figuur 49 toont het half gemechaniseerd onder poeder lassen.



figuur 49 Half gemechaniseerd onder poeder lassen

Het poeder en de draad worden via het slangenpakket naar de laskop vervoerd (de aanvoer van het poeder geschiedt pneumatisch). Het proces is in principe bedoeld voor korte lasnaden en voor het lassen op platen van het werkstuk die voor de apparatuur voor geheel gemechaniseerd lassen niet toegankelijk zijn. De naadtypen, die voor het half gemechaniseerd onder poeder lassen in aanmerking komen, zijn hoeklassen en I-naden. Het proces is minder geschikt voor het lassen van vullagen.

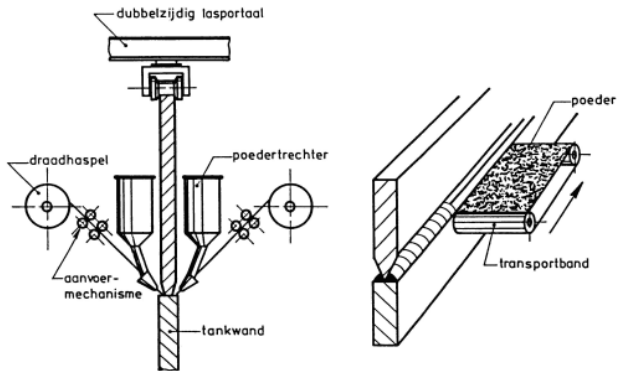
Het grootste nadeel van het onder poeder lasproces, het niet visueel kunnen waarnemen waar de las exact terecht komt, maakt het in principe minder geschikt voor half gemechaniseerd lassen.

De investeringskosten voor een lasapparaat voor half gemechaniseerd lassen zijn laag, omdat een tractor

voor de voortbeweging en eventuele rails of een laskolom overbodig zijn. Bovendien zijn de insteltijden kort.

6.9 *Onder poeder lassen uit de zij*

Figuur 50 geeft een schematische voorstelling van het tweezijdig onder poeder lassen uit de zij. Uiteraard kan het proces ook eenzijdig worden uitgevoerd.



figuur 50 Schematische voorstelling van het lassen uit de zij

Bij het lassen van horizontale naden in rechtop staande platen (PC-positie) wordt de lasdraad onder een hoek van 65 a 80° met de plaat verlast. Om het laspoeder op de juiste plaats te brengen, wordt het vanuit de trechter gestort op een lopend bandje, dat horizontaal tegen de onderste plaat gedrukt langs de lasnaad wordt meegevoerd, terwijl het bandje in de lasrichting op lasknelheid meedraait. De relatieve snelheid tussen werkstuk en band is dan nul. Aan het einde van de band wordt het niet gebruikte poeder opgevangen of afgezogen.

Bij het lassen met zware apparaten worden deze met behulp van bijvoorbeeld een lasportaal en een eigen aandrijving over de bovenrand van de bovenste plaat meegevoerd. Lichtere apparaten kunnen ook over tijdelijk aangebrachte hoekijzers of strips worden voortbewogen.

Bij het tweezijdig lassen is de afstand tussen de twee laskoppen 10 - 20 cm.

Voor het lassen uit de zijde dient de lasnaadvorm te worden aangepast. Deze procesvariant vindt voornamelijk toepassing in de tankbouw (opslagtanks voor de olie-industrie) en in de scheepsbouw.

Het proces biedt als voordelen:

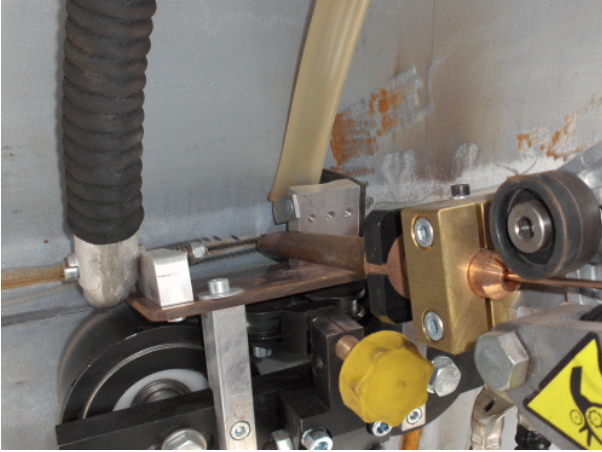
- ▶ een korte lastijd ten opzichte van elektrodelassen;
- ▶ een besparing aan toevoegmateriaal;
- ▶ een korte bouwtijd.

In figuur 51 is het lassen uit de zij van de wand van een grote verticaal opgestelde tankwand weergegeven.

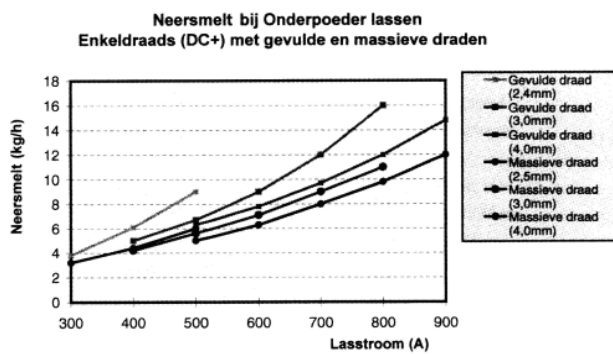
6.10 *Lassen met gevulde draad*

Bij het onder poeder lassen kunnen ook gevulde draden worden toegepast. Aangezien de stroomdichtheid bepalend is voor de neersmeltsnelheid, is die bij gevulde draden hoger dan bij massieve lasdraden (zie figuur 52). Bij gevulde draad is namelijk uitsluitend de draadmantel stroom-geleidend. De vulling bestaat voornamelijk uit niet-geleidende mineralen. De neersmeltsnelheid blijkt hierdoor ca 20 tot 30% hoger dan met massieve lasdraad zonder verhoging van de warmte-inbreng.

Het overschakelen naar gevulde draad is een eenvoudige en gemakkelijke manier om de neersmeltsnelheid van het onder poeder lassen te verhogen, die zelfs nage-
noeg zonder extra apparatuur kan worden doorgevoerd.



figuur 51 Onder poeder lassen uit de zij (foto Verwater)



figuur 52 Vergelijking neersmeltsnelheid gevulde draad ten opzichte van massieve lasdraad [8]

Hoofdstuk 7

Praktijktoepassingen

Het onder poeder lasproces wordt toegepast in een groot aantal sectoren van de metaalverwerkende industrie. Hoewel er uiteraard overeenkomsten zijn tussen de diverse toepassingsgebieden, bestaat er een grote verscheidenheid aan materialen en constructies die met het onder poeder proces gelast worden. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op een aantal toepassingsgebieden van het onder poeder lasproces. De gekozen praktijkvoorbeelden zijn betrekkelijk willekeurig gekozen; echter uit de onderwerpen komt duidelijk naar voren dat, naast een hoge neersmeltsnelheid, het onder poeder lasproces vooral ook gekenmerkt wordt door de mogelijkheid kwalitatief zeer goede lasverbindingen te vervaardigen.

7.1 *Het lassen van hoge rekgrens staal S690*

Het toepassen van hoge rekgrens staalsoorten kan voor bepaalde constructies leiden tot aanzienlijke reductie van het gewicht. In de voorlichtingspublicatie "Lassen van hoge rekgrens staalsoorten" worden de verschillende hoge sterkte staalsoorten besproken, zowel wat de wijze van vervaardigen betreft alsook allerlei specifieke eigenschappen en het lassen in het algemeen.

Voor het onder poeder lassen van deze staalsoorten wordt in verband met de vereiste vloeigrens van het lasmetaal in het algemeen een draad van het type S3NiCrMo2,5 toegepast. De samenstelling van dit type lasdraad is vermeld in tabel 13.

tabel 13 Analyse lasdraad

	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
S3NiCrMo2,5	0,07	0,3 - 0,7	0,05 - 0,25	0,4 - 0,8	2,0 - 2,5	0,45 - 0,65

Omdat er nog steeds S690 staaltypen op de markt zijn met een koolstofgehalte van circa 0,20% is het gevaar voor koudscheurvorming zeer reëel. Ter voorkoming van deze koudscheuren dient de uiterste zorg te worden besteed aan het in optimale conditie verwerken van lasdraad en laspoeder. Dit houdt in dat het laspoeder voor gebruik gedroogd dient te worden overeenkomstig de aanwijzingen van de leverancier en vervolgens op 150°C moet worden opgeslagen. De behandeling van de lasdraad is minder kritisch; er dient echter op gelet te worden, dat de vrijwel altijd verkoperde lasdraad glimmend van uiterlijk moet zijn. Doffe en/of verweerde koperlagen kunnen een verhoging van het waterstofgehalte tot gevolg hebben. De lasnaad moet vrij zijn van roest, vet en vocht. Deze voorbehandeling moet ook worden toegepast voor het plaatoppervlak en wel tot circa 5 cm naast de lasnaad-voorbewerking.

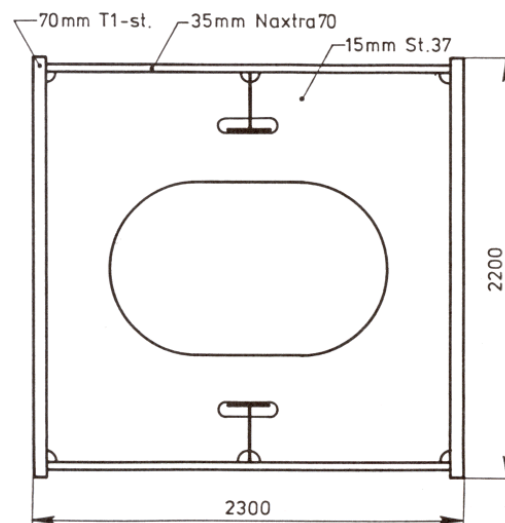
Ten aanzien van de keuze van het laspoeder komen vrijwel uitsluitend hoog basische geagglomereerde laspoeders in aanmerking.

De vereiste mechanische eigenschappen van de lasverbinding beperkten de vrijheid van keuze van lasparameters. De voorwarmtemperatuur bijvoorbeeld moet

voor materiaaldikten van circa 25 mm en hoger circa 150 - 200°C bedragen. Ook bij het hechten moet deze voorwarmtemperatuur wordt aangehouden. Bij het hechten is het bovendien van het grootste belang dat het starten van de boog niet buiten de naad plaatsvindt. Dit leidt namelijk tot het fenomeen "arc-striking", waardoor het basismateriaal lokaal tot het smeltpunt wordt verhit, en vervolgens weer snel afkoelt, met als gevolg opharding ter plaatse.

De minimaal vereiste vloeigrens van het lasmetaal laat geen langzame afkoeling (lange afkoeltijden $\Delta t_{800-500}$) toe, hetgeen de warmte-inbreng beperkt. De keuze van een hoger gelegen lastoevoegmateriaal kan in dit opzicht langzamere afkoeling mogelijk maken, echter een grote $\Delta t_{800-500}$ heeft een duidelijk negatief effect op de kerftaaiheidseigenschappen van het lasmetaal en de warmte beïnvloede zone. De ervaring is dat een optimale combinatie van vastheidseigenschappen en kerftaaiheidseigenschappen verkregen wordt bij een $\Delta t_{800-500}$ van circa 15 - 25 sec. Voor een tussenlagen temperatuur van circa 200 - 250°C beperkt dit voor dikwandige constructies de warmte-inbreng tot circa 2 - 3 kJ/mm.

Als voorbeeld van een in de praktijk uitgevoerde constructie dient figuur 53. Het betreft de poten van een hefeiland (platform). De poten hebben een lengte van circa 70 m, met een doorsnede van 2,2 x 2,3 m. De dwarsdoorsnede van de poten is gegeven in figuur 53.



figuur 53 Dwarsdoorsnede van de poten van een hefeiland

In het 70 mm dikke staal worden in een later stadium gaten met een diameter van 250 mm gebrand. Deze gaten dienen om het platform zich te kunnen laten verplaatsen in hoogterichting. De poten zijn vervaardigd in secties van circa 11 m, die later geassembleerd worden tot de gewenste lengte. De verstijvingsbalken zijn onder poeder gelast met een draad van het type S2Mo en een basisch geagglomereerd laspoeder. De 15 mm dikke verstijvingsschotten zijn met beklede elektroden gelast, de verbinding is vervaardigd met het onder poeder lasproces, waarbij een draad van het type S3NiCrMo2,5 is toegepast samen met een basisch geagglomereerd laspoeder. Speciaal voor dit project gebouwde rolstellingen en klembanken maakten een optimale toepassing van het onder poeder lasproces mogelijk.

7.2 *Oplassen van cilindrische lichamen*

7.2.1 *Inleiding*

Ter bestrijding van slijtage worden zeer veel slijtvaste legeringen opgelast op goed lasbare, niet slijtbestendige basismaterialen. Voor het oplassen van deze legeringen kan, afhankelijk van de vorm en de afmetingen van het werkstuk, een keuze worden gemaakt uit de bekende lasprocessen.

Worden rollen opgelast, dan wordt de toepasbaarheid van het lasproces onder meer bepaald door de diameter van de rol: hoe groter het smeltbad des te groter dient de minimale roldiameter te zijn. Zeker indien men bijvoorbeeld bij het onder poeder lassen een hoge inschakelduur wenst te realiseren door rondgaand te lassen. Hieronder volgt een tweetal voorbeelden van het onder poeder oplassen van transportrollen voor verschillende toepassingen. Er wordt van uitgegaan dat het type op-laslegering middels laboratorium- en praktijk-slijtageproeven is bepaald.

7.2.2 *Oplassen van zogenaamde wikkel- en trekrollen*

Deze rollen bevinden zich in een continue plaatwalserij vlak voor de haspelinstallatie. De wikkelrollen geleiden de gewalste band rond de haspeldoorn tijdens aanvang van het wikkelp proces, terwijl de trekrollen voor een constante spanning op de band zorgen tijdens het wikkelp proces. Deze beide typen rollen zijn derhalve onderworpen aan een schurende slijtage van metaal op metaal. Een bijkomende eis aan de op-laslegering is dat geen deeltjes vanuit de op-lassing in het plaatmateriaal mogen worden gedrukt (zogenaamde pick-up). Deze pick-up leidt onherroepelijk tot afkeur. De afmetingen van de rollen zijn:

- ▶ trekrollen diameter ca. 800 mm, lang ca. 2.800 mm;
- ▶ wikkelrollen diameter ca. 350 mm, lang ca. 2.800 mm.

Uit praktijkproeven is gebleken dat de legering met de volgende richtanalyse de beste resultaten geeft: 0,2% C, 6% Cr, 1,5% Mo en 1,5% W, de hardheid van de neersmelt is circa 45 H Rc.

De op te lassen hoeveelheden zijn: circa 300 kg voor de wikkelrollen en circa 1.200 kg voor de trekrollen. Gezien deze hoeveelheden, gekoppeld aan de afmetingen van de rollen, is het onder poeder oplassen een goede keuze. Daar voldoende tijd beschikbaar is om de rollen op te lassen is gekozen voor het oplassen met een gevulde draad, Ø 4 mm, geleverd in een vat met een inhoud van circa 250 kg. Hierdoor wordt de inschakelduur feitelijk verhoogd, daar de draadwisseltijd sterk wordt gereduceerd. De op te lassen rol ligt op een rolstelling, terwijl de laskop is gemonteerd op een tractor, die parallel aan de hartlijn van een rol kan worden bewogen. Nadat een rups rondgaand is gelast, bedient een nok, gemonteerd aan de rolomtrek, een schakelaar, waardoor de tractor een impuls ontvangt, zodat deze een rupsbreedte opschuift.

Het alternatief, het spiraalsgewijze oplassen van deze rollen, d.w.z. het lassen met een continue langs-beweging van de laskop, vereist een continue kruipsnelheid van de laskop. Bij iedere omwenteling van het proefstuk moet de laskop circa 8 mm opschuiven. Bij een lassnelheid van circa 50 cm/min en een werkstukdiameter van 350 mm, betekent dit dat de kruipsnelheid voor de langs-beweging circa 4 mm/min bedraagt. Voor een rol met een diameter van circa 800 mm bedraagt de kruipsnelheid zelfs slechts 1,5 mm/min.

Deze snelheden zijn dermate laag dat zij niet op een-voudige (goedkope) wijze stabiel te houden zijn. Bij het met een intermitterende langs-beweging lassen met een lassnelheid (= rotatiesnelheid) van circa 50 cm/min kunnen zonder stoppen de circa 200 naast elkaar liggende rupsen continue worden gelast. Dit geeft een lastijd van één volledige laslaag voor een wikkelrol van circa 7 uur en voor een trekrol van circa 16 uur. De lastijd kan nog worden verkort door twee laskoppen op één rol te zetten, zodat elke kop een halve rollengte last. Op deze manier lassen maakt het mogelijk, indien men goede en betrouwbare lasapparaatuur heeft, dat de lasser naast het oplassen van deze rollen nog kleine andere werkzaamheden verricht of zelfs twee rollen tegelijk oplast.

7.3 *Oplassen continugietmachinerollen*

In een continugietinstallatie voor het gieten van plakken bevindt zich een groot aantal rollen, die zorgen voor de geleiding van de stollende plak. Deze rollen zijn onderhevig aan de schurende slijtage bij hoge temperatuur, gepaard met een corrosievorm. De afmetingen van de rollen zijn ca. Ø 380 mm en lang ca. 2.500 mm. Op-laslegeringen bestand tegen de vorm van slijtage en corrosie zijn van het martensitische type met 13 of 18% Cr.

Gezien het grote aantal op te lassen rollen is een proces vereist dat een grote neersmeltsnelheid koppelt aan een goede "automatiseerbaarheid". Tevens dienen re-produceerbare op-lassingen verkregen te worden. Het met band oplassen van deze slijtbestendige op-las-legeringen geeft deze mogelijkheid. Is de keuze van het proces gemaakt, dan moeten nog andere problemen worden overwonnen, zoals:

- ▶ de keuze van de bandmetingen;
- ▶ het vaststellen van de lasprocedure.

Het smeltbad is bij het bandlassen vrij lang: bij een bandafmeting van 60 x 0,5 mm en een stroomsterkte van circa 800 A moet gerekend worden op een lengte van circa 50 mm. Het is daarom logisch dat de toepasbaarheid van rondgaand met band oplassen aan een minimale werkstukdiameter is gebonden bij een bepaalde bandafmeting. Wordt een kleinere band gebruikt, bijvoorbeeld 30 x 0,5 mm, dan ligt de werkstukdiameter lager. Of dan, financieel gezien, het bandop-lassen voordelen biedt, moet dan worden bezien. Wordt hier overwogen spiraalsgewijze te lassen dan moet worden gerekend met een kruipsnelheid van circa 1 cm/min bij een lassnelheid (omtreksnelheid) van circa 20 cm/min, op een diameter van circa 350 mm en een rupsbreedte van circa 70 mm. Bij het oplassen van een rol Ø 800 mm bedraagt, bij een zelfde bandafmeting, de kruipsnelheid circa 0,5 cm/min. Bij kleinere roldiameters kan de tussenlagentemperatuur oplopen tot waarden die voor sommige materialen te hoog zijn.

Bovenstaande overweging heeft geleid tot het op-lassen in lengterichting van de rollen van de continu gietmachine. Bijkomend voordeel van deze werkwijze is, dat een hogere stroomsterkte kan worden toegepast, met als gevolg een hogere neersmeltsnelheid.

Dit oplassen in lengterichting verlaagt wel de procentuele inschakelduur ten opzichte van het spiraalsgewijze of rondgaand lassen, doch laat een grotere bandafmeting en een daarbij bijbehorende hogere stroomsterkte toe.

De apparatuur waarmee in lengterichting wordt opgelast is, ter vermindering van de neventijden, verregaand geautomatiseerd. De werkwijze is als volgt:

- handmatig positioneren van de lasband boven de startplaats en na bediening van de processtartknop vindt de rest van de handelingen automatisch plaats;
- opening poederschuiף;
- na een van te voren ingestelde poedertoevoertijd wordt de boog ontstoken en zal, na vulling van de startkrater, de laskop in lengterichting bewogen worden;
- tijdens het lassen wordt het niet gesmolten laspoeder afgezogen en naar de poedertrechter teruggevoerd. Wordt in deze trechter een minimumniveau bereikt, dan wordt uit een verwarmde voorraadtank, onder persluchtdruk, nieuw poeder aangevoerd;
- na bediening van de instelbare eindschakelaar stopt de langs beweging, vervolgens stopt de poedertoevoer en wordt de eindkrater opgevuld. Na opvulling hiervan stopt de lasstroom en wordt de laskop iets omhoog getrokken en gaat in een ijlgang terug naar de startplaats. Hierna kan de gehele cyclus weer opnieuw worden gestart nadat de op te lassen rol 180° is verdraaid.

Het is op deze manier mogelijk dat een lasser twee laskoppen bedient.

Beide voorbeelden geven aan, dat met behulp van bepaalde aanpassingen een standaard onder poeder lasproces goed kan worden toegepast voor het oplossen van in dit geval cilindrische lichamen, zelfs zodanig goed dat een inschakelduur van circa 80 - 90% kan worden gerealiseerd.

7.4 Toepassing van het onder poeder lassen bij de bouw van offshore constructies

Bij de bouw van offshore constructies speelt de lasstechniek een zeer belangrijke rol. De verschillende lasprocessen worden op daartoe geëigende plaatsen toegepast. Zo worden bijvoorbeeld de knooppunten gelast met beklede elektroden of (gasloze) gevulde draden en worden de leidingssystemen in een dergelijke constructie vaak TIG gelast.

De poten van een platform worden meestal middels het onder poeder proces gelast. Zoals reeds genoemd in de vorige hoofdstukken leent het onder poeder lasproces zich uitstekend voor het mechaniseren van laswerk, waarbij dan tevens hoge neersmeltsnelheden kunnen worden gerealiseerd.

Echter ongelimiteerd hoge hoeveelheden toegevoerde laswarmte kunnen, vanwege de strenge eisen die gesteld worden aan de totale verbinding, vaak niet worden toegepast, daar de laswarmte de zone direct naast de las ongunstig kan beïnvloeden. In dit voorbeeld wordt de toepassing van het onder poeder lassen bij de bouw van offshore componenten besproken.

Voor offshore constructies wordt veelvuldig staal type S355J2 met de volgende richtanalyse gebruikt (geldt voor een dikte boven 40 mm) C: max. 0,22%, Mn: max. 1,60 %, Si: max. 0,55%, P: max. 0,040%, S: max. 0,045%, N: max. 0,09%.

De vloeigrens van een dergelijk staal bedraagt voor een wanddikte van 40 mm minimaal 335 N/mm². Daarnaast geldt als kerftaaiheidseis minimaal 27 J bij -20°C.

Uiteraard moet het lasmateriaal minimaal dezelfde vloeigrens hebben als het basismateriaal. Bij voorkeur wordt een lastoevoegmateriaal toegepast dat een iets hogere vloeigrens bezit (overmatching). Aanvullend worden kerftaaiheden geëist van 30 (40) J bij -40°C (of -50°C).

Naast de algemeen gebruikelijke mechanische eisen (kerfslagproef, trekproef, buigproef) wordt een aanvullende breuktaaiheidsoeproeving geëist, de zogenaamde CTOD-test (crack tip opening displacement). De eisen dienen te worden gerealiseerd in "als gelaste" alsook "spanningsarm" gegloeide toestand. De verkregen CTOD-waarde na spanningsarm gloeien is in vrijwel alle gevallen lager dan in de "als gelaste" toestand; dit in verband met het verlagen van het niveau van de inwendige spanningen.

Gezien de bovenstaande eisen wordt een ongelegeerde of een met nikkel gelegeerde massieve lasdraad toegepast, in combinatie met een geagglomereerd basisch laspoeder. In tabel 14 worden van de toe te passen lasdraden de chemische richtanalyses weergegeven.

tabel 14 Chemische richtanalyses van de toe te passen lasdraden

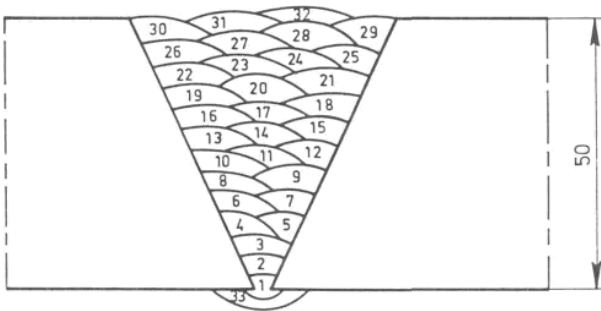
Codering	C	Mn	Si	P	S	Ni
S3Si	0,09	1,7	0,25	0,007	0,006	
S3Ni1	0,10	1,55	0,23	0,008	0,009	0,9

Het laspoeder moet, in verband met de hoge taaiheidseisen, hoog basisch en weinig hygroscopisch (weinig vochtgevoelig) zijn. Worden bovenstaande draden met het basische poeder verlast, dan kunnen die eigenschappen worden gerealiseerd zoals in tabel 15 weergegeven.

tabel 15 Eigenschappen bij het verlassen van de draden uit tabel 14 met basisch poeder

type draad	warmtebehandeling	mechanische eigenschappen			kerftaaiheid (ISO-V) bij °C			
		treksterkte (N/mm ²)	vloeigrens (N/mm ²)	rek (%)	-20	-40	-60	-80
C-Mn	nee	550	490	27	160	160	60	-
	ja	540	480	28	160	120	80	-
C-Mn-Ni	nee	550	480	25	140	120	90	35
	ja	550	480	25	125	110	80	35

Bovenstaande resultaten kunnen zowel met het enkeldraads onder poeder lassen, alsook met het tandemlassen worden gerealiseerd. Zie voor een veel gebruikte procedure figuur 54.



figuur 54 Een veelgebruikte procedure voor het lassen
Laspositie: PA
Voorwarmtemperatuur: 100°C
Tussenlagentemperatuur: 250°C max.

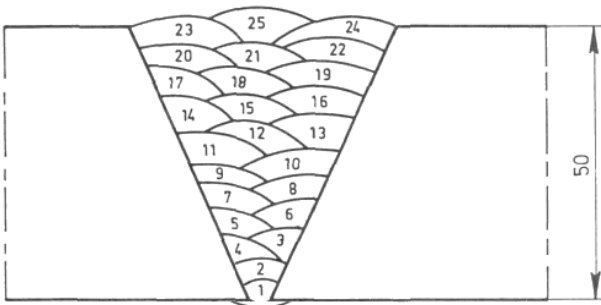
In tabel 16 wordt weergegeven hoe de naad wordt gelast.

tabel 16 De lasvolgorde van de naad van figuur 54

lasrupsnummer	lasproces	draaddiameter (mm)	stroomsterkte (A)	boogspanning (V)	lassnelheid (mm/min)	warmte-inbreng (kJ/mm)
1	MAG	1,2	290	26	–	–
2	OP	4	500	29	500	1,7
3	OP	4	500	30	450	2,0
4-32	OP	4	600	32	450	2,6
33	OP	4	650	32	450	2,8

Opgemerkt wordt dat rups 33 een tegenlaag is, die wordt gelast met een microgelegeerde lasdraad. Hiermee wordt bereikt dat deze rups, ondanks dat hij niet wordt gegloeid, een goede taaiheid verkrijgt.

Een andere procedure wordt gegeven in figuur 55.



figuur 55 Een andere mogelijke procedure voor het lassen
Laspositie: PA
Voorwarmtemperatuur: 100°C
Tussenlagentemperatuur: 200°C max.

In tabel 17 wordt weergegeven hoe deze naad wordt gelast.

tabel 17 De lasvolgorde van de naad van figuur 55

lasrupsnummer	lasproces	draaddiameter (mm)	stroomsterkte (A)		boogspanning (V)		lassnelheid (cm/min)	warmte-inbreng (kJ/mm)
			DC	AC	DC	AC		
1	MAG	0,8	220	–	24	–	–	–
2	OP	4	400	–	29	–	40	1,74
3-9	OP	4	550	–	30	–	44	2,25
10-22	OP	4 + 4	600	650	32	34	55	4,41
23-25	OP	4 + 4	575	575	32	34	55	4,15
26	OP	4	650	–	34	–	55	2,4

Ook hier wordt een enkele tegenlaag gelast, nummer 26; hierbij wordt ook een microgelegeerde lasdraad toegepast.

Hoofdstuk 8

Economische aspecten van het onder poeder lassen

Met de economische aspecten van het lassen worden in het algemeen de factoren bedoeld, die de laskosten beïnvloeden. Om met succes en tegen minimale kosten te kunnen lassen, gelden de volgende regels:

- ▶ het werkstuk moet op voorhand als lasconstructie worden ontworpen;
- ▶ de naadinhoud moet zo klein mogelijk zijn;
- ▶ de neersmelt moet zo hoog mogelijk zijn, d.w.z. de benodigde hoeveelheid lasmetaal moet in een zo kort mogelijke tijd worden neergesmolten;
- ▶ de kwaliteit van de lassen moet zodanig zijn, dat zo weinig mogelijk moet worden gerepareerd.

Het beperken van de laskosten begint al op de tekenkamer, waar men in overleg met de lasspecialist en de werkplaats tot een verantwoorde lasconstructie, lasnaadvorm en lasvolgorde moet komen. Deze regels houden echter in dat de werkplaats zodanig moet worden ingericht, met zowel lasapparatuur als hulpapparatuur, dat het lassen in de kortst mogelijke tijd kan plaats vinden.

Laskosten kunnen als volgt worden onderverdeeld:

- ▶ directe kosten, bestaande uit kosten van het toevoegmateriaal en arbeidskosten;
- ▶ indirecte kosten, bestaande uit rente, onderhoud en afschrijving van las- en hulpapparatuur, opleidingskosten en algemene bedrijfskosten, die overigens ook in de arbeidskosten kunnen worden ondergebracht.

Vroeger was het gebruikelijk dat laskosten werden uitgedrukt in euro's per uur. Een beter inzicht in de laskosten wordt echter verkregen door deze uit te drukken in euro's per kg neergesmolten lasmetaal, of in euro's per meter laslengte. Op deze wijze wordt het effect van neersmeltsnelheid en procentuele inschakelduur (I.D.) op de laskosten onmiddellijk zichtbaar en zijn lasprocessen, of variaties van een bepaald lasproces beter vergelijkbaar. In dit hoofdstuk worden slechts de puur technische factoren besproken die de laskosten beïnvloeden. Deze factoren zijn:

- ▶ de inschakelduur (I.D.);
- ▶ de neersmeltsnelheid;
- ▶ de naadvorm.

8.1 Inschakelduur

Tijdens het uitvoeren van laswerkzaamheden brandt de boog slechts gedurende een gedeelte van de totale tijd. De rest van de tijd wordt gebruikt voor het instellen van apparatuur, voorbereidende werkzaamheden aan het werkstuk, voor het voorverwarmen of voor het handhaven van de tussenlagetemperatuur, enz.. De verhouding van de boogtijd en de totale lastijd, uitgedrukt in procenten, wordt de inschakelduur (I.D.) genoemd. Gemechaniseerde lasprocessen, zoals het onder poeder lassen, waarbij de draad continu mechanisch wordt aangevoerd, zijn in principe geschikt voor het realiseren van hoge inschakelduren. Echter, op kleine laslengten speelt de steltijd bij alle gemechaniseerde processen een overheersende rol, waardoor de inschakelduur daalt. Dit wordt duidelijk gemaakt in § 8.2.

8.2 Neersmeltsnelheid

Onder neersmeltsnelheid wordt verstaan het aantal kg lasmetaal (neersmelt) dat per uur wordt "neergesmolten". De neersmeltsnelheid wordt bepaald door de volgende formule:

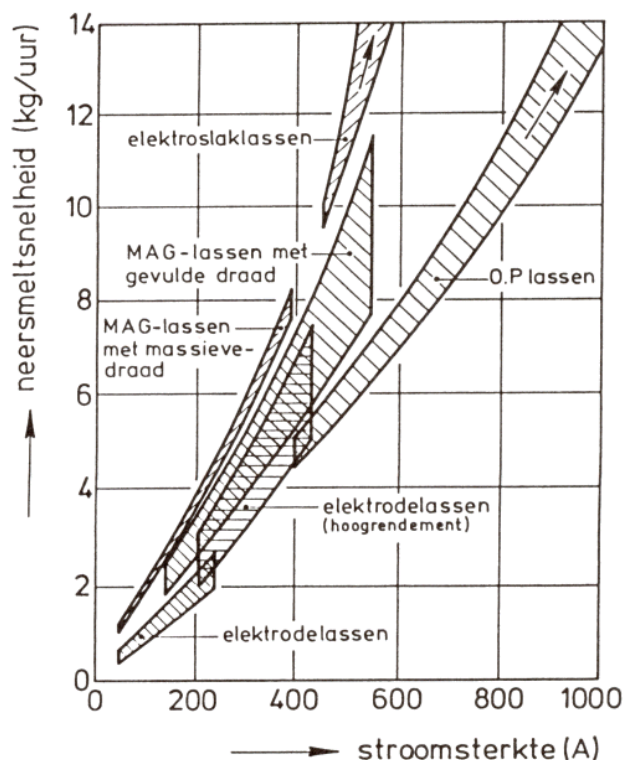
$$\text{neersmelt/uur} = \text{stroomsterkte} \times (\text{neersmelt/A.uur}) \times (\text{inschakelduur}/100)$$

Teneinde zinvolle uitspraken te kunnen doen over de neersmeltsnelheid van het onder poeder lassen is het noodzakelijk, dat dit proces wordt vergeleken met de lasprocessen die in de industrie als alternatieven aanwezig zijn. De belangrijkste hiervan zijn:

- ▶ het lassen met beklede elektroden (ook hoog rendementelektroden);
- ▶ het MAG-proces (massieve en gevulde draad).

Beide processen hebben ten opzichte van het onder poeder lassen het voordeel, dat ze in meer lasposities kunnen worden toegepast en dus flexibeler zijn.

Figuur 56 geeft voor de vergelijkbare lasprocessen de neersmelt bij een inschakelduur van 100%. Ter informatie is ook het elektroslaklasproces in de figuur opgenomen.



figuur 56 Neersmeltsnelheden in kg/uur als functie van de stroomsterkte van verschillende lasprocessen (ID = 100%)

Ruwweg kan worden gesteld dat de neersmeltsnelheid bij 100 % inschakelduur is:

- ▶ 20 gram per 100 A per minuut voor het lassen met beklede elektroden;
- ▶ 30 gram per 100 A per minuut voor het lassen met MAG lassen met massieve alsook gevulde draad en het onder poeder lassen.

Voor de verschillende processen zijn nauwelijks vaste getallen te noemen voor de inschakelduur. De inschakelduur is sterk afhankelijk van de gehele organisatie

van een bedrijf en zal daarom van bedrijf tot bedrijf per proces verschillen. In het algemeen kan echter worden gesteld dat het handlassen met beklede elektroden de laagste inschakelduur met zich meebrengt, omdat de lasser behalve het onderhouden van de boog, naast het persoonlijke onderhoud, nog meer handelingen moet verrichten. De gemechaniseerde processen bieden in dit opzicht grotere mogelijkheden. Zoals eerder opgemerkt, speelt de steltijd bij deze processen een overheersende rol, wanneer het kleine laslengten betreft. Dit wordt duidelijk gemaakt aan de hand van het volgende voorbeeld.

Stel dat er een lasnaad moet worden gevuld met het onder poeder proces. De toe te passen lasstroom is 500 A, de naadinhoud is 5 kg/m en de totale steltijd bedraagt 1 uur. De neersmeltsnelheid bedraagt 13 g/A.uur, de inschakelduur na het stellen bedraagt 80%. De lastijd voor één meter laslengte wordt:

$$\text{Lastijd/m} = 1 \text{ uur} + \frac{5000 \text{ gr}}{500 \times 13 \text{ g/uur} \times 0,8} = 1 + 0,96 = 1,96 \text{ uur}$$

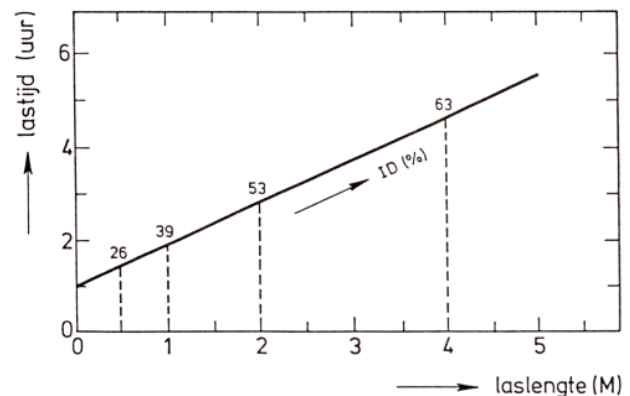
de inschakelduur voor één meter lengte:

$$\frac{0,96 \times 0,8}{1 + 0,96} = 39\%$$

Inschakelduur voor een halve meter laslengte:

$$\frac{0,5 \times 0,96 \times 0,8}{1 + 0,5 \times 0,96} = 26\%$$

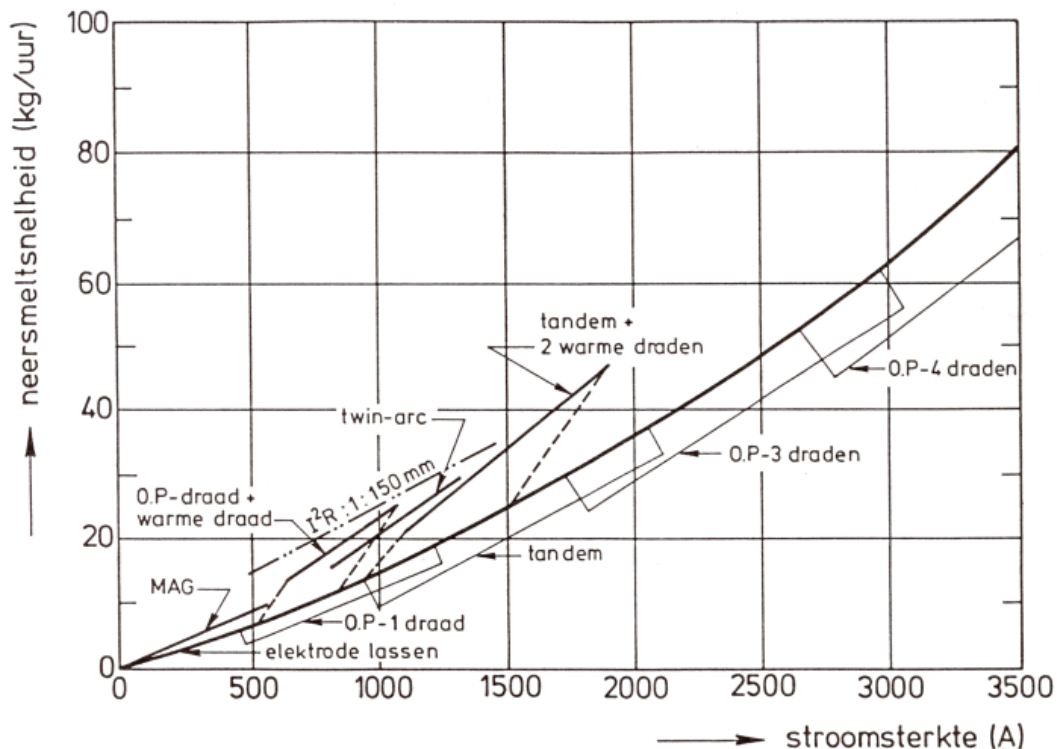
In figuur 57 is het verband tussen de laslengte, de inschakelduur en de totale lastijd grafisch weergegeven.



figuur 57 Verband tussen de laslengte en de totale lastijd. In de figuur is de inschakelduur weergegeven

Uit de formule van de lastijd wordt ook duidelijk dat bij toenemende plaatdikte (= toenemende naadinhoud) de invloed van de steltijd op de totale lastijd afneemt. Bij serieproductie kan door gebruikmaking van inspangereedschap de insteltijd per werkstuk sterk worden verlaagd, waardoor de inschakelduur wordt verhoogd en de totale lastijd wordt verkort. Vooral bij korte laslengten en relatief dik materiaal kan een verdere verlaging van de inschakelduur optreden indien er een maximum tussenlagetemperatuur is voorgeschreven. De tijd die verstrijkt totdat de maximaal toelaatbare temperatuur is bereikt moet als verlies worden meegerekend.

Ter informatie geeft figuur 58 de neersmelt in kg/uur voor de meeste in het vorige hoofdstuk besproken procesvarianten.



figuur 58 Vergelijking van de neersmelt van de meeste onder poeder procesvarianten als functie van de stroomsterkte

8.3 Naadvorm

De invloed van de naadvorm op de laskosten kan eenvoudig worden gezien als de invloed van de naadvorm op de naadinhoud. Het zal duidelijk zijn dat, hoewel een groter naadvolume een positief effect heeft op de inschakelduur, een kleinere naadinhoud steeds het meest economisch is. Het positieve effect van een grote naadinhoud op de inschakelduur duidt er slechts op, dat het toepassen van het onder poeder proces steeds aantrekkelijker wordt naarmate plaatdikte en laslengte toenemen. Figuur 59 geeft de theoretische naadinhoud van de meest toegepaste naad vormen bij het onder poeder lassen als functie van de plaatdikte.

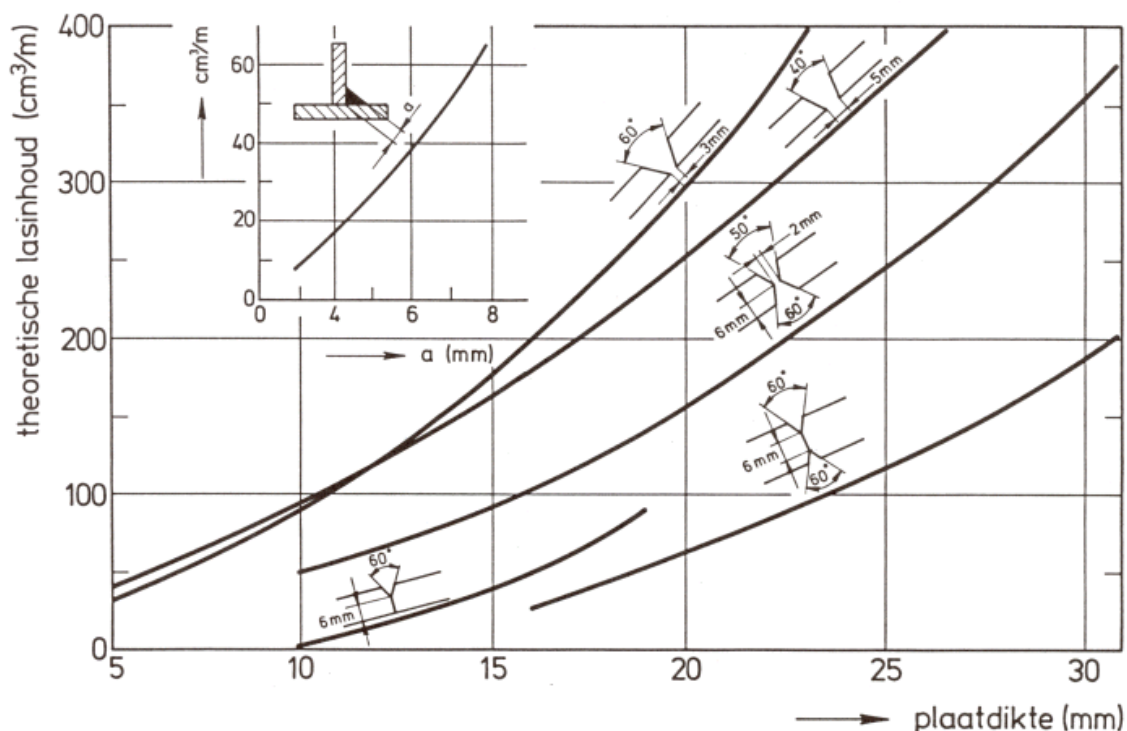
Uit de figuur blijkt onder meer dat X-naden gunstiger zijn dan V-naden. De I-naad is niet in de figuur opgenomen, omdat de theoretische naadinhoud hiervan gelijk is aan nul (geen vooropening!) bij de normaal toegepaste plaatdikten. De figuur kan nuttig zijn voor het maken van kostprijsberekeningen.

Uit het voorgaande is duidelijk geworden dat, wil men vergelijkenderwijs uitspraken kunnen doen over de kostprijs van enkele alternatieven voor een bepaalde toepassing, het nuttig is om de kostprijs uit te drukken in euro's per meter laslengte of per kg neergesmolten lasmetaal.

Indien de kostprijs wordt uitgedrukt in euro's per meter, kunnen invloeden van de naadvorm en van verschillende processen worden vergeleken voor een bepaalde plaatdikte. Met de kostprijs per kg neergesmolten lasmetaal kunnen allerlei vergelijkingen onafhankelijk van de plaatdikte worden gemaakt.

Opgemerkt wordt dat met het NIL-laskostenrekenprogramma Costcomp® berekeningen kunnen worden uitgevoerd wat de kosten voor een bepaalde naadvorm zijn. Met dit programma, dat bij het NIL verkrijgbaar

is, kunnen combinaties van meerdere processen worden ingevoerd. Figuur 60 geeft een voorbeeld van een schermbeeld, waarin duidelijk twee kolommen kunnen worden herkend, beide een ander lasproces weergevend. Het betreft een laskostenvergelijking tussen het lassen onder poeder (SAW) en het lassen met gevulde draad (MAG FC) voor het maken van een hoeklas met a-hoogte van 8 mm.



figuur 59 De naadinhoud van de bij het onder poeder lassen toegepaste lasnaadvormen als functie van de plaatdikte

COSTCOMP® - SNr: 5.0.0104.3501 - [COSTCOMP.SES]						
Bestand Vergelijk Eigenschappen Lasnaad Set up Help						
Met gebruikmaking van vooraf gedefinieerde data					SAW 4.0 mm	MAG FC 1.2 mm
					74,5 mm²	74,5 mm²
Neersmeltsnelheid	kg/h				5,59	6,07
Kosten per kg poeder of m³ gas	€				2,60	3,80
Kosten voor 1000 elektrodes of kg draad	€				2,50	3,20
Uurtarief (zonder apparatuur overhead)	€				50,00	50,00
Uren per jaar	h				1500	1500
Inschakelduur	%				40	28
Hoeveelheid werk onder keur	%				100	100
Afkeur percentage	%				1	1
Totale investeringen	k€				35,000	7,000
Rente	%				8	8
Afschrijftermijn	yr				5	5
Totale kosten per jaar					97,759	100,861
Neergesmolten lasmetaal per jaar					3317,53	2525,98
Gewicht per meter					0,59	0,59
Totale kosten per kg lasmetaal					29,47	39,93
Percentage van de totale las					100	100
Kosten voor dit gebied (per meter)					17,24	23,36
Totale kosten voor deze las (per meter)					17,24	23,36
Productiviteit					2,21	1,68
c:\...lml.lan -- c:\...lcc2006.dat -- c:\...lccostcomp.ses					NUM	SCR
					CAP	2006-11-16#13:13

figuur 60 Schermbeeld uit het laskostenrekenprogramma 'Costcomp'

Hoofdstuk 9

Oorzaken en preventie van lasonvolkomenheden

Evenals bij andere lasprocessen, kunnen bij het onder poeder lassen lasonvolkomenheden ontstaan. De aard van het lasproces bepaalt in zekere mate welke onvolkomenheden in een las kunnen voorkomen, maar ook welke onvolkomenheden nauwelijks te verwachten zijn. Kennis over het ontstaan van deze onvolkomenheden kan ertoe bijdragen de laskwaliteit te verbeteren en de reparatiekosten te beperken. Hoewel lasonvolkomenheden in principe altijd vermeden dienen te worden, kan worden gesteld, dat de aanwezigheid van één of meer ervan niet altijd behoeft te betekenen dat de lasverbinding zal falen. Lasonvolkomenheden moeten altijd in samenhang worden gezien met de eisen die aan de gehele constructie worden gesteld.

Hierna worden de onvolkomenheden besproken, die in principe bij het onder poeder lassen kunnen voorkomen. Daar waar de onvolkomenheid typerend is voor het onder poeder lassen is dit aangegeven. De meeste hier genoemde onvolkomenheden kunnen echter bij meer (boog)lasprocessen ontstaan. Bij elke onvolkomenheid is aangegeven welke oorzaken hieraan ten grondslag kunnen liggen en welke maatregelen kunnen worden genomen om deze te vermijden.

9.1 Poreusheid

In het algemeen neemt de oplosbaarheid van een gas in een metaal of een metaallegering sprongsgewijs af tijdens het overgaan van de vloeibare naar de vaste fase. Bij de stolling kunnen zich daarom gasbellen vormen, die bij relatief snelle afkoeling als poriën in het lasmetaal achterblijven. De gassen die poreusheid in het onder poeder lasmetaal kunnen veroorzaken, zijn: koolmonoxide, stikstof en (in mindere mate) waterstof. De gassen kunnen afkomstig zijn uit:

- ▶ de atmosfeer, direct (stikstof) of indirect;
- ▶ vochtopname door het laspoeder waaruit waterstof wordt gevormd;
- ▶ kristalwater in roestlagen, walshuid,
- ▶ primer/verfsystemen, vet, enz., waaruit waterstof wordt gevormd;
- ▶ vocht afzetting uit de slak en de stofaanslag ter plaatse van met basische beklede elektroden uitgevoerde hechten;
- ▶ metallurgische reacties in het lasmetaal. Als het zuurstofaanbod uit het laspoeder (slak) hoog is ten opzichte van de hoeveelheid desoxidanten, kan koolmonoxide worden gevormd;
- ▶ condenswater, dat op het werkstuk neerslaat tijdens het lassen, kan leiden tot vocht opname door het laspoeder.

De poriën kunnen voorkomen als afzonderlijke, onafhankelijke met gas gevulde holten of in rijen van samenhangende poriën, nesten van poriën of als gaskanalen. Naast de invloed van bovengenoemde factoren kan poreusheid ook in combinatie optreden met blaaswerking, of worden bevorderd door ongunstige lasparameters.

Ter vermindering van poreusheid kunnen de volgende maatregelen worden getroffen:

- ▶ kiezen van de juiste draad-poeder combinatie en van de juiste kwaliteit van de met de hand gelaste ondersteuningslagen;
- ▶ laspoeder droog opslaan en, indien nodig, drogen volgens voorschrift van de fabrikant;
- ▶ laskanten en directe omgeving ontdoen van roest, verf, vet en eventueel drogen;
- ▶ de te lassen delen niet te lang in de gehechte toestand laten liggen; bij eventuele roestvorming kunnen de rechte kanten van I- en Y-naden niet meer gereinigd worden;
- ▶ licht voorwarmen van de platen om condensvorming te voorkomen; (ca. 25°C).
- ▶ lasspanning en poederstorthoogte zo klein mogelijk houden (boog mag echter niet door poederlaag slaan);
- ▶ bij blaaswerking de massaklem zo plaatsen (eventueel splitsen) dat de boog naar voren "blaast" (van de klem af lassen);
- ▶ stroomsterkte verhogen of langzamer lassen (heter lasmetaal ontgast beter).

Een typisch verschijnsel van het onder poeder lassen is het optreden van gasdeuken of blutsen in het bovenoppervlak van een lasrups (figuur 61).



figuur 61 Gasdeuken op het naadoppervlak

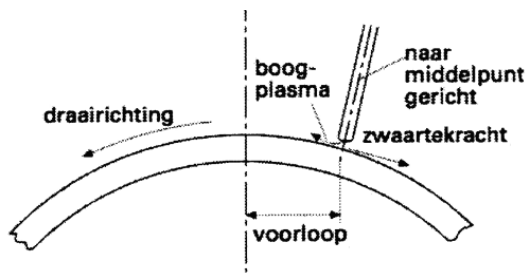
Deze gasdeuken worden meestal veroorzaakt door conservering of conserveringsresten naast de laskant. Indien gasbellen moeilijk door de slak heen kunnen verdwijnen en zich vasthechten op het grensvlak tussen lasmetaal en slak, ontstaan er tijdens stolling deuken in het oppervlak. Vooral bij gebruik van basische laspoeders kunnen gasdeuken optreden. Gasdeuken zijn geen poriën en beïnvloeden slechts het lasuiterlijk en zijn als zodanig niet als lasonvolkomenheid te kenmerken.

9.2 Slakinsluitingen

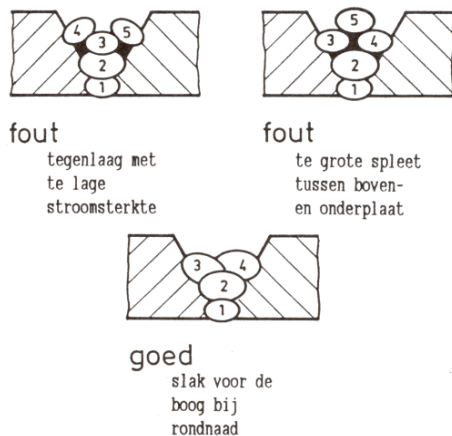
Slakinsluitingen kunnen in principe bij alle booglasprocessen ontstaan, waarbij slak als afdekking van het vloeibare metaal wordt gebruikt of waarbij slak tijdens het lassen wordt gevormd. De insluitingen kunnen ontstaan bij het onoordeelkundig opbouwen van opeenvolgende lasrupsen. De vloeibare slak heeft de neiging in nauwe spleten te kruipen. Ook kunnen zich poederresten in deze spleten verzamelen. Spleten kunnen ontstaan tussen een te bol uitgevoerde las en een naadflank of tussen twee naast elkaar liggende lasrupsen. Indien de situatie niet door middel van slijpen en/of gutsen wordt gecorrigeerd, kunnen bij het aanbrengen van een volgende laag slakinsluitingen ontstaan.

Een tweede oorzaak voor het ontstaan van slakinsluitingen is het voor de boog lopen van de slak. Dit kan worden veroorzaakt door een te lage voortloopsnelheid of bij het lassen "van de helling af" (rondnaden lassen). Figuur 62 geeft aan hoe bij rondgaand lassen de positie van de lasdraad is.

Figuur 63 toont typische voorbeelden van slakinsluitingen.



figuur 62 Positie laskop bij het rondgaand lassen



figuur 63 Typische voorbeelden van slakinsluitingen

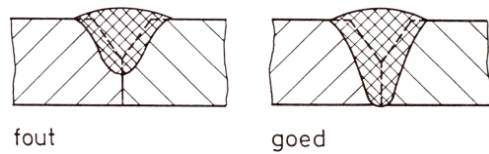
Om slakinsluitingen te voorkomen kunnen de volgende maatregelen worden genomen:

- spleten tussen laslagen onderling en tussen laslagen en naadflanken vermijden;
- hoeklassen zoveel mogelijk "in het gootje" (positie PA) lassen;
- bij stompe verbindingen in het algemeen de spanning verhogen, de stroomsterkte en de lassnelheid verlagen (voorkomen van bolle lasrupsen);
- bij smalle naden een lagere spanning kiezen, eventueel ook de stroomsterkte verlagen;
- bij rondnaden "tegen de helling op" lassen, eventueel de lassnelheid verhogen (bad achter de boog houden).

9.3 Onvolkomen doorlassing

Stompe lasverbindingen (verbindingen waarbij de las over de volle plaatdikte aanwezig moet zijn) kunnen worden verdeeld in één- en tweezijdig toegankelijke naadvormen. Bij eenzijdig toegankelijke naadvormen zal de grondlaag (eerste laslaag) zodanig moeten worden aangebracht, dat de las aan de niet-toegankelijke zijde tenminste gelijk ligt met het plaatoppervlak. Veiligheidshalve verkiest men een lasvorm die licht bollend buiten het plaatoppervlak steekt. De al dan niet zichtbare onderzijde van de grondlaag wordt de doorlassing genoemd. Indien de las zodanig is uitgevoerd dat gedeelten van de naadvoorbewerking niet zijn omgesmolten (met het blote oog waarneembaar) spreekt men van een onvoldoende doorlassing.

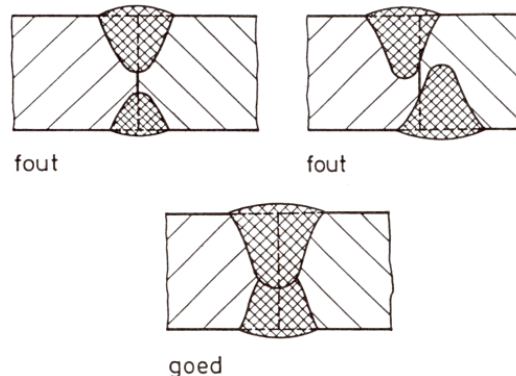
Figuur 64 geeft een voorbeeld van een onvolkomen en een goed doorgelaste Y-naad.



figuur 64 Een onvolkomen en een goed doorgelaste Y-naad

Bij tweezijdig toegankelijke stompe naadvormen, die, nadat de ene zijde is gelast, worden gekeerd en tegen-gelast (I-naad), bestaat het risico, dat beide lassen elkaar niet raken in het hart van de plaat, zodat ook hier rechte gedeelten van de naadvoorbewerking achterblijven. Hier spreekt men eveneens van een onvolkomen doorlassing.

De oorzaak dat beide lassen elkaar niet raken kan zijn dat bij één of beide lassen de lasstroom te laag was, of aan één of beide kanten de naad niet goed is gevolgd (bijvoorbeeld door een verkeerd gepositioneerde richtkijker). Figuur 65 laat dit zien.



figuur 65 Twee voorbeelden van niet goed doorgelaste en van een goed doorgelaste I-naad

Ook het toepassen van te korte, of slecht aan de te lassen platen gelaste inlooppunten, kan tot een dergelijk beeld leiden. Het verspringen van twee tegenover elkaar gelegen lassen, zoals is voorgesteld in de middelste figuur, wordt bij het onder poeder lassen in de hand gewerkt, doordat de poederlaag de naad afdekt en de bedieningsman daardoor problemen kan krijgen met de positionering van de boog. Het verschijnsel kan ook worden veroorzaakt doordat de draad scheef uit het mondstuk loopt als gevolg van een slecht afgestelde strekinrichting of door blaaswerking.

Een foute doorlassing kan gepaard gaan met andere lasonvolkomenheden zoals: poreusheid, bindingsfouten, inkartelingen, enz..

Om doorlasfouten te voorkomen bij het onder poeder lassen, kunnen de volgende maatregelen worden genomen:

- stroomsterkte verhogen;
- eventueel lassnelheid aanpassen;
- naadvolgsysteem verbeteren;
- draad richten en strekken;
- laskop haaks op het werkstuk richten;
- de in/uitloopplaten volledig aflassen;
- in/uitloopplaten van voldoende afmetingen toepassen (minimaal 100 x 150 mm).

9.4 Bindingsfouten

Wanneer een gelast snoer niet is samengesmolten met het aangrenzende of onderliggende metaal en hiermee dus geen binding heeft, spreekt men van een bindingsfout.

Bindingsfouten kunnen voorkomen bij startposities, bij de kanten van de lasnaad en tussen twee aan elkaar grenzende lassnoeren. Evenals onvoldoende doorlassingen en scheuren, behoren bindingsfouten tot de vlakke fouten, die de lasdoorsnede aanzienlijk kunnen verzwakken.

Bovendien kunnen de spanningen aan het einde van dergelijke fouten zeer hoog oplopen. Bindingsfouten zullen bij het onder poeder lassen zelden worden aangetroffen, omdat de hoge stroomsterkte over het algemeen een goede inbranding waarborgt.

Indien zich bindingsfouten voordoen, kan de oplossing worden gezocht in het volgende:

- ▶ indien mogelijk de laspositie zo wijzigen, dat meer "tegen de helling op" kan worden gelast;
- ▶ stroomsterkte verhogen;
- ▶ lassnelheid verhogen;
- ▶ nauwkeurig de plaats voor elke lasrups bepalen ten opzichte van de naadflanken en eerder gelegde lasrupsen;
- ▶ spanning aanpassen om minder bolle lasrupsen te verkrijgen;
- ▶ massaklem zo plaatsen dat blaaswerking wordt tegengegaan.

9.5 Scheuren in de las of directe omgeving

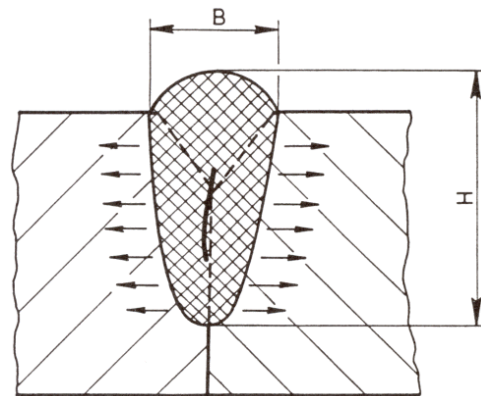
Evenals bij andere lasprocessen, kunnen bij het onder poeder lassen scheuren ontstaan, zowel in de las (warmscheuren) als in de directe omgeving daarvan, de warmte beïnvloede zone (koudscheuren).

9.5.1 Warscheuren

Warmscheuren kunnen worden verdeeld in twee typen, namelijk smeltscheuren en stolscheuren. Zij treden op, zoals de naam reeds zegt, bij hoge temperatuur en wel tijdens het stollen.

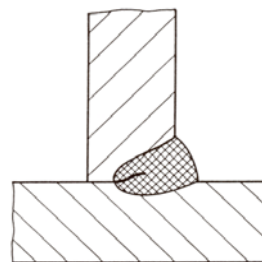
Smeltscheuren ontstaan in de regel als een materiaal een (lang) stoltraject heeft en een sterke neiging tot segregatie heeft. Verontreinigingen die in het vloeibare lasmetaal aanwezig zijn, worden voor het stolfront uitgedreven en vormen in het laatste stadium van de stolling "vloeistoffilms" om de reeds gestolde kristallen. Deze vloeistoffilms hebben een lager stolpunt dan overeenkomt met de oorspronkelijke samenstelling. De "vloeistoffilms" kunnen de krimpkrachten die op de las werken niet opnemen en er zullen ter plaatse scheuren ontstaan.

Een stolscheur ontstaat, doordat tijdens het stollen van een smalle en diepe lasrups de stengelkristallen (dendrieten genaamd en die groeien tegen de richting van de grootste warmte-afgifte in), met de toppen tegen elkaar stuiten. Hierdoor hebben zij onvoldoende sterkte om de krimpspanning die tijdens stollen optreedt te weerstaan. Dit type scheur ontstaat vooral als de hoogte/breedte-verhouding van de lasrups ongunstig is (hoogte groter dan breedte). Figuur 66 geeft schematisch een H/B-scheur weer.



figuur 66 Schematische weergave van een H/B-scheur in de las

Hoewel niet elke scheur in het lasmetaal per definitie een warscheur behoeft te zijn, is het ontstaansmechanisme meestal verwant met dat van een warscheur. Een ongunstige spanningssituatie op de kritieke plaats kan aanleiding geven tot scheuring van het lasmetaal. Een voorbeeld hiervan is een "wortelscheur" zoals afgebeeld in figuur 67. In deze figuur is de scheur in een hoeklas weergegeven. Een wortelscheur kan natuurlijk ook bij een andere naadvorm optreden.



figuur 67 Wortelscheur ontstaan door een te kleine hoek tussen lasdraad en doorlopende plaat. Ter plaatse van de spleet heerst een spanningspiek

In het algemeen kan worden gesteld dat tijdens het onder poeder lassen aan een plaatveld geen andere werkzaamheden moeten worden verricht die leiden tot trillingen in het materiaal. Evenals losspringende hechten kan dit namelijk oorzaak zijn van zeer lokale verplaatsingen en/of spanningen, resulterende in warscheuren. Ter voorkoming van "warscheuren" kunnen de volgende maatregelen worden genomen:

- ▶ boogspanning aanpassen;
- ▶ vorm van de lasdoorsnede verbeteren, d.w.z. H/B-verhouding aanpassen: $H/B < 1$;
- ▶ de verbinding tussen het Mn-gehalte en het Si-gehalte van het lasmetaal groter kiezen dan 2: 1;
- ▶ bij hoeklassen moeten een te holle uitvoering van de las en grote spleten tussen beide platen worden vermeden;
- ▶ hechten zodanig uitvoeren dat zij tijdens het lassen niet kunnen scheuren.

9.5.2 Koudscheuren

Bij staalsoorten die hardbaar zijn, kunnen scheuren voorkomen in de warmte-beïnvloede zone en in mindere mate ook in het lasmetaal. Deze vorm van scheuren wordt koudscheuren genoemd. Ze zijn het gevolg

van het gelijktijdig optreden van de volgende vier factoren:

- de aanwezigheid van een brosse hardingsstructuur;
- de aanwezigheid van diffundeerbare waterstof;
- het optreden van trekspanningen;
- temperatuur beneden 200°C.

ad. Brosse hardingsstructuur

Deze ontstaat onder invloed van een relatief snelle afkoeling van de las (afkoeltijd van 800 -500°C in sec) bij een chemische samenstelling die daarvoor gevoelig is. Een materiaal is hardingsgevoelig wanneer het koolstofequivalent (C_{eq}) een waarde van circa 0,40% te boven gaat. Een veel gehanteerde formule voor het koolstofequivalent is die, die in NEN-EN 1011 deel 2 is opgenomen. Deze luidt:

$$C_{eq} = \% C + \frac{\% Mn}{6} + \frac{\% (Cr + Mo + V)}{5} + \frac{\% (Ni + Cu)}{15}$$

Naarmate het koolstofequivalent toeneemt, neemt ook de hardbaarheid toe.

Harde en brosse zones kunnen worden voorkomen door een juiste keuze van het te lassen staal (laag koolstofequivalent), voorwarmen (waardoor de afkoelsnelheid afneemt), aanhouden tussenlagetemperatuur, lassen met een hoge warmte-inbreng.

Ad. Aanwezigheid diffundeerbare waterstof

De aanwezige waterstof diffundeert naar onvolkomenheden in de structuur, recombineert zich daar en kan tot scheuren leiden. Harde zones zijn onvolkomenheden in de structuur. Waterstof kan afkomstig zijn van vocht uit het laspoeder, roest, vet, vuil, omgevinglucht, enz.. Het aanbod aan water(stof) kan worden beperkt door schoon te werken, gedroogde toevoegmaterialen te gebruiken en vuil en roest van de plaatoppervlakken te verwijderen. Na het lassen kan een aanvullende waterstofarm gloeibehandeling worden toegepast (ca. 200°C gedurende twee uur). Hierdoor ontwijkt de waterstof uit het materiaal.

Ad. Aanwezigheid van trekspanningen

Ten gevolge van krimp zullen altijd spanningen in de las ontstaan. Hierbij kan nog onderscheid worden gemaakt of de te lassen delen vrij naar elkaar toe kunnen bewegen onder invloed van de krimp (relatief lage spanningen) of dat de te verbinden delen star ten opzichte van elkaar staan opgesteld, zodat ze niet kunnen toegeven aan de krimpbeweging (relatief hoge spanningen). Met het toepassen van de juiste lasvolgorde, de juiste lasnaadvorm en eventueel het spanningsarmgloeien kunnen de spanningen in de hand worden gehouden.

Wanneer de invloed van één van deze vier factoren kan worden beperkt, zal de kans op het optreden van koudscheuren afnemen.

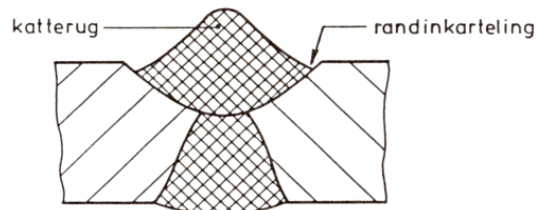
Wanneer tijdens het onder poeder lassen golven in plaatvelden ontstaan, kan het voorkomen dat, in het hoogst gelegen deel, het mondstuk het smeltbad raakt. Hierdoor kan lokaal het lasmetaal met koper gelegeerd worden, hetgeen aanleiding kan zijn tot het ontstaan van dwarsscheuren.

Dergelijke golven in plaatvelden kunnen enigszins worden tegengegaan door de platen met zware blokken aan te drukken.

9.6 Randinkarteling

Van een randinkarteling spreekt men als de direct aan de las grenzende plaat op de aanvloeiing inkartelingen vertoont, die dieper liggen dan het oorspronkelijke plaatoppervlak. Randinkartelingen komen bij alle booglasprocessen voor en ontstaan door een foutieve combinatie van lasparameters of door een verkeerde stand van de lasdraad.

Figuur 68 geeft een schematische voorstelling van een randinkarteling die is ontstaan als gevolg van een te hoge voortloopsnelheid.



figuur 68 Randinkarteling in een stompe lasverbinding

Hoofdstuk 10

Veiligheid en gezondheid

ingedeeld in klasse 1 (de meest gunstige) en zijn de te nemen minimale maatregelen: ruimtelijke ventilatie met een bepaald minimaal debiet dat eveneens uit de praktijkrichtlijn is te destilleren. Voor de lasser zijn geen persoonlijke ademhalings beschermingsmiddelen vereist.

Elektrische veiligheid

Het onder poeder lassen is een elektrisch booglasproces, gekenmerkt door hoge secundaire stroomsterkten (de lasstroomsterkte). Om deze hoge stroomsterkten te realiseren zijn stroombronnen met een over het algemeen hoog primair aansluitvermogen nodig. Hierbij moet men denken aan drie- fasen 400 V gelijkrichters met 63 A primair minimaal. Hieruit volgt al dat aandacht moet worden geschonken aan de primaire aansluiting van de stroombron.

Wat de secundaire zijde betreft zijn er minder gevaren dan bij de andere booglasprocessen. Dit komt, doordat de lasser het proces bedient via een regelkast en de laskop niet met de hand voortbeweegt. Vanwege de hoge lasstroomsterkten moet wel aandacht worden geschonken aan de laskabels en de aansluiting daarvan op zowel stroombron, alsook aan het werkstuk.

Ook moet aan het (periodieke) onderhoud van de lasapparatuur aandacht worden geschonken. Als leidraad kan de norm NEN EN 3140 worden aangehouden. In de NEN 3140 3e druk wordt gesproken over periodieke controle van elektrisch materieel, geïsoleerd handgereedschap, persoonlijke beschermingsmiddelen en verplaatsbare leidingen met een variabele inspectietermijn. Sinds begin 1999 zijn de beleidsregels aangepast en wordt de oude NEN 3140 vervangen door de nieuwe Europese norm NEN-EN 50110-1 met daarin als aanvulling opgenomen de nieuwe NEN 3140 3e druk. Er wordt een variabel inspectietermijn gehanteerd die kan variëren van ¼ jaar tot 12 jaar. Deze inspectietermijn wordt vastgesteld door de "installatieverantwoordelijke" aan de hand van een vragenlijst. Elk antwoord heeft een bepaalde wegingsfactor. Aan de hand van de som van de wegingsfactoren kan, via een grafiek, de tijd tussen twee opvolgende inspecties worden afgelezen voor het betreffende apparaat.

Gezondheid

Het onder poeder proces kan worden gekenmerkt als een proces dat weinig gevaren voor de gezondheid met zich meebrengt. De elektrische boog die naast een fel licht ook warmtestraling, ultraviolette straling en infrarode straling uitzendt, brandt onder een laag poeder. De lasser heeft, bij een goede procesvoering, dan ook nauwelijks last van deze straling. Een persoonlijk beschermingsmiddel in de vorm van donkere lasglazen is dan ook over het algemeen niet nodig.

Ook de emissie van lasrook is minimaal vanwege de afgesloten boog en het metaaltransport dat in de afgesloten boog plaatsvindt. De Praktijkrichtlijn "Beschrijving doeltreffende maatregelen bij blootstelling aan rook en/of gassen afkomstig van lassen en /of verwante processen" geeft aan welke minimale maatregelen genomen moeten worden om de blootstelling aan lasrook voor zowel de lasser zelf alsook de overige werknemers in de werkplaats te beperken. Op de site www.lasrook-online.nl is aanvullende informatie over de emissie van lasrook van de verschillende lasprocessen alsook de beheersmaatregelen te vinden. Ook de praktijkrichtlijn is te downloaden van deze site. Volgens de praktijkrichtlijn is het onder poeder proces

Hoofdstuk 11

Normen

Voor het (onder poeder) lassen zijn de volgende normen van belang:

Normen met betrekking tot lastoevoegmaterialen:

NEN-EN 544: 2003

Lastoevoegmaterialen - Technische leveringsvoorwaarden voor metallische toevoegmaterialen - Soort product, afmetingen, toleranties en markering

NEN-EN 756: 2004

Lastoevoegmaterialen - Draadelektroden, draad-poeder elektroden, gevulde draadelektroden en elektrode-poedercombinaties voor het onder poeder lassen van ongelegeerde en fijnkorrelige staalsoorten - Indeling

NEN-EN 14295: 2003

Lastoevoegmaterialen - Draad- en gevulde draadelektroden en elektrode-poedercombinaties voor het onder poeder lassen van staalsoorten met een hoge sterkte - Indeling

NEN-EN 13479: 2005

Lastoevoegmaterialen - Algemene productnorm voor toevoegmaterialen en poeders voor smeltlassen van metalen

ISO 14171: 2002

Lastoevoegmaterialen - Draadelektroden en draad-poedercombinaties voor het onder poeder lassen van ongelegeerde fijnkorrelige staalsoorten - Indeling

ISO 14343:2002

Lastoevoegmaterialen - Draadelektroden, draad en staven voor booglassen van corrosievaste en hittebestendige staalsoorten - Indeling

NEN-EN 14174: 2004

Lastoevoegmaterialen - Poeders voor onder poeder lassen

NEN-EN 12072: 1999

Lastoevoegmaterialen - Draadelektroden, draad en staaf voor het booglassen van corrosie- en hittevaste staalsoorten - Indeling

NEN-EN 760: 1996

Lastoevoegmaterialen - Poeders voor onder poeder lassen - Indeling

NEN-EN-ISO 18274: 2006

Lastoevoegmaterialen - Draad- en bandelektroden, draden en staven voor smeltlassen van nikkel en nikkellegeringen - Indeling

NEN-EN-ISO 24598 (ontwerp)

Lastoevoegmaterialen - Draadelektroden, gevulde draadelektroden en elektrode-poedercombinaties voor onder poeder lassen van kruipbestendige staalsoorten - Indeling

ISO 14343: 2002 /Amd. 1

Lastoevoegmaterialen - Draadelektroden, draad en staven voor booglassen van corrosievaste en hittebestendige staalsoorten - Indeling - Amendement 1: Toevoeging van stripelektroden voor het onder poeder lassen en elektroslaklassen

Normen met betrekking tot lassymbolen, termen definities en onvolkomenheden:

NEN-ISO 2553: 1994

Las- en soldeerverbindingen - Symbolische weergave op tekeningen

NEN-EN-ISO 4063: 2000

Lassen en verwante processen - Termen voor processen en referentienummers

NEN-EN-ISO 6520-1: 1998

Lassen en verwante processen - Indeling van geometrische onvolkomenheden in metalen - Deel 1: Smeltlassen

NEN-EN-ISO 6947: 1997

Lassen - Lasposities - Definitie van hellings- en rotatiehoek

Normen met betrekking tot het lassen van metalen:

NEN-EN 1011-1: 2002

Lassen - Aanbevelingen voor lassen van metalen - Deel 1: Algemene richtlijnen voor booglassen

NEN-EN 1011 -2: 2003

Lassen - Aanbevelingen voor lassen van metalen - Deel 2: Het lassen van ferritische materialen

NEN-EN 1011 -3: 2004

Lassen - Aanbevelingen voor lassen van metalen - Deel 2: Het lassen van austenitische materialen

Hoofdstuk 12

Geraadpleegde literatuur

- [1] Opleidingsboek "Onder poederdek lassen" - Oerlikon
- [2] Handbuch des Unterpulverschweissens
 Teil I: Verfahren - Einstellpraxis - Geräte - Wirtschaftlichkeit
 Teil II: Schweisszusätze und Schweisspulver
 Teil III: Draht/Pulver-kombinationen für Stähle - Schweissergebnisse - Schweissparameter
 Teil VI: Schweissen mit Bandelektroden
 Muller, P. und Wolff, L., DVS, Düsseldorf
- [3] Boek "Elektrisch booglassen" - Smitweld BV, Nijmegen
- [4] Submerged-arc welding - The Welding Institute, Abington Hall, Abington, Cambridge CB1 6A1
- [5] Handbuch der Schweissverfahren, Teil 1: Lichtbogen Schweissverfahren, Killing, R., DVS, Düsseldorf
- [6] Een overzicht van het onder poederdek lassen - Deel 2: draad en poeder
 K. Bekers - F. Neessen; Lastechniek januari 1995
- [7] Onder poeder lassen - the state of the art - Procesvarianten versus productiviteit
 H. de Goey - H. de Jong; Lastechniek april 2002
- [8] Opleidingsboek "Onder poeder lassen"- Smitweld BV, Nijmegen
- [9] Een digitale stroombron voor het onder poeder lassen: P. Keultjes - J. Hilkes; Lastechniek september 2006
- [10] NIL-lesmateriaal International Welding Technologist (IWT)

Bijlage:**Overzicht kenmerken van het onder poeder lasproces met varianten**

onder poeder lassen						
		ééndraads	tandem	twin	I ² R	gevulde draad
algemeen	procesnummer	121	123	123	121	125
	lasposities	PA, PB	PA	PA	PA	PA, PB
productvorm	plaat	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt
	buis	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt
	complexe vormen	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt
automatiseren	handmatig	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt
	gemechaniseerd	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt
	geschikt voor korte laslengten	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt
materiaal	onlegeerd staal	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt
	metallisch bekleed staal algemeen	geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt
	verzinkt staal	geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt
	gealuminiseerd staal	geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt
	vertind staal	geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt
	vernikkeld staal	geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt
	organisch bekleed staal	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt
	laaggelegeerd staal	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt
	hooggelegeerd staal en RVS	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt
	aluminium	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt
	koper	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt	niet geschikt
	nikkel	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt	geschikt
voeg	toleranties op voorbewerking (mm)	± 1	± 1	± 1	± 1	± 1
	positie toleranties (mm)	± 1	± 1	± 1	± 1	± 1
	verbindingsvorm	stuik-overlap-T	stuik-T	stuik-T	stuik-T	stuik-T
toleranties	dikte bereik (mm)	> 2	> 2	> 2	> 2	> 2
	dikte tolerantie (%)	5	10	10	10	10
	maximale high/low (%)	25	25	25	25	25
apparatuur	verplaatsbaarheid	slecht	slecht	slecht	slecht	slecht
	manipuleerbaarheid	slecht	slecht	slecht	slecht	slecht
kwaliteit	cosmetische aspecten verbinding	matig	matig	matig	matig	matig
	mate van ongewenste vervorming	sterk	sterk	sterk	sterk	sterk
	omvormbaarheid	matig	matig	matig	matig	matig
	reproduceerbaarheid handmatig	matig	niet	niet	niet	niet
	reproduceerbaarheid gemechaniseerd	zeer goed	zeer goed	zeer goed	zeer goed	zeer goed
	voorspelbaarheid	goed	goed	goed	goed	goed
	corrosie eigenschappen verbinding	beter/gelijk basismateriaal	beter/gelijk basismateriaal	beter/gelijk basismateriaal	beter/gelijk basismateriaal	beter/gelijk basismateriaal
	controleerbaarheid	zeer goed	zeer goed	zeer goed	zeer goed	zeer goed
ARBO/milieu	ontstaat er fijnstofemissie tijdens het verbinden?	ja	ja	ja	ja	ja
	treedt er gasemissie op tijdens of na het verbinden?	nee	nee	nee	nee	nee
	treedt er schadelijke geluidemissie op (> 80dBa)	nee	nee	nee	nee	nee
	kan er gevaarlijke straling vrijkomen (UV/IR/Rö)?	ja	ja	ja	ja	ja
	blijft er gevaarlijk afval over na het verbinden?	nee	nee	nee	nee	nee
	klasse in de Praktijkrichtlijn (editie augustus 2006)	I	I	I	I	I



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

Boerhaavelaan 40

Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer

T (079) 353 11 00

F (079) 353 13 65

E alg@fme.nl

I www.fme.nl