

Weerstandlassen

vm 127

VWM

Weerstandlassen

vm 127



Vereniging FME-CWM

vereniging van ondernemingen in de
metaal-, kunststof-, elektronica- en elektrotechnische
industrie en aanverwante sectoren

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/december 2009

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

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

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

Weerstandlassen

toelichting:

Voor u ligt de voorlichtingspublicatie "weerstandlassen". Dit blad is een update van het NIL-voorlichtingsblad "Dunne plaat weerstandlassen" dat in 1987 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 weerstandlassen is geweest, was een aanpassing aan de huidige stand der techniek noodzakelijk.

Het NIMR (Netherlands Institute of Metals Research) inmiddels opererend onder de naam M2i (Materials innovation institute) heeft geld ter beschikking gesteld om deze nieuwe publicatie te laten opstellen en aan te passen aan de stand der techniek. De FME heeft de coördinatie daarvan op zich genomen en voor de aanpassing van de inhoud van deze voorlichtingspublicatie het NIL ingeschakeld.

Op de websites www.dunneplaat-online.nl en www.verbinden-online.nl die in het kader van andere projecten zijn ontwikkeld, is op het gebied van dunne plaat bewerking en verbindingstechnieken een groot aantal publicaties vrij te downloaden (waaronder ook deze publicatie).

De oude voorlichtingspublicatie vormt de basis van deze update, zodat verwijzingen naar geraadpleegde literatuur aanvullend aan de oude publicatie zijn.

samengesteld door:

H. Bodt (NIL).

Als co-lezers hebben opgetreden de heer H. de Jong † (NIL) en mevr. G. van Krieken (NIL).

Eindredactie: P. Boers (FME).

technische informatie:

Nederlands Instituut voor Lastechniek

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

informatie over en bestelling van technische voorlichtingspublicaties (VM, TI, PA):

Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

- | | |
|-------------------------|--|
| - bezoekadres | Boerhaavelaan 40, Zoetermeer |
| - correspondentie-adres | Postbus 190, 2700 AD ZOETERMEER |
| - telefoon | 079 - 353 11 00 |
| - telefax | 079 - 353 13 65 |
| - e-mail | info@fme.nl |
| - website | www.fme.nl |

Inhoud

1 Inleiding	5	7 Weerstandlaselektroden	25
2 Beschrijving puntlasproces	6	7.1 Functie van laselektroden	25
2.1 principe puntlasproces	6	7.2 Materiaal van laselektroden	25
2.2 Omstandigheden tijdens vorming van de laslens	7	7.3 Vormtypen en afmetingen van laselektroden	25
2.3 De lasparameters en laslensdiameter	7	7.3.1 Algemeen	25
2.3.1 De lasstroom	8	7.3.2 Elektroden voor puntlassen	25
2.3.2 De aandrukkraft van de elektroden en de diameter van de elektrodepunt (contactvlak)	8	7.3.3 Elektroden voor projectielassen	30
2.3.3 De lastijd	9	7.3.4 Elektroden voor rolnaadlassen	31
2.3.4 Combinatie van lasstroom, aandrukkraft en lastijd	9	7.4 Onderhoud laselektroden	31
2.3.5 De voordruk- en nadruktijd	10	7.5 Normen laselektroden	31
2.3.6 Up slope en down slope	10	8 Constructieve aspecten van puntlasverbindingen	32
2.4 De lasparameters en materiaaleigenschappen	10	8.1 Algemeen	32
2.5 Lasbaarheid	10	8.2 Ontwerp en lasbaarheid	33
2.6 Varianten op "tweezijdig enkelpunt lassen"	12	8.3 Bepaling ontwerpgegevens op grond van sterkteberekeningen	34
3 Beschrijving andere weerstandlasprocessen	13	8.3.1 Bepaling ontwerpgegevens in geval van statische afschuifbelasting	34
3.1 Doordruklassen of projectielassen; verschillen met puntlassen	13	8.3.2 Bepaling ontwerpgegevens in geval van dynamische afschuifbelasting	36
3.2 Rolnaadlassen; verschillen met puntlassen	14	8.3.3 Bepaling ontwerpgegevens in geval van (kop-) trekbelasting	36
3.3 Afbrandstuiklassen	15	9 Kwaliteit van weerstandlassen	37
3.4 Stuiklassen	15	9.1 Kwaliteitseisen en kwaliteitskenmerken	37
4 Weerstandlasmachines en hun regeling	16	9.2 Kwaliteitscontrolemethoden	38
4.1 Principe weerstandlasmachine	16	9.2.1 Algemeen	38
4.2 Mechanisch gedeelte van de weerstandlasmachine	16	9.2.2 Mechanisch technologische beproevingen	38
4.2.1 Machine-typen	16	9.2.3 Het metallografisch onderzoek	40
4.2.2 Wijze van aanbrengen aandrukkraft	17	9.2.4 De procescontrolemethoden	40
4.3 Elektrisch gedeelte van de weerstandlasmachine	17	9.2.5 Hoe beheersen wij de kwaliteit van de lasverbinding?	41
4.3.1 Lastransformator	17	10 Instellen van de lasmachine	43
4.3.2 Regel- en schakelapparatuur	18	10.1 De van belang zijnde lasparameters en hun toleranties	43
4.3.3 Het vermogen van een weerstandlasmachine	19	10.2 Proefondervindelijke bepaling van de tolerantiegebieden voor de lasparameters	43
5 Outillage van een weerstandlasmachine	21	10.3 Voorbeeld van een instelprocedure	43
5.1 Elektriciteitsnet	21	10.4 Richtwaarden voor het instellen van lasparameters bij het punt-, projectie- en rolnaadlassen	44
5.2 Koelsysteem	21	11 Lasfouten en hun oorzaken	47
5.3 Persluchtmet	21	12 Het opheffen van machinestoringen	48
6 Het meten van de lasparameters en elektrische weerstanden	22	13 Referenties	50
6.1 Het meten van de lasstroom	22		
6.2 Het meten van de lastijd	22		
6.3 Het meten van de aandrukkraft	22		
6.4 Het meten van elektrische weerstanden	23		

Hoofdstuk 1

Inleiding

Het lasproces

Weerstandlassen is de verzamelnaam voor lasprocessen, waarbij de vereiste warmte wordt opgewekt door middel van elektrische stroom.

De te lassen constructiedelen worden met behulp van twee elektroden op elkaar gedrukt. Via deze elektroden, vervaardigd van een koperlegering, wordt een stroom door de constructiedelen geleid. Als gevolg van de elektrische weerstand wordt elektrische energie, zoals bekend, omgezet in warmte (Joulse warmte). Deze warmte zorgt voor plaatselijk smelten van het constructiemateriaal. Dit smelten en het latere stollen zorgen voor de eigenlijke verbinding. De vorm van de ontstane las is afhankelijk van het soort weerstandlasproces, dat is toegepast.

De belangrijkste weerstandlasprocessen zijn:

- ▶ puntlassen;
- ▶ doordruklassen of projectielassen;
- ▶ rolnaadlassen;
- ▶ afbrandstuiklassen;
- ▶ stuiklassen.

Toepassingsgebied

Van bovengenoemde processen wordt puntlassen het meest toegepast en wel bij materiaaldikten van voornamelijk 0,5 tot 2,0 mm. Vele materialen kunnen worden verbonden door weerstandlassen. Staal in de praktijk nog tot een dikte van circa 20 mm. Alle goed elektrisch geleidende materialen en verder materialen die met een geleidende laag zijn bedekt, zijn redelijk tot goed te weerstandlassen. Materialen met een organische bekleding (bijvoorbeeld gefosfateerd oppervlak) zijn zonder speciale voorzorgsmaatregelen niet lasbaar. Voor het verkrijgen van een goede lasverbinding is de combinatie van materiaalsoort, materiaaldikte (doorsnede) en stroomsterkte (lasmachine) de bepalende factor. De combinatie is afhankelijk van het toegepaste proces. De processen staan bekend als economisch en betrouwbaar en worden zowel voor enkelstuks- als voor massafabricage toegepast, vooral in de:

- ▶ automobielenindustrie;
- ▶ industrie voor huishoudelijke apparatuur;
- ▶ industrie voor elektrotechnische apparatuur;
- ▶ verlichtingsindustrie;
- ▶ radiatorenindustrie;
- ▶ stalenmeubelen industrie;
- ▶ draadwaren industrie;
- ▶ container- en vatenbouw;
- ▶ constructiebouw;
- ▶ civiele bouw;
- ▶ lucht- en ruimtevaart.

Voor- en nadelen van weerstandlassen

Wanneer de voor- en nadelen van het weerstandlassen worden bekeken, dient rekening te worden gehouden met het feit, dat dunne plaat het belangrijkste toepassingsgebied is.

Alternatieve lasprocessen voor dunne plaat zijn o.a.: MIG/MAG-lassen, TIG-lassen, plasmalassen en laserlassen, terwijl ook andere verbindingstechnieken zoals: felsen, klinken, clinchen, schroeven en ook lijmen en solderen, al dan niet in combinatie met weerstandlassen worden toegepast (zie ook de site verbinden op www.dunneplaat-online.nl).

Tegenover deze alternatieve methoden kunnen als **belangrijke voordelen** van het weerstandlassen worden genoemd:

- ▶ hoge lassnelheden mogelijk;
- ▶ vrij lage directe laskosten;
- ▶ grote toepassingsmogelijkheden (veel metalen zijn lasbaar);
- ▶ machines over het algemeen snel om te bouwen voor andere toepassingen;
- ▶ geen speciale handvaardigheid vereist;
- ▶ grote mogelijkheden voor mechanisering en automatisering;
- ▶ vaak geen kostbare hulpgereedschappen/ mallen nodig.

Belangrijke nadelen van het weerstandlasproces zijn:

- ▶ het lasresultaat is voor de meeste toepassingen op geen enkele wijze direct visueel te controleren, terwijl ook de bekende niet-destructieve onderzoekmethoden, zoals ultrasoon en radiografisch onderzoek beperkt toepasbaar zijn;
- ▶ weerstandlasverbindingen vertonen vrijwel altijd spleten, waardoor de corrosiebestendigheid van het product zonder speciale voorzorgsmaatregelen of nabe-handelingen gering is;
- ▶ de lasmachinebediener moet over veel kennis beschikken met betrekking tot het proces;
- ▶ betrekkelijk hoge investeringskosten (de lasmachine).

Doel voorlichtingspublicatie

Deze voorlichtingspublicatie heeft tot doel de lezer een objectief en technisch verantwoord inzicht te verschaffen in de belangrijkste weerstandlasprocessen. Het puntlassen komt daarbij op de eerste plaats. Technische inhoud en leesbaarheid zijn afgestemd op lezers, waarvan de opleiding op middelbaar technisch niveau ligt.

Hierbij is in het bijzonder gedacht aan machine-instellers, lassersbazen, constructeurs, werkvoorbereiders enz., werkzaam in hiervoor genoemde takken van industrie, maar verder ook aan hen, die hun kennis op het gebied van weerstandlassen willen vergroten.

Materie

Behalve aan procesbeschrijvingen wordt aandacht besteed aan weerstandlasmachines en hun regeling, outillage, weerstandlaselektroden, constructieve aspecten van puntlasverbindingen en aan de kwaliteit van weerstandlassen. Praktische zaken zoals instelgegevens, het bepalen van lasparameters en het opheffen van storingen worden eveneens behandeld. Zoals reeds eerder gezegd, wordt de meeste aandacht besteed aan het puntlassen en wel van ongelegeerd staal met een koolstofgehalte $\leq 0,15\%$. Met nadruk wordt vermeld, dat staal met hoge rekgrens hiermee wordt uitgezonderd.

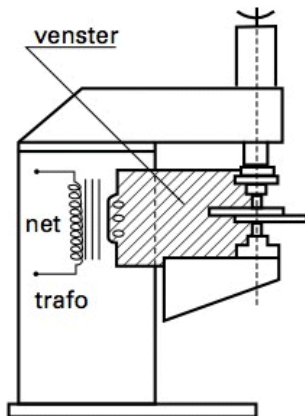
Behalve ongelegeerd staal komen ook roestvast staal en aluminium aan de orde. Voor zover mogelijk zijn aan de hand van de verschillen in fysische eigenschappen, zoals bijvoorbeeld geleidbaarheid, de verschillen in lasbaarheid besproken.

Hoofdstuk 2

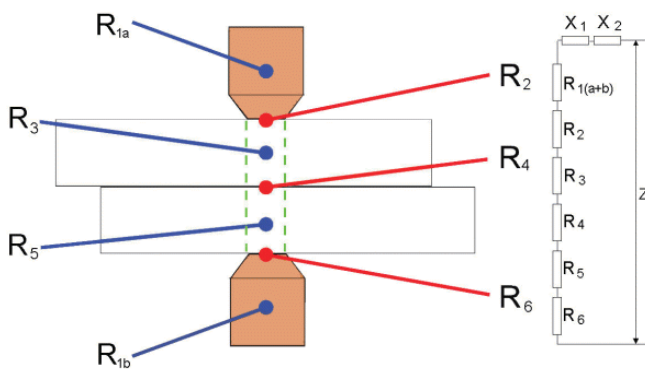
Beschrijving puntlasproces

2.1 Principe puntlasproces

Bij het puntlassen worden de twee (of meer) aan elkaar te lassen werkstukdelen (meestal platen) met een voorgeschreven kracht door middel van twee elektroden op elkaar geklemd. Deze elektroden, van een koperlegering vervaardigd, worden door water gekoeld. Figuur 2.1 geeft de schematische opstelling. De lasstroom, die via de elektroden door de platen wordt gevoerd (zie figuur 2.2 voor een overzicht van de bijbehorende elektrische weerstanden), is meestal wisselstroom met een frequentie van 50 Hz. De waarde I_{eff} van de ingestelde lasstroom kan bij puntlassen liggen tussen enkele kA en circa 100 kA. Onder het "venster" wordt verstaan de door de secundaire stroomkring omvatte oppervlakte doorsnede.



figuur 2.1 Schematische opstelling bij het puntlassen



figuur 2.2 Elektrische weerstanden bij het weerstandlassen

Betekenis symbolen:

- X_1 : Inductieve weerstand secundaire circuit ($X = \omega_w L$)
- X_2 : Inductieve weerstand van werkstukdelen. Gedeelten van deze werkstukdelen bevinden zich in het venster van de machine
- R_1 : Weerstand van de stroomvoerende delen, armen, elektrodehouders, enz.
- R_2 : Overgangsweerstand
- R_3 : Ohmse weerstand van werkstukdeel
- R_4 : Overgangsweerstand
- R_5 : Ohmse weerstand van werkstukdeel
- R_6 : Overgangsweerstand

$$Z = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2} \text{ impedantie of schijnbare weerstand.}$$

Het spanningsverlies over de (Ohmse) weerstand betekent dat elektrische energie wordt omgezet in warmte. De ontwikkelde warmte Q_t is evenredig met het kwadraat van de lasstroom, de totale Ohmse weerstand en de lastijd.

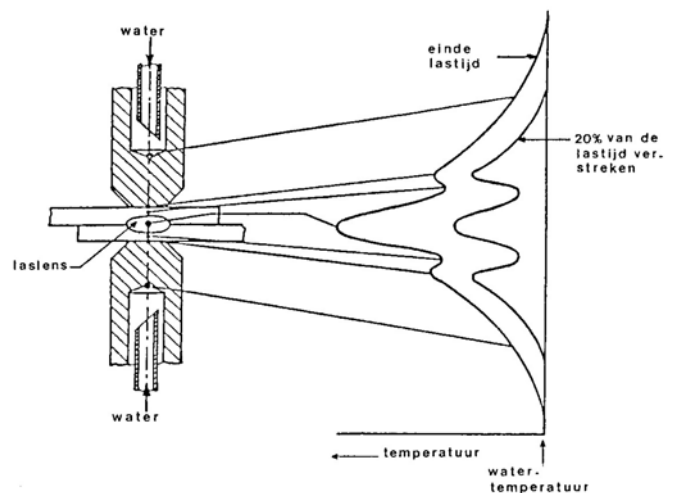
In formule: $Q_t = I^2 \times R_{\text{tot}} \times t$ (Joules)

- I = de sterkte van de lasstroom in Ampère; in geval van wisselstroom is dit de gemiddelde waarde I_{eff}
- R_{tot} = de totale Ohmse weerstand ($\sum R$) in Ohm
- t = de lastijd; de tijd in seconden, gedurende welke de stroom is ingeschakeld

De grootste warmteontwikkeling vindt daar plaats, waar de weerstand het grootst is. Voor de meeste te lassen materialen is de overgangsweerstand R_4 (figuur 2.2) het grootst. Overgangsweerstanden R_2 en R_6 kunnen groot zijn, maar de koeling van de elektroden zorgt ervoor dat een deel van de warmte wordt afgevoerd, waardoor de temperatuur daar relatief laag blijft.

Het is dan ook tussen de te verbinden delen, waar de hoogste temperatuur zal optreden en smeltverschijnselen en zacht worden van het metaal zich zullen voordoen. In figuur 2.3 wordt de temperatuurverdeling als functie van de plaats schematisch weergegeven en wel voor twee tijdstippen:

1. Na het verstrijken van 20% van de lastijd.
2. Aan het eind van de lastijd.

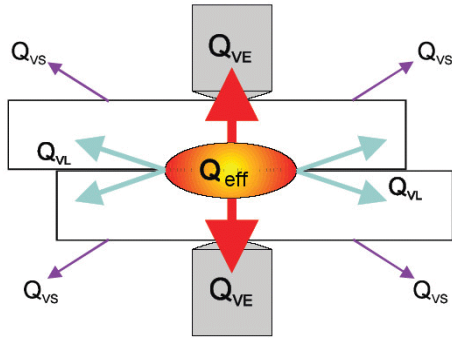


figuur 2.3 Schema van het temperatuurverloop met de plaats bij het puntlassen

Na het stoppen van de lasstroom (einde lastijd) stolt de las, terwijl de aandrukkracht wordt gehandhaafd. De hoeveelheid gesmolten, daarna gestold materiaal heeft uiteindelijk de vorm van een lens. De las wordt dan ook aangeduid met "laslens" (zie figuur 2.3).

Niet alle ontwikkelde warmte wordt effectief benut voor het tot stand komen van de laslens; m.a.w. voor het verkrijgen van de vereiste temperatuur daar ter plaatse. Er treden warmteverliezen op, die wel tot 80 à 90% van de ontwikkelde warmte Q_t , kunnen oplopen. De warmteverliezen treden op door (zie figuur 2.4):

- geleiding, via de door water gekoelde elektroden (tot 60 à 70% van de ontwikkelde warmte) en via de werkstukdelen;
- straling.



figuur 2.4 Schematische voorstelling van de bij het puntlassen optredende warmteverliezen

Voor de effectieve warmte geldt:

$$Q_{\text{eff}} = Q_t - Q_{\text{VE}} - Q_{\text{VL}} - Q_{\text{VS}}$$

Q_{VE} is o.a. afhankelijk van de grootte van het contactoppervlak tussen elektrode en werkstukdeel; dus van aandrukkracht en straal elektrodeoppervlak.

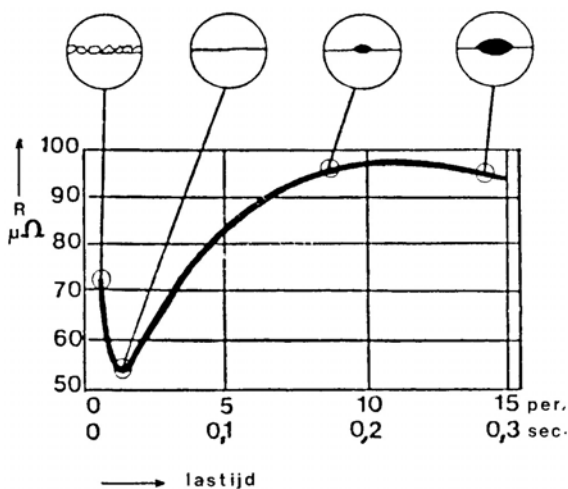
Q_{VL} is afhankelijk van de materiaalsoort en de dikte van de werkstukken.

De grootte van de laslens hangt bij verder gelijke omstandigheden af van het warmte-evenwicht bij de laslens. Voor het verkrijgen van gelijke laslensen (reproduceerbaarheid) is het daarom niet alleen voldoende om de warmtetoevoer zoveel mogelijk constant te houden. Ook de warmteverliezen dienen zoveel mogelijk constant te zijn.

Tijdens het lassen verandert de elektrische weerstand tussen de elektroden (en daarmee de lasstroom) o.a. onder invloed van de temperatuur. In de volgende paragraaf, die handelt over de omstandigheden waaronder de laslens wordt gevormd, wordt daarop verder ingegaan.

2.2 Omstandigheden tijdens vorming van de laslens

Deze kunnen het beste worden beschreven aan de hand van het weerstandsverloop gedurende de lastijd. Als voorbeeld wordt in figuur 2.5 het verloop van de weerstand met de tijd gegeven voor het geval van het aan elkaar puntlassen van twee onbeklede platen, elk 2,0 mm dik. Materiaal: staal van een dieptrekkwaliteit.



figuur 2.5 Verloop van de weerstand tussen de elektroden tijdens het puntlassen van twee platen dieptrekstaal, elk 2,0 mm dik

Instelgegevens voor een laslens diameter van 7 mm (proefondervindelijk vastgelegd):

Straal elektrode oppervlak: $R = 75 \text{ mm}$

Lasstroom (I_{eff}): 14 kA

Aandrukkracht: 5,5 kN

Lastijd: 15 perioden (300 ms)

Bij het ingaan van de lastijd, wanneer de lasstroom wordt ingeschakeld, is vooral de overgangsweerstand tussen de te verbinden platen nog groot. Dit wordt veroorzaakt door de oppervlakteruwheid van de platen, die een goed contact verhindert en door de altijd aanwezige oppervlaktelaag (oxiden, vuil, e.d.). Mede onder invloed van de aandrukkracht worden door plastische vervorming de ruweheidspieken afgevlakt en worden de oppervlaktelagen doorbroken. Hierdoor neemt het contactoppervlak toe en de weerstand af.

De weerstand bereikt een minimum en stijgt vervolgens, daar de toenemende temperatuur als gevolg van de verhitting een weerstandsverhogend effect heeft. Dit laatste effect blijft optreden totdat het materiaal gaat smelten/verweken.

Echter reeds voordat het materiaal plaatselijk begint te smelten, zakken de elektroden iets door in de platen. Hierdoor neemt de door de stroom af te leggen weg af en het contactoppervlak tussen de plaat en elektrode toe. Beide factoren hebben weerstandsverlaging tot gevolg. Deze verlaging wordt nog versterkt, doordat met groeiende laslens de doorsnede van de stroomweg groter wordt. Bovendien neemt de temperatuurverhoging na smelten af en daarmee het weerstandsverhogend effect. Al deze effecten tezamen hebben tot gevolg dat de weerstand een maximum bereikt en vervolgens daalt.

2.3 De lasparameters en laslensdiameter

Voor normale toepassingen bedraagt de gewenste laslensdiameter $5\sqrt{d}$ waarin d de enkele plaatdikte voorstelt. Als minimaal te accepteren laslensdiameter wordt dikwijls $4\sqrt{d}$ gehanteerd. In paragraaf 8.1 wordt hierop teruggekomen.

Voor het verkrijgen van de gewenste laslensdiameter en van een goede kwaliteit van de las zijn de belangrijkste lasparameters die moeten worden ingesteld:

- ▶ de lasstroom;
- ▶ de aandrukkracht van de elektrode;
- ▶ de lastijd;
- ▶ de diameter van de elektrodepunt (contactvlak).

Hieraan kunnen worden toegevoegd:

- ▶ de voordruk- en nadruktijd;
- ▶ up slope en down slope.

Om een indruk te geven van de orde van grootte worden in tabel 2.1 de instelwaarden genoemd van de drie hoofdparameters, die in de beschouwde gevallen de gewenste diameter en een goede kwaliteit van de puntlas opleveren.

De invloed van de lasparameters op grootte en kwaliteit van de laslens wordt hierna besproken voor het geval van het lassen van twee platen van ongelegeerd koolstofstaal en van gelijke dikte. Het zal duidelijk blijken, dat de lasparameters in sterke mate onderling afhankelijk zijn. Desalniettemin worden zij omwille van de duidelijkheid, voor wat hun invloed betreft, afzonderlijk besproken.

tabel 2.1 Lasparameters bij puntlassen van twee platen van gelijke dikte ($d = 1$), laslensdiameter: ca. 5 mm

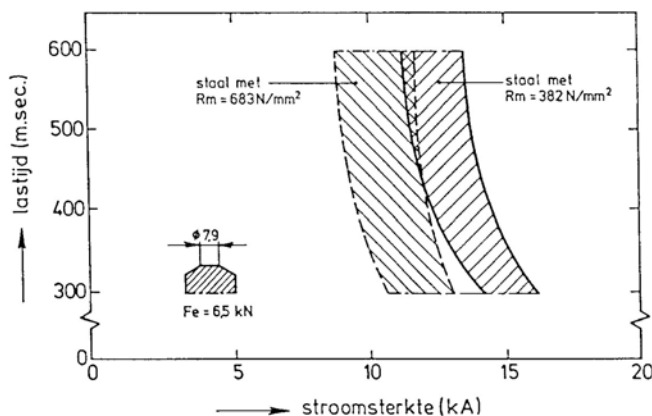
materiaal van platen	lasstroom (I_{eff}) [kA]	aandrukkracht [kN]	lastijd in perioden (1 per. = 0,02 sec)
onlegeerd koolstof staal	10	3,0	10
austenisch roestvast staal	7,6	4,0	7
aluminiumlegering AlMg1	34	3,0	3

2.3.1 De lasstroom

De hoeveelheid effectieve warmte die nodig is voor de vorming van de laslens van een gewenste grootte, wordt bepaald door materiaalsoort en materiaaldikte. Deze hoeveelheid effectieve warmte bepaalt dus in eerste instantie de totale hoeveelheid te ontwikkelen warmte, waarvoor de combinatie van stroomsterkte, weerstand en lastijd verantwoordelijk is. Juist met het oog op die effectieve warmte is in deze combinatie toch de stroomsterkte de belangrijkste parameter. Bij een te lassen materiaal met een groot warmtegeleidingsvermogen zal de ontwikkelde warmte door middel van een (te) lange lastijd voornamelijk door geleiding verloren gaan.

Voor elke toepassing zijn er grenzen aan te geven voor het gebied van stroomsterktewaarden, waarmee acceptabele laslensen kunnen worden verkregen. De minimale stroomsterkte wordt bepaald door de minimaal te accepteren laslensdiameter. De maximale stroom wordt bepaald door het feit, dat bij een te hoge stroom (afhankelijk van de aandrukkracht) vloeibaar metaal uit de zich vormende laslens wegspat.

Binnen deze grenzen kan een instelwaarde voor de stroomsterkte worden gekozen in afhankelijkheid van de weerstand en lastijd (zie figuur 2.6).

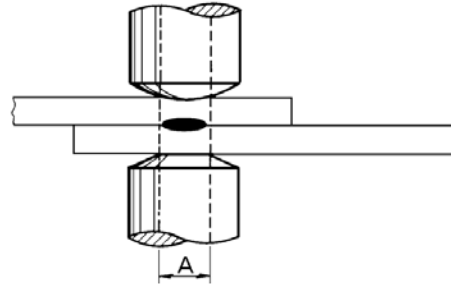


figuur 2.6 Vergelijking van de lasinstellingen voor twee vervormingsstaalsoorten van gelijke dikte (2,22 mm) en verschillende sterkte.
Grens links: stroomsterkte voor een laslensdiameter $4\sqrt{d}$
Grens rechts: max. stroomsterkte (bij overschrijding spat er materiaal weg)

2.3.2 De aandrukkracht van de elektroden en de diameter van de elektrodepunt (contactvlak)

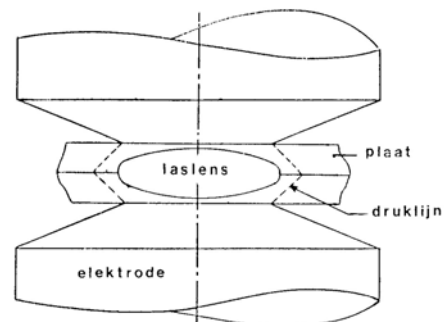
De aandrukkracht van de elektroden heeft eveneens een grote invloed op de grootte en de kwaliteit van de las.

Het werkzame oppervlak A van de elektroden, hetzij bol of vlak uitgevoerd, levert in combinatie met de aandrukkracht een specifieke oppervlaktedruk op, die wordt uitgedrukt in N/mm^2 (figuur 2.7). Deze druk beïnvloedt de overgangsweerstanden tussen elektrode en werkstuk en tussen beide werkstukdelen.



figuur 2.7 Voorstelling van het werkzame oppervlak voor bolle en vlakke elektroden

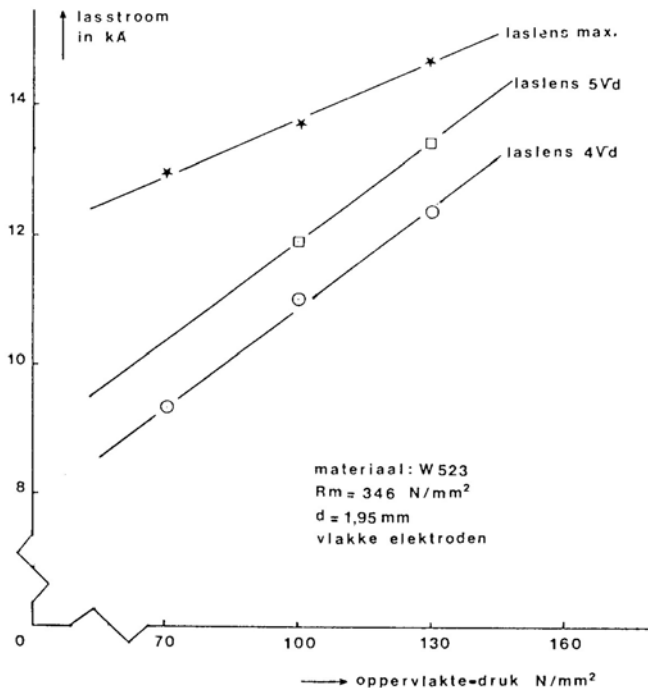
De aandrukkracht oefent daarnaast ook invloed uit op de structuur van de las en op de aanwezigheid van fouten binnen in de las. Een te lage aandrukkracht kan holten en vaak ook spatten veroorzaken. De aandrukkracht zorgt er namelijk voor, dat de volumevermeerdering van de snelgroeijende laslens niet leidt tot het wegspatten van vloeibaar metaal uit de verhitte zone. Bij een te geringe druk wordt de overgangsweerstand tussen de te verbinden delen groter. Dit heeft tot gevolg, dat de stroom zich sterker verspreidt en de laslens bij voldoende warmte-inbreng groter kan worden. Valt de lens buiten de druklijn (zie figuur 2.8), dan kan spatten optreden.



figuur 2.8 Laslens en druklijnen

Vergroot een te lage aandrukkracht de kans op spatten, een te hoge aandrukkracht belemmert te veel de groei van de laslens. Immers door het aandrukken neemt het contactoppervlak tussen elektrode en werkstuk toe, waardoor enerzijds de overgangsweerstand afneemt, en dus de ontwikkelde warmte afneemt, en anderzijds meer warmte door geleiding via de elektroden verloren gaat. Dit effect treedt vooral op bij bolle elektroden. In figuur 2.9 is de invloed van de oppervlaktedruk op de vereiste lasstroomsterkte gegeven voor vlakke elektroden.

Ook voor de aandrukkracht geldt dat alleen met waarden binnen een bepaald tolerantiegebied, een kwalitatief goede las kan worden verkregen. Voor de lassen van onlegeerd laag koolstofstaal ligt dit gebied tussen 50 en 150 N/mm^2 , voor roestvast staal tussen 100 en 250 N/mm^2 en voor aluminium(legeringen) tussen 50 en 250 N/mm^2 . Voor het bepalen van de vereiste aandrukkracht voor zacht staal kan de volgende vuistregel worden gehanteerd: $\text{Aandrukkracht Fe} = 2500 \times d$ Newton, waarin d de enkele plaatdikte in mm voorstelt.



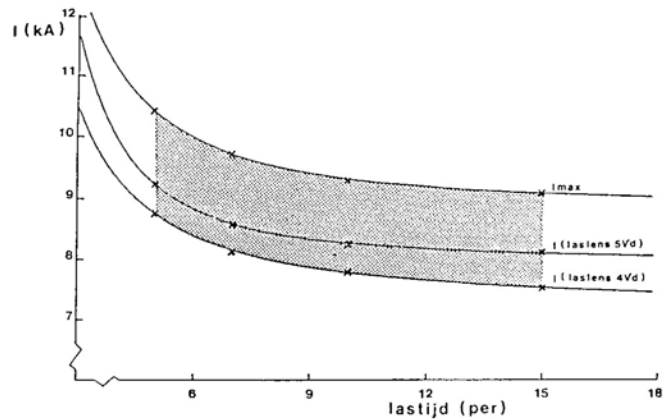
figuur 2.9 Lasstroomsterkte in afhankelijkheid van specifieke oppervlaktedruk

2.3.3 De lastijd

De lastijd, uitgedrukt in aantal perioden of milliseconden (1 periode = 20 msec. bij gebruik van 50 Hz wisselstroom), heeft een minder grote invloed op de grootte van de laslens dan de lasstroom en de aandrukkracht van de elektroden.

Op grond van de formule: $Q_t = I^2 \cdot R_{tot} \cdot t$ lijkt het gerechtvaardigd om te denken dat een (te) lage stroom steeds kan worden gecompenseerd door een langere lastijd. Dit is slechts binnen bepaalde grenzen mogelijk. Er is een minimale tijd nodig om de gewenste laslensdiameter te kunnen bereiken. Een kortere tijd geeft een z.g. "plaklas" of een te kleine laslens. Een (te) lange lastijd kan als gevolg van warmteverlies door geleiding weinig of geen effect hebben op de temperatuur ter plaatse van de te vormen laslens.

De lassen die in een korte lastijd worden gemaakt, zijn het meest economisch en kwalitatief vaak het beste. Voor het lassen van ongelegeerd staal en ook andere materialen wordt als regel maximaal een verdubbeling van de minimale lastijd toegestaan. De lasstroom mag hierbij zeker niet worden gehalveerd, zoals ook al uit de formule blijkt (in de praktijk wordt wel eens gedacht, dat een verdubbeling van de lastijd in combinatie met een halvering van de lasstroom geen gevolgen zou hebben). Een vermindering van ongeveer 35% wordt nog wel als toelaatbaar gezien, maar gaat wel gepaard met een kwaliteitsvermindering. Deze vermindering van de lasstroom in combinatie met een langere lastijd wordt toegepast, wanneer de lasmachine onvoldoende vermogen heeft. In figuur 2.10 is het verband gegeven tussen lasstroom en lastijd voor een éénzijdig verzinkt IF-staal met een materiaaldikte van 0,7 mm.



figuur 2.10 Lasstroomsterkte in afhankelijkheid van lastijd voor éénzijdig verzinkt IF staal met $d = 0,7 \text{ mm}$

In het algemeen zijn de lastijden bij weerstandlassen erg kort. Lastijden variëren van enkele tot enkele tientallen perioden. Enige indicatie omtrent de te gebruiken lastijd "t" voor zacht staal geeft de formule:

$t = (10d + 2)$ perioden, waarin d weer de enkele plaatdikte in mm voorstelt.

2.3.4 Combinatie van lasstroom, aandrukkracht en lastijd

Uit het voorgaande blijkt dat de invloeden van de belangrijkste drie parameters op de grootte en kwaliteit van de laslens nauwelijks los van elkaar kunnen worden gezien. Men dient steeds te bedenken dat voor een gegeven elektrodediameter alleen een juiste combinatie van lasstroom, aandrukkracht en lastijd een kwalitatief goede puntlasverbinding geeft. Voor een hoge afschuifsterkte wordt als regel een combinatie van een hoge lasstroom, een hoge aandrukkracht en een korte lastijd aanbevolen. Deze combinatie is bovendien het meest economisch.

De minimaal aanvaardbare laskwaliteit (sterkte) voor ongelegeerd staalplaat wordt verkregen met een lasstroom van 60 à 70%, een aandrukkracht van 30 à 35% en een lastijd van 200% van de respectievelijke waarden behorende bij de hoogste laskwaliteit.

Tabel 2.2 geeft een overzicht van mogelijke lasparametercombinaties met bijbehorend lasresultaat.

tabel 2.2 Combinaties van lasparameters met bijbehorend lasresultaat

las-stroom	aandruk-kracht	lastijd	resultaat
hoog	hoog	kort	- kleine elektrode-indrukking - geringe elektrodeslijtage - zeer goede laskwaliteit
laag	hoog	lang	- diepere elektrode-indrukking - elektrodeslijtage door overmatige warmte - goede laskwaliteit
laag	laag	lang	- nog diepere elektrode-indrukking - sterke elektrodeslijtage - redelijke laskwaliteit
hoog	laag	kort	- inbranden van elektroden - zeer sterke elektrodeslijtage - slechte laskwaliteit

2.3.5 De voordruk- en nadruktijd

Voor het verkrijgen van een kwalitatief goede laslens is het belangrijk dat de plaatdelen goed aanliggen op het moment dat de lasstroom wordt ingeschakeld. Dit wordt bereikt door de aandrukkracht reeds enige tijd van tevoren aan te brengen. Deze tijd wordt aangeduid met "voordruk-tijd". Evenzo is het belangrijk, dat na het uitschakelen van de stroom de aandrukkracht nog een bepaalde tijd wordt gehandhaafd om de laslens de gelegenheid te geven te stollen. Deze tijd wordt "nadruktijd" genoemd.

2.3.6 Up slope en down slope

Een gedeelte van de lastijd wordt dikwijls gebruikt om de stroom geleidelijk van 0 tot de gewenste maximale waarde te laten oplopen. Dit tijdsgedeelte wordt aangeduid met "up slope". Evenzo wordt "down slope" toegepast, de tijd, waarin de stroom geleidelijk afneemt van de maximale waarde tot 0. De "up slope" wordt toegepast om spatten van het oppervlak te vermijden bij platen met een wals-huid of een zware oxidelaag.

Een "down slope" wordt alleen daar toegepast, waar hardingsverschijnselen in de laslens problemen zouden kunnen geven.

2.4 De lasparameters en materiaal-eigenschappen

De voor het weerstandlassen van belang zijnde materiaal-eigenschappen zijn:

- ▶ het thermische en elektrische geleidingsvermogen;
- ▶ de smelttemperatuur;
- ▶ de sterkte bij kamertemperatuur en verhoogde temperatuur;
- ▶ de uitzettingscoëfficiënt;
- ▶ de hoeveelheid slink bij stollen;
- ▶ bepaalde oppervlakte-eigenschappen; zoals de grootte van de contactweerstand, de aanwezigheid van oxiden, enz.

De invloeden van deze eigenschappen op de puntlasparameters worden hier besproken voor roestvast staal en aluminium(legeringen) ten opzichte van die voor ongelegeerd koolstofstaal.

Roestvast staal heeft ten opzichte van ongelegeerd koolstofstaal een laag thermisch en elektrisch geleidingsvermogen. Hierdoor wordt bij dezelfde lasstroom de warmte bij het lassen sneller opgewekt en moeilijker afgevoerd. Dit vereist een lagere lasstroom en/of kortere lastijd.

Roestvast staal heeft een lagere smelttemperatuur dan ongelegeerd koolstofstaal. Dit geldt vooral voor de austenitische soorten. De hoeveelheid warmte, nodig voor het vormen van een laslens, is hierdoor kleiner (mede afhankelijk van de soortelijke warmte en de smeltwarmte).

De sterkte, zowel bij kamertemperatuur als bij verhoogde temperatuur, is vooral voor de austenitische soorten hoger dan voor ongelegeerd koolstofstaal. Bovendien is de contactweerstand bij roestvast staal hoog door de passiveringslaag. Dit heeft tot gevolg, dat er in vergelijking met ongelegeerd staal een grotere aandrukkracht van de elektroden nodig is om de platen voldoende contact te laten maken. Austenitisch roestvast staal heeft een hogere thermische uitzettingscoëfficiënt dan ongelegeerd koolstofstaal. Het snel opwarmen en afkoelen heeft een vrij grote krimp in de las tot gevolg, waardoor krimpholten in het hart van de las kunnen ontstaan.

Aluminium heeft een goed thermisch en elektrisch geleidingsvermogen. De warmte nodig voor de zich vormende

laslens, wordt daardoor langzaam ontwikkeld en snel afgevoerd. Dit kan worden voorkomen door zeer snel te lassen. Dit vereist zeer hoge lasstromen en korte lastijden (speciale machines). Aluminium heeft een lage smelttemperatuur en wordt daarom snel zacht. Onder invloed van de aandrukkracht zakken de elektroden tijdens de vorming van de laslens in het materiaal.

Een vereiste is, dat de laskop waaraan de bovinelektrode is bevestigd het "inzakken" snel kan volgen. Dit is nodig om de juiste druk te handhaven. Aluminium vertoont een vrij grote slink/krimp tijdens het stollen. Dit geeft aanleiding tot scheurtjes en poreusheid, wanneer de laskop het inzakken niet snel genoeg kan volgen en de druk (tijdelijk) wegvalt.

Lasmachines voor het lassen van aluminium zijn meestal voorzien van een mogelijkheid om de aandrukkracht te verhogen tijdens het stollen van de laslens. Aluminium is altijd bedekt met een oxidelaag die een hoge en wat grillig verlopende contactweerstand veroorzaakt. Dit beïnvloedt de in de laslens geproduceerde warmte. Als een zeer goede puntlaskwaliteit wordt geëist, dient daarom de oxidelaag vóór het lassen te worden verwijderd d.m.v. beitsen of borstelen om een constante oppervlakteweerstand te verkrijgen.

In tabel 2.1 komen de hier genoemde materiaalverschillen tot uitdrukking in de lasparameters.

2.5 Lasbaarheid

De sterkte van een puntlasverbinding wordt bepaald door de doorsnede van de laslens, in het scheidingsvlak tussen de twee te verbinden platen. De diameter van de laslens hangt af van de gekozen waarden van de lasmachine-instellingen voor de elektrodecontactvlakdiameter, de laskracht, de lasstroomtijd en de hoogte van de lasstroom. Van deze vier instellingen zijn de laskracht en de afmetingen van het elektrode contactvlak gerelateerd aan de plaatdikte. De waarden worden doorgaans met behulp van vuistregels berekend. De informatie over de waarden voor lasstroomtijd en de lasstroom haalt men uit een z.g. "laslobdiagram" van het desbetreffende materiaal. De procedure voor het maken van het laslobdiagram is relatief eenvoudig; het vereist slechts een structureel opgezette serie proeven. Voor een aantal materialen zijn er laslobdiagrammen in de literatuur te vinden.

Met behulp van laslobdiagrammen kan men ook de puntlasbaarheid van verschillende typen materialen met elkaar vergelijken.

Opzet van het laslobdiagram

De laskracht, de lasstroomtijd en de lasstroomsterkte bepalen de warmteontwikkeling op de lasplaats en daarmee tevens het volume van het smeltbad (de laslens) tussen de twee aan elkaar te verbinden materialen. De hoeveelheid ontwikkelde warmte kan men berekenen met de wet van Joule.

Wet van Joule: $Q = I \cdot R_{\text{tot}} \cdot t_l$ [J]

Waarin:

Q = hoeveelheid ontwikkelde warmte in Joules

I = lasstroom in kA

t_l = lasstroomtijd in msec

R_{tot} = de som van de tussen de puntlaselektroden aanwezige materiaal- en contactovergangsweerstanden in mOhm

Opmerking: De contactovergangsweerstand staat in relatie tot de laskracht. Naarmate de laskracht hoger wordt neemt de contactweerstand af.

Voor het onderzoek naar de puntlasbaarheid van een materiaal worden meestal de parameters lasstroomtijd t_1 , en lasstroom I , gevarieerd. De reden hiervoor is, dat men de lasstroomtijd nauwkeurig, in stappen van 20 msec. (periodes 50Hz) kan instellen.

De lasstroom kan door middel van het principe van fase-aansnijding (thyristor) gemakkelijk worden ingesteld. Wijzigt men een van deze parameters, dan zal de diameter van het lensvormige smeltbad in het scheidingsvlak tussen beide platen ook veranderen. Deze laslensdiameter is dus een goede parameter voor de laskwaliteit. Het nauwkeurig opmeten van deze laslensdiameter is tijdrovend en kostbaar, omdat men hiervoor micropreparaten moet maken. Een andere minder nauwkeurige maar algemeen aanvaarde methode is het uitbreken van de lasverbinding uit één van beide platen. De diameter van de uitgebroken las is met een schuifmaat te meten. Aan de lasknopdiameter wordt de laskwaliteit gerelateerd.

Voor de opzet van het laslobdiagram maakt men bij verschillende lasstroomtijden zogenaamde lasknopdiameter-lasstroom-groecurven. Aan de hand van deze groecurven bepaalt men de gedefinieerde specifieke lasstromen [Lit. 6 en 7]:

► $I = 3,5\sqrt{t}$:

Dit is de nieuwe volgens het International Institute of Welding voorgestelde minimaal toelaatbare lasstroom behorende bij een lasknopdiameter $D = 3,5\sqrt{t}$.

► $I = 4\sqrt{d}$:

Tot nog toe wordt een lasknopdiameter van $D = 4\sqrt{t}$ voor de minimale lasstroom aangehouden.

► $I = 5\sqrt{d}$:

De nominale lasstroom. De lasknopdiameter is gelijk aan de elektrodecontactvlakdiameter, $D_c = 5\sqrt{t}$.

► $I_{\max}$:

De maximale lasstroomsterkte waarbij zich nog net geen spatverschijnselen voordoen.

► I_{spat} :

De laagste lasstroomsterkte waarbij het vloeibare smeltbad tussen de platen wegspat, spatgrens.

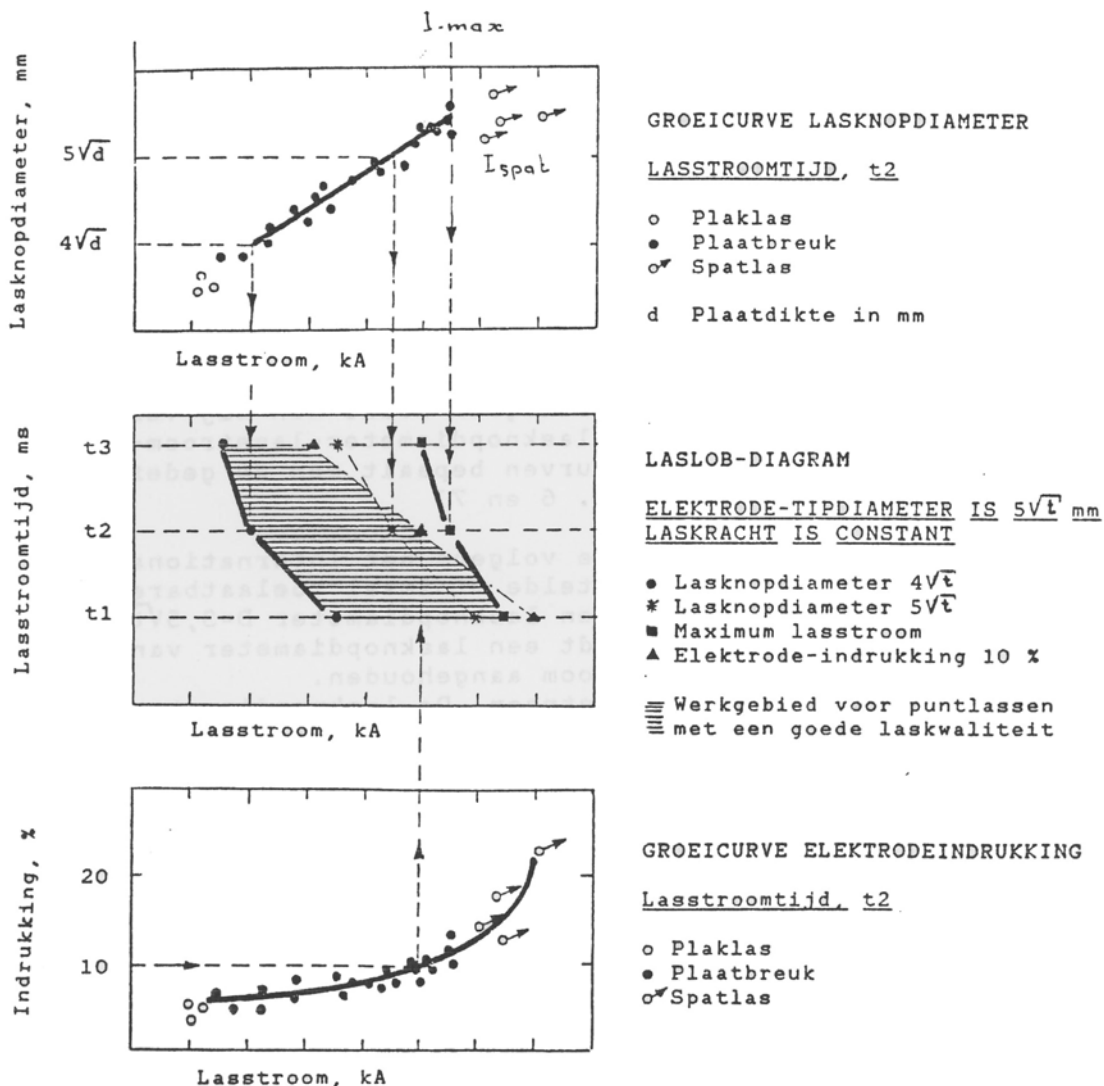
► $I = 10\%$: Een laskwaliteitseis voor de indrukking van de elektroden in het plaatoppervlak. Gebruikelijk is een maximaal toelaatbare indrukking van 10% van de te lassen plaatdikte.

Als bovengenoemde specifieke lasstromen en lasstroomtijden bekend zijn, kan het laslobdiagram worden geconstrueerd (zie ook hoofdstuk 5).

Over het algemeen kan men zeggen dat de lasbaarheid van een materiaal beter is naarmate de laslob breder is en het lasstroomniveau hoger ligt.

In figuur 2.11 wordt schematisch de opbouw van het laslobdiagram weergegeven.

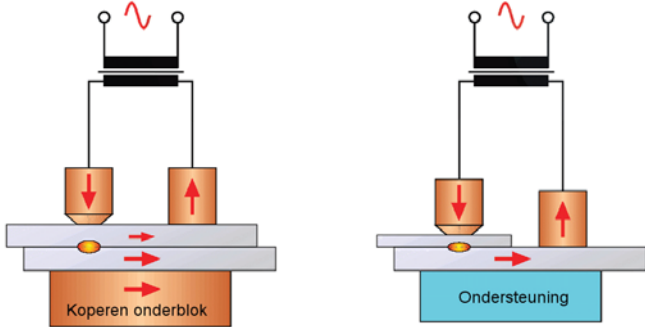
Het laslobdiagram wordt uitvoerig beschreven in de norm NEN EN ISO 14327.



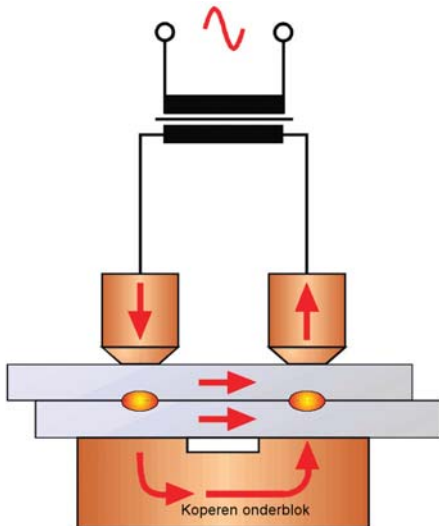
figuur 2.11 De schematische opbouw van een laslobdiagram weergegeven

2.6 Varianten op "tweezijdig enkelpunt-lassen"

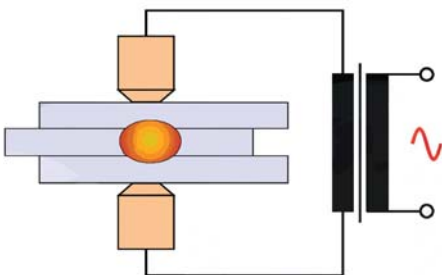
Hoewel de bij de procesbeschrijving voorgestelde puntlas-methode, "tweezijdig enkelpunt lassen" de meest voorkomende methode is, worden er nog enkele varianten toegepast in de praktijk. De figuren 2.12 t/m 2.17 tonen schematisch enkele varianten.



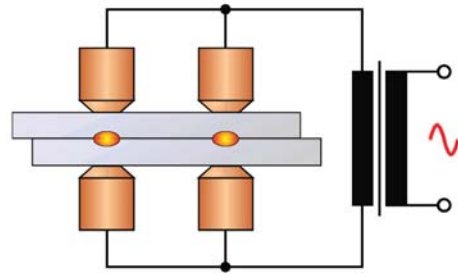
figuur 2.12 Enkelzijdig enkelpunt lassen



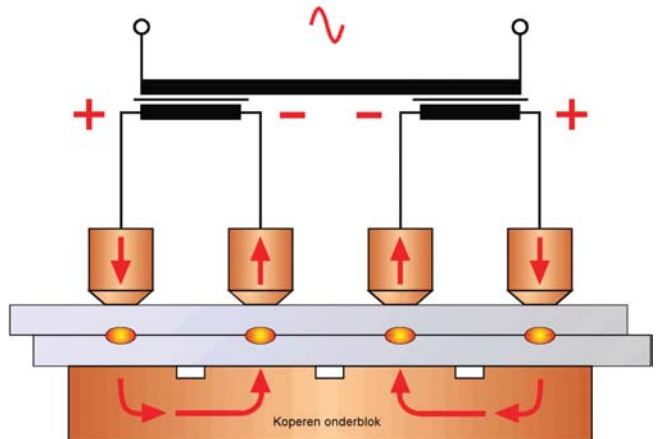
figuur 2.13 Enkelzijdig tweepunt lassen



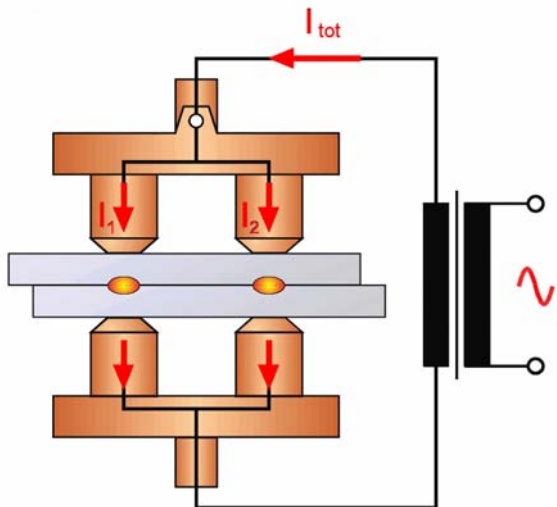
figuur 2.14 Tweezijdig enkelpunt lassen



figuur 2.15 Tweezijdig tweepunt lassen



figuur 2.16 Eenzijdig dubbel tweepunt lassen



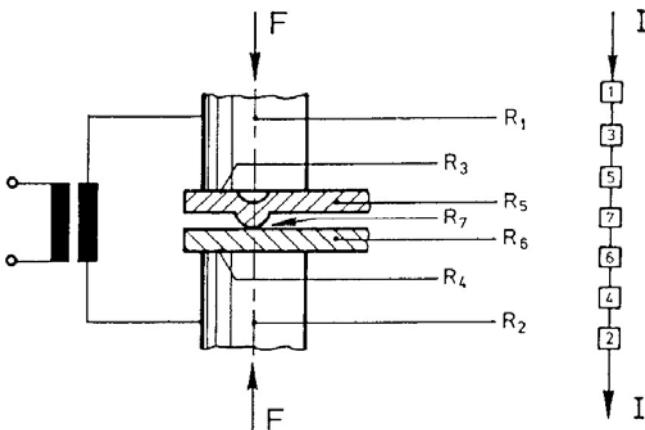
figuur 2.17 Tweezijdig tweepunt lassen

Hoofdstuk 3

Beschrijving andere weerstand-lasprocessen

3.1 Doordruklassen of projectielassen; verschillen met puntlassen

Doordruklassen of projectielassen is een weerstandlasproces, waarbij één van de te verbinden delen is voorzien van één of meer uitstulpingen op de plaats waar de las tot stand moet komen. Figuur 3.1 geeft een schematische voorstelling van het proces.



figuur 3.1 Schematische voorstelling van het projectielassen
 R_1, R_2 : materiaalweerstand van de elektroden
 R_3, R_4 : overgangswestand elektrode/staalplaat
 R_5, R_6 : materiaalweerstand staalplaat
 R_7 : overgangswestand staalplaat/staalplaat
 F : aandrukkraft

Het belangrijkste verschil met puntlassen is, dat het oppervlak (de laslens) als lasstroombdoorsnede niet bepaald wordt door de vorm en afmetingen van de elektroden. Bij het projectielassen worden aandrukkraft en lasstroom geconcentreerd op de in het materiaal aanwezige uitstulping(en). Hierdoor is de plaats van de las van tevoren bepaald.

In het begin van de lascyclus is de stroomdichtheid erg groot als gevolg van het (theoretisch) puntvormige contact. De warmteontwikkeling gaat vlug en het contactoppervlak neemt snel toe. Zodra het materiaal ter plaatse van de uitstulping en vlak daaromheen voldoende zacht is geworden, wordt de uitstulping terug gedrukt en komen de platen tegen elkaar aan te liggen. De elektroden moeten de platen snel kunnen volgen om spatten te voorkomen. Daarom moeten hoge eisen worden gesteld aan de constructie van de laskop.

Andere opmerkelijke verschillen met puntlassen zijn:

- Bij projectielassen kunnen meer lassen tegelijk en dicht bij elkaar worden aangebracht, zonder dat er shuntwerking optreedt. Bij het puntlassen worden de lassen meestal na elkaar aangebracht. Hierdoor bestaat de mogelijkheid, dat een gedeelte van de stroom via een eerder gelegde las "weglekt", waardoor de effectieve stroom afneemt. Bij het projectielassen wordt de stroom met opzet en bij voorkeur door alle projecties tegelijk gevoerd. Om deze reden zijn de elektroden voor projectielassen groot en vlak. De projectie lasmachines moeten dan ook een hoge stroomsterkte en een hoge aandrukkraft kunnen leveren.

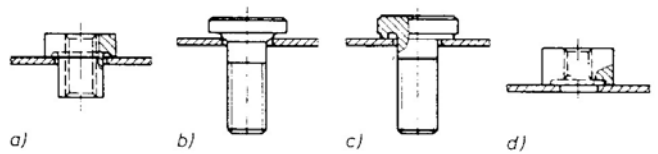
- Projectielassen kan worden gebruikt voor het verbinden van dunne met dikke platen. De projectie wordt meestal aangebracht in de dikste platen. Hierdoor wordt bereikt, dat beide plaat delen qua warmtehuishouding met elkaar in overeenstemming zullen zijn en de smeltzones in beide platen ongeveer gelijk zullen worden. Het zal duidelijk zijn, dat de afmetingen (hoogte en diameter) en de vorm van de projecties dienen te zijn aangepast aan de vlakke (dunste) plaat. Het resultaat lijkt op een "wel-las".

- De projecties kunnen op verschillende manieren worden gevormd, d.w.z. ze kunnen verschillende vormen hebben en kunnen ook op geheel verschillende wijzen worden aangebracht. Sommige projecties zijn genormaliseerd (AWS/IIW).

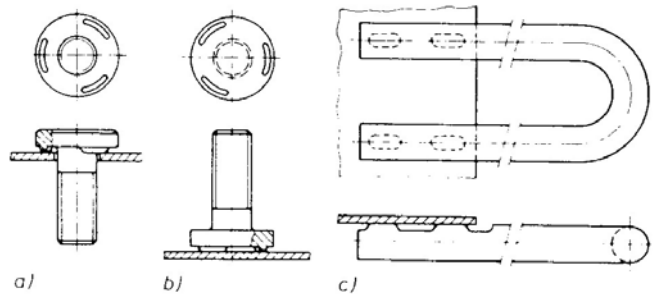
De meest gebruikte projectievorm is die, zoals afgebeeld in figuur 3.1.

- De figuren 3.2, 3.3 en 3.4 geven voorbeelden van projecties die door middel van smeden of persen kunnen worden aangebracht.

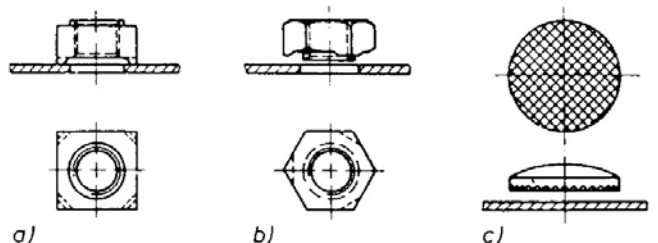
- De figuren 3.5 en 3.6 geven voorbeelden van projecties die op een draaibank kunnen worden vervaardigd. Figuur 3.7 geeft voorbeelden van gestante projecties. Figuur 3.8 geeft voorbeelden waarbij de te verbinden delen op grond van hun vorm door middel van projectielassen kunnen worden gelast, zonder dat een extra bewerking nodig is. Deze "projecties" worden ook wel natuurlijke projecties genoemd.



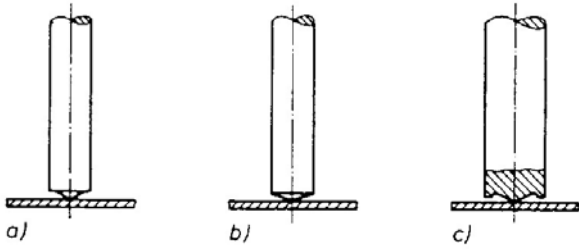
figuur 3.2 Voorbeelden van ringvormige projecties



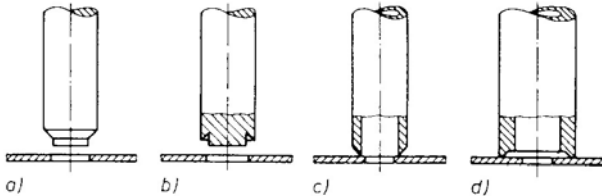
figuur 3.3 Voorbeelden van langwerpige projecties



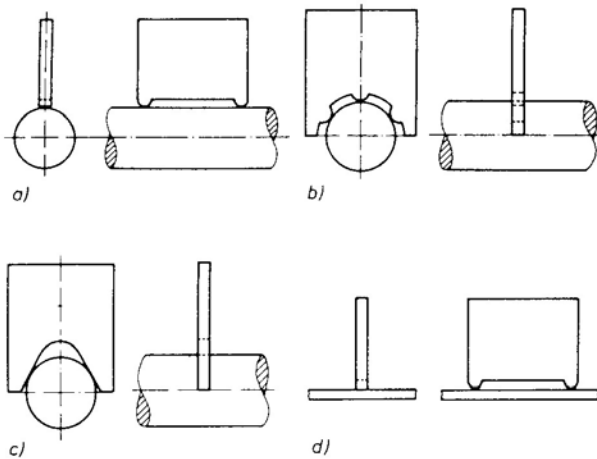
figuur 3.4 Voorbeelden van randprojecties



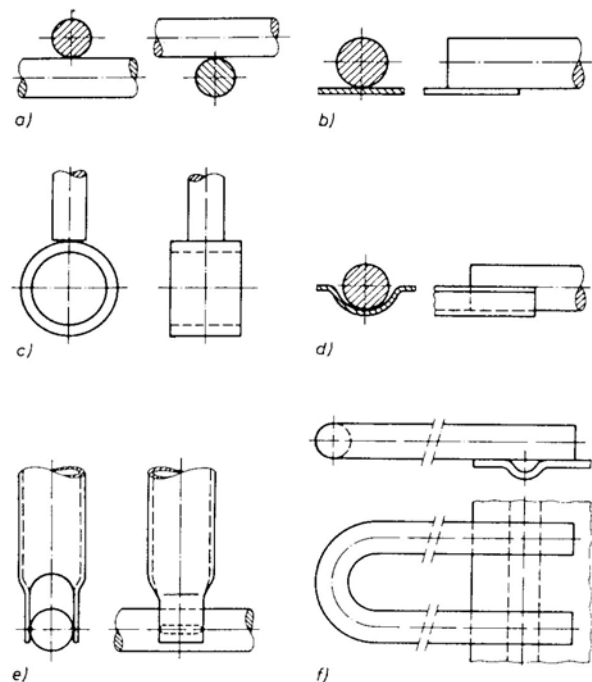
figuur 3.5 Voorbeelden van ronde projecties



figuur 3.6 Voorbeelden van ringvormige projecties



figuur 3.7 Voorbeelden van gestante langwerpige projecties

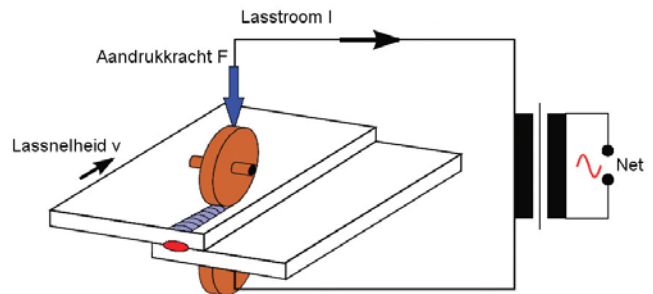


figuur 3.8 Toepassingen van natuurlijke projecties

In het algemeen kan worden opgemerkt, dat de invloed van de lasparameters op de grootte en kwaliteit van de laslens vergelijkbaar is met die bij het puntlassen. In de toegepaste lascycli zijn echter wel verschillen te constateren met het puntlassen. Omdat de projectie tijdens het lassen van hoogte en tegelijk van doorsnede verandert, worden dikwijls stroom- en/of aandrukkingsprogramma's toegepast. Voor de lasstroom wordt meestal van een "up slope" gebruikgemaakt. In een aandrukkingsprogramma kan de kracht worden gevarieerd en als voordruk-, lasdruk- of nadrukkingskracht fungeren.

3.2 Rolnaadlassen; verschillen met puntlassen

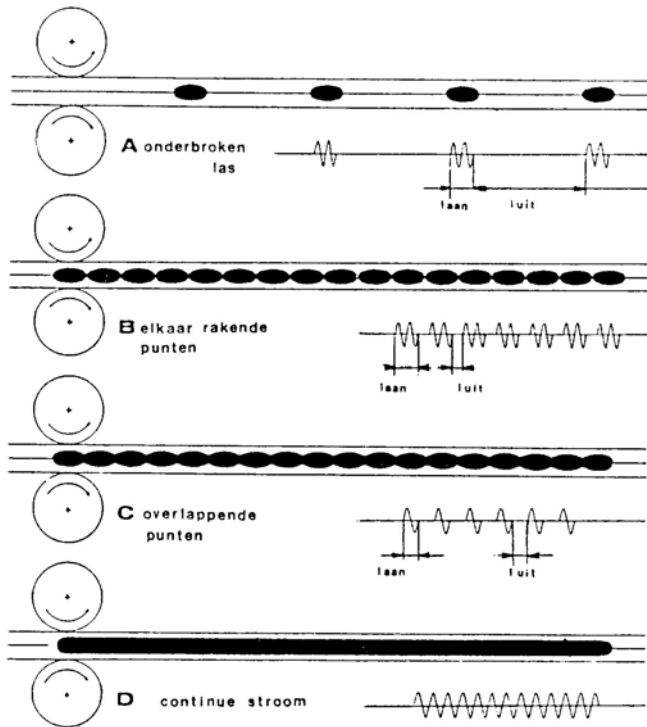
Het rolnaadlassen is een directe afgeleide van het puntlassen. De elektroden zijn vervangen door twee roterende schijven van een koperlegering, die de elkaar overlappende platen of werkstukdelen tijdens het lassen transporteren. Verder hebben de schijven dezelfde functies als de elektroden bij het puntlassen. Door de grotere warmte-inbreng kunnen vaak grotere vervormingen optreden dan bij het puntlassen. Figuur 3.9 geeft schematisch het principe weer.



figuur 3.9 Principeschema van het rolnaadlassen

Bij het rolnaadlassen kan een aaneengesloten las worden gemaakt door een serie elkaar overlappende puntlassen. Een aaneengesloten las wordt toegepast als de las gas- of vloeistofdicht moet zijn, of om gelijkmatig overbrengen van belastingen te verkrijgen. Het is ook mogelijk om een onderbroken rij van puntlassen te produceren. Voor zowel de continue als de onderbroken las, kan wisselstroom of gelijkstroom worden gebruikt. In de regel wordt er pulserend gelast, d.w.z. de stroom loopt gedurende een aantal perioden en wordt vervolgens een aantal perioden uitgeschakeld. De afstand tussen de elkaar opvolgende puntlassen wordt bepaald door de pauzetijd (stroom uit) en de lassnelheid (doorvoersnelheid voor de lasnaad). Figuur 3.10 geeft voorbeelden van mogelijke stroomprogramma's bij het rolnaadlassen.

De keuze van de cyclus hangt af van de vereiste lasverbinding. De tendens bestaat, evenals bij het puntlassen, om ter wille van de kwaliteit hoge stroomsterkten en korte lastijden te hanteren. Hiervoor zijn lasmachines nodig met grote vermogens. Daarmede zijn hoge lassnelheden te bereiken en kunnen geringe oppervlakteverontreinigingen worden overwonnen. Evenals bij het puntlassen kan bij het rolnaadlassen gebruik worden gemaakt van een "up slope" en/of "down slope" bij iedere puls. Het rolnaadlassen kan ook worden uitgevoerd met een continue wisselstroom of gelijkstroom. Als de lassnelheid zeer hoog wordt, levert wisselstroom geen continue las meer op en gelijkstroom wel.

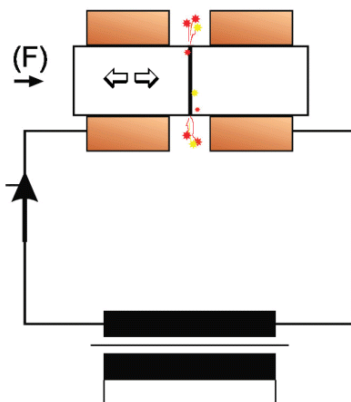


figuur 3.10 Voorbeelden van stroomprogramma's bij het rolnaadlassen

3.3 Afbrandstuiklassen

Principe

Twee aan elkaar te lassen delen worden met behulp van twee geschikte koperen (koperlegeringen) klemelektroden tegenover elkaar gepositioneerd en in licht contact met elkaar gebracht. Via de elektroden wordt een stroom door de te verbinden delen gevoerd. De metaaldelen, die elkaar plaatselijk raken in het te lassen oppervlak, komen tot smelten en vormen "bruggetjes". Ten gevolge van de heersende magnetische krachten worden de "bruggetjes" verbroken. Dit gaat gepaard met een regen van vonken. De klemelektroden worden naar elkaar toe bewogen om nieuwe contacten te vormen. Dit proces houdt aan, totdat beide oppervlakken gelijkmatig zijn verhit en gesmolten. De delen worden nu met verhoogde kracht tegen elkaar gedrukt. Na stolling is de verbinding tot stand gebracht. Figuur 3.11 toont het principe van het afbrandstuiklassen. Het afbrandstuiklassen is volledig gemechaniseerd.



figuur 3.11 Principe van het afbrandstuiklassen

Toepassingsmogelijkheden

Materiaal:

Laag- en ongelegeerd koolstofstaal, gereedschapsstaal, austenitisch, martensitisch en ferritisch roestvast staal, aluminium-, koper-, magnesium-, molybdeen-, nikkel- en titaanlegeringen. Ook verschillende materialen kunnen aan elkaar worden gelast.

Materiaaldikte:

Tot doorsnede - oppervlakte van circa 250 cm².

Soort lasverbinding:

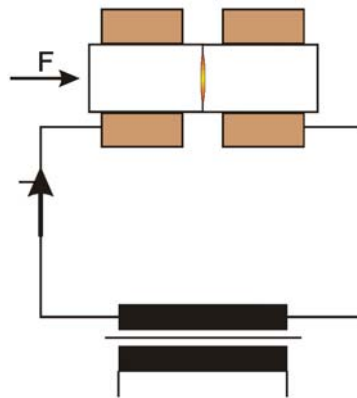
Beperkt tot stompe verbindingen van allerlei soorten doorsneden.

3.4 Stuiklassen

Principe

Twee aan elkaar te lassen delen worden met behulp van twee watergekoelde koperen (koperlegeringen) klemelektroden tegen elkaar gedrukt. De te lassen oppervlakken zijn schoon en glad voorbereid. Via de elektroden wordt een stroom door de werkstukken gevoerd. Ten gevolge van de weerstand die de stroom ondervindt, treedt warmteontwikkeling op.

De grootste warmteontwikkeling treedt op bij de grootste weerstand; de overgangswaerstand tussen de te verbinden delen. Wanneer de temperatuur ter plaatse van de las circa 1200 a 1300 °C bedraagt wordt de stroom uitgeschakeld en worden de te verbinden delen samengeperst. De delen wellen aaneen en de lasverbinding is tot stand gebracht. Figuur 3.12 geeft schematisch het principe van het proces weer. Het stuiklasproces is geschikt voor volledig gemechaniseerd lassen.



figuur 3.12 Principe van het stuiklassen

Toepassingsmogelijkheden:

Materiaal:

Koolstofstaal, roestvast staal, aluminium-, koper-, nikkel- en magnesiumlegeringen.

Materiaaldikte:

Doorsneden tot ongeveer 200 mm².

Soort lasverbinding:

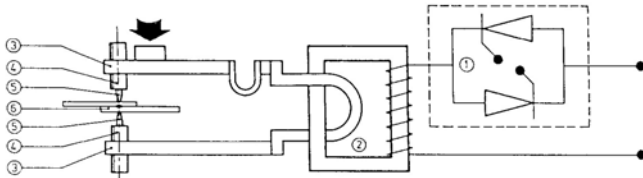
Stompe lasverbindingen.

Hoofdstuk 4

Weerstandlasmachines en hun regeling

4.1 Principe weerstandlasmachine

Figuur 4.1 toont het principe van een puntlasmachine



figuur 4.1 Principe van de puntlasmachine

1. regel apparatuur
2. lastransformator
3. lasarmen
4. elektrodehouder
5. elektroden
6. plaatdelen

In het algemeen zijn materiaalsoort, plaatdikte, werkstukafmetingen en de inschakelduur bepalend voor het type, de grootte en het vermogen van de weerstandlasmachine. De functies van de machine worden in hoofdzaak bepaald door de lasparameters: lasstroom, lastijd en aandrukkracht. De opbouw kan derhalve worden verdeeld in een

► mechanisch gedeelte

de lasarmen met de elektrodehouders, waarmee de aandrukkracht wordt overgebracht op het werkstuk,

► en een elektrisch gedeelte

de transformator en de regelapparatuur. De transformator zorgt voor de vereiste spanning. Met de regelapparatuur kunnen stroomsterkte en lastijd worden geregeld.

4.2 Mechanisch gedeelte van weerstandlasmachine

4.2.1 Machine-typen

De lasmachines kunnen worden ingedeeld in: vast opgestelde machines en transportabele machines.

Vast opgestelde machines

Deze machines kunnen voor alle procesvarianten van het weerstandlassen worden toegepast. Zij worden op een vaste plaats in het bedrijf opgesteld en de te lassen delen worden ter plaatse aangevoerd. In de regel zijn de volgende componenten te onderscheiden:

- frame;
- lasbovenarm;
- lasonderarm.

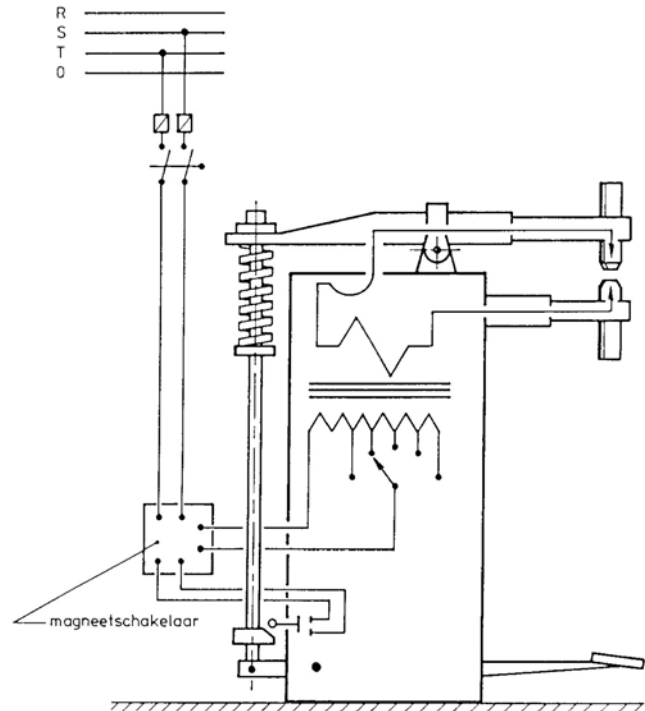
De machine bezit een stabiel frame, waarin de transformator is opgenomen. De regel- en schakelapparatuur bevindt zich heel vaak buiten het frame. Aan het frame zijn de twee lasarmen bevestigd, die voldoende stijf zijn geconstrueerd om de aandrukkracht te kunnen doorleiden zonder daarbij te veel door te buigen. De lasarmen zijn van een goed geleidend materiaal, zodat een goede elektrische verbinding wordt verkregen tussen de transformator en de elektrodehouders met de elektroden. Om beide elektroden naar elkaar toe te kunnen brengen is de bovenarm beweegbaar uitgevoerd.

Qua uitvoering van de bovenarm zijn twee typen machines te onderscheiden:

1. Machine met een scharnierende arm.
2. Machine met een rechtgeleiding.

Machine met een scharnierende arm (zie figuur 4.2)

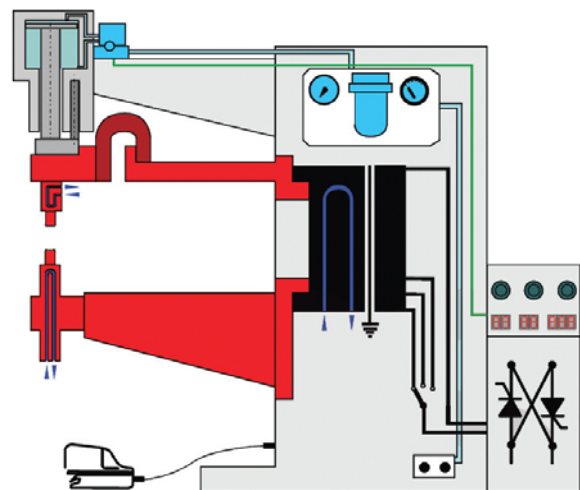
Dit type is eenvoudig van bouw en constructie. De scharnierconstructie maakt dat de verplaatsing van de bovenste elektrode niet rechtlijnig is.



figuur 4.2 Machine met scharnierende arm

Machine met een rechtgeleiding

Bij dit type machine maakt de bovenarm een rechtlijnige meestal verticale beweging (zie figuur 4.3). Met dit type is een robuuste en stugge constructie van het frame gemakkelijk te verwezenlijken. Hierdoor kunnen machines worden geconstrueerd, die geschikt zijn voor het overbrengen van hoge aandrukkrachten, waarbij slechts geringe doorbuigingen optreden.



figuur 4.3 Machine met rechtgeleiding

Transportabele machines

Onder deze groep vallen voornamelijk de puntlastangen die worden toegepast in die gevallen, waarbij de afmetingen van de te lassen werkstukken zodanig zijn, dat deze niet onder een vast opgestelde machine zijn te manipuleren. Bij de kleinere typen zijn de transformator en de tijdregel-apparatuur vaak in één unit in de tang ondergebracht. Bij de grote typen vindt de voeding (stroomvoorziening) plaats via een onafhankelijk opgestelde transformator, die door middel van watergekoelde flexibele kabels met de lastang is verbonden. Deze transformator is vaak boven de tang opgehangen. De tang wordt meestal door een trekbalans ondersteund en in evenwicht gehouden. Ook bij de lastangen kan onderscheid worden gemaakt tussen tangen met een scharnierende arm (schaartangen) en tangen met een rechte geleiding (C-frame tangen).

4.2.2 Wijze van aanbrengen aandrukkracht

De aandrukkracht wordt ingeleid via de bovenarm. De constructie van de bovenarm wordt in grote mate bepaald door de wijze, waarop de aandrukkracht wordt opgebracht. De keuze daarvan is sterk afhankelijk van het te lassen materiaal en van het gebruikte weerstandlasproces. Zo zijn bijvoorbeeld aluminium en aluminiumlegeringen wegens de hoge uitzettingscoëfficiënt en het goede warmtegeleidingsvermogen gevoelig voor de vorming van krimpseuren en porositeit tijdens het afkoelen. Om een goede lasverbinding te verkrijgen dient er voldoende druk te zijn tijdens en direct na de stroomdoorgang. Om deze reden wordt dikwijls een speciale constructie voor het aanbrengen van de aandrukkracht toegepast.

Een speciale constructie wordt ook vaak toegepast bij het projectielassen. Bij het vormen van de laslens dienen de elektroden zo goed mogelijk contact te houden met de te lassen onderdelen. De kop moet het inzakken van de las zo snel mogelijk kunnen volgen.

De volgende mogelijkheden voor het aanbrengen van de aandrukkracht kunnen worden onderscheiden:

Mechanische uitvoering

Hier zorgt een veerconstructie voor het aanbrengen van de aandrukkracht. De bediening ervan gebeurt met de voet (zie figuur 32) of bij kleine mobiele lasmachines met de hand.

Pneumatische uitvoering

Bij grote lasmachines wordt meestal de kracht met een luchtcilinder en een zuiger aangebracht. De bediening gebeurt met behulp van een voetschakelaar. Afhankelijk van de uitvoering kan men de lucht alleen boven of zowel boven als onder de cilinder toelaten. In het laatste geval kan men voor- en nadruk en de lasdruk onafhankelijk van elkaar regelen. Tegenwoordig zijn er ook machines die twee cilinders boven elkaar hebben, waardoor drukvariaties geregeld kunnen worden.

Pneumatische uitvoering met membraanconstructie

Bij dit type zijn twee uitvoeringen te onderscheiden: de vlakke membraanconstructie en de rolmembraanconstructie. Beide hebben tot doel de wrijving tussen zuiger en cilinderwand teniet te doen, om zodoende het "volgen" door de bovinelektrode te verbeteren. Van deze constructies wordt daarom beweerd dat ze meer geschikt zijn voor het projectielassen en voor het lassen van aluminium en aluminiumlegeringen.

Pneumatische uitvoering met extra veedruk

Met deze constructie wordt de wrijving tussen zuiger en cilinderwand met behulp van een veerconstructie gecompenseerd. Deze constructie is eveneens geschikt

voor het projectielassen en voor het lassen van aluminium en aluminiumlegeringen.

Hydraulische uitvoering

Wanneer grote aandrukkrachten nodig zijn, wordt de elektrodebeweging hydraulisch tot stand gebracht.

Pneumatisch /hydraulische uitvoering

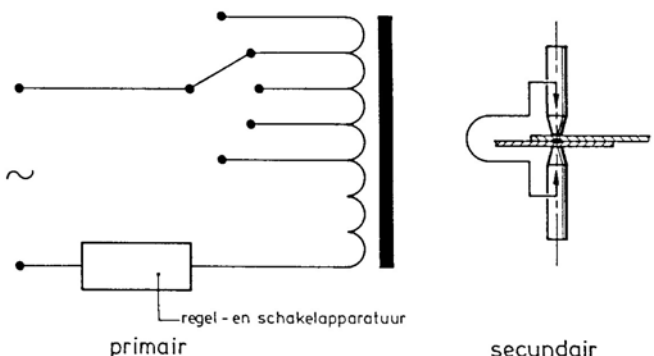
Dit systeem maakt het mogelijk om een bovenkop te construeren die betrekkelijk gering van afmetingen is. Bij de vast opgestelde machine met scharnierende arm wordt de mechanische uitvoering, de met de voet te bedienen veerconstructie (figuur 4.2) of de pneumatische uitvoering toegepast. Het is daarbij mogelijk om de werkstukdelen eerst licht tussen de elektroden te klemmen, zodat men kan nagaan of deze goed ten opzichte van elkaar geplaatst zijn. Na verder doortrappen van het voetpedaal wordt de volledige aandrukkracht opgebracht, waarna de lasstroom wordt ingeschakeld. Bij de vast opgestelde machine met rechtgeleiding wordt de pneumatische uitvoering met of zonder extra veedruk of de pneumatisch/hydraulische uitvoering toegepast.

De puntlastangen worden veelal eveneens met de pneumatisch/hydraulische uitvoering toegerust.

4.3 Elektrisch gedeelte van de weerstand-lasmachine

Het elektrisch gedeelte van de weerstandlasmachine bestaat uit (zie figuur 4.4):

- ▶ de lastransformator, die zorgt voor de vereiste spanning;
- ▶ de regel- en schakelapparatuur voor het instellen en regelen van stroomsterkte en lastijd.



figuur 4.4 Principeschets elektrisch gedeelte van weerstandlasmachine

4.3.1 Lastransformator

De lastransformator (lastrafa) bevindt zich in het frame van de machine. Deze transformeert de netspanning van 230 of 400 Volt tot een spanning, die meestal ligt tussen 2 Volt (lichte machines) en 14 Volt (zware machines). De transformator bestaat uit twee spoelen: de primaire en de secundaire spoel. De lastransformator is ontworpen om een hoge secundaire stroom te leveren. Daarom heeft de primaire spoel een groot aantal wikkelingen, de secundaire spoel, afhankelijk van het type, één of enkele windingen. De primaire (I_p) en de secundaire stroom (I_s) zijn immers, de optredende verliezen buiten beschouwing gelaten, omgekeerd evenredig met het aantal primaire (n_p) en secundaire wikkelingen (n_s) en omgekeerd evenredig met de primaire (V_p) en secundaire spanning (V_s).

In formule: $\frac{I_s}{I_p} \approx \frac{n_p}{n_s} \approx \frac{V_p}{V_s}$

De verhouding $\frac{n_p}{n_s}$ wordt overzet- of transformatieverhouding genoemd.

De secundaire stroomsterkte, die tijdens de lasperiode van de transformator wordt gevraagd, wordt bij een gegeven impedantie van het secundaire circuit bepaald door de secundaire spanning. De secundaire spanning kan worden gevarieerd door in stappen het aantal ingeschakelde primaire wikkelingen te variëren. In het voorbeeld van figuur 4.4 zijn vijf aansluitingen mogelijk. Hierbij is het bijvoorbeeld mogelijk, dat de secundaire spanning wordt ingesteld op 6V, 7,5V, 9V, 10,5V en 12V in de volgorde, waarin het aantal ingeschakelde primaire wikkelingen wordt verhoogd. Langs deze weg wordt een grove regeling van de lasstroom mogelijk gemaakt. Deze regeling wordt toegepast afhankelijk van het soort werkstuk en wel voornamelijk van de materiaalsoort en de materiaaldikte. Voor de fijnregeling wordt de regel- en schakelapparatuur gebruikt.

4.3.2 Regel- en schakelapparatuur

Om bij het weerstandlassen het gewenste aandrukkracht- en stroomsterkteprogramma uit te kunnen voeren, wordt gebruikgemaakt van elektronische regel- en schakelapparatuur. Meestal wordt gesproken over "besturing" van de weerstandslasmachine, in plaats van over regel- en schakelapparatuur wat minder juist is. De regelapparatuur bevindt zich in het primaire circuit.

Aandrukkracht regeling

De regelapparatuur heeft tot taak het moment te bepalen, waarop beide elektroden naar elkaar toe of van elkaar af bewegen (start/stop aandrukkracht). Hiertoe bedient de regelapparatuur een magneetklep. Deze klep schakelt zowel bij pneumatisch als bij hydraulisch uitgevoerde machines de cilinder in en uit, zodat de aandrukkracht kan worden aangebracht of opgeheven. Magneetkleppen zijn er in twee uitvoeringen, namelijk voor gelijk- of wisselspanning en kunnen door een relais of door een halfgeleider worden bekrachtigd. Wanneer korte reproduceerbare schakeltijden gewenst zijn, verdient de schakeling met de halfgeleider de voorkeur.

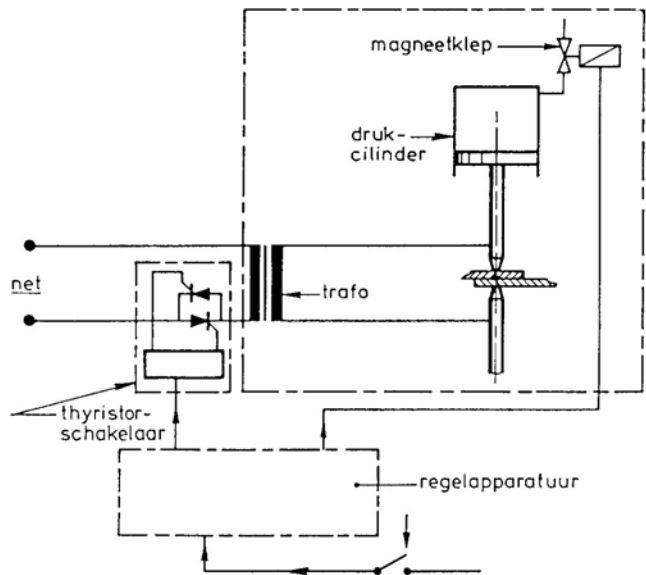
Stroomregeling

Een tweede functie van de regelapparatuur is het bepalen van het moment waarop de stroomschakelaar de (primaire) stroom inschakelt, en het moment waarop die deze "uitschakelt". Figuur 4.5 geeft schematisch het principe van de regel- en schakelapparatuur weer. In de figuur is een thyristorschakeling afgebeeld.

De regelapparatuur bedient door middel van spanningspulsen de schakelapparatuur: een thyristor. Met het ontsenken van de thyristor door een spanningspuls toe te voeren aan de ontsteekelektrode, wordt de thyristor geleidend. De thyristor dooft uit, wanneer de stroom er doorheen nul wordt, en laat ook verder geen stroom meer door. Indien wordt gewenst dat de thyristor blijft geleiden, zal steeds op de momenten waarop de stroom er doorheen nul wordt, deze opnieuw met een puls moeten worden ontstoken. Met de eerste spanningspuls wordt het inschakelmoment van de stroom bepaald.

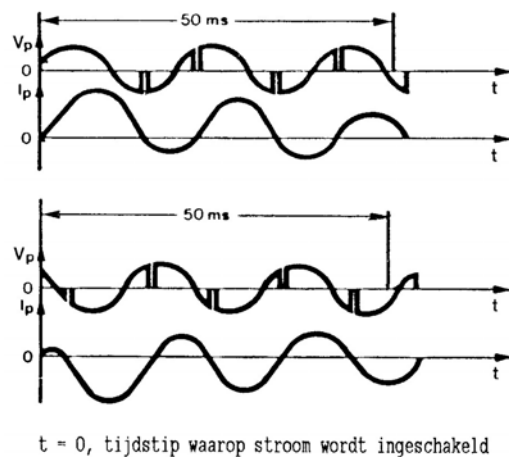
Afhankelijk van het feit of er een relatie is tussen het inschakelmoment van de stroom en de nuldoorgang van de wisselspanning, worden twee soorten regelingen onderscheiden, te weten:

- de *asynchroonregeling* en
- de *synchroonregeling*.



figuur 4.5 Schematische voorstelling van een weerstandslasmachine met regel- en schakelapparatuur

Bij de *asynchroonregeling* is het inschakelmoment ten opzichte van de nuldoorgang van de wisselspanning niet vastgelegd. Bij deze regeling treedt een inschakelverschijnsel op, dat al naar gelang de positie van $t=0$ ten opzichte van de nuldoorgang van de primaire (net)spanning, een asymmetrisch verloop van de lasstroom tot gevolg heeft. Het gevolg hiervan is dat de lasstroomsterkte per las kan variëren (figuur 4.6). Naarmate de lastijden langer zijn, hebben de variaties minder effect.



figuur 4.6 Verloop van de primaire spanning V_p en de primaire stroom I_p bij asynchroonregeling en ingestelde lastijd van 50 ms.

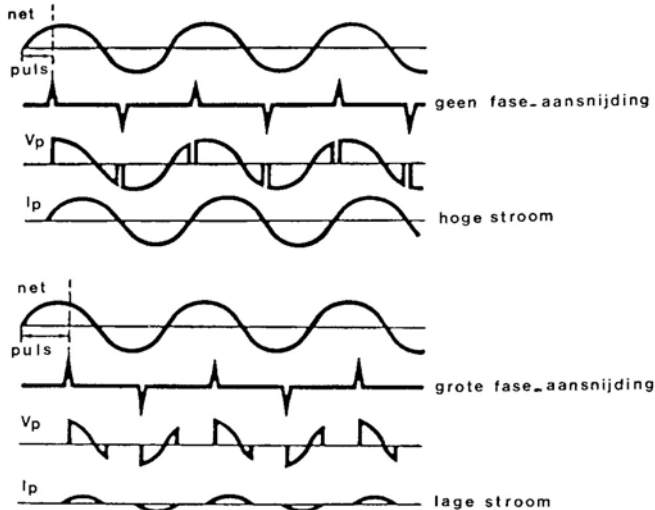
Boven: Tijdstip $t=0$ is voor primaire spanning een tijdstip aan het begin van een halve periode
Onder: Idem aan het eind van een halve periode

Bij de *synchroonregeling* is het inschakelmoment van de stroom een vast punt ten opzichte van de nuldoorgang van de netwisselspanning. Deze regeling is vereist bij het lasen met korte lastijden. Een verder voordeel is de mogelijkheid van traploze fijnregeling van de lasstroom door middel van faseaansnijding. Men spreekt van "besturing door faseaansnijding", wanneer het inschakelmoment, het tijdstip $t=0$, ten opzichte van de nuldoorgang van de netwisselspanning binnen een halve netspanningsperiode

wordt gevarieerd, m.a.w. de positie van het "vaste" punt wordt gevarieerd.

Dit gebeurt met behulp van een faseregelaar, waarin een met de hand te bedienen potentiometer is opgenomen.

Figuur 4.7 geeft het resultaat van een lasstroomregeling door middel van faseaansnijding. Duidelijk blijkt uit deze figuur, dat de sterkte van de primaire stroom en daarmee van de lasstroom sterk afhankelijk is van het inschakelmoment van de stroom.



figuur 4.7 Verloop van de primaire spanning en stroom bij een lasstroomregeling door faseaansnijding

De regeling door faseaansnijding biedt tevens de mogelijkheid om gedurende een bepaalde ingestelde tijd, de stroom van nul tot de ingestelde lasstroom te laten stijgen (aanloop), of van de ingestelde waarde tot nul te laten dalen (uitloop). Figuur 4.8 toont dit schematisch.



figuur 4.8 Schematische voorstelling van een lasstroom met aanloop- en uitloopregeling

Leggen van opeenvolgende lassen

Asynchrone regelingen hebben altijd het optreden van een gelijkstroomcomponent tot gevolg. Hoe korter de lastijd, hoe groter deze component is. Aangezien de gelijkstroomcomponent een ongewenste magnetisering van de transformator kern tot gevolg heeft, treden verschillen in de lasstroom op bij het leggen van opeenvolgende lassen. Ook hier hebben de verschillen naarmate de lastijden langer zijn, minder effect.

Synchrone regelingen hebben het voordeel dat gelijkstroomcomponenten kunnen worden vermeden. En wel door ervoor te zorgen, dat het uitschakelen van de lasstroom en het weer inschakelen daarvan voor het aanbrengen van de volgende las, gebeuren op tijdstippen, waarvan de één ligt binnen een halve periode met positieve netspanning en de ander binnen een halve periode met negatieve netspanning.

Schakelapparatuur

Als schakelapparatuur voor de stroom komen in aanmerking:

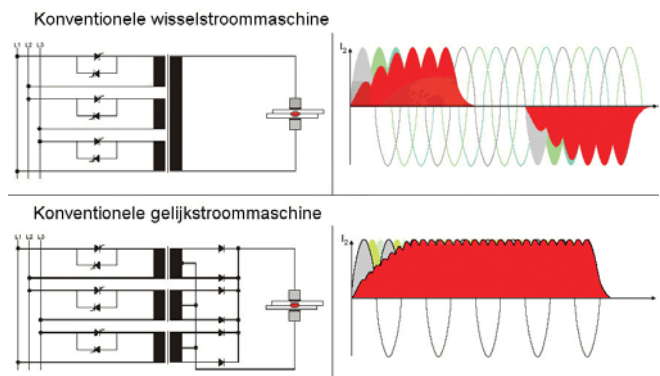
- de elektromagnetische schakelaar;
- de ignitronschakelaar (verouderd);
- de thyristor- en triacschakelaars.

De elektromagnetische schakelaars hebben enige traagheid. Het in- en uitschakelmoment in de sinusvormige kromme van de wisselstroom is dus niet nauwkeurig. Vandaar dat deze schakelaars altijd asynchrone tijdschakelaars worden genoemd. Deze schakelaars worden alleen toegepast in machines met relatief lage lasstromen zonder stroomregeling (bijv. in condensatorontladingsmachines).

Een ignitron werkt als een klep en kan alleen stroom doorlaten in één richting. Voor het in- en uitschakelen van een wisselstroom zijn dus twee ignitrons nodig, namelijk één voor de positieve en één voor de negatieve waarden van de wisselstroom.

Deze opstelling kan dus dezelfde functie verrichten als een gewone elektromagnetische schakelaar. De voordelen zijn echter, dat er geen bewegende delen zijn, geen inbranden van contacten kan optreden en het geheel traagheidloos is en synchroon kan schakelen. Ignitrons zijn verouderd maar kunnen nog sporadisch voorkomen. Onderdelen zijn vrijwel niet meer te krijgen.

Thyristor- en triacschakelaars zijn opgebouwd uit bestuurbare siliciumhalfgeleiders. De thyristorschakelaar lijkt in principe op de ignitronschakelaar en bestaat uit twee antiparallel geschakelde halfgeleiders, die de primaire stroom schakelen. De triacschakeling bestaat uit slechts één halfgeleider, omdat triacs de stroom in twee richtingen kunnen doorlaten. De triac kan in tegenstelling tot de thyristor alleen voor het schakelen van kleine lasstromen worden gebruikt. Dit is aangegeven in figuur 4.9.



figuur 4.9 Schematische voorstelling van een Thyristorschakeling

4.3.3 Het vermogen van een weerstandlas-machine

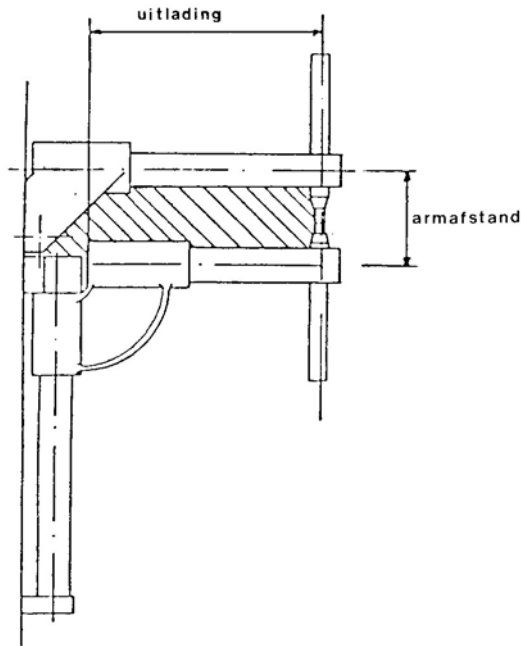
Zoals beschreven, levert de transformator een hoge lasstroom bij een lage spanning. Het product van beide wordt vermogen genoemd. Bij het berekenen van het vermogen kan er onderscheid worden gemaakt tussen:

- kortsluitvermogen en
- maximaal toegestane vermogen.

Het kortsluitvermogen wordt berekend door de opgenomen stroom uit het net te vermenigvuldigen met de netspanning. De uit te voeren stroommeting gebeurt met op elkaar gedrukte elektroden en met de lastransformator in de hoogste stand geschakeld. Dit vermogen mag slechts kort worden opgenomen. De stroom in het secundaire

lascircuit wordt bepaald door de Ohmse en de inductieve weerstanden. Voor de Ohmse weerstand zijn de toegepaste materialen en de overgangsweerstand in het circuit verantwoordelijk.

De inductieve weerstand wordt bepaald door de vorm van de transformator en de geometrie van het venster (zie figuur 4.10). De stroom en daarmee het vermogen worden bij gebruik van wisselspanning voornamelijk beïnvloed door de grootte van het venster. Met het kortsluitvermogen of maximale vermogen behoren dus altijd ook de "uitlading" en de armafstand te worden gegeven. Bij gebruik van gelijkstroom is de stroomsterkte onafhankelijk van de zelfinductie in de stroomkring.



figuur 4.10 Venster: de door de secundaire stroomkring omvatte oppervlakedoorsnede

Het maximaal toegestane vermogen wordt bepaald door de maximaal toelaatbare temperatuurstijging in de transformator. Deze temperatuurstijging is een gevolg van de stroomdoorgang. Bij het weerstandlassen is er sprake van een intermitterende belasting; d.w.z. stroomperiodes worden afgewisseld door pauzetijden. Bij langere pauzetijden koelt de transformator langer, en zou er een hogere stroomsterkte toegestaan kunnen worden. Het maximaal toegestane vermogen wordt daarom altijd opgegeven in relatie tot de inschakelduur, die gegeven wordt door:

$$\text{Inschakelduur (I.D.)} = \frac{\text{werkelijke lasttijd}}{\text{totale cyclusduur}} \times 100\%$$

Opgemerkt dient te worden dat voor de berekening van de ID de cyclustijd op maximaal tien minuten wordt gesteld. Bij de opgave van het vermogen door de fabrikant wordt het vermogen meestal vermeld bij een ID van 50%. Het omrekenen van het toegestane vermogen bij 50% ID naar een vermogen bij een in de praktijk gevonden ID kan met behulp van de volgende formule:

$$(\text{kVA}_2)^2 = (\text{kVA}_1)^2 \times \frac{\text{ID}_1}{\text{ID}_2}$$

Hierin is:

kVA_1 het opgegeven machinevermogen,
 ID_1 de opgegeven ID (meestal 50%),
 kVA_2 het gevraagde machinevermogen,
 ID_2 de berekende inschakelduur.

Om het gevraagde machinevermogen te verkrijgen wordt de formule omgezet zodat:

$$\text{kVA}_2 = \text{kVA}_1 \times \sqrt{\frac{\text{ID}_1}{\text{ID}_2}}$$

Samenvattend kan worden gezegd dat de materiaalsoort en de dikte van de te puntlassen delen de grootte van de benodigde lasstroom bepalen.

De bouw van de machine en de lastransformator bepalen hoeveel spanning er nodig is om de benodigde lasstroom te kunnen verkrijgen. Deze twee gegevens samen met de te verwachten inschakelduur bepalen over welk vermogen (kVA) de weerstandslasmachine dient te beschikken. De relatie plaatdikte en machinevermogen is echter niet exact vast te stellen. Zoals vermeld is dit afhankelijk van de bouw van de machine en van de parameters lasstroom, aandrukkracht en tijd. Er kunnen immers puntlassen worden gemaakt met lagere aandrukkrachten dan voorgeschreven, in combinatie met lagere lasstromen en langere tijden. Zoals bekend leveren hoge lasstromen in relatie met hoge krachten en korte lastijden de beste laskwaliteit. Om een indruk te verkrijgen over de richtwaarden van de parameters stroom, aandrukkracht en tijd zijn in hoofdstuk 10 enige tabellen gegeven. Wanneer gecompliceerde producten vervaardigd moeten worden, zijn de parameters vaak niet meer via een tabel vast te stellen. Proefnemingen moeten dan uitsluitsel geven.

Hoofdstuk 5

Outillage van een weerstandlasmachine

Bij het inrichten van een ruimte voor het weerstandlassen, dient er aan bepaalde voorwaarden te worden voldaan om een goede machinewerking te kunnen garanderen. Er moet rekening worden gehouden met:

- het elektriciteitsnet;
- het koelsysteem;
- het persluchtnet.

Tevens kan hierbij nog worden genoemd, dat met het oog op inductieverschijnselen (nadelig voor de sterkte van de secundaire stroom) installaties in de directe omgeving van de lasmachine moeten zijn gemaakt van niet-magnetiseerbare materialen.

5.1 Elektriciteitsnet

De lasmachines die worden gebruikt, zijn, qua aansluiting op het net, te onderscheiden in twee groepen: de éénfase- en de driefasen weerstandlasmachines. De eerste zijn geschikt voor aansluiting op een éénfase-net, de tweede voor aansluiting op een driefasen-net. De éénfase-machines zijn de meest voorkomende machines. Deze hebben als nadeel het voedingsnet ongunstig te belasten. Daarom dient bij het opstellen van meer éénfase-machines, behalve met de grootte van het net, ook rekening te worden gehouden met de verdeling van de machines over het voedingsnet. Voor een bedrijfszekere werking is een "schoon" net een vereiste.

De driefasen-machines worden toegepast in combinatie met een ingebouwde schakeling voor het verlagen van de frequentie of met één voor het gelijkrichten van de spanning.

5.2 Koelsysteem

Om te voorkomen dat de temperatuur van de elektroden te hoog oploopt, moeten deze worden gekoeld. Bij slechte of geen koeling kan de onthardingstemperatuur van het elektrodemateriaal worden overschreden. Dit heeft nadelige gevolgen voor de standtijd van de elektroden en de kwaliteit van de puntlas. Natuurlijke koeling wordt vrijwel uitsluitend toegepast bij machines met een lage capaciteit. Waterkoeling wordt hoofdzakelijk toegepast voor de inwendige koeling van de elektrode. In bijzondere gevallen kan deze ook uitwendig worden gekoeld. Dit wordt hoofdzakelijk toegepast bij rolnaadlassen van roestvast staal en titanium legeringen; dit afhankelijk van de te verbinden materiaal diktes.

Men onderscheidt:

Het open systeem

Lasmachines worden doorgaans geleverd voor aansluiting op het waterleidingnet. Hierbij stroomt het gebruikte water in een open afvoer, zodat de gehele hoeveelheid verloren gaat. Als in een bedrijf ook andere toestellen worden gebruikt, die met minder intensieve koeling kunnen volstaan, kunnen deze soms met succes in serie achter de lasmachine worden geplaatst. De afvoer vindt dan onder druk plaats. In dit geval moet speciale aandacht worden geschonken aan de afdichting. Verder dient rekening te worden gehouden met corrosieverschijnselen.

Het gesloten systeem

Hierbij circuleert water onder druk van een pomp. De voordelen hiervan zijn:

- een zeer gering waterverbruik;
- een tamelijk constante kwaliteit van het koelwater;

- de mogelijkheid van corrosiebestrijding door bijv. toevoeging van 0,5% natriumbichromaat aan het water;
- de mogelijkheid om meer lasmachines parallel aan te sluiten op een centrale koelinstallatie.

Opmerkingen: Aanbevolen wordt:

- de begintemperatuur van het koelwater op ongeveer de omgevingstemperatuur te houden en deze niet meer dan 30°C te laten stijgen;
- verontreinigd koelwater te filtreren om verstopping tegen te gaan;
- water met een zuur of basisch karakter te neutraliseren, daar anders aantasting van machinedelen kan optreden;
- zacht (onthard) water te gebruiken.

Hoewel voor de koeling meestal water wordt gebruikt, kunnen ook andere koelmedia in aanmerking komen.

5.3 Persluchtnet

Bij gebruik van pneumatisch bediende apparatuur bestaat de persluchtinstallatie uit:

compressor	}	vaste installatie
luchtdroger		
stof- en waterafscheider	}	weerstandlasmachine
reducerventiel		
manometer		
olievernevelaar		
magneetventiel		
luchtcilinder		

De gebruikte perslucht dient vrij van water te worden gehouden. Veelal is in het persluchtnet achter de compressor een luchtdroger geplaatst en wordt bij de weerstandlasmachine vóór het reduceerventiel een extra waterafscheider gemonteerd. De persluchtdruk dient op de machine gereduceerd te worden tot een druk die nodig is om een bepaalde aandrukkracht te kunnen instellen. Machine-tabellen geven de luchtdrukinstelling in relatie tot de aandrukkracht weer.

De instelwaarde van de luchtdruk is af te lezen op de manometer.

Achter het filter of de waterafscheider, maar dikwijls vóór het reduceerventiel, is in het leidingsysteem de olieverneler geplaatst. Deze voegt enige druppels olie toe aan de perslucht voor smering van de luchtcilinder. Nadat de commandoschakelaar is gesloten, schakelt het magneetventiel de luchtcilinder in. Bij grote machines is daarvoor een luchtbuffer bijgeplaatst.

Hoofdstuk 6

Het meten van de lasparameters en elektrische weerstanden

De aanschaf en onderhoudskosten belemmeren dikwijls de aanschaffing van meet- en registratieapparatuur. Wanneer de voordelen van het meten van de lasparameters tegen de kosten worden afgewogen, blijkt dat de uitgaven meestal zeer verantwoord zijn. De belangrijkste voordelen die het meten van de parameters met zich meebrengt zijn:

- ▶ de parameters zijn bekend, waardoor de reproduceerbaarheid van de las wordt vergroot, wat de kwaliteit ten goede komt;
- ▶ de kosten door uitval of reparatie kunnen worden verlaagd.

Dit hoofdstuk behandelt methoden en apparatuur voor het meten en registreren van de weerstandlasparameters. In volgorde worden behandeld: de stroomsterkte, de lastijd en de aandrukkracht. De apparatuur die voor het meten van deze grootheden op de markt is, kan worden onderverdeeld in:

- ▶ mechanische apparatuur;
- ▶ elektrische apparatuur, gevoed door een batterij of het lichtnet.

De parameters kunnen in analoge, digitale of geschreven vorm worden aangeboden. De stroomsterkte I wordt veelal aangegeven in kilo-Ampère (kA); de tijd t in seconden (sec.) of perioden (Per.) en de kracht F in kilo-Newton (kN).

6.1 Het meten van de lasstroom

Met behulp van een ringvormige opnemer, ook wel toroïde of Rogowskispoel genoemd, die met de meet- en registratieapparatuur is verbonden, wordt een veldsterktesignaal opgenomen van een stroomvoerende lasarm of elektrodehouder. Het plaatsen van de opnemer dient overeenkomstig de voorschriften van de fabrikant te gebeuren. Bij een onjuiste opstelling kunnen zich meetafwijkingen tot 10% voordoen. In de regel wordt een juiste opstelling bereikt door de opnemer centrisch ten opzichte van de stroomvoerende geleider te plaatsen en wel zodanig gedraaid, dat de hoogste meetwaarde wordt verkregen.

Bij het plaatsen dient tevens voldoende afstand te worden gehouden tot metalen voorwerpen in de directe omgeving, daar deze de meting kunnen beïnvloeden. Het veldsterktesignaal is een maat voor de al of niet door fase-aansnijding geregelde lasstroom. Met speciale apparatuur wordt uit het signaal de piekwaarde of de effectieve waarde van de lasstroom bepaald. Bij een van de sinusvorm afwijkende wisselstroom kan alleen de piekwaarde worden aangegeven, omdat in dat geval geen rekenmodel voorhanden is voor de berekening van de effectieve waarde. In de DVS Merkblätter 2908 en 2913 wordt het meten van de lasstroom beschreven.

Een andere mogelijkheid om de lasstroom tijdens het lassen te kunnen meten, is de methode waarbij een gekalibreerde weerstand in serie met het secundaire stroomcircuit wordt geplaatst. De spanningsval over deze weerstand is een maat voor de lasstroom.

6.2 Het meten van de lastijd

De lastijd eventueel met "up slope" en "down slope" kan met de in de handel verkrijgbare periodetellers worden gemeten. De lasstroom wordt als ingangssignaal gebruikt.

Langs deze weg kunnen perioden of halve perioden, positief of negatief, foutloos worden gemeten.

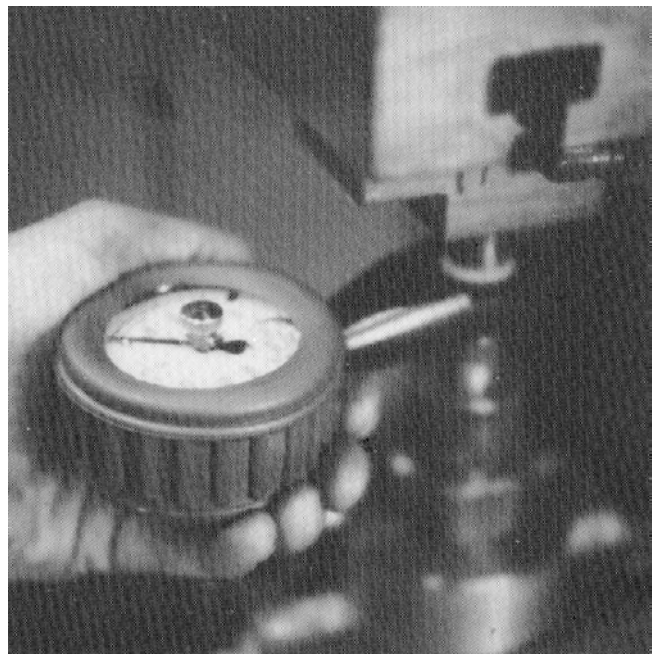
6.3 Het meten van de aandrukkracht

Het instellen van de aandrukkracht bij een weerstandlas-machine, geschiedt veelal door het afregelen van een meteraanwijzing. Deze meter is gekoppeld met het aandrukkrachtmechanisme (mechanisch, pneumatisch of hydraulisch). Bij het op deze manier instellen wordt echter geen rekening gehouden met bijvoorbeeld het eigen gewicht van de zuiger of het gewicht van de bovinelektrode. Ook blijven de gevolgen van slijtage in het systeem buiten beschouwing. Beter zou zijn wanneer de aandrukkracht die tussen de elektroden optreedt, wordt gemeten. Twee principieel verschillende metingen kunnen worden onderscheiden:

- ▶ het statisch meten;
- ▶ het dynamisch meten.

Het statisch meten

Onder statisch meten wordt hier verstaan het meten van de kracht terwijl er geen stroom loopt tussen de elektroden. Tussen beide elektroden wordt een mechanisch of elektrisch meetinstrument geplaatst. Bij het sluiten van de commandoschakelaar van de lasmachine wordt het meetinstrument tussen de elektroden geklemd en wordt op de meteraanwijzing de aandrukkracht afgelezen. Bij gebruik van mechanische instrumenten bedraagt de foutaanwijzing ongeveer 2 tot 5% van de schaalwaarde. Bij elektrische instrumenten bedraagt deze ongeveer 1%. In figuur 6.1 is een voorbeeld van een mechanische drukketer te zien. Voor het instellen van de aandrukkracht is deze statische meting voldoende nauwkeurig. De veranderingen, die zich tijdens het lasproces afspelen, worden echter met deze methode niet gemeten.

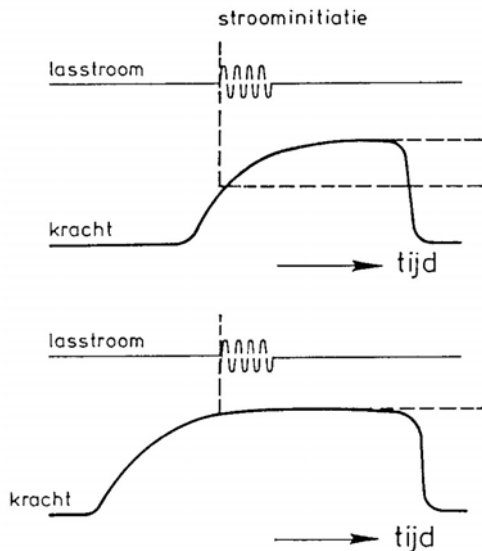


figuur 6.1 Mechanische drukketer

Het dynamisch meten

Onder dynamisch meten wordt verstaan het meten van de aandrukkracht terwijl de lasstroom loopt. Dit heeft het voordeel, dat veranderingen in de aandrukkracht die optreden als gevolg van uitzetten en krimpen tijdens het vormen van de laslens, kunnen worden gemeten.

De gegevens die hieruit worden geproduceerd zijn zeer geschikt voor researchdoeleinden, bijvoorbeeld voor het lasbaarheidsonderzoek van materialen. In de praktijk wordt de dynamische meting in combinatie met de stroommeting toegepast voor het instellen van de voordruktijd. De stroom mag pas beginnen te lopen op het moment dat de aandrukkracht de gewenste waarde heeft bereikt. Figuur 6.2 laat dit zien.

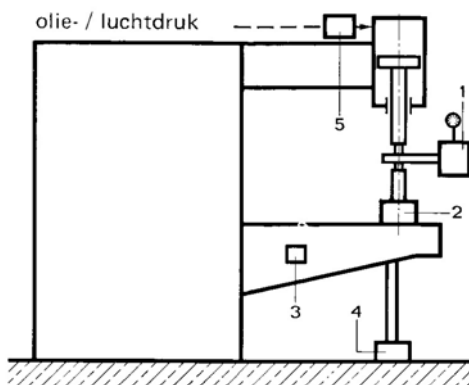


figuur 6.2 Verloop van de lasstroom en de aandrukkracht.
Boven: voordruktijd te kort,
Onder: voordruktijd goed afgesteld

Vooral bij massaproductie is een zo gering mogelijke voordruktijd belangrijk in het streven naar een zo hoog mogelijke productiesnelheid.

De aandrukkracht kan in principe op twee manieren worden bepaald:

- ▶ rechtstreeks door het meten van de kracht in de constructie van de lasmachine (figuur 6.3, nr. 1, 2, 3, 4);
- ▶ via het meten van de druk in de lucht- of olieleiding in geval van pneumatische en/of hydraulische uitvoering van het aandrukkrachtmechanisme (figuur 42, nr. 5).



figuur 6.3 Schematische voorstelling van de mogelijkheden voor het meten van de aandrukkracht

Mogelijkheid nr. 1 leent zich in feite alleen voor het statisch meten van de aandrukkracht. In principe is met alle overige mogelijkheden de aandrukkracht dynamisch te meten. Met behulp van rekstrookjes op de onderste lasarm (figuur 6.3, nr. 3) of met drukopnemers of drukdozen aan een meetstaaf bevestigd (figuur 6.3, nr. 4) wordt een signaal verkregen, dat een maat is voor de grootte

van de vervorming van de onderarm of de meetstaaf en dus voor de aandrukkracht. Deze systemen hebben het nadeel dat ze voor elke willekeurige armlengte (uitlading) gekalibreerd moeten worden. De beste meetmethode is de methode waarbij een piëzo-elektrische meetkop wordt geplaatst in de hartlijn van de elektroden (figuur 6.3, nr. 2). Het meten van de aandrukkracht met behulp van een drukopnemer in de lucht- of olieleiding (figuur 6.3, nr. 5) heeft het voordeel, evenals bij mogelijkheid nr. 2, dat de meting niet afhankelijk is van de armafstand. Een nadeel is dat door wrijvings- en traagheidsverschijnselen de gemeten druk geen goede maatstaf is voor de aandrukkracht tussen de elektroden. Deze methode is derhalve het minst geschikt voor het dynamisch meten van de aandrukkracht. Dit geldt zeker in geval van lucht als drukmedium.

6.4 Het meten van elektrische weerstanden

Tot de jaren tachtig was het onmogelijk om de elektrische weerstand goed te meten bij de hoge stroomsterkten, zoals die bij het weerstandlassen optreden. Daardoor kon bij ingeschakelde stroom nooit worden bepaald, hoeveel op elk moment de weerstand van het secundaire circuit van de lasmachine bedroeg. Weerstandsmetingen aan het secundaire circuit werden altijd uitgevoerd bij een lage stroomsterkte (circa 10 A). Hiertoe werd het secundaire gedeelte losgekoppeld van de transformator. Het was bovendien onmogelijk om afzonderlijke contactweerstand, zoals bijvoorbeeld tussen elektrode en elektrodehouder, te meten. Het onderzoek naar terugkoppelsystemen, waarin opgenomen procescontrole apparatuur, leidde tot de ontwikkeling van een weerstandmeter, waarmee weerstand bij hoge stroomsterkten, ondanks de aanwezige zelfinductie, kan worden gemeten.

Met het apparaat kunnen de volgende metingen bij ingeschakelde (hoge) secundaire stroom worden uitgevoerd:

- ▶ het meten van de weerstand van kabels in het secundaire circuit;
- ▶ het meten van afzonderlijke overgangs- of contactweerstand;
- ▶ het detecteren van verschillen in plaatdikte en in oppervlaktegesteldheid.

Bij de toepassing van flexibele kabels in het secundaire circuit van de lasmachine doet zich het volgende probleem voor. Als door slijtage draadbreuk plaatsvindt en wel zodanig, dat de geleidbaarheid afneemt en de kabel eigenlijk onbruikbaar wordt, kan dit door een eenvoudige meting van de weerstand van de losse kabel niet worden vastgesteld. Immers, de geleidbaarheid in koude toestand van een dergelijke kabel is bijna net zo goed als van een onbeschadigde kabel. Bij een weerstandsmeting tijdens bedrijf, wordt de beschadiging eerder vastgesteld. Dit komt doordat de kabel ter plaatse van de beschadiging wordt verhit. De daarmee gepaard gaande weerstandsverhoging kan wel in een vroegtijdig stadium worden ontdekt. Een toename van de weerstand in het secundaire circuit kan ook worden veroorzaakt door beschadigingen of vervuiling van de afzonderlijke contactvlakken. De weerstandsverhogingen kunnen een ontoelaatbare stroomdaling tot gevolg hebben, waardoor de laslens te klein wordt. Een achteruitgang van de las kwaliteit kan door routinematige controles van de weerstand met behulp van de hogestroom-weerstandmeter worden voorkomen. Behalve voor het meten van weerstanden in het secundaire circuit ten behoeve van bijvoorbeeld preventief onderhoud, wordt het apparaat ook gebruikt voor het bepalen van het verloop van de weerstand tussen de te lassen plaatdelen tijdens de vorming van de laslens. Een voorbeeld van het verloop van de (dynamische) weer-

stand is gegeven in § 2.2. Het weerstandsverloop is bepalend voor de kwaliteit (laslens-grootte) van de zich vormende las en wordt daarom als ingangssignaal gebruikt voor parameterregelende procescontroleapparatuur. Een overzicht van procescontrolemethoden is gegeven in § 9.2.4.

Hoofdstuk 7

Weerstandlaselektroden

7.1 Functie van laselektroden

De elektroden die bij het weerstandlassen worden gebruikt moeten de volgende functies vervullen:

1. Het geleiden van de stroom naar het te lassen materiaal.
2. Het overbrengen van de lasdruk op het te puntlassen materiaal.
3. Het afvoeren van de overvloedige warmte.

Voor het goed kunnen vervullen van deze functies dient het materiaal waaruit de laselektroden worden vervaardigd, aan bepaalde eisen te voldoen.

7.2 Materiaal van laselektroden

Het elektrodemateriaal dient de volgende eigenschappen te bezitten:

- ▶ goed elektrisch en thermisch geleidingsvermogen;
- ▶ hoge hardheid;
- ▶ hoge onthardingstemperatuur *);
- ▶ gering vermogen tot legeren met het werkstuk;
- ▶ goede mechanische bewerkbaarheid.

Het beste elektrodemateriaal zou dus een materiaal zijn met een maximaal elektrisch geleidingsvermogen, een maximale hardheid en een maximale onthardingstemperatuur. Aangezien een dergelijk materiaal niet bestaat (een hoge hardheid gaat steeds samen met een laag elektrisch geleidingsvermogen), zijn de gestelde eisen tegenstrijdig met elkaar. Steeds zal de uiteindelijke keuze van het materiaal op een compromis moeten berusten. Zo voldoet bijvoorbeeld elektrolytisch (zuiver) koper als elektrodemateriaal niet. Het heeft een uitstekend geleidingsvermogen, maar is veel te zacht. Toevoeging van diverse legeringselementen ter verhoging van de hardheid beïnvloedt echter in nadelige zin het geleidingsvermogen. Behalve de hardheid is ook de taaiheid van het materiaal van invloed op de slijtage van de elektrode.

Bij puntlaswerk, waarbij hoge aandrukkrachten worden toegepast, moet uit oogpunt van slijtvastheid worden uitgegaan van elektrodemateriaal met een zo hoog mogelijke hardheid. Bij laswerk waarbij lage aandrukkrachten worden toegepast, of waarbij de klem- en/of stuikkrachten door andere elementen dan de elektroden worden overgebracht en waarbij de lastijden veel langer zijn dan bij het puntlassen (bijvoorbeeld bij het afbrandstuiklassen), stelt men andere materiaaleisen. Ten gevolge van de lange lastijden worden elektroden thermisch zwaar belast, waardoor de kans op ontharding van het materiaal toeneemt. Daarom wordt in deze gevallen uitgegaan van materialen die, behalve een zo groot mogelijk elektrisch geleidingsvermogen, een voldoende hoge onthardingstemperatuur bezitten om weerstand te kunnen bieden aan vervorming en slijtage.

De belangrijkste elektrodematerialen zijn vastgelegd in (NEN) ISO 5182. In tabel 7.1 is aan de hand van deze norm globaal het toepassingsgebied in samenhang met de fysische eigenschappen weergegeven. In tabel 7.2 zijn enkele elektrodematerialen opgenomen, verdeeld in klassen met de bijbehorende fabrikanten en elektrodemerknamen.

De hardbare legeringen CuCr (koper-chroom), CuCrZr (koper-chroom-zirkoon) en CuCoBe (koper-kobalt-beryllium) worden, als de eisen ten aanzien van de gewenste eigenschappen toenemen, koud vervormd na de thermische behandeling.

Om een indruk te krijgen omtrent de geschiktheid van een bepaald materiaal om te worden gepuntlast, is in tabel 7.3 een overzicht van de meest voorkomende materialen gegeven. Tevens zijn in deze tabel weer de bijbehorende elektrodemateriaal klassen aangegeven.

7.3 Vormtypen en afmetingen van laselektroden

7.3.1 Algemeen

De belangrijkste vormtypen van weerstandlaselektroden worden bepaald door:

- ▶ de vorm van de langsdoorsnede;
- ▶ de vorm van de elektrodepunt;
- ▶ de vorm van het inklemmingsuiteinde;
- ▶ de toegepaste wijze van koeling.

Daarbij dient nog onderscheid te worden gemaakt tussen elektroden voor punt-, projectie- of rolnaadlassen.

7.3.2 Elektroden voor puntlassen

Typen

De puntlaselektroden kunnen op grond van hun vorm en de wijze waarop zij worden gekoeld, in vier typen worden verdeeld, te weten:

- ▶ de rechte, direct gekoelde elektrode, type A;
- ▶ de gebogen, direct gekoelde elektrode, type B;
- ▶ de dubbel gebogen, direct gekoelde elektrode, type C;
- ▶ de korte rechte, indirect gekoelde elektrode, type D (ook wel toegepast in normale lengte, direct gekoeld).

Figuur 7.1 (blz. 29) laat de verschillende typen zien.

Onder directe koeling wordt verstaan een koeling, waarbij direct contact tussen het koelmiddel (water) en de elektrode bestaat. Het waterkanaal loopt door tot in de elektrode. Bij de indirecte koeling bevindt zich het waterkanaal alleen in de elektrodehouder. Koeling van de elektrode vindt dan uitsluitend plaats door geleiding. Deze wijze van koeling is alleen te veroorloven bij een korte elektrode, zoals type D.

De afgebeelde elektrodetypen hebben alle een bolvormige punt. Afhankelijk van de toepassing kan de punt ook vlak worden uitgevoerd. De meest toegepaste vlakke elektrodepunten zijn weergegeven in figuur 7.2. Het inklemmingsuiteinde van de elektrode is al dan niet conisch uitgevoerd. Het conische gedeelte zal ter wille van een goed contact en een goede afdichting zeer nauwkeurig moeten zijn bewerkt.

Toegepaste wijze van koeling

De hardheid van de elektroden neemt met toenemende temperatuur af. De elektroden dienen daarom goed te worden gekoeld, anders wordt de kwaliteit van de las nadelig beïnvloed. Tevens wordt de standtijd daardoor verlengd. De koeling (met water) van de elektrode vindt in de regel plaats als z.g. inwendige koeling (zie figuur 7.3).

Het is echter niet voldoende de elektrode zonder meer hol uit te voeren. Om een goede koeling te waarborgen

*) De onthardingstemperatuur is de temperatuur waarbij het materiaal gedurende 30 minuten moet worden gegloeid om een daling van 10% van de oorspronkelijke gemiddelde hardheid te bewerkstelligen, gemeten bij kamertemperatuur.

elektrodemateriaal		elektrisch geleidings- vermogen MS/m minimaal	hardheid HV30 minimaal	onthardings- temperatuur °C minimaal	toepassingsgebied	
DIN 5182	samenstelling					
klasse						
A1 ¹⁾	1	Cu-ETP Cu (+ Ag) (min. 99,9% Cu)	56	85	150	Bij het punt- en het rolnaadlassen van aluminium en -legeringen
A1	2	CuCd1 (Cd: 0,7-1,3%)	45	90	250	Speciaal voor het lassen van aluminium(-legeringen). Tevens geschikt voor het lassen van beklede staalplaat (zink, aluminium, tin, lood, enz.)
A2	1	CuCr1 (Cr: 0,3-1,2%)	43	125	475	Verreweg de meest gebruikt legering bij het weerstandlassen, in het bijzonder van staal met laag C-gehalte; tevens geschikt voor het rolnaadlassen van staal met laag C-gehalte; redelijk lange lastijd
A2	2	CuCr1Zr (Cr: 0,5-1,4%) (Zr: 0,02-0,2%)	43	130	500	Elektroden voor het punt- en rolnaadlassen van beklede en onbekte plaat (zink, aluminium, tin, lood, enz.)
A3	1	CuCo2Be (Co: 2,0-2,8%) (Be: 0,4-0,7%)	23	180	475	In hoofdzaak bij het puntlassen van roest- en hittevast staal; als slijtstukken voor elektroden van afbrandstuiklas-, stuiklas- en doordrukasmachines; lasrollen voor het rolnaadlassen voor staal met laag C-gehalte (bijv. voor buizen) en ook voor onderdelen van lasmachines indien hoge hardheid moet samengaan met a-magnetische eigenschappen
A3	2	CuNi2Si (Ni: 1,6-2,5%) (Si: 0,5-0,8%)	18	200	500	Voor zwaar belaste elektrodehouders en armen
A4	1	CuNi1P (Ni: 0,8-1,2%) (P: 0,16-0,25%)	29	130	475	Voor elektrodehouders en gebogen elektroden
A4	2	CuBe2CoNi (Be: 1,8-2,1%) (Co-Ni-Fe: 0,2-0,6%)	12	350	300	Voor elektrodehouders, -schachten en rolnaadlaselektroden die worden gebruikt onder extreem hoge belasting
A4	3	CuAg6 (Ag: 6-7%)	40	140	400	Rolnaadlaselektroden voor het lassen van ongelegeerd staal onder hoge warmtebelasting, lange standtijd, gebruik beperkt wegens hoge prijs; speciaal aan te bevelen indien inwendige koeling moeilijk is te verwezenlijken
A4	4	CuAl10Fe5Ni5 (Al: 8,5-11,5%) (Fe: 2,0-6,0%) (Ni: 4,0-6,0%) (Mo: 0,0-2,0%)	4	170	650	Elektrodehouders
B10	–	W75Cu (Cu: 25%)	17	220	1000	Uitsluitend als slijtstukken voor elektroden bij het doordruk-, het afbrandstuik- en het weerstandstuiklassen van koolstofstaal
B11	–	W78Cu (Cu: 22%)	16	240	1000	Slijtstukken voor elektroden bij het weerstandstuiklassen
B12	–	W70Cu (Cu: 30%)	12	300	1000	Slijtstukken voor bij het doordruk-, het afbrandstuik- en het weerstandstuiklassen van roestvast staalsoorten
B13	–	Mo (Mo: 99,5%)	17	150	1000	Als slijtstukken voor projectielaselektroden; in het bijzonder o.a. bij het kruisdraadlassen van koper en -legeringen
B14	–	W (W: 99,5%)	17	420	1000	Als slijtstukken voor projectielaselektroden
B15	–	W65Ag (Ag: 35%)	29	140	900	Elektroden voor het hoogfrequentlassen van koolstofstaal

1) Klasse A heeft een lage onthardingstemperatuur, zodat het hardsolderen aan dit materiaal moet worden afgeraden

tabel 7.2 Enkele verkrijgbare elektrodematerialen en hun benaming

land	firma	klasse	A1		A2		A3	
		nummer	1	2	1	2	1	2
		legering	Cu.ETP	CuCd1	CuCr1	CuCr1Zr	CuCo2Be	CuNi2S1
UK	ERM			ERM.Cad.Copp.	ERM.CCS	ERM.CCS/2	ERM.NS	
	Johnson Mathey			Elkaloy A Mallory 22	Mallory 3	Mallory 326 Mallory 28	Mallory 100 Mallory 125 Mallory 150	Mallory 532
	Langley Alloys				Hidurel 6	Hidurel 640		
	Thomas Bolton			Boltomet 206 Boltomet 208	Boltomet 814			
	Metro-Cutanit			Elmet C	Elmedur	Elmedurex	Elmet HA	
USA	Weldaloy Products			Weldaloy 10	Weldaloy 20		Weldaloy 30	
	Ampco Metal Inc.			Ampcoloy 99	Ampcoloy 97		Ampcoloy 95N	
	Electraloy Co.			Electraloy A	Electraloy XX		Electraloy 7X	
	Weiger Metals			W.W.1	W.W.2		W.W.3	
	Tuffaloy Co. Inc.			Tuffaloy 88	Tuffaloy 77		Tuffaloy 55	
	Tipaloy Co.Inc.			Tipaloy 100	Tipaloy 170		Tipaloy 200	
Duitsland	Osnabrücker Kupfer Drahtwerk			Elbrodur C	Elbrodur N	HF = bar RS = forgings	Elbrodur B	
	Algemeine Elektrizitäts Gesellschaft AEG-Telefunken			Wirbalit C	Wirbalit N	Wirbalit HF Wirbalit N Wirbalit RS	Wirbalit B	
	Vereinigte Deutsche Metallwerke			Sigmadur E120	Sigmadur HV Sigmadur 4800	Sigmadur 4805	Kobedur	Kuproduer
	Masing-Kirkhof			Emkadur A	Emkadur	Emkadur 2	Emkarit	
	Eberhard-Jäger GmbH			SAS 3	SAS 2	SAS 1		
Frankrijk	Le Bronze Industriel			Elektral CD1		Elektral CRM16 Elektral CRM16X Elektral CRM16S	Elektral CB4	Elektral NS5

land	firma	klasse	A4				B11	B12	B13	B14	B15
		nummer	1	2	3	4					
		legering	CuNi1P	CuBe2CoNi	CuAg6	CuAl10FesNis	WCu	WCCu	Mo	W	WAg
UK	ERM			ERM Beryllium Copper							
	Johnson Mathey			Mallory 73 Mallory 53B		Elkaloy D110 Elkaloy D120 Elkaloy D130	Elkonite 20W3		Elkonite 100M	Elkonite 100W	
	Langley Alloys										
	Thomas Bolton										
	Metro-Cutanit						Elmet K20N		Elmet T49		Elmet S20
USA	Weldaloy Products			Weldaloy			Weldaloy 30CT				
	Ampco Metal Inc.			Ampcoloy 86-20			Ampcoloy 34/20				
	Electraloy Co.			Electraloy B			Electraloy 20				
	Weiger Metals			W.W.7			W.W.20-W				
	Tuffaloy Co. Inc.			Tuffaloy 44			20 W.3				
	Tipaloy Co.Inc.			Tipaloy 72			7-20 W.				
Duitsland	Osnabrücker Kupfer Drahtwerk										
	Algemeine Elektrizitäts Gesellschaft AEG-Telefunken						Wirbalit KW80		Wirbalit M100		
	Vereinigte Deutsche Metallwerke										
	Masing-Kirkhof		Emka 3A		Emka SC65		Emka LW1				
	Eberhard-Jäger GmbH										
Frankrijk	Le Bronze Industriel				Elektral CA7	Cupralinox NC4					

tabel 7.3 Geschiktheid van materialen voor weerstandlassen (bron: ref. [1])

	Staal koudgewalst C < 0,25%	Staal warmgewalst	Staal vertind	Staal verlood 80%Pb, 18%Sn, 2%Sb	Staal vuurverzinkt	Staal galvanisch verzinkt	Staal gecadmeerd	Staal verchroomd	Roestvast staal	Aluminium	Aluminiumlegering AlMg, AlCuMg	Magnesiumlegering	Koper	Messing 5-25% Zn	Messing ≥ 25% Zn	Koper Ni-legering (konstantaan)	Nieuw zilver	Silicium brons	Fosfor zink brons	Nikkel	Nikkellegering	Molybdeen Wolfram
staal, koud gewalst C ≤ 0,25%	d II II 1	f II II 1	d II II 1	d II II 1	d III II 3	d II II 3	e II II 3	e II II 3	e II II 3	e IV II 3,4	f II II 3,4	f V II 3,4	e I II 3,4	e I II 3,4	b II II 1	c II II 8	c II II 1	c I II 9	b III II 6	c I II 6	e III II 7	a II I 1
staal, warm gewalst	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1	f II II 1
staal, vertind	e II I 9	d I I 3,9	d II I 9	e II I 2,5	e II I 2	e II I 2	e II I 2	e II I 2	e II I 2	e IV I 6	f V I 6	f V I 3,4,9	e I I 4,9	d I I 3,4,9	d I I 3,4,9	e I,II I 2,5	c II I 8	d II I 9	c I I 6,9	d II I 6,7,9	d I I 6,9	d I I 6,9
staal, verlood (80% Pb 18% Sn 2% Sb)	e II III 9	d I I 3	d II I 9	e II I,II 2	e II I,II 2	e II I,II 2	e II I,II 2	e II I,II 2	e II I,II 2	e IV I,II 6	f V I,II 6	f V I 3,4,9	e I I 4,9	d I I 3,4,9	d I I 3,4,9	e II I 2	c II I 8	c III I 9	c I I 6	e II I 6,9	c I I 6	c I I 6
staal vuurverzinkt	f II II 9	d II II 3	d II II 3	e II II,VI 2,5	e II II,VI 2	e II II,VI 2	e II II,VI 2	e II II,VI 2	e II II,VI 2	e IV II,VI 2	f V II,VI 6	f V II,VI 4,9	e I II 5,9	d I I 3,4,9	d I I 3,4,9	e II I 2,5	c II I 8,9	c I I 9	c I,II III 9	b II,VI II,VI 5,9	b II,VI II,VI 5,9	b II,VI II,VI 5,9
staal galvanisch verzinkt	e II I 9	d II III 3	d II I 9	e II I 2,5	e II I 2	e II I 2	e II I 2	e II I 2	e II I 2	e IV I 6	f V I 6	f V I 1,4,9	e I III 5,9	d I I 3,4,9	d I I 3,4,9	e II I 2,5	c II I 8,9	c I I 9	c I,II III 9	c I,II III 9	c I,II III 9	c I,II III 9
staal gecadmeerd	e II I 9	d I I 3	d II I 9	e II I,II 2	e II I,II 2	e II I,II 2	e II I,II 2	e II I,II 2	e II I,II 2	e IV I,II 6	f V I,II 6	f V I 3,9	e I I 9	e I I 3,4,9	e I I 3,4,9	e II I 8	c II I 8	c I I 9	c I I 9	c I I 9	c I I 9	c I I 9
staal verchroomd	d II II 8	d II II 8	d II II 8	e II II 8	e II II 8	e II II 8	e II II 8	e II II 8	e II II 8	f IV II 3,4	f V II 3,4	f V II 3,4,9	f I II 1,8	f I II 1,8	f I II 1,8	b I II 8	b I II 8	b I II 8	b I II 8	b I II 8	b I II 8	b I II 8
roestvast staal	d II I 5,2	d II I 5	d III III 2	e II III 2	e II III 2	e II III 2	e II III 2	e II III 2	e II III 2	f IV II 3,4	f V II 6	f V I 2,3,4	f I I 3,4	f I I 1,2,4	a I,II II 1	a I,II II 1	a I,II II 1	a I,II II 1	a I,II II 1	a I,II II 1	a I,II II 1	a I,II II 1
aluminium		e II I 2,5	e II I 2,3	d II I 2,5	d II I 2,5	d II I 2,5	d II I 2,5	d II I 2,5	d II I 2,5	e II I 6	e II I 1	f V I 2	c I I 1,5	c I I 1	c I I 1	c I I 1	c I I 1	c I I 1	c I I 1	c I I 1	c I I 1	c I I 1
Aluminiumlegering AlMg, AlCuMg		e II I 2	e II I 1,2	d II I 2,5	d II I 2,5	d II I 2,5	d II I 2,5	d II I 2,5	d II I 2,5	e II I 6	e II I 2	e V I 2	c I I 1,5	d I I 1	d I I 1	d I I 1	d I I 1	d I I 1	d I I 1	d I I 1	d I I 1	d I I 1
magnesiumlegering				e II I 2,5	d II I 2,5	d II I 2,5	d II I 2,5	d II I 2,5	d II I 2,5	e II I 6	f V I 5	f V I 6	d I I 1,5									
koper	f II V 3	e II V 5,6	e II V 1,6	d II V 5,6	d II V 5,6	d II V 5,6	d II V 5,6	d II V 5,6	d II V 5,6	e II V 6	e II V 6	f V V 2										
Messing 5-25% Zn		d II V 6	d II V 8	C II V 6	c II V 6	c II V 6	c II V 6	c II V 6	c II V 6	e II V 2	e II V 2	e II V 2	e II V 2	e II V 2	e II V 2	e II V 2	e II V 2	e II V 2	e II V 2	e II V 2	e II V 2	e II V 2
Messing > 25% Zn		d II IV 6	d II II 6	C II IV 1	c II IV 1	c II IV 1	c II IV 1	c II IV 1	c II IV 1	e II II 1	e II II 1	e II II 1	e II II 1	e II II 1	e II II 1	e II II 1	e II II 1	e II II 1	e II II 1	e II II 1	e II II 1	e II II 1
Koper Ni-legering (konstantaan)		d II II 6	d II II 6	d II II 6	d II II 6	d II II 6	d II II 6	d II II 6	d II II 6	e II II 6	e II II 6	e II II 6	e II II 6	e II II 6	e II II 6	e II II 6	e II II 6	e II II 6	e II II 6	e II II 6	e II II 6	e II II 6
nieuw zilver		e II II 6	e IV II 6	e II II 1	e II II 1	e II II 1	e II II 1	e II II 1	e II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1
silicium brons		c II II 6	d II II 6	c II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1													
fosfor zink brons		d II II 6	d II II 6	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1													
nikkel	d II II 2,5	c II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1													
nikkellegering	d II II 2,5	c II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1	b II II 1													
wolfram	d II I 2,5																					
molybdeen	I 2,5																					

Laskwaliteit
a = uitstekend
b = zeer goed
c = goed
d = voldoende
e = moeilijk
f = erg moeilijk

Elektrodemateriaal volgens DIN 5182

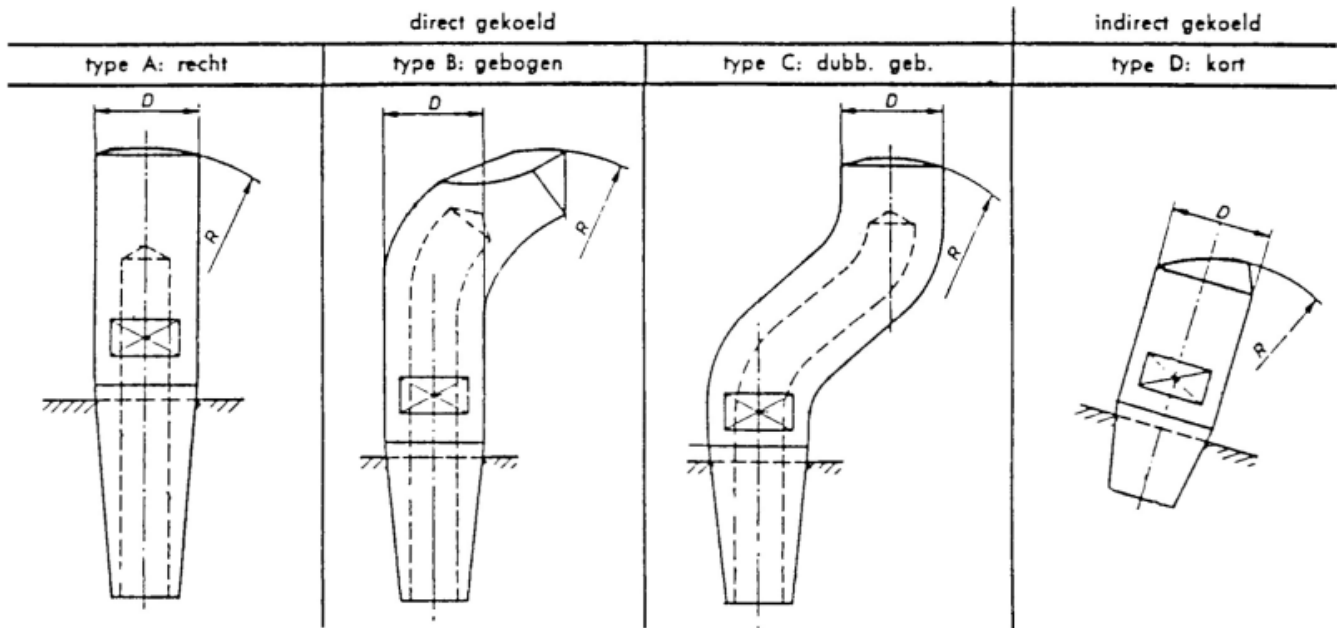
I = Klasse A1
II = Klasse A2
III = Klasse A3
IV = Klasse B12
V = Klasse B13
VI = Klasse B14

Opmerkingen

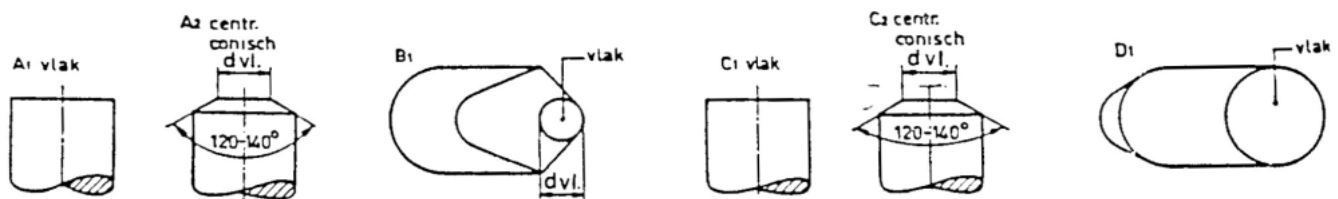
- 1 = Goede lasverbinding
- 2 = Kan onder bepaalde omstandigheden worden verlast
- 3 = Lasverbinding niet optimaal
- 4 = Er vormt zich eigenlijk geen lslens
- 5 = De parameters moeten nauwkeurig worden ingesteld
- 6 = Elektroden moeten schoon worden gehouden om "kleven" te voorkomen
- 7 = De te lassen delen zeer goed schoon maken (metallisch blank)
- 8 = Met een vlakke elektrode kan de indrukking worden verminderd
- 9 = De bekleding kan wegbranden of in de laslens worden opgelost. Wanneer de bekleding of plattering dik is opgebracht, is de laskwaliteit twijfelachtig

Verklaring der tekens

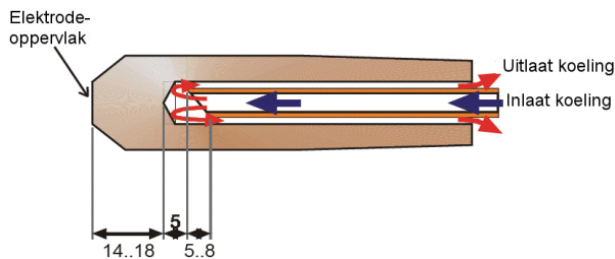
laskwaliteit elektrode
voor ↑
elektrode opmerkingen
voor ←



figuur 7.1 Vier elektrodetypen



figuur 7.2 Vormen van vlakke elektrodepunten



figuur 7.3 Schematische voorstelling van een juist gekoelde elektrodepunt

moet de elektrodepunt met ongeveer 4-6 liter water per minuut via een buisje worden gevuld. De afstand tussen de uitstroomopening van het buisje en het contactoppervlak moet 15 à 20 mm bedragen (figuur 7.3). Het buisje voor de watertoevoer moet schuin zijn afgesneden om verzekerd te zijn van een goede watercirculatie, zelfs wanneer het uiteinde in contact komt met de elektrode. Het is gebleken, dat door eerst het koelwater door het buisje te laten stromen en daarna door het inwendige van de elektrode, de beste koeling wordt verkregen.

Keuze van vorm en afmeting

De keuze voor een bepaalde elektrodevorm wordt zeker mede bepaald door de normalisatie binnen een bedrijf. Er zijn echter ook overwegingen van meer lastechnische aard.

In de regel is de meest ideale elektrode, de rechte elektrode voorzien van een bolvormige of vlakke punt. De ge-

bogen of dubbel gebogen elektroden worden toegepast als de toegankelijkheid dit vergt. Ze kunnen echter slechts worden toegepast bij lage aandrukkrachten tot 2,5 kN. De schachtdiameter D van de elektrode (figuur 7.1) moet uit een oogpunt van stroomgeleiding en uit een constructief oogpunt (doorleiden van de aandrukkracht) voldoende groot zijn.

Bolvormige elektroden worden in de regel ingezet als een hoge kwaliteit van de puntlas wordt geëist. Zo in met een bolvormige punt met een afrondingsstraal (zie figuur 7.1) van $R > 75$ mm een betere oppervlaktekwaliteit worden gehaald, doordat de aftekening van de elektrode in het oppervlak minder is dan bij de vlakke elektrodepunt. Bij puntlasmachines met een scharnierende bovenarm bieden de bolvormige elektroden eveneens voordelen. Dit met het oog op de kromme baan, die de elektrode bij verplaatsing beschrijft.

De keuze van bolvormige versus vlakke punt wordt ook beïnvloed door het te lassen materiaal. Voor het lassen van aluminium wordt over het algemeen de bolvormige elektrode aanbevolen.

Dat er nog veel vlakke elektroden in de praktijk worden gebruikt heeft misschien te maken met het door deze achterlaten van een duidelijker indruk in de plaat, wat ten onrechte suggereert dat de juiste laslensdiameter is bereikt. Puntlaselektroden kunnen worden uitgevoerd met verwisselbare punten. Het voordeel van een snelle verwisselbaarheid weegt niet altijd op tegen het nadeel van de indirecte koeling (hogere thermische belasting). In Figuur 7.1 bedraagt de radius van de bolvormige punt $R = 75$ mm. Al naar gelang de toepassing (veelal een kwestie van plaatdikte) kan deze radius liggen tussen 30 en 200 mm.

Bij vlakke elektroden (figuur 7.2) wordt de diameter d_{vi} zodanig gekozen dat $d_{vi} = 5\sqrt{d}$, waarin d de enkele plaatdikte in mm voorstelt.

Van groot belang bij de vlakke punt is, dat de tophoek 120° a 140° bedraagt (figuur 7.2). Bij een kleinere hoek (scherper) kan, nadat de elektrode een zeker aantal keren is gebruikt, tijdens het lassen “paddestoelvorming” optreden. Het materiaal wordt aan de zijanten weggedrukt.

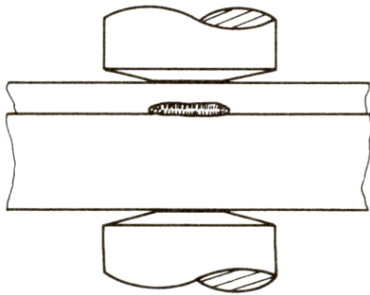
Bij een grotere hoek (stomper) wordt de diameter van het contactvlak door de normaal optredende slijtage snel te groot. Bij een tophoek van 120° à 140° gebeurt dit laatste veel minder snel.

Puntlaselektroden met een diameter groter dan 10 mm, verlopen conisch aan het uiteinde waar zij worden ingeklemd in de elektrodenhouder. De coniciteit is genormeerd in (NEN) ISO 8430. Voor elektroden met een schachtdiameter van 10 tot 25 mm, bedraagt de coniciteit 1:10. Voor grotere schachtdiameters tot 40 mm wordt 1:5 aanbevolen. Conische inklemmingen worden toegepast tot een aandrukkracht van 40 kN.

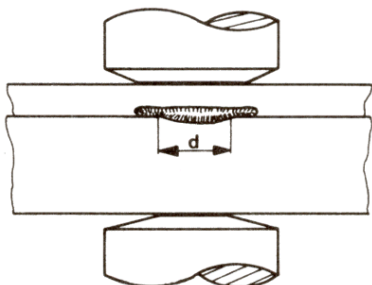
Toepassing van twee niet-identieke elektrodepunten

Bij het lassen van twee platen van ongelijke dikte met twee identieke elektroden zal in geval van gewoon koolstofstaal de laslens een verschuiving ondervinden in de richting van de dunnere plaat. Door toepassing van twee niet-identieke elektroden, zodanig dat de elektrodepunt aan de kant van de dunne plaat een groter contactvlak heeft dan de andere punt, wordt deze verschuiving enigszins onderdrukt (zie figuren 7.4 en 7.5).

Naarmate het te lassen materiaal een beter geleidingsvermogen heeft, zoals bijvoorbeeld aluminium, is het verschuivingseffect sterker.



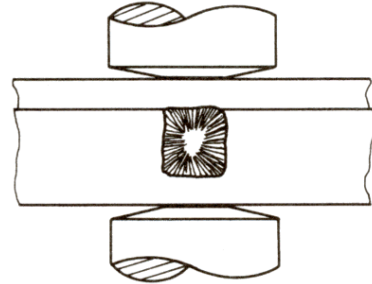
figuur 7.4 Ligging van de laslens in staal (relatief goede geleider) bij lassen van dunne op dikke plaat



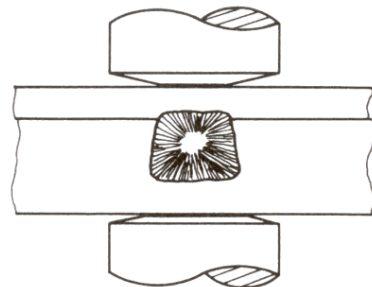
figuur 7.5 Extra grote bovinelektrode ter compensatie bij staal (extra koeling warme zijde)

Bij slechte geleiders, zoals roestvast staal, verschuift de laslens bij gebruik van twee identieke elektroden naar de dikkere plaat. Door toepassing van een groter contactvlak aan de kant van de dikke plaat kan de laslens worden teruggedrongen. Ook kan dit effectief

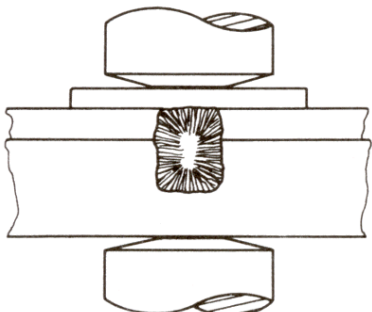
gedaan worden door het toepassen van een extra plaatje (zie figuren 7.6, 7.7 en 7.8).



figuur 7.6 Ligging van de laslens in roestvast staal (relatief slechte geleider) bij het lassen van dunne op dikke plaat



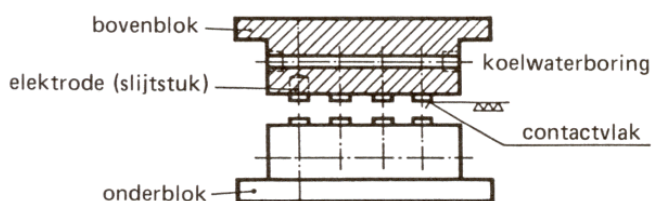
figuur 7.7 Extra grote onderelektrode ter compensatie bij roestvast staal (extra koeling warme zijde)



figuur 7.8 Toepassen van extra plaatje (roestvast staal)

7.3.3 Elektroden voor projectielassen

Projectielaselektroden zijn blokken die de lasstroom geleiden en de aandrukkracht overbrengen (zie figuur 7.9). De afmetingen moeten worden aangepast aan de vorm van de te verbinden werkstukdelen.



figuur 7.9 Voorbeeld projectielasblok met elektroden

In de regel zijn deze blokken (afhankelijk van de omstandigheden al dan niet inwendig gekoeld), vervaardigd van een koperlegering die een gering elektrisch geleidingsvermogen heeft dan het materiaal van een puntlaselektrode. Omdat de eigenlijke lasvlakken van de elektrode ge-

woonlijk worden gevormd door vervangbare slijtstukken, wordt meestal een der elektrodematerialen uit groep B (zie (NEN EN) ISO 5182) hiervoor gebruikt.

7.3.4 Elektroden voor rolnaadlassen

De rolnaadlaselektrode heeft als basis een ronde schijf die rol wordt genoemd. De rollen hebben uiteenlopende afmetingen en profielen (zie figuur 7.10) en kunnen op verschillende wijzen worden aangedreven. De afmetingen van de rol (middellijn, dikte en breedte van het lasvlak) kiest men afhankelijk van de plaatdikte en van de vorm van het werkstuk. Men onderscheidt rollen met rechte kanten en rollen met afgeschuinde kanten (figuur 7.10a). Daarnaast kan nog onderscheid worden gemaakt tussen rollen met een vlak profiel of een rond profiel op het lasvlak (figuur 7.10b).

De rolnaadlaselektroden worden, afhankelijk van de grootte en van het te lassen werkstuk, als schijf of als ring uitgevoerd. Het voordeel van een ring is dat er ten opzichte van de schijf veel materiaal wordt bespaard. Over het algemeen worden rollen gebruikt met een afgerond profiel. De afrondingsstraal bedraagt afhankelijk van het te lassen object (plaatdikte) 30 tot 100 mm.

Rollen met afgeschuinde kanten hebben ten opzichte van die met rechte kanten de volgende voordelen:

- bij dezelfde lasvlakbreedte zijn de afgeschuinde rollen breder, waardoor ze de laswarmte beter kunnen opnemen;
- braamvorming (overbloezen) treedt bij afgeschuinde rollen minder snel op (toename van de lasvlakbreedte leidt tot vermindering van de stroomdichtheid!).

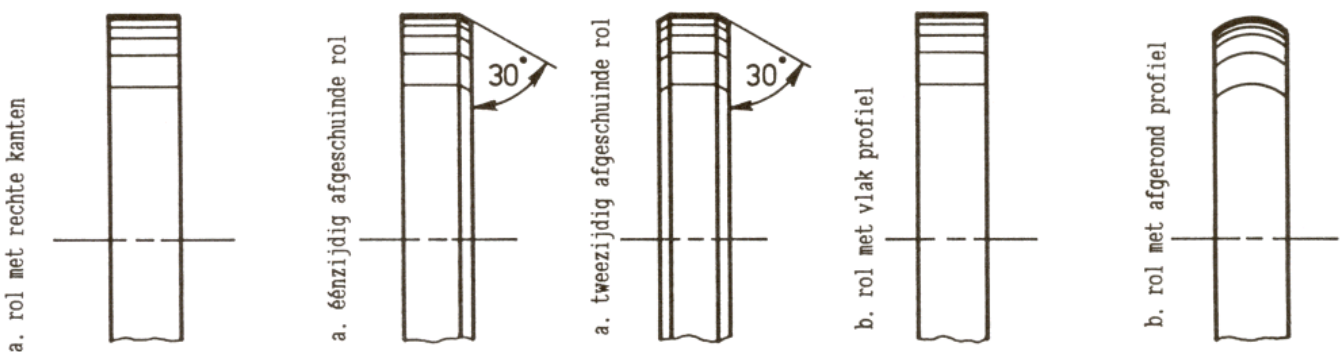
Een nadeel van een rol met een afgeschuinde kant is, dat bij slijtage de lasvlakbreedte toeneemt.

Voordelen van afgeronde profielen ten opzichte van vlakke profielen zijn:

- ze leveren een beter lasuiterlijk op;
- de stroomdichtheid bij het lassen is hoger, zodat met elektroden met afgeronde profielen ook goede geleiders als bijvoorbeeld aluminium en magnesium kunnen worden gelast. In de praktijk worden ook wel combinaties van vlakke en afgeronde profielen toegepast, wanneer aan één kant van het werkstuk het indrukken van de rol zoveel mogelijk moet worden vermeden.

7.4 Onderhoud laselektroden

Alvorens de elektrode in de elektrodehouder wordt geplaatst, verdient het aanbeveling om het conische gedeelte met zuurvrije vaseline (zeer dun) in te smeren. Het uit de houder verwijderen van de elektrode wordt hierdoor vergemakkelijkt. Het uitnemen gebeurt door een draaiende beweging met behulp van een steeksleutel die op de twee platte kanten van de elektrode past.



figuur 7.10 Vormen van de meest gebruikelijke elektroderollen voor het rolnaadlassen

Het onderhoud van de elektroden beperkt zich tot het controleren en eventueel "nabewerken" en/of schoonmaken van het contactvlak. Het contactvlak van de elektrode wordt als gevolg van de aandrukkraft en van de warmteontwikkeling bij vlakke en aangepunte elektroden groter in diameter en bij bolvormige elektroden vlakker. Hierdoor verandert de stroomdichtheid en de specifieke oppervlakedruk, wat van invloed is op het uiterlijk en de sterkte van de las. Bij het lassen van beklede plaat kunnen de elektroden "oplegeren". De warmteafvoer en de stroomtoevoer worden hierdoor bemoeilijkt. Het "nabewerken" en het schoonmaken kunnen gebeuren met fijn schuur- of polijstlinnen dat, al dan niet bevestigd op een houten blokje, in een draaiende beweging licht tegen de elektrode wordt gedrukt. Bij aluminiumlegeringen moet onderhoud aan de elektroden bij voorkeur om de 10 puntlassen plaatsvinden; dit wel afhankelijk van de hardheid van de te lassen legering. In geen geval mag gebruik worden gemaakt van een vijl. Is de contactvlakdiameter of de bolstraal te groot geworden, dan moet de elektrode worden nabewerkt of vervangen. Het verdient aanbeveling om bij iedere machine onder handbereik nieuwe of nabewerkte elektroden op voorraad te houden.

7.5 Normen laselektroden

De documenten en normen als genoemd in hoofdstuk 13 geven informatie over materiaal, toepasbaarheid en behandeling van elektroden voor het punt-, projectie- en rolnaadlassen.

Hoofdstuk 8

Constructieve aspecten van puntlasverbindingen

8.1 Algemeen

Constructiedelen, die aan elkaar worden gepuntlast, zijn profielen, of vlakke plaatdelen of combinaties van deze twee. De lasverbinding moet krachten kunnen opnemen en doorleiden of slechts zorgen voor een blijvende of tijdelijke positionering van de constructiedelen.

Wanneer de las als extra taak heeft te zorgen voor een gas- of vloeistofdichte afdichting of een gelijkmatiger doorleiden van de belastingen, zal het rolnaadlasproces moeten worden toegepast.

Voor het construeren en dimensioneren van een puntlasverbinding moeten sterkteberekeningen worden uitgevoerd. Deze zijn goed uit te voeren voor eenvoudige stijve constructies. Zij zijn echter veel minder nauwkeurig uit te voeren voor constructiedelen die ingewikkelde doorsneden vertonen en/of gemakkelijk vervormen. De belastingsverdeling en de spanningsverdeling zijn immers in dergelijke constructiedelen nauwelijks te berekenen. Dit geldt zowel voor statische als dynamische belasting. Voor dergelijke moeilijk voor berekening toegankelijke constructies is het noodzakelijk de berekeningsresultaten te verifiëren door belastingsproeven uit te voeren.

De constructeur zal bij zijn ontwerp van de puntlasverbinding (keuze van het type, van de geometrie zoals de posities van de puntlassen, toelaatbare overlap, enz.) moeten uitgaan van de te stellen eisen, ten aanzien van:

- de sterkte van de lasverbinding;
- de lasbaarheid, d.w.z. de toegankelijkheid van de puntlasposities voor de elektroden;
- de mogelijkheden bij geautomatiseerde (massa)productie van het inbrengen in de lasmachine en het er weer uithalen van de constructiedelen, het fixeren in de machine van de delen ten opzichte van de elektroden en ten opzichte van elkaar, enz.

Figuur 8.1 geeft voorbeelden van de verschillende soorten van puntlaspatronen, waaruit de constructeur kan kiezen. Tevens is deze figuur gebruikt voor het definiëren van de verschillende geometrische grootheden, die bij een puntlaspatroon ter sprake komen.

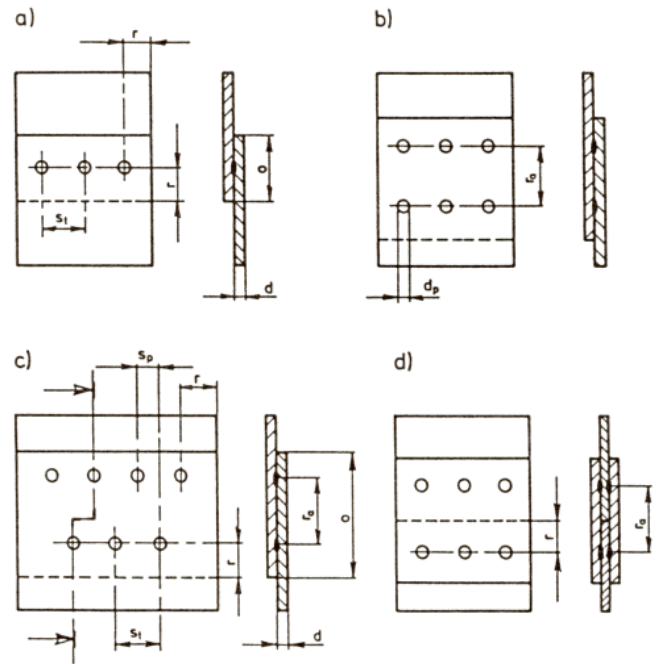
De constructeur zal zoveel mogelijk zijn ontwerp zo proberen te maken, dat de puntlasverbinding op afschuiving wordt belast (figuur 8.2a). De per puntlas op te nemen afschuifkracht kan immers wel het drievoudige van de op de nemen koptrekkkracht (figuur 8.2b) bedragen. De afrolbelasting en de torsiebelasting (alleen mogelijk bij een enkele puntlas) kunnen het best worden vermeden (figuur 8.2c en d).

In de volgende paragrafen zal vaak worden gesproken over de "laslensdiameter" en de puntlasdiameter. Voor een juist begrip dient het volgende. Figuur 8.3 toont een geschematiseerde doorsnede van een puntlas volgens Merkblatt DVS 2902.

Zoals is te zien maakt de Duitse literatuur onderscheid tussen de laslensdiameter en de puntlasdiameter. De laslensdiameter d_l wordt bepaald op een gepolijste en geëtste doorsnede van de puntlasverbinding.

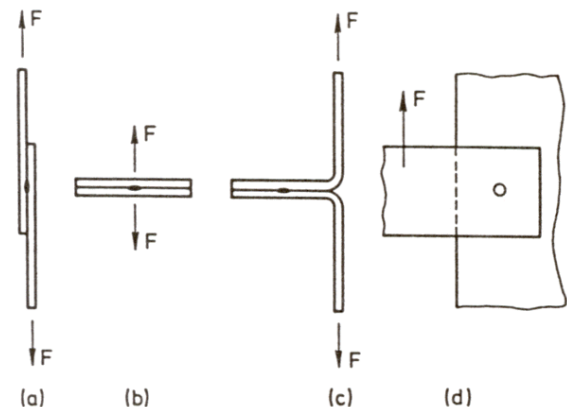
De gemiddelde puntlasdiameter d_p kan worden gemeten aan een verbinding, die mechanisch wordt beproefd.

De meting geschiedt op het plaatoppervlak achter de uitgeknoopte puntlas. Een eventuele hechtzone wordt ook tot de gemiddelde puntlasdiameter gerekend. In de Nederlandse literatuur wordt dit onderscheid niet gemaakt. Een



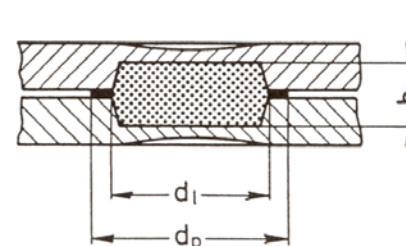
figuur 8.1 Voorbeelden van puntlaspatronen en definitie van bijbehorende geometrische grootheden

- a): éénrijige-enkelsnedige overlapverbinding
 b): tweerijige-enkelsnedige overlapverbinding (niet versprongen)
 c): tweerijige-enkelsnedige overlapverbinding (versprongen)
 d): tweerijige-dubbelsnedige overlapverbinding
- r = randafstand
 o = overlap
 s_t = steek (puntlasafstand)
 r_a = rijafstand
 s_p = prongafstand



figuur 8.2 Belastingvormen voor een puntlasverbinding

- a) = afschuiving; b) = (kop-)trekbelasting;
 c) = afrollen ("pellen"); d) = torsiebelasting



figuur 8.3 Doorsnede van een puntlas. d_p = puntlasdiameter; d_l = laslensdiameter; h_l = dikte laslens

eventuele plakzone wordt niet tot de laslensdiameter gerekend. Ook in deze voorlichtingspublicatie wordt daarom geen verschil gemaakt tussen laslensdiameter en puntlasdiameter.

8.2 Ontwerp en lasbaarheid

Positie van de puntlassen

Aantal puntlassen n of steek s

Bij éénrijige-enkelsnede verbindingen wordt onder statische afschuifbelasting de sterkte van het basismateriaal volledig benut (plaat en puntlasverbinding zijn ongeveer even sterk) als voor de steek s_t wordt aangehouden: $s_t = 3d_1$. Bij verbindingen, die uit meer dan één rij puntlassen bestaan, is dit zo voor $s_t = 5d_1$.

Bij éénrijige-enkelsnede verbindingen wordt onder dynamische belasting een maximale afschuifsterkte bereikt, indien $s_t = 4d$ (d = plaatdikte).

Bij het leggen van opeenvolgende laspunten kan, indien de steek te klein is, shuntwerking door het weglekken van stroom via de direct voorafgaande las optreden. Voor het verkrijgen van even grote laslensdiameters als die van de eerste puntlas, zou de stroom na de eerste las moeten worden verhoogd. De shuntwerking is nagenoeg te verwaarlozen, indien de steek meer dan 8 à 10 maal de som van de plaatdikten bedraagt.

Randafstand r

Deze mag niet kleiner zijn dan de puntlasdiameter, omdat anders "spatten" van de las optreedt.

Aanbevolen wordt: $r = 1,25d_p$.

Overlap o

Hiervoor geldt: $o = 2r$ (éénrijige verbinding) Voor

tweerijige verbindingen is $o = r_a + 2r$, waarin

r_a = rij-afstand.

Rij-afstand r_a

Deze moet, recht of diagonaal gemeten, groter zijn dan of gelijk aan de steek. In formule $r_a > s_t$.

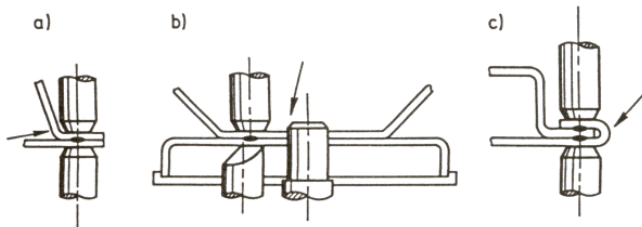
Sprongafstand s_p

Bij versprongen rijen geldt: $s_p = \frac{s_t}{2}$

Lastechnische aspecten van het ontwerp

De constructeur dient bij de constructie met de volgende bijzonderheden tijdens het puntlassen rekening te houden:

- Shuntwerking kan niet alleen optreden via een eerder gelegde las, maar ook bij ongewenste onderlinge aanraking van constructiedelen of bij contact anders dan voor het lasproces is vereist tussen de elektrode en het plaatmateriaal (figuur 8.4).

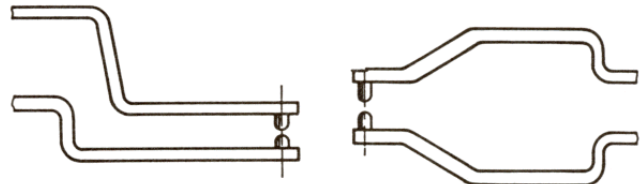


figuur 8.4 Mogelijkheden voor shuntwerking

- Bramen die bij het knippen kunnen ontstaan aan het contactvlak tussen de constructiedelen, moeten zoveel mogelijk worden vermeden. Bij het kiezen van de positie van de las en de vormgeving van de te lassen plaats, dient steeds rekening te worden gehouden.
- IJzermassa's in het raamwerk of venster (zie § 1.1)

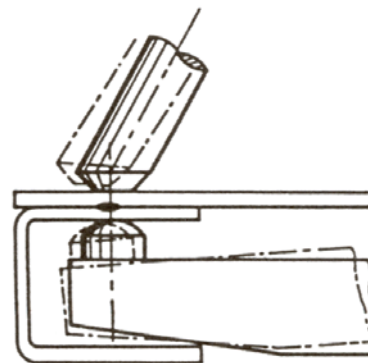
verlagen de secundaire stroomsterkte als gevolg van de inductieve koppeling met de secundaire stroomkring (alleen bij wisselstroom). De te lassen delen en de hulp-gereedschappen moeten daarom zodanig worden geconstrueerd, dat de ijzermassa binnen het raamwerk zo klein mogelijk of op zijn minst zo constant mogelijk is.

- Als het voor bepaalde lasconstructies nodig is, dat er met een grote uitlading en een grote armafstand wordt gewerkt, zal eerst moeten worden vastgesteld of de lasmachine hiervoor nog voldoende stroom en vooral aandrukkracht kan leveren en of de doorbuiging van de armen acceptabel blijft (figuur 8.5).



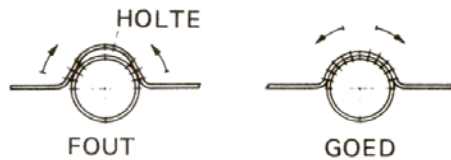
figuur 8.5 Voorbeelden van (zoveel mogelijk te vermijden) elektrodearmen: alleen voor speciale toepassingen

- De constructies moeten zoveel mogelijk zodanig worden uitgevoerd, dat rechte stijve elektrodehouders en elektroden kunnen worden toegepast. Alleen met rechte elektroden is het mogelijk om met de hoge aandrukkrachten te werken, die nodig zijn voor een hoge laskwaliteit. Constructies die moeilijk toegankelijk zijn, maken het gebruik van speciaal gevormde elektrodehouders noodzakelijk (figuren 8.5 en 8.6).



figuur 8.6 Verende elektroden veroorzaken een gebrekkige laskwaliteit

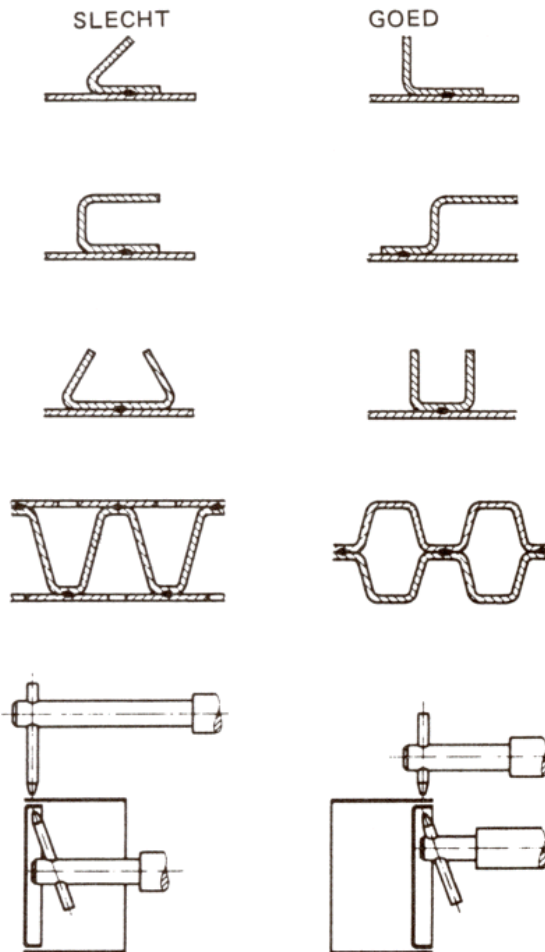
- Meersnede verbindingen, die uit meer dan vier platen zijn opgebouwd, moeten bij voorkeur worden vermeden. Indien dergelijke verbindingen noodzakelijk zijn, moeten de dunste platen zo mogelijk tussen de dikste worden geplaatst. Plaatdikteverhoudingen groter dan 1:3 dienen te worden vermeden.
- Bij lassen aan constructiedelen die een holle ruimte bezitten, moet worden gelet op de afmetingen van de onderste elektrodearm.
- Bij constructiedelen, die zodanig moeten worden verbonden dat de contouren moeten worden gevolgd, dient de lasvolgorde zo te worden gekozen, dat de delen blijven aanliggen (figuur 8.7).
- Bij constructiedelen die uit grote vlakken zijn opgebouwd en/of waarbij lange lasnaden worden toegepast, moet de lasvolgorde zo worden gekozen, dat de constructiedelen onder invloed van de warmte zoveel mogelijk vrij kunnen uitzetten. Dit ter voorkoming van vouwen.



figuur 8.7 Lasvolgorde bij constructies met holle ruimten

Te kiezen vormen van lasverbindingen

In de figuren 8.8 t/m 8.11 zijn voorbeelden van goede en slechte vormen van lasverbindingen gegeven.



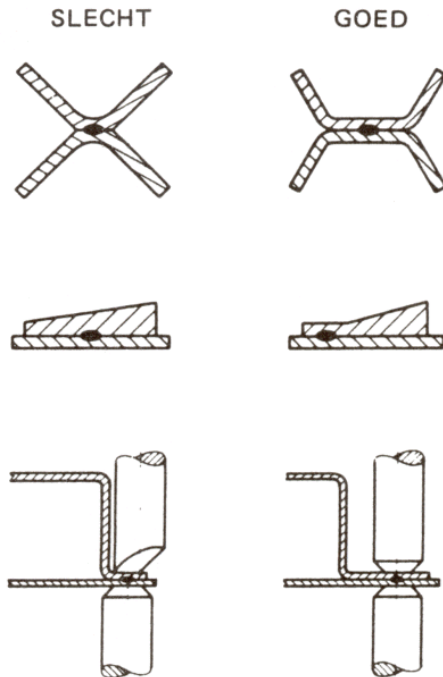
figuur 8.8 Voorbeelden van goed en slecht toegankelijke verbindingvormen



figuur 8.9 Goed en slecht uitgevoerde verbinding met het oog op shuntwerking



figuur 8.10 Goed en slecht uitgevoerde verbinding met het oog op torsiebelasting



figuur 8.11 Voorbeelden van constructievormen met goede en slechte aanligvlakken

8.3 Bepaling ontwerpgegevens op grond van sterkteberekeningen

8.3.1 Bepaling ontwerpgegevens in geval van statische afschuifbelasting

Gewenste waarde puntlasdiameter

Voor elke plaatdikte zijn empirisch gevonden grenzen aan te geven, waarbinnen uit oogpunt van sterkte de puntlasdiameter moet liggen. Tabel 8.1 geeft deze grenzen. De gemiddelde waarden verdienen de voorkeur. Bij verbindingen van platen met verschillende dikte wordt de puntlasdiameter bepaald door de dikte van de dunste plaat.

tabel 8.1 Keuze van de puntlasdiameter, afhankelijk van de plaatdikte

plaatdikte d in mm	grenswaarden voor de puntlasdiameter in mm
0,5	2,5 - 6,0
0,8	3,5 - 8,0
1,0	4,0 - 9,0
1,5	5,0 - 10,0
2,0	6,0 - 11,0
2,5	6,5 - 12,0
3,0	7,0 - 13,0

De statische afschuifkracht F_p die per puntlas moet worden opgenomen

Er wordt aangenomen, dat berekeningen hebben aangetoond hoe de als bekend veronderstelde uitwendige belasting wordt verdeeld in de constructie. Ook dat het basismateriaal deze belasting kan opnemen. Uitgangspunt voor de berekening van de lasverbinding is nu de door deze op te nemen statische afschuifkracht F . De per puntlas op te nemen afschuifkracht F_p kan voor een éénrijige - éénsnede verbinding worden berekend

met behulp van de formule:

$$F_p = \frac{F}{n \times V \times W} \quad [\text{kW}]$$

n = aantal puntlassen (via iteratie te bepalen)

V = lasfactor waarin de kwaliteit en de kwaliteitsbewaking tot uitdrukking komen (tabel 8.2)

W = procesfactor, waarin de betrouwbaarheid van de gekozen lasmethode tot uitdrukking komt (tabel 8.3)

tabel 8.2 Lasfactor V

Waarderingscriteria	Lasfactor V	Voor veiligheidsklasse
Proefnemingen bij het instellen Parametercontrole en steekproeven tijdens de productie Synchrone besturing	1,00	A, B, C
Proefnemingen bij het instellen Steekproeven tijdens de productie Synchrone besturing	0,75	A, B, C
Proefnemingen bij het instellen	0,50	B, C

tabel 8.3 Procesfactor W

Lasmethode	Procesfactor W
Tweezijdig lassen met een vast opgestelde machine	1,0
Tweezijdig lassen met een transportabele machine	0,9
Tweezijdig dubbelpuntlassen met twee parallel geschakelde transformatoren	0,9
Eenzijdig puntlassen	0,8
Drie- of vierplaats verbindingen, afhankelijk van de bedrijfsomstandigheden	$\leq 0,8$

De per puntlas toelaatbare statische afschuifkracht F_{toel}

De toelaatbare waarde van de statische afschuifkracht per puntlas, aangeduid met F_{toel} , berust op resultaten van uitgevoerde afschuifproeven volgens (NEN) ISO 14273.

Uit deze resultaten is F_{min} berekend met behulp van de formule:

$$F_{\text{min}} = F_{\text{max}} \times \frac{R_{\text{min}}}{R_{\text{m}}}$$

Hierin is:

F_{max} : de uit de proeven resulterende grootste afschuifkracht, die de lasverbinding nog kan dragen.

R_{m} : de treksterkte van het voor de proeven gebruikte basismateriaal.

R_{min} : de minimaal vereiste treksterkte volgens DIN.

F_{min} : de voor de minimaal vereiste treksterkte gecorrigeerde waarde van F_{max} ; m.a.w. F_{min} is de afschuifkracht, waarbij de verbinding nog niet bezwijkt, voor het geval het basismateriaal de minimaal vereiste treksterkte heeft.

F_{min} wordt nu verder omgewerkt tot F_{smin} : een grootheid die in principe de vloeigrens voor een belasting in afschuifrichting voorstelt. Dit gebeurt met behulp van de materiaalconstante c die de verhouding weergeeft tussen de vloeigrens ($R_{\text{e0,2}}$) en de treksterkte van het toegepaste basismateriaal.

En wel volgens de formule: $F_{\text{smin}} = F_{\text{min}} \times c$

Voor St 12 en St 13 geldt: $c = 0,34$;

voor St 14 geldt $c = 0,41$.

Tabel 8.4 geeft waarden van F_{min} en F_{smin} voor puntlasverbindingen in afhankelijkheid van plaatdikte en punt-

lasdiameter, als resultaat van afschuifproeven volgens (NEN) ISO 14273

Basismateriaal: staal van dieptrekkwaliteit volgens (NEN) EN 10130: DC01 - DC03.

Opmerking:

De waarden F_{min} en F_{smin} zijn gerelateerd aan de minimaal vereiste treksterkte volgens DIN. Zelfs wanneer op grond van uitgevoerde afschuifproeven (volgens (NEN) ISO 14273) zou worden aangetoond, dat met het toegepaste materiaal (met hogere treksterkte) hogere waarden voor F_{min} en F_{smin} worden bereikt, mogen deze laatste waarden niet als basis voor de berekening dienen. Deze beperking geldt niet, wanneer kan worden bewezen, dat het gebruikte basismateriaal constante materiaaleigenschappen bezit.

tabel 8.4 Waarden van F_{min} en F_{smin} voor enkele gangbare materialen

plaatdikte d [mm]	d_p [mm]	F_{min} [kN]	F_{smin} [kN]	
			DC01/DC02	DC03
0,5	2,5	1,23	0,50	0,42
	3	1,54	0,63	0,52
	4	2,00	0,82	0,68
	5	2,46	1,01	0,84
0,8	6	2,62	1,07	0,89
	3,5	2,77	1,14	0,94
	4	3,38	1,39	1,15
	5	3,85	1,58	1,31
1,0	6	4,46	1,83	1,52
	7	4,90	2,01	1,67
	8	5,20	2,13	1,77
	4	3,54	1,45	1,20
1,5	5	4,30	1,76	1,46
	6	5,07	2,08	1,72
	7	5,69	2,33	1,93
	8	5,84	2,39	1,99
2,0	9	6,00	2,46	2,04
	5	5,84	2,39	1,99
	6	6,76	2,77	2,30
	7	7,70	3,16	2,62
2,5	8	8,30	3,40	2,82
	9	8,92	3,66	3,03
	10	9,08	3,72	3,09
	6	9,25	3,80	3,14
3,0	7	10,80	4,43	3,67
	8	12,60	5,17	4,28
	9	14,30	5,86	4,86
	10	15,40	6,31	5,23
3,0	11	16,30	6,68	5,54
	6,5	11,80	4,84	4,01
	7	12,60	5,17	4,28
	8	14,50	5,95	4,93
3,0	9	16,50	6,77	5,61
	10	18,20	7,46	6,19
	11	20,00	8,20	6,80
	12	21,40	8,77	7,28
3,0	7	14,20	5,82	4,83
	8	16,30	6,68	5,54
	9	18,60	7,63	6,32
	10	20,90	8,57	7,11
3,0	11	23,10	9,47	7,85
	12	25,40	10,41	8,64
	13	27,20	11,15	9,25

Ten slotte wordt de toelaatbare waarde van de statische afschuifkracht per puntlas F_{toel} berekend met de formule:

$$F_{\text{toel}} = \frac{F_{\text{smin}}}{V}$$

waarin V een veiligheidsfactor voorstelt, waarvan de

grootte afhankelijk is van de gekozen veiligheidsklasse van het te lassen product.

Voor de veiligheidsklassen A, B, C (zie hoofdstuk 9) worden waarden voor de veiligheidsfactor V aangehouden van resp. 1,8, 1,5 en 1,2^{*)}. Voor materialen, die niet zo goed vervormbaar zijn, moet V worden verhoogd. Indien een veiligheidsfactor tegen breuk (V_{br}) wordt gedefinieerd door:

$$F_{toel} = \frac{F_{min}}{V_{br}}$$

dan is:

$$V_{br} = \frac{V}{c}$$

Bepaling vereiste plaatdikte, puntlasdiameter en aantal puntlassen

De plaatdikte en daarmee de puntlasdiameter (zie tabel 8.1 in § 8.3.1) en het aantal puntlassen n worden nu zodanig via een iteratieproces bepaald, dat de afschuifkracht F_p , die per puntlas moet worden opgenomen, gelijk is aan de toelaatbare waarde F_{toel} .

Voor meerrijige en meersnedige verbindingen zijn de berekeningen identiek aan die voor de éénrijige en enkelsnedige, zij het dat de procesfactor W een andere waarde heeft (zie tabel 8.3).

8.3.2 Bepaling ontwerpgegevens in geval van dynamische afschuifbelasting

In tegenstelling tot de gang van zaken bij statische belasting gaat het bij dynamische belasting niet om de afschuifkracht per puntlas, maar om de afschuifspanning σ_d per puntlas. Dit is nodig, omdat als een maat voor de vermoeingssterkte een spanning is gedefinieerd. Aangenomen wordt dat het basismateriaal de te verwachten dynamische belasting kan opnemen. Uitgaande van de op te nemen dynamische kracht F_d in kN en rekening houdend met de laslensdiameter d_1 en de reeds vermelde factoren n , V en W , kan de dynamische spanning per puntlas worden berekend aan de hand van de formule:

$$\sigma_{dp} = \frac{F_d}{\frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \cdot n \cdot V \cdot W}$$

Voor V en W gelden de waarden zoals vermeld in de tabellen 8.2 en 8.3.

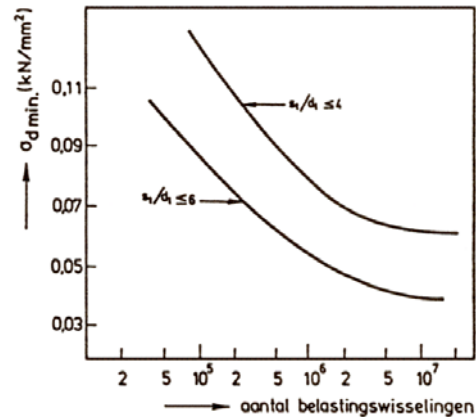
De toelaatbare spanning σ_{dtoel} wordt gerelateerd aan σ_{dmin} , waarbij geldt:

$$\sigma_{dtoel} = \frac{\sigma_{dmin}}{V}$$

Hierin is V de in § 8.3.1 genoemde veiligheidsfactor. σ_{dmin} is de minimale, experimenteel gevonden waarde van de dynamische breukspanning. Figuur 8.12 geeft een voorbeeld van de resultaten van vermoeingsproeven.

Uit deze figuur blijkt, dat σ_{dmin} afhankelijk is van de verhouding tussen de steek en de laslensdiameter s_t/d_1 , en niet van de laslensdiameter alleen.

Uiteindelijk worden naar analogie van de berekening voor het geval van de statische belasting de plaatdikte, de puntlasdiameter (=laslensdiameter d_1) en het aantal puntlassen n (en daarmee de steek s_t) zodanig via een iteratieproces bepaald, dat $\sigma_{dp} \leq \sigma_{dtoel}$.



figuur 8.12 Minimale waarden voor de breukspanning bij sprongbelasting, afhankelijk van het aantal belastingswisselingen en de verhouding s_t/d_1 voor St 12/13 en St 14. Geldig voor een éénsnede verbinding, $d = 1$ mm, $d_1 = 5$ mm

Bij de berekening voor dynamische belasting dienen altijd de volgende punten in acht te worden genomen:

- ▶ Onzekerheden in de berekening en gebrek aan kennis omtrent het spanningsverloop in de verbinding maken dat de berekeningsresultaten altijd moeten worden gecontroleerd door vermoeingsproeven uit te voeren.
- ▶ De hieruit resulterende vermoeingssterkte is sterk afhankelijk van het materiaal en de vorm van de verbinding.
- ▶ Met toenemende plaatdikte neemt de vermoeingssterkte voor éénrijige, éénsnede verbindingen af als gevolg van het toenemend buigmoment.
- ▶ De éénrijige, éénsnede verbinding verdient de voorkeur. De vermoeingssterkte bedraagt 90% van die van een tweerijige, éénsnede verbinding, terwijl de laskosten ongeveer de helft bedragen.
- ▶ Dubbelsnede verbindingen hebben een vermoeingssterkte die ongeveer 70% hoger is dan die van éénrijige, éénsnede verbindingen. De hogere kosten van de eerstgenoemde plaatverbindingen en de grotere onzekerheid bij het aanhouden van de voorgeschreven kwaliteit van de puntlassen vormen een nadeel.
- ▶ Bij tweerijige, dubbelsnede verbindingen zijn vermoeingssterkten te realiseren tot 120 N/mm².
- ▶ De resultaten die verkregen zijn uit enkelvoudige puntlasverbindingen (één puntlas) gelden niet voor meervoudige puntlasverbindingen (twee of meer puntlassen).

8.3.3 Bepaling ontwerpgegevens in geval van (kop-) trekbelasting

In geval van een statische belasting door een (kop-)trekkracht F_k is de berekening geheel analoog met die voor de statische afschuifbelasting, zij het dat de toelaatbare koptrekkracht veel kleiner is dan de toelaatbare afschuifkracht: $F_{ktoel} \leq 0,33 F_{toel}$.

Grote onzekerheid bestaat verder hoe de verdeling is van de op te nemen totale kracht over de verschillende puntlassen. M.a.w. onzekerheid ten aanzien van het aantal nodige puntlassen. Dynamische (kop-)trekbelastingen kunnen het beste worden vermeden, omdat de lasverbinding weinig geschikt is voor het opnemen van een dergelijke belasting.

*) Merkblatt DVS 2915: "Gütesicherung beim Punkt-, Buckel- und Rollennahtschweißen"

Hoofdstuk 9

Kwaliteit van weerstandlassen

9.1 Kwaliteitseisen en kwaliteitskenmerken

Alvorens in te gaan op de kwaliteitseisen te stellen aan een lasverbinding in een bepaalde constructie, worden verschillende factoren genoemd, die alle goed door de ontwerper c.q. fabrikant dienen te worden overwogen, voordat met de vervaardiging van de constructie wordt gestart. En wel factoren, die het bereiken van een bepaalde gewenste kwaliteit van de lasverbinding kunnen beïnvloeden.

- *ten aanzien van de constructie*
 - de mate van geschiktheid van de constructie, voor weerstandlassen, qua belastingsvorm, toegankelijkheid, enz.;
 - de nauwkeurigheid van c.q. de mate van onzekerheid in de resultaten van een sterkteberekening bijvoorbeeld ten aanzien van het aantal puntlassen, of ten aanzien van de belastingsverdeling in de constructie en daarmee de grootte van de belasting die door de lasverbinding moet worden opgenomen. Hiermede hangt direct samen de mate van onzekerheid in de werkelijke waarde van de ingevoerde veiligheidsfactoren.
- *ten aanzien van de productie*
de keuze van:
 - het soort lasproces;
 - het type machine;
 - de opstelling;
 - de elektroden;
 - de lasparameters.
- *ten aanzien van het materiaal*
 - de gekozen materiaalsoort (mechanische eigenschappen; elektrische geleidbaarheid);
 - de lasbaarheid;
 - mate van oppervlaktevoorbewerking (mechanische of chemische voorbewerking).
- *ten aanzien van het personeel*
 - mate van ervaring van de machine-installer.

Welke kwaliteit van de lasverbinding wordt gewenst of liever geëist, hangt in het algemeen sterk af van de voorwaarden, waaraan de gehele constructie - het te vervaardigen product - moet voldoen. In navolging van de Duitse industrie worden constructies of constructiedelen en daarmee de daarin toegepaste lasverbindingen ingedeeld in drie veiligheidsklassen:

1. Veiligheidsklasse A
Constructie, waarmee bij falen mensenlevens gemoeid kunnen zijn of grote economische schade tot gevolg heeft.
2. Veiligheidsklasse B
Constructies, die bij falen ongeschikt worden voor verder functioneren, of materiële schade kunnen opleveren.
3. Veiligheidsklasse C
Constructies, die bij falen slechts in een beperkte mate ongeschikt worden.

Afhankelijk van de veiligheidsklasse wordt een bepaalde veiligheidsfactor in de sterkteberekeningen ingevoerd. Een en ander is vastgelegd in Merkblatt DVS 2915 "Gütesicherung beim Punkt-, Buckel- und Rollenahtschweißen". Voor de verschillende veiligheidsklassen wordt in dit blad ook onderscheid gemaakt in het te hanteren systeem voor het controleren van de geproduceerde weerstandlassen.

Voor alle drie de veiligheidsklassen wordt aanbevolen om tijdens de productie steekproeven te doen (meestal destructieve beproevingen). Voor de klasse C kan dit beperkt blijven tot het doen van proeven na het wisselen van de elektroden. Voor de veiligheidsklasse A moeten niet alleen steekproeven worden uitgevoerd, maar ook de lasparameters tijdens de productie worden bewaakt. Dit laatste kan gebeuren door de parameters continu te meten en te registreren, of door middel van procesbesturing met behulp van ingewikkelde procescontrole-apparatuur. Hoe groter de gevaren zijn bij falen van de lasverbindingen, hoe meer behoefte er is aan controle vóór, tijdens en na het lassen.

Ter beoordeling van de laskwaliteit, worden aan deze de navolgende kwantificeerbare kwaliteitskenmerken gekoppeld. Deze kenmerken gelden voor het punt-, projectie- en rolnaadlassen.

De grootte van de laslensdiameter (sterkte van de las)

De gewenste waarde in mm bedraagt in de regel $5\sqrt{d}$ met een bepaalde tolerantie. Hierin stelt d de enkele plaatdikte in mm voor. Bij deze diameter is, zo is empirisch vastgelegd, de sterkte van de las gelijk aan die van de plaat. Als ondergrens van het tolerantiegebied geldt een waarde van $4\sqrt{d}$. Een bovengrens wordt niet aangegeven, maar deze wordt bepaald door het spatten van de las. Immers, naarmate een grotere diameter wordt verlangd, is een hogere stroom nodig. Bij een te hoge stroom spat het vloeibare metaal weg, waardoor een kwalitatief slechte las ontstaat.

De lasbreedte (rolnaadlassen), rekening houdend met een bepaalde tolerantie

Bij een reeks elkaar overlappende puntlassen kan in plaats van over een laslensdiameter, beter over een lasbreedte worden gesproken.

Een richtwaarde voor de lasbreedte b is te berekenen met de formule $b = 2d + 2 \text{ mm}$, waarin d weer de enkele plaatdikte in mm voorstelt.

Deze formule wordt met $d_1 = b$ ook wel gebruikt voor het berekenen van de laslensdiameter in plaats van de formule $d_1 = 5\sqrt{d}$.

Als grenzen van het tolerantiegebied voor de breedte b kunnen die voor de laslensdiameter worden aangehouden.

De indringdiepte van de laslens

De indringdiepte van de laslens in procenten van de plaatdikte is afhankelijk van de plaatdikte en van de toegepaste lasparameters. Het percentage is meestal 30 tot 50. Soms wordt voor een bepaalde toepassing een bepaalde indringdiepte voorgeschreven.

De oppervlaktekwaliteit gerelateerd aan de diepte en de diameter van de indrukking door de elektroden

In Merkblatt DVS 2902 wordt de oppervlaktekwaliteit in vier groepen ingedeeld, te weten:

- *Kwaliteit 1*
Oppervlak dat niet nabewerkt hoeft te worden. De gelaste plaats mag na verfspuiten zonder voorafgaand slijpen of plamuren niet met het blote oog zichtbaar zijn. Aanloopkleuren zijn toegestaan.
- *Kwaliteit 2*
Indrukkingen bedragen 10% van de plaatdikte. Na nabewerking en verfspuiten mogen de indrukkingen met het blote oog niet meer zichtbaar zijn.
- *Kwaliteit 3*
Indrukkingen bedragen 25% van de plaatdikte. Vasthechtende lasspatten zijn, tenzij anders is voorgeschreven, toelaatbaar.
- *Kwaliteit 4*
Oppervlak waaraan geen eisen zijn gesteld.

Inwendige fouten zoals: slinkholten, poriën en scheurtjes

Dikwijls wordt in de praktijk een te grote waarde gehecht aan dit soort fouten. In het algemeen kan worden gesteld, dat deze fouten, wanneer ze geen verbinding hebben met de randen van de laslens (microscopisch vast te stellen op een doorsnede), geen invloed hebben op de sterkte van de las. Bovendien kan hun aanwezigheid met niet-destructief onderzoek worden aangetoond, in tegenstelling tot die van veel gevaarlijker fouten als bindfouten ("plaklassen") of een te kleine laslens.

9.2 Kwaliteitscontrolemethoden

9.2.1 Algemeen

Het controleren van de lasverbindingen op de hiervoor genoemde kenmerken dient hoofdzakelijk om antwoord te geven op de vraag of de verbinding sterk genoeg is en om eventueel informatie te verschaffen over de stijfheid ervan. Het resultaat van de controle is een goed- of afkeuring. De van oudsher bekende controlemethoden voor lasverbindingen in het algemeen zijn het destructieve onderzoek en het niet-destructieve onderzoek.

Tot het destructieve onderzoek behoren: de mechanisch technologische beproevingen en het metallografisch onderzoek. Het grote nadeel van destructief onderzoek is uiteraard dat pas achteraf de eventueel onvoldoende kwaliteit van de las kan worden vastgesteld.

Tot het niet-destructief onderzoek behoren het bekende röntgenonderzoek en het ultrasoon onderzoek.

Deze onderzoeken falen voor de weerstandlassen, wanneer het gaat om vast te stellen of een "plaklens" is gemaakt, of hoe groot de laslensdiameter is.

Het nadeel van het destructieve onderzoek en het falen van het niet-destructieve onderzoek zijn redenen, waarom sinds de jaren vijftig voor het weerstandlassen naar andere kwaliteitscontrolemethoden is gezocht en de zgn. procescontrolemethoden zijn ontwikkeld.

Met een dergelijke methode worden de lasparameters (de grootheden, die voor een groot deel de laskwaliteit bepalen) tijdens het lassen continu gemeten en geregistreerd. De geregistreerde waarden geven indirect informatie over de laskwaliteit.

Samenvattend kunnen voor het weerstandlassen de volgende controlemethoden worden onderscheiden:

- ▶ de mechanisch-technologische beproevingen;
- ▶ het metallografisch onderzoek;
- ▶ de procescontrolemethoden.

9.2.2 Mechanisch technologische beproevingen

Onder de mechanisch technologische beproevingen vallen:

- ▶ de eenvoudige pelproeven, die op de werkvloer met eenvoudige hulpmiddelen kunnen worden uitgevoerd;
- ▶ de afschuifproef (genormaliseerd in (NEN) ISO 14273);
- ▶ de kop-trekproef (genormaliseerd in (NEN) ISO 14272);
- ▶ de torsieproef (niet genormaliseerd);
- ▶ de beproevingen met stootbelasting (niet genormaliseerd);
- ▶ de vermoeiingsproeven;
- ▶ de belastingsproeven aan de complete constructie(delen).

Pelproeven

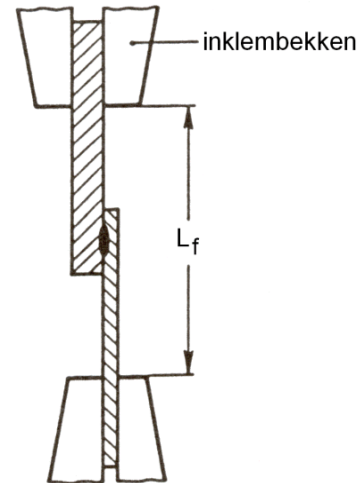
De pelproeven zijn de eenvoudigste proeven die worden uitgevoerd om weerstand gelaste verbindingen te beproeven. Met behulp van zeer eenvoudige hulpmiddelen (bankschroef, tang, beitel, enz.) wordt de verbinding door middel van "pellen" (afrollen) stuk gemaakt. De proef is bedoeld om te zien of de las uit één der platen kan worden getrokken ("uitknopen"), of dat er afschuiving op het plaatdeelvlak optreedt. De aard van de breuk en de grootte

van de uitgescheurde laslens zijn maatstaven voor de beoordeling van de sterkte van de las.

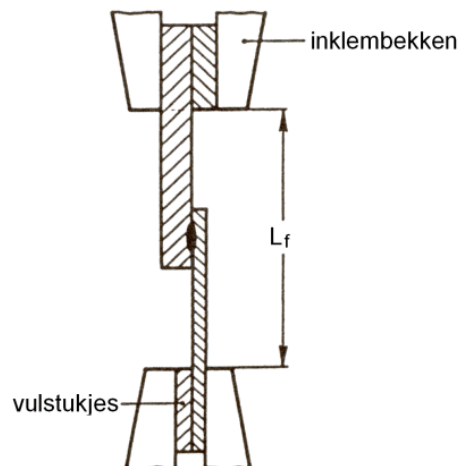
Afschuifproeven

Bij de afschuifproeven zijn twee verschillende beproevingsmethoden te onderscheiden, te weten:

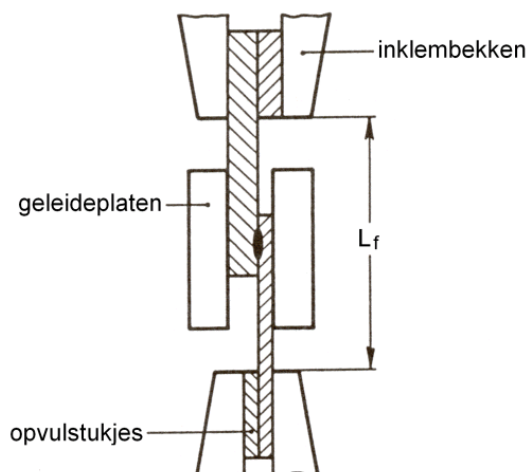
- ▶ de vrije afschuifproef (figuur 9.1 en 9.2);
- ▶ de zuivere afschuifproef (figuur 9.3).



figuur 9.1 Vrije afschuifproef



figuur 9.2 Vrije afschuifproef met vulstukjes



figuur 9.3 Zuivere afschuifkracht

Voor de vrije afschuifproef zijn proefstukvervaardiging, proefstukafmetingen, wijze van beproeving en de interpretatie van de resultaten vastgelegd in (NEN)-ISO 14273. De vrije uiteinden van het gelaste proefstuk worden zonder meer in de inklemblokken van een trekbank geklemd. Voor plaatdikten $> 3,0$ mm wordt het gebruik van vulstukjes aanbevolen. In beide gevallen wordt het proefstuk belast tot breuk. Behalve op afschuiving wordt de plaat bij toenemende belasting ook met een kracht loodrecht op de plaat belast, doordat het proefstuk ter plaatse van de overlap begint te buigen.

De maximaal op te nemen kracht die bij deze proef wordt gemeten, is daarom geen zuivere afschuifkracht. Omdat de belastingsvorm sterk overeenkomt met praktijk belastingen en de spreiding in de proefresultaten gering is, wordt de proef betrouwbaar genoeg geacht voor het bepalen van de statische sterkte van een puntlasverbinding. Bovendien is uit de proef nog meer informatie te halen door het breukuiterlijk te beoordelen en een vloeigrens te bepalen.

Dit laatste door het maken van een kracht-verplaatsingsdiagram (soort trekkromme). Hiermee kunnen duidelijke verschillen in vervormingsgedrag tussen puntlassen, die bijvoorbeeld bij verschillende parameterinstellingen zijn gelast, worden vastgesteld.

De zuivere afschuifkracht

Deze kan worden bepaald door gebruik te maken van twee geleidingsplaten ter plaatse van de overlap. Hierdoor wordt de buiging voorkomen.

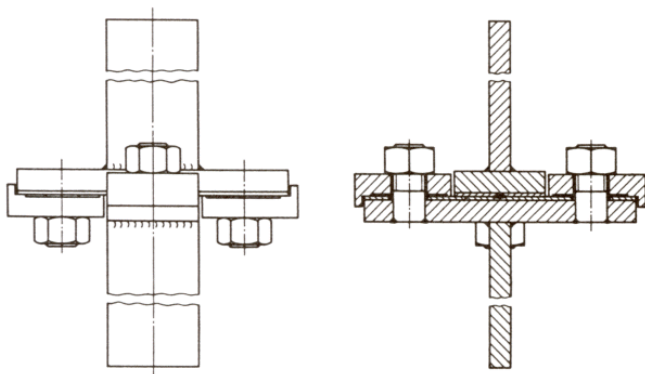
De zuivere afschuifkracht levert hogere maximaal op te nemen afschuifkrachten op, dan de vrije afschuifproef volgens (NEN) ISO 14273.

Kop-trekproef

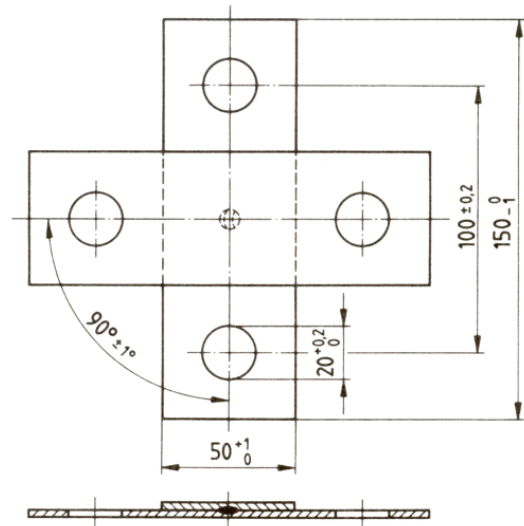
Met de kop-trekproef, waarbij de lasverbinding op trek wordt belast (in de richting loodrecht op het verbindingvlak), wordt de maximaal op te nemen kracht bepaald.

Figuren 9.4 en 9.5 tonen respectievelijk de beproevingshulpstukken en het proefstuk, zoals deze zijn genormaliseerd in (NEN) ISO 14272. Het proefstuk wordt in een trekbank tot breuk belast. Afhankelijk van het draagvermogen van de verbinding wordt het materiaal nabij de puntlas sterk vervormd, zodat geen zuivere kop-trekbelasting optreedt.

De maximale kop-trekkracht hangt sterk af van de grootte van de laslensdiameter, het soort materiaal en de materiaaldikte. Het breukuiterlijk en de vloeigrens zijn interessante gegevens voor het draagvermogen van de puntlasverbinding, indien deze op trek wordt belast.



figuur 9.4 Beproevingshulpstukken voor de kop-trekproef



figuur 9.5 Proefstuk ten behoeve van de kop-trekproef

Torsieproef

De torsieproef is niet genormaliseerd, maar wordt regelmatig uitgevoerd met rechthoekige proefplaatjes die afmetingen hebben van circa 25×75 mm voor plaatdikten tot 2 mm. Bij deze proef worden twee op elkaar gepuntlaste plaatjes ten opzichte van elkaar verdraaid. Hierbij worden het torsiemoment en de torsiehoek geregistreerd en de maximale waarden daarvan bepaald.

Grafieken van torsiemoment tegen torsiehoek tonen duidelijk een onderscheid aan in vervormingsgedrag tussen lassen met nagenoeg dezelfde laslensdiameter, maar die bewust met een korte of lange lastijd zijn vervaardigd (zie figuur 9.6).

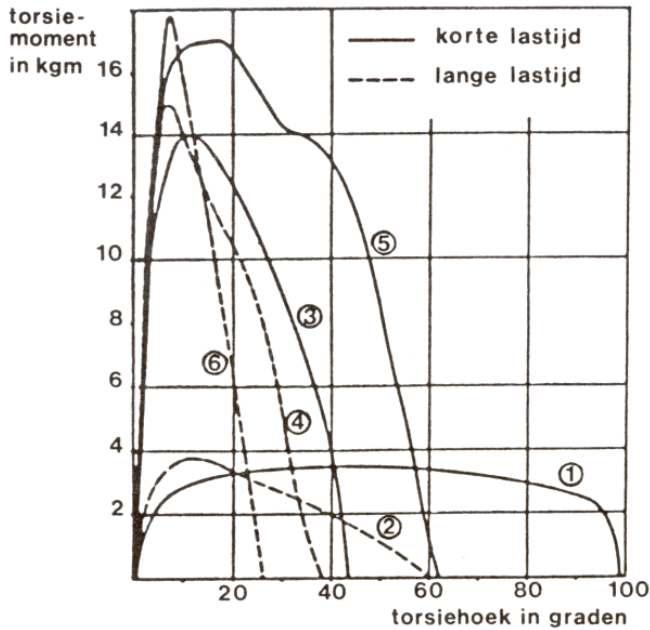
Na afloop van de proef kan ook het breukuiterlijk in de kwaliteitsbeoordeling worden opgenomen. Wanneer de puntlas groot genoeg is, wordt de laslens in de vorm van een cilinder uit één der platen getordeerd. Bij kleine puntlassen ligt de breuk meestal in het scheidingsvlak van beide platen. De vervormingsmogelijkheden van de warmte beïnvloede zone en de omgeving van de puntlas hebben een grote invloed op de proefresultaten. De proef is ook geschikt om de laslensdiameter te bepalen.

Beproeving met stootbelasting

Beproevingen met stootbelasting (vergelijkbaar met kerfslagproef) kunnen op de wijze van een afschuifproef of op die van een kop-trekproef worden uitgevoerd. Hoewel deze beproevingen interessante en belangrijke resultaten kunnen opleveren, worden ze in de praktijk nauwelijks uitgevoerd. De door de las opgenomen slagarbeid en het breukuiterlijk bepalen in hoofdzaak de kwaliteit van de las. Staalsoorten met een verhoogde sterkte, zoals bijv. S355 en hoger, geven hoofdzakelijk brose breukvlakken te zien na de beproeving. Dit duidt erop dat puntlassen, vooral in staalsoorten met verhoogde sterkte, niet geschikt zijn om stootbelastingen op te nemen.

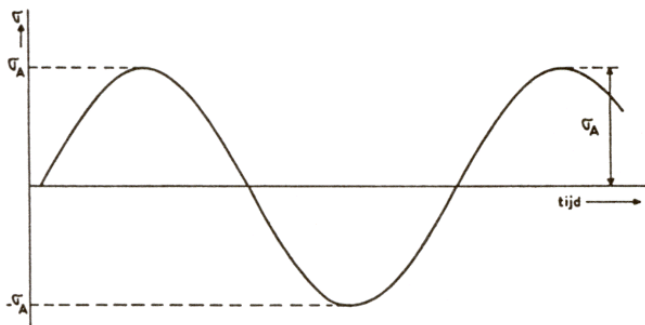
Vermoeiingsproeven

Vermoeiingsproeven hebben tot doel inzicht te verschaffen in de weerstand tegen dynamische belasting van eenvoudige puntlassen of puntlaspatronen. De vorm van de proefstukken (inspanlengte, breedte en overlap) wordt over het algemeen vrij gekozen. De afmetingen liggen echter in de orde van grootte van de afmetingen van afschuifproefstukken voor eenvoudige puntlassen of rijen puntlassen. Voor de wisselbelasting wordt er een genomen, die tussen een zuiver wisselende belasting en een sprongbelasting in ligt (figuren 9.7 en 9.8).

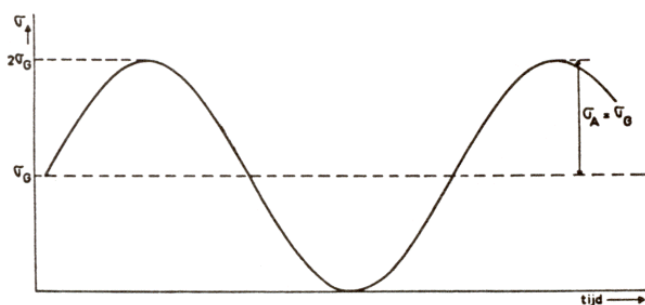


	materiaal	dikte [mm]	d1 [mm]	t [per]
1	DC03	1,0	4,8	7
2	DC03	1,0	5,2	31
3	DC01	3,0	8,6	13
4	DC01	3,0	8,8	52
5	S355	2,0	3,0	11
6	S355	2,0	7,7	52

figuur 9.6 Effect van de lastijd op het verloop van het torsie-moment als functie van de torsiehoek voor puntlas-verbindingen bij verschillende materiaalsoorten en -dikten



figuur 9.7 Zuiver wisselende belasting



figuur 9.8 Sprongbelasting

Voor het bepalen van de invloed van de lasparameters op de sterkte van de puntlas worden in de regel proefstukken

met één puntlas gebruikt. Proefplaten met één of meer rijen puntlassen worden gebruikt voor het bepalen van de invloed van het puntlaspatroon en de puntlasgrootte op de vermoeiingssterkte van de verbinding. Enigszins ongebruikelijke puntlaspatronen beïnvloeden de vermoeiingssterkte aanzienlijk.

Belastingsproeven aan de complete constructie(delen)

De hiervoor beschreven mechanische beproevingen hebben het nadeel, dat de resultaten niet direct uitsluitsel geven over het draagvermogen van een gepuntlaste constructie. Indien meer inzicht in het draagvermogen van een constructie(deel) wordt verlangd, kan de te verwachten belasting op het betreffende deel in een proefopstelling worden nagebootst.

9.2.3 Het metallografisch onderzoek

Als aanvulling op de mechanisch-technologische beproevingen kan metallografisch onderzoek worden uitgevoerd aan speciaal geprepareerde lasdoorsneden. Aan de hand hiervan kunnen worden bepaald:

- ▶ afmetingen en vorm van de laslens;
- ▶ de aard van de microstructuur van basismateriaal, warmte beïnvloede zone en laslens;
- ▶ de hardheid over de gehele lasverbinding;
- ▶ de aanwezigheid van inwendige fouten.

De combinatie van een mechanisch-technologisch onderzoek met een metallografisch onderzoek geeft meer informatie over de sterkte van een weerstandlas dan één van deze alleen.

9.2.4 De procescontrolemethoden

In Hoofdstuk 6 is uitvoerig ingegaan op het meten van de lasparameters. Reeds het meten van stroom en aandrukkracht bij het instellen van de lasmachine, waarvoor slechts eenvoudige meetapparatuur nodig is, is belangrijk.

De behoefte aan meer zekerheid omtrent de laskwaliteit tijdens het lassen en aan een tijdige waarschuwing voor de lasmachine bediener, wanneer de gewenste kwaliteit niet wordt gehaald, heeft de ontwikkeling van de procescontrolemethoden gestimuleerd.

De procescontrolemethoden worden voornamelijk toegepast in industrieën waar hoge kwaliteitseisen worden gesteld, zoals die betrokken bij de ruimtevaart en in industrieën met massaproductie, zoals de automobiellindustrie. De procescontrolemethoden worden in de Nederlandse fabrieken nog nauwelijks toegepast.

De procescontrolemethoden kunnen in twee categorieën worden verdeeld.

Monitorsystemen

Hierbij wordt tijdens het lassen de grootheden die de laskwaliteit beïnvloeden continu gemeten en geregistreerd. De geregistreeerde waarde van de gemeten parameter verschaft indirect informatie over de laskwaliteit. Deze systemen kunnen worden uitgebreid met parameterregulende controleapparatuur. Tijdens het lassen wordt een parameter gemeten en vergeleken met een van tevoren bepaalde waarde die nodig is voor het behalen van de gewenste laskwaliteit (laslensdiameter). Bij afwijkingen wordt de betreffende parameter gecorrigeerd door middel van een terugkoppelsysteem (feed back control).

Systemen waarbij gebruik gemaakt wordt van micro-processors of minicomputers

Bij deze systemen worden één of meer lasparameters van één of meer machines automatisch gemeten en geregeld. Daarnaast kunnen ook nog van tijd tot tijd automatisch correcties worden aangebracht aan de ingestelde parameters om van tevoren onderkende

veranderende productieomstandigheden het hoofd te bieden, zoals bijvoorbeeld de elektrodenslijtage. Het systeem geeft automatisch aan, wanneer onderhoud aan de lasmachines moet worden gepleegd. Dikwijls worden ook de lasgegevens opgeslagen.

De in beide systemen gebruikte referentiewaarde van een lasparameter moet met een zo klein mogelijke marge de gewenste kwaliteit (laslensdiameter) garanderen.

Voor een nauwkeurige bepaling van het verband tussen bedoelde waarde van de kritieke parameter en de laslensdiameter zijn verschillende methoden aangegeven:

► **het meten van de thermische uitzetting van de laslens en de directe omgeving daarvan**

Het uitgangspunt van de methode is, dat een goede laslens met een bepaalde optimale snelheid uitzet tot een optimale waarde.

► **het meten van elektrische parameters tijdens het lasproces**

Deze systemen zijn gebaseerd op het meten en terugkoppelen van een elektrische parameter en zijn het meest gangbaar. In principe zijn er twee systemen mogelijk, namelijk: Systemen waarbij een parameter wordt gemeten, die bepalend is voor de in de las ingebrachte energie en systemen waarbij het weerstandsverloop (of spanningsverloop) over de las wordt bepaald tijdens de vorming van de las. De tweede methode is het meest belovend. Bij de eerste methode is men nooit zeker of de ingebrachte energie nuttig wordt gebruikt.

► **Het meten van infraroodstraling tijdens het lassen**

Het meten van de hoeveelheid infraroodstraling tijdens het lassen is als mogelijke graadmeter voor de laskwaliteit onderzocht. De benodigde detectoren zijn echter erg gevoelig voor vuil en rook. Terwijl de hoeveelheid straling ook wordt beïnvloed door de aanwezigheid van oxiden, olie en walshuid op het plaat oppervlak.

► **het meten van amplitudeveranderingen van een door de las heen uitgezonden ultrasoon signaal**

Bij deze methoden wordt gebruikgemaakt van het feit, dat de amplitude van het door de te verbinden delen gezonden geluid significant verandert, naarmate de laslens groeit. De gevoeligheid van de benodigde tasters vormen weer een belemmering voor de meeste lastoe-passingen.

► **het meten van akoestische emissie tijdens het lassen**

De methode berust op het idee, dat een las spanningsgolven uitzendt, die door een piëzo-elektrisch kristal kunnen worden gedetecteerd. Aan de hand van het geregistreerde signaal kan het begin van spatten (maximale laslensdiameter!) worden waargenomen, waarna onmiddellijk de lasstroom kan worden gestopt. Een nadeel van het systeem is weer dat de tasters duur en kwetsbaar zijn.

Concluderend kan worden gesteld dat bij al deze technieken, met uitzondering van de dynamische weerstandmeting, gebruik wordt gemaakt van kwetsbare tasters die vrij dicht bij de elektrode worden aangebracht. De dynamische weerstandmethode heeft zijn waarde in het buitenland op zeer beperkte schaal onder moeilijke productieomstandigheden bewezen. De methode is toepasbaar in geval van onbeklede en beklede staalsoorten en van stalen met hoge rekgrens. Tegenwoordig onderzoek richt zich ook op de toepassing bij aluminium en andere materialen.

9.2.5 Hoe beheersen wij de kwaliteit van de lasverbinding?

Volgens de ISO 9000 is "Lassen een speciaal proces!" Deze stelling vormt de basis voor de kwaliteitsborging

rond de lastechniek. Immers we kunnen het uiteindelijke resultaat van een lasbewerking op een aantal essentiële punten als bijvoorbeeld sterkte en taaiheid niet beproeven dan alleen door het product daarop te beschouwen, iets dat meestal betekent dat het product zelf onderworpen dient te worden aan een destructieve beproeving.

Om invulling te kunnen geven aan de bovengenoemde problematiek, kunnen we drie principiële factoren onderscheiden:

- mens;
- procédé;
- omgeving.

Ieder van deze drie heeft een uitgesproken invloed op de lastechniek, ook al is dit soms minder goed zichtbaar.

Mens

De lasser/operateur/machine insteller

De industrie heeft lassers nodig die een uitgebreide vaardigheid hebben, bij voorkeur gekoppeld aan enige theoretische kennis. De lasser heeft een opleiding of tenminste een training genoten, somtijds resulterend in een certificaat van vakbekwaamheid (lasserskwalificatiecertificaat).

De norm EN 1418 "Laspersonnel - Het kwalificeren van bedieners van lasmachines voor smeltlassen en installers van weerstandlasapparatuur voor geheel mechanisch en automatisch lassen van metallische materialen", beschrijft genormaliseerde methoden om de vaardigheid van deze groep van personen te toetsen. Er worden vier categorieën onderscheiden:

- *Acceptatie op basis van lasmethode kwalificatieproef (WPQR; (NEN) ISO 15614-serie)*
Wanneer een machinelasser of -steller een volledige lasmethode kwalificatieproef volgens het relevante deel van EN ISO 15614 met succes heeft afgelegd, geldt dit als een goedkeuring voor alleen dat type lasinstallatie en dat lasproces. De installatie kan bestaan uit klemmen, opspanhulpmiddelen, een of meer robots, enz.

- *Acceptatie op basis van proeven aan een test-run of van productie-voor proeven (zoals in (NEN) ISO 15613 beschreven)*

Een machinelasser of -steller die met succes proeven aan een test-run of aan de werkelijke productie heeft uitgevoerd, waarbij gebruik werd gemaakt van een volledig gemechaniseerde of geautomatiseerde lasinstallatie, mag geacht worden te zijn gekwalificeerd voor het betreffende type lasinstallatie.

- *Acceptatie gebaseerd op productiemonsters*
Machine installers die een lasinstallatie hebben ingesteld worden geacht te zijn gekwalificeerd voor het volledig gemechaniseerd en het automatisch lassen, wanneer representatieve monsters van de gefabriceerde producten zijn geaccepteerd. Deze acceptatie moet worden afgestemd met de eisen van de contractpartijen.

- *Acceptatie op basis van een functietest*
Een functietest is weer zo'n nieuw begrip. Wanneer een machinelasser of -insteller kan aantonen dat hij de volgende zaken beheerst, mag hij zich gekwalificeerd noemen voor het betreffende type lasinstallatie:

- begrijpen van het verband tussen afwijkingen in de instellingen en de resultaten van het lassen;
- beheersen van de lasinstallatie volgens de WPS;
- testen van de operationele onderdelen van de lasinstallatie volgens de WPS en
- rapporteren van elke storing in de lasinstallatie.

Uitgaande van het feit dat gelast wordt volgens een WPS, kent het geldigheidsgebied geen grenzen, zolang gelast wordt met hetzelfde type van de lasinstallatie en met hetzelfde lasproces.

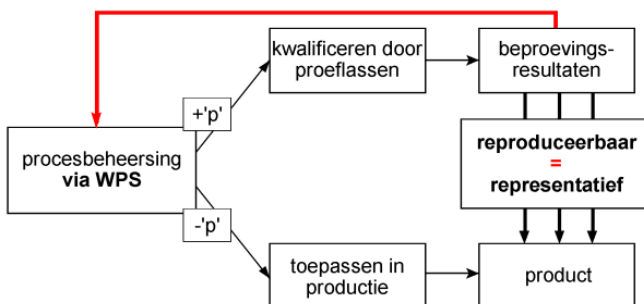
Geldigheid

De eisen ten aanzien van de geldigheid van de kwalificatiecertificaten wijken af van die welke gelden voor de 'gewone' lasserskwalificatie: twee jaar, zonder verplichting de tussenliggende stappen van zes maanden door werkgever/lascoördinator te laten waarmerken. Een en ander onder voorbehoud dat aan de volgende voorwaarden is voldaan:

- de machinelasser of -steller moet met een 'redelijke continuïteit' te werk zijn gesteld binnen het geldigheidsgebied van de kwalificatie, een onderbreking van langer dan zes maanden is hierbij niet toegestaan en
- er mag geen specifieke reden zijn om de kundigheid van de machinelasser of -steller ter discussie te stellen.

Procédé

Een lasmethodebeschrijving (WPS) is een beproefd recept voor het maken van een reproduceerbare verbinding (zie figuur 9.9).



figuur 9.9 Procesbeheersing in de lastechniek

Het voornaamste doel van een WPS is de lasbewerking zodanig te beschrijven dat een reproduceerbare lasverbinding kan ontstaan. Dat betekent niet alleen dat er veel informatie moet worden vastgelegd, maar tevens dat deze informatie reproduceerbaar dient te zijn!

Alleen dán is het mogelijk de resultaten van de beproeving van de lasmethode representatief te verklaren voor de eigenschappen van het gelaste product.

NEN-EN-ISO 15609-5:2004 "Beschrijven en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Lasmethodebeschrijving - Deel 5: Weerstandlassen" beschrijft de WPS voor het weerstandlassen.

Er is al eerder gesteld dat een lasbewerking op enkele essentiële zaken slechts kan worden getoetst door hem destructief te beproeven. De enige manier om dat te voorkomen is de beproeving uit te voeren op een las die gelegd is op exact dezelfde manier als de productie-las. De WPS is hét middel om dat te bewerkstelligen. (Hierbij geldt natuurlijk altijd een geldigheidsgebied, als het compromis tussen wens en praktische uitvoering). Een WPS is echter slechts een document, zolang er geen serieuze onderbouwing voor aanwezig is: de lasprocedurekwalificatie.

In veel normsystemen worden naast een door het bedrijf zelf uitgevoerde (destructieve) kwalificatieproef (NEN) EN ISO 15614-12 voor punt-, rolnaad- en door-druklassen en (NEN) ISO 15614-13 voor het weerstandstuiklassen en afbrandstuiklassen), nóg een reële mogelijkheid geboden: (NEN) ISO 15613 "Beschrijven en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Goedkeuring op basis van een lasproef voor aanvang van de productie".

Omgeving

Alle hierboven genoemde zaken vereisen een "quality minded" organisatie; een organisatie waarin top-down en bottom-up begrip voor de lastechniek bestaat. Is deze kwaliteitsbewustwording waarin de lastechniek een belangrijke plaats inneemt niet aanwezig, dan is elk systeem bij voorbaat tot mislukken gedoemd.

De gehele "omgeving" van het lassen is gedetailleerd beschreven in de (NEN) ISO 3834 1 t/m 5 normen. Deze normen zijn - zoals wellicht bekend - de lastechnische aanvulling op de (NEN) ISO 9001. In deze documenten wordt gedetailleerd beschreven op welke lastechnische zaken er moet worden gelet, teneinde de kwaliteit ook voor de lastechniek in een organisatie veilig te stellen. Ook hier is sprake van meerdere niveaus ('uitgebreid', 'standaard' en 'elementair'), die in afhankelijkheid van de aard van de werkzaamheden en de te maken producten moet worden gespecificeerd.

Hoofdstuk 10

Instellen van de lasmachine

10.1 De van belang zijnde lasparameters en hun toleranties

Bij weerstandlassen is het goed kunnen instellen van de juiste parameters absoluut noodzakelijk. Voor het instellen van die waarden van de parameters die voor een bepaalde willekeurige toepassing een goede laskwaliteit zullen opleveren, moet systematisch te werk worden gegaan. Belangrijk met het oog op de reproduceerbaarheid van een machine-instelling is daarbij, dat de parameters met geschikte en betrouwbare apparatuur worden gemeten. In ref. [4] wordt een methode voor het instellen beschreven, waaraan het volgende voor een groot deel is ontleend. De belangrijkste lasparameters bepalend voor de laskwaliteit, zijn:

Voor het puntlassen:

- ▶ lasstroom;
- ▶ aandrukkracht;
- ▶ lastijd;
- ▶ diameter van het contactvlak van de elektrode.

Voor het projectielassen:

- ▶ lasstroom;
- ▶ aandrukkracht;
- ▶ lastijd;
- ▶ de nauwkeurigheid, waarmee de elektroden het inzaken van een projectie tijdens het lassen kunnen volgen.

Voor het rolnaadlassen:

- ▶ lasstroom;
- ▶ aandrukkracht;
- ▶ tijdsduur van stroom aan en uit;
- ▶ voortloopsnelheid.

Aan deze opsomming kunnen nog worden toegevoegd:

- ▶ slijtage van de elektroden;
- ▶ mate van aanliggen van de werkstukken;
- ▶ oppervlaktegesteldheid van de werkstukken;
- ▶ samenstelling van het materiaal;
- ▶ afmetingen van de projecties (alleen van belang bij projectielassen).

De invloeden van deze laatste factoren kunnen gering worden gehouden door het plegen van deugdelijk onderhoud en het hebben van een goed georganiseerde kwaliteitsdienst.

De eerstgenoemde, belangrijkste lasparameters beïnvloeden de laskwaliteit in een mate, die van toepassing tot toepassing verschillend kan zijn. Zo kunnen de aan elke parameter toe te kennen toleranties van geval tot geval verschillend zijn. Deze toleranties zijn bijvoorbeeld bij het puntlassen, onder optimale omstandigheden van 1 mm dikke ongelegeerde en onbeklede staalplaat, volgens ref. [4],

- ▶ voor de lasstroom: $\pm 6\%$;
- ▶ voor de aandrukkracht: $\pm 15\%$;
- ▶ voor de lastijd: $\pm 25\%$.

Deze tolerantiegebieden kunnen geheel anders worden als gevolg van een andere materiaalsoort, of van shuntwerking, of een te kleine randafstand. Het wordt hiermee duidelijk, dat voor elke toepassing de tolerantiegebieden voor de parameters proefondervindelijk moeten worden vastgesteld. Het kennen van de tolerantiegrenzen of acceptatiegrenzen is belangrijk, omdat met parameterwaarden binnen deze grenzen de lassen kunnen worden goedgekeurd en met die daarbuiten zullen moeten worden afgekeurd.

10.2 Proefondervindelijke bepaling van de tolerantiegebieden voor de lasparameters

1.

Stel de optimale parameters, die behoren bij de plaatdikte en het materiaal van de te lassen platen, op de machine in. Deze zgn. basisgegevens worden bijvoorbeeld door leveranciers van lasmachines of materialen verstrekt. Grote goed georganiseerde fabrieken beschikken zelf over deze gegevens op grond van ervaring. Indien de basisgegevens geheel ontbreken kunnen deze als volgt worden gevonden. Stel op grond van de materiaaldikte en de sterkte-eisen de gewenste laslens diameter vast (meestal 5 $\sqrt{d}$).

Stel een korte lastijd in (schatting op grond van bekende lastijden voor andere vergelijkbare toepassingen). Bepaal door herhaalde proeven, die steeds destructief worden beoordeeld, de minimale stroomsterkte, waarbij de gewenste lensdiameter ontstaat. Pas hierbij steeds de aandrukkracht van de elektroden aan.

Doe dit zodanig, dat deze zo hoog is, dat er geen spatten van de las meer optreedt.

2.

Vervolgens worden proefstukken gelast bij instellingen, die zijn gevonden door vanuit de basisinstelling één parameter systematisch te variëren en de andere parameters constant te houden.

De in ref. [4] aanbevolen stappen in het variëren, zijn:

- ▶ voor de lasstroom: stappen van $\geq 2\%$;
- ▶ voor de aandrukkracht: stappen van $\geq 5\%$;
- ▶ voor de lastijd: stappen van $\geq 20\%$;

en bij het rolnaadlassen:

- ▶ voor de tijdsduur aan en uit: stappen van 1 periode;
- ▶ voor de voortloopsnelheid: stappen van $\geq 5\%$.

De proefstukken worden destructief onderzocht op de grootte van de laslens. De ondergrens van het gebied, dat met de opeenvolgende stappen wordt doorlopen, wordt bepaald door de minimaal te accepteren lasafmeting (laagste warmte-inbreng). De bovengrens wordt bepaald door een maximale warmte-inbreng, die met spatten gepaard gaat, of met een te grote (diepe) indrukking van de elektroden in het plaatoppervlak.

3.

Met de resultaten van de onder 2 genoemde proeven is voor elke afzonderlijke parameter de toelaatbare spreiding (goedkeur- en afkeurniveau) voor een bepaalde toepassing verkregen.

N.B. De toelaatbare spreiding die aldus voor een bepaalde parameter is gevonden, geldt alleen in combinatie met de optimale (basis)waarden van de overige parameters.

10.3 Voorbeeld van een instelprocedure

Een voorbeeld van een instelprocedure is ontleend aan ref. [4]. De instelling betreft het lassen van twee platen, elk 1,2 mm dik van ongelegeerd onbekleed koolstofstaal met een laag koolstofgehalte.

Als basisinstelling geldt:

- ▶ lasstroom: 8 kA;
- ▶ aandrukkracht: 2,1 kN;
- ▶ lastijd: 11 perioden.

Proeflassen zijn gemaakt bij instellingen die zijn gevonden door:

- a. de stroom te variëren, terwijl de aandrukkracht en de lastijd constant worden gehouden;
- b. de aandrukkracht te variëren, terwijl de lastijd constant wordt gehouden en de stroom een waarde heeft tussen 6-8 kA;
- c. de lastijd te variëren, terwijl de aandrukkracht constant

wordt gehouden en de stroom een waarde heeft tussen 6-8 kA.

De variaties zijn gedaan in stappen, die een vast percentage van de basisinstelling bedragen.

Deze percentages zijn:

- voor de lasstroom: circa 10%;
- voor de aandrukkracht: circa 25%;
- voor de lastijd: circa 20%.

Elk proefstuk is destructief onderzocht op de grootte van de laslensdiameter die als graadmeter voor de laskwaliteit geldt. In de figuren 10.1 t/m 10.3 zijn de resultaten weergegeven. Als criterium voor de ondergrens van een tolerantiegebied is genomen de kleinste toelaatbare laslensdiameter, zijnde $4\sqrt{d} = 4,4$ mm. Het criterium voor de bovengrens is het optreden van spatten, een te hoge stroom bij een gegeven aandrukkracht of een te lage aandrukkracht bij een gegeven stroomsterkte.

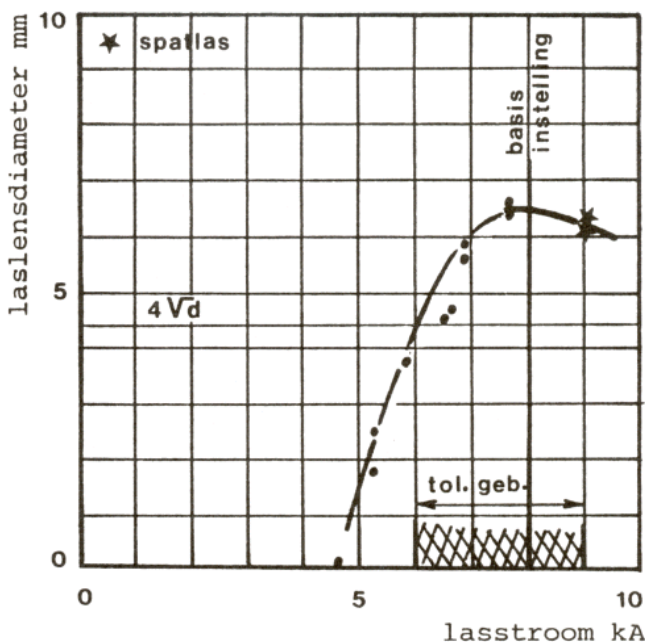
De figuren geven de volgende tolerantiegebieden:

- voor de stroom: 8kA: + 1kA, -2 kA;
- voor de aandrukkracht: 2,1 kN: + 0,4 kN, - 0,4 kN;
- voor de lastijd: 11 perioden: + 10 perioden*, - 1 periode.

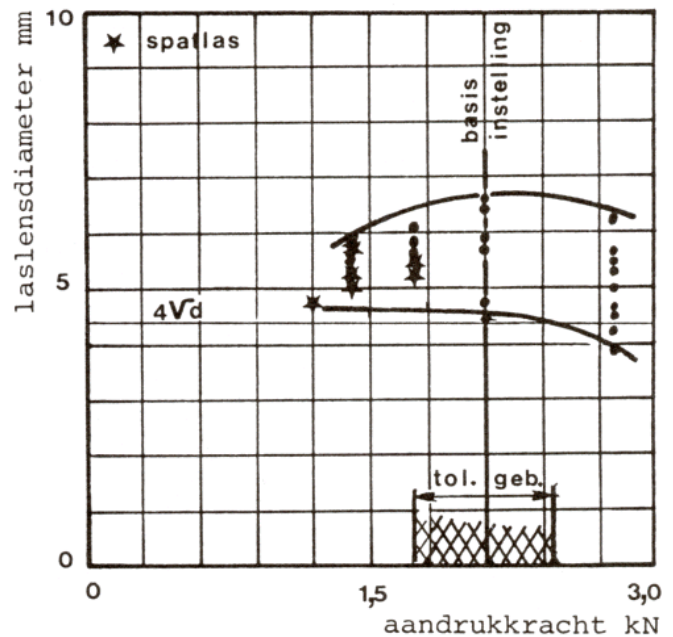
Tegen het overschrijden van de tolerantiegebieden door de parameters kan worden gewaakt door de parameters tijdens het lassen continu te registreren. Tegen de invloed van bijvoorbeeld elektrodeslijtage kan worden gewaakt door van tijd tot tijd een destructieve proef uit te voeren.

10.4 Richtwaarden voor het instellen van lasparameters bij het punt-, projectie- en rolnaadlassen

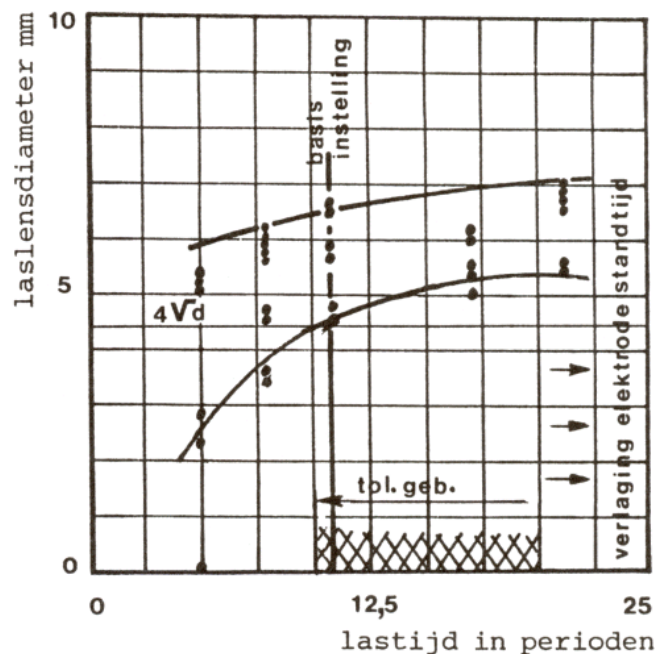
In de tabellen 10.1 t/m 10.8 zijn richtwaarden gegeven voor het punt-, projectie- en rolnaadlassen van ongelegeerd en laag gelegeerd koolstofstaal, austenitische roestvaste staalsoorten en aluminium(legeringen). De tabellen zijn samengesteld aan de hand van gegevens verstrekt door fabrikanten en leveranciers van weerstandslasmachines, van DVS-Merkblätter en cursusmateriaal.



figuur 10.1 Invloed van de lasstroom op de diameter van de laslens. Aandrukkracht 2,1 kN; lastijd 11 perioden



figuur 10.2 Invloed van aandrukkracht op de diameter van de laslens. Lasstroom 6-8 kA; lastijd 11 perioden



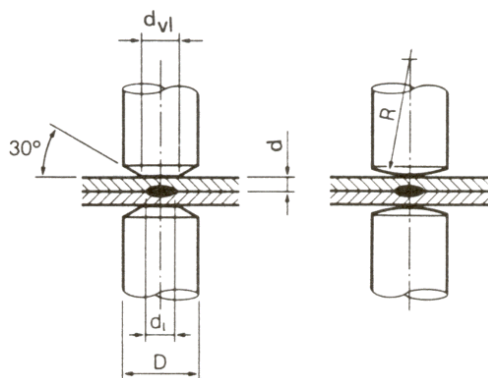
figuur 10.3 Invloed van de lastijd op de diameter van de laslens. Lasstroom 6-8 kA; aandrukkracht 2,1 kN

Voor elk van de drie belangrijke lasparameters is waar mogelijk per plaatdikte een gebied van aanbevolen instelwaarden gegeven. De richtwaarden kunnen uitstekend als basisinstellingen dienen bij het zoeken naar de optimale parameters en de bijbehorende tolerantiegebieden.

tabel 10.1 Richtwaarden voor het puntlassen van ongelegeerd of laaggelegeerd koolstofstaal met een koolstofgehalte $< 0,15\%$ (zie ook figuur 10.4 en kader 10.1)

plaatdikte d diameter $d_1^{1)}$	aandruk- kracht F	lasstroom I	lastijd t	elektroden			las- lens
				D_{min}	d_{vl}	R	
mm	kN	kA	perioden	mm	mm	mm	mm
0,5	1,5-0,5	8-5	5-10	10	5	50	3,5
0,8	2,4-0,8	9-6	8-16	12	5	50	4,5
1,0	3,0-1,0	10-7	10-20	12	6	75	5,0
1,5	4,5-1,5	12-8	15-30	16	7	75	6,0
2,0	6,0-2,0	13-9	20-40	16	7	75	7,0
2,5	7,5-2,5	15-10	25-50	19	8	75	8,0
3,0	9,0-3,0	17-11	30-60	19	9	100	9,0
4,0	12,0-4,0	20-12,5	40-80	25	10	100	10,0

1) Streefwaarde laslensdiameter: $d_1 = 5\sqrt{d}$.



figuur 10.4 Grootheden bij het puntlassen

De linker grenswaarden van de gebieden van instelwaarden die voor de lasparameters worden aanbevolen, horen bij elkaar. Deze waarden vormen de combinatie: hoge aandrukkracht, hoge lasstroom en korte lastijd, welke combinatie, zoals bekend, een goede puntlaskwaliteit oplevert. De bij elkaar horende rechter grenswaarden vormen een combinatie die een lagere puntlaskwaliteit geeft.

kader 10.1 Opmerkingen bij tabel 10.1

tabel 10.2 Richtwaarden voor het puntlassen van austenitische roestvaste chroom/nikkelstaalsoorten (zie ook figuur 10.4 en kader 10.1)

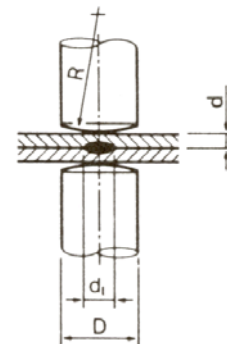
plaatdikte d diameter $d_1^{1)}$	aandruk- kracht F	lasstroom I	lastijd t	elektroden			las- lens
				D_{min}	d_{vl}	R	
mm	kN	kA	perioden	mm	mm	mm	mm
0,5	1,7-1,0	3,8-3,5	4-8	16	4,0	50	3,5
0,8	3,0-1,6	6,2-4,1	6-12	16	4,5	75	4,5
1,0	4,0-2,0	7,6-4,7	7-15	16	5,0	75	5,0
1,5	6,5-3,0	11,0-6,0	10-22	19	6,0	75	6,0
2,0	9,0-4,0	14,0-7,0	13-30	19	7,0	100	7,0
2,5	12,0-6,0	16,0-8,0	16-35	19	7,5	100	8,0
3,0	15,0-6,0	18,0-9,0	19-40	19	8,5	100	9,0
4,0	20,0-8,0	22,0-11,0	25-50	19	9,5	100	10,0

1) Streefwaarde laslensdiameter: $d_1 = 5\sqrt{d}$.

tabel 10.3 Richtwaarden voor het puntlassen van de aluminium legeringen vergelijkbaar met de kwaliteit AlMg1¹⁾. (zie ook figuur 10.5 en kader 10.1)

plaatdikte d diameter $d_1^{2)}$	aandruk- kracht F	lasstroom I	lastijd t	elektroden		las- lens
				D_{min}	R	
mm	kN	kA	perioden	mm	mm	mm
0,5	1,8-0,7	26-21	2-5	16	75	3,5
0,8	2,3-1,1	31-24	3-7	16	75	4,5
1,0	3,0-1,5	34-26	3-8	16	75	5,0
1,5	4,0-2,0	39-30	5-12	20	100	6,0
2,0	5,0-3,0	44-34	6-16	20	100	7,0
2,5	6,5-4,0	50-37	7-20	20	100	8,0
3,0	8,0-5,0	53-41	8-24	25	100	9,0
4,0	10,0-7,0	56-44	9-32	25	100	10,0

1) Legeringen met een beter elektrisch geleidingsvermogen zoals Al 99,5 moeten met een 10-15% hogere lasstroom worden gelast. Legeringen met een slechter elektrisch geleidingsvermogen zoals AlMg3, moeten met een 5-10% lagere lasstroom worden gelast.
2) Streefwaarde laslensdiameter: $d_1 = 5\sqrt{d}$.

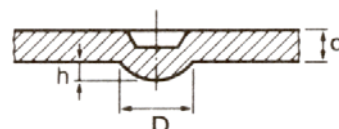


figuur 10.5 Grootheden bij het puntlassen (zie tabel 10.5)

tabel 10.4 Richtwaarden voor het projectielassen met ronde projecties van ongelegeerd of laaggelegeerd koolstofstaal met een koolstofgehalte van $< 0,15\%$ (zie ook figuur 10.6 en kader 10.2)

projectie-afmetingen			lasparameters per projectie		
plaatdikte d	dia-meter D	hoogte h	aandruk-kracht F	lasstroom I	lastijd t
mm	mm	mm	kN	kA	perioden
0,5	1,7	0,5	0,5-0,35	4,8-4,0	1-2
0,8	2,4	0,6	1,0-0,7	6,6-5,1	3-6
1,0	2,8	0,7	1,5-1,0	8,0-6,0	5-10
1,5	3,8	0,9	2,3-1,5	10,3-7,6	10-20
2,0	4,8	1,1	3,6-2,4	12,0-8,9	14-28
2,5	5,8	1,3	5,0-3,3	13,6-10,2	17-35
3,0	6,8	1,5	6,5-4,3	14,5-11,0	20-45
4,0	8,8	1,8	8,5-5,6	15,5-12,3	25-60

1) Bij het lassen van meer dan één projectie tegelijk dienen de waarden voor de aandrukkracht en de lasstroom met het aantal projecties te worden vermenigvuldigd. Dit geldt niet voor de lastijd.



figuur 10.6 Parameters bij het projectielassen

De parameters gelden voor het lassen van gelijke plaatdikten. Bij toenemende dikteverhouding (projecties in de dikste plaat!) moeten de stroomsterkte en de lastijd toenemen om een voldoende grote laslens te krijgen.

De linker grenswaarden van de gebieden van instelwaarden die voor de lasparameters worden aanbevolen, horen bij elkaar.

Deze waarden vormen de combinatie: hoge aandrukkracht, hoge lasstroom en korte lastijd, welke combinatie, zoals bekend, een goede puntlaskwaliteit oplevert.

De bij elkaar horende rechter grenswaarden vormen een combinatie die een lagere puntlaskwaliteit geeft.

Voor het lassen van roestvast staal kunnen voor de projecties dezelfde afmetingen als voor C-staal worden aangehouden. Voor de lasparameters kunnen de waarden worden gevonden door die uit de tabellen 10.1, 10.2 en 10.3 met elkaar te vergelijken.

Het projectielassen van aluminium(legeringen) gaat gepaard met moeilijkheden. De projecties kunnen of de noodzakelijke aandrukkracht niet weerstaan, of moeilijk worden gevormd (legeringen met hoge sterkte). Alleen met speciale projectievormen en met lasmachines met een geschikt stroom-/krachtprogramma wordt projectielassen van aluminium(legeringen) mogelijk.

kader 10.2 Opmerkingen bij tabel 10.4

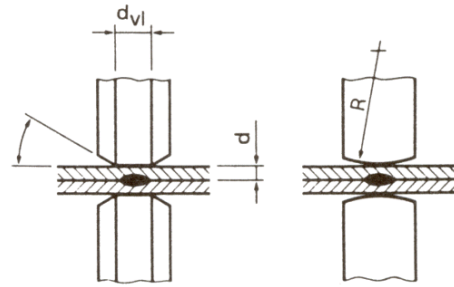
tabel 10.5 Richtwaarden voor het rolnaadlassen van ongelegeerd of laaggelegeerd koolstofstaal met een koolstofgehalte $<0,15\%$; dichte lassen met behulp van een stroomprogramma (zie ook figuur 10.7)

plaatdikte	rolafmetingen	lassnelheid	aandrukkracht	lasstroom	stroomtijd	stroompauzetijd
d	d_{vl} R	v ¹⁾	F	I	t_s	$t_{pmin}^{2)}$ $t_{pmax}^{2)}$
mm	mm	m/min	kN	kA	perioden	
0,5	3,0 50	2,0	2,4	10	2	1 2
0,8	3,5 50	2,0	3,2	12	2	2 3
1,0	4,0 75	1,8	4,0	14	3	3 4
1,25	4,5 75	1,8	4,8	16	4	3 5
1,5	5,0 75	1,5	5,0	17	4	4 6
2,0	5,0 75	1,5	6,0	19	6	5 7
2,5	5,5 100	1,5	7,0	20	7	6 8
3,0	6,0 100	1,1	8,0	22	10	7 10

1) Bij verhoging van de lassnelheid en gelijkblijvend stroomprogramma (stroomtijd/pauzetijd) moet de lasstroom worden aangepast.
2) Een grotere steek wordt bereikt door het verlengen van de pauzetijd.

tabel 10.6 Richtwaarden voor het rolnaadlassen van ongelegeerd of laaggelegeerd koolstofstaal met een koolstofgehalte $<0,15\%$; dichte lassen met continue lasstroom (zie ook figuur 10.7)

plaatdikte	min. overlap	rolafmeting	aandrukkracht	max. lassnelheid	gem. lassnelheid
d		d_{vl}	F	v_{max}	I bij v_{max}
mm	mm	mm	kN	m/min	kA
0,25	6	3,0	1,8	12,0	10
0,5	6	3,0	2,4	11,0	12
0,8	6	3,5	2,9	10,0	13
1,0	6	4,0	4,0	8,0	14
1,25	6	4,5	4,5	7,0	17
1,5	8	5,0	5,3	5,0	17
2,0	10	5,0	6,0	3,0	17



figuur 10.7 Parameters bij het rolnaadlassen

tabel 10.7 Richtwaarden voor het rolnaadlassen van austenitische roestvaste chroom/nikkelstaalsoorten (zie ook figuur 10.7)

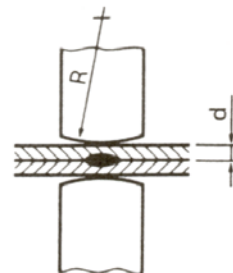
plaatdikte	rolafmetingen	lassnelheid	aandrukkracht ¹⁾	lasstroom	stroomtijd	stroompauzetijd
d	d_{vl} R	v	F	I	t_s	$t_{pmin}^{2)}$ $t_{pmax}^{2)}$
mm	mm	m/min	kN	kA	perioden	
0,5	3,0 50	1,4	3,0	8	3	2 3
0,8	3,5 50	1,3	4,0	11	3	3 4
1,0	4,0 75	1,2	5,0	12	3	4 5
1,25	4,5 75	1,2	6,0	13	4	4 5
1,5	5,0 75	1,1	8,0	15	4	5 6
2,0	6,0 75	1,0	10,0	16	4	6 7
2,5	7,0 150	1,0	12,5	16,5	5	6 7
3,0	8,0 150	0,9	15,0	17	6	6 8

1) Bij het rolnaadlassen met intermitterende voortloop, kan de aandrukkracht tot 50% worden verlaagd.
2) Een grotere steek (kleinere warmte-inbreng en minder krimpvorming) wordt bereikt door verlenging van de pauzetijd.

tabel 10.8 Richtwaarden voor het rolnaad lassen van aluminium en -legeringen (zie ook figuur 10.8)

plaatdikte	rolafmeting	lassnelheid	aandrukkracht	lasstroom	stroomtijd	stroompauzetijd
d	R	v	F	I	t_s	$t_p^{1)}$
mm	mm	m/min	kN	kA	perioden	
0,5	50	1,4	2,4	21	1	1
0,8	50	1,3	2,7	25	1	2
1,0	75	1,2	3,0	29	2	3
1,25	75	1,1	3,4	32	2	3
1,5	75	1,0	3,8	35	2	4
2,0	75	0,9	4,1	39	3	5
2,5	75	0,7	4,8	46	3	6
3,0	100	0,5	5,5	52	4	7

1) Een grotere steek (kleinere warmte-inbreng en minder krimpvorming) wordt bereikt door verlenging van de pauzetijd.



figuur 10.8 Parameters bij het rolnaadlassen van aluminium en -legeringen

Hoofdstuk 11

Lasfouten en hun oorzaken

In Hoofdstuk 10 is een methode behandeld, die moet leiden tot een goede parameterinstelling van de lasmachine. Hoewel een juiste parameterinstelling vanzelfsprekend een goede kwaliteit van de las met zich mee zou moeten

brengen, komt het in de praktijk toch wel voor dat er bepaalde lasfouten optreden, waarvan de precieze oorzaak moeilijk is vast te stellen. Lasfouten kunnen optreden als gevolg van bijvoorbeeld constructiefouten of van bepaalde productie omstandigheden. Het moeilijkst is de oorzaak te achterhalen, wanneer een combinatie van oorzaken aan de fout ten grondslag ligt.

Tabel 11.1 geeft een overzicht van veel voorkomende lasfouten bij het punt- en projectielassen en de mogelijke oorzaken daarvan. Een rolnaadlas kan in dit verband worden opgevat als een serie overlappende puntlassen.

tabel 11.1 Fouten bij het punt- en projectielassen en hun mogelijke correctie (bron: ref. [1])

soort fout	Mogelijke oorzaken van de fout (ook combinaties)							
	Stroomsterkte	Aandrukkracht	Lastijd	Diameter van het elektrode contactvlak of radius van de bolvormige elektrode	Elektrode	Projectie	Plaatoppervlak of aanliggen van de te lassen delen	Overige
1. Onvoldoende sterkte	te laag	te groot ¹⁾	te kort	te groot	Slechte oppervlaktegesteldheid	te klein	slecht	
2. Inwendige poriën en spatten	te hoog: verkeerd stroomprogramma; geen "upslope"	te klein; verkeerd drukprogramma	te lang	te groot	nog in beweging terwijl de stroom loopt; volgt te langzaam; slecht gekoeld	niet in de juiste afmetingen	slecht	te korte voordruktijd
3. Brandvlekken; poriën of putten aan het oppervlak, scheurtjes aan de rand van de laslens ²⁾	te hoog	te klein	te lang	te klein	slechte oppervlaktegesteldheid; elektrode materiaal ongeschikt; slecht gekoeld	niet de juiste afmetingen	slecht	te korte voordruktijd; plaatmateriaal niet geschikt
4. Opmengen van elektrode en basismateriaal	te hoog	te klein	te lang	te klein	elektrodemateriaal ongeschikt; slecht gekoeld.		slecht	te korte voordruktijd
5. Duidelijk afwijkende vorm van de elektrode-indrukking (normaliter rond)		te klein			slechte oppervlaktegesteldheid; slecht uitgelijnd; onrond		slecht	onnauwkeurige plaatgeleiding
6. Te grote diameter van de elektrode-indrukking	te hoog	te klein of te groot	te lang	te groot				
7. Te diepe elektrode-indrukking, of een diepe verkleuring van de puntlas over een vrij groot oppervlak	te hoog	te klein of te groot	te lang	te klein				

1) Te langzame krachtopbouw van de weerstandslasmachine (voordruktijd verlagen).
 2) Scheurtjes in het hart van de las beïnvloeden de sterkte nauwelijks.

Hoofdstuk 12

Het opheffen van machinestoringen

Aan de hand van tabel 12.1 is het mogelijk om systematisch maatregelen te nemen, wanneer zich onverhoopt een machinestoring voordoet. Bij de opzet van de tabel is ervan uitgegaan, dat de oorzaken van eventuele storingen

snel moeten kunnen worden opgespoord, zonder dat alle factoren die het lassen kunnen beïnvloeden behoeven te worden gecontroleerd.

Het werken en meten aan het elektrische gedeelte van de machine incl. de besturing moeten bij voorkeur worden uitgevoerd door geschoold personeel. Reparaties mogen alleen worden verricht als stroom, water en perslucht zijn afgesloten. Als de storing alleen bij ingeschakelde machine kan worden opgespoord, moeten passende veiligheidsmaatregelen worden getroffen.

tabel 12.1 Overzicht van voorkomende machinestoringen, hun mogelijke oorzaken en de te nemen maatregelen

Storing	Mogelijke oorzaken	Maatregelen
Elektrode gaat niet meer omhoog of omlaag	Magneetklep werkt niet.	Magneetklep met hand bedienen, meten of er spanning op de magneetspoel staat.
	Magneetklep krijgt geen signaal.	
	Te weinig luchtdruk aanwezig.	Druk via de manometer controleren.
	Luchtdruk te laag..	
	Luchtleding lekt.	Druk via de manometer controleren. Systeem controleren op lekkage.
	Cilinder/-leidingen klemmen.	Magneetklep bekrachtigen en controleren of er luchtdruk op de zuiger komt.
	Magneetklep ontluicht niet.	Pers- en retourleiding bij de cilinder controleren.
Rollen (bij het rolnaadlassen) draaien niet	Aandrijfmotor spanningsloos.	Motorveiligheidsschakelaar controleren. Controleren of spanning op het motorklembord aanwezig is. Zekeringen controleren.
	Aandrijfmechanisme klemt.	Schakelbeveiliging controleren. Stroomopname van de motor controleren.
Machine of delen van de machine worden warm.	Waterdruk te laag.	Waterdruk bij ingang controleren.
	Waterhoeveelheid te gering.	Filter controleren en indien nodig reinigen. Hoeveelheid koelwater aan retourzijde controleren en indien nodig leidingen reinigen. Slangen op knikken controleren.
	Isolatiefouten in het secundaire circuit.	Isolatie controleren, indien nodig koperen onderblok reinigen. Isolatie vernieuwen.
	Kortsluitingen in het secundaire circuit.	Zie bij isolatiefouten. Stroomweg in het secundaire circuit controleren.
	Machine is overbelast.	Inschakelduur controleren, stroomdichtheid in leidingen en elektroden controleren.
	Voorgeschreven stroomrichting van het koelwater (bij de elektroden) niet aangehouden.	Elektroden uitnemen en controleren of het water uit de buisjes stroomt.
	Overgangsweerstanden in secundaire circuit te hoog.	Alle overgangsweerstanden controleren in het secundaire circuit.
	Secundaire leiding beschadigd.	Leiding controleren en vernieuwen.
Er loopt geen lasstroom.	Hoofdschakelaar niet ingeschakeld.	Hoofdschakelaar inschakelen.
	Hoofdschakelaar kan niet worden ingeschakeld.	Uitschakelsysteem (b.v. maximaal- of nulspanningsbeveiliging) controleren. Netspanning controleren (onmiddellijk voor de hoofdschakelaar). Spanning op Uitschakelsysteem controleren. Uitschakeltaster controleren.
	Zekeringen niet in orde.	Zekeringen controleren en indien nodig vervangen.
	Systeem buiten werking door het inkomen van veiligheidsschakelaar(s).	Water-, temperatuur, motor- of overige veiligheidsschakelaars of beveiligingssystemen controleren op hun werking.
	Aftakschakelaar van de lastransformator staat op stand "O".	Instelling controleren.
	Secundaire circuit onderbroken.	Elektrodecontacten en bovenarmbeweging controleren. Secundaire circuit controleren. Schroefverbindingen in het secundaire circuit controleren.
	Lasstroom is uitgeschakeld.	Schakelaar (in/uitschakelen lasstroom) inschakelen.
	Thyristoren of Ignitrons ontsteken niet.	Ontsteekcircuits op onderbrekingen controleren. De "poling" van de ontsteekcircuits controleren. Primaire en secundaire circuits controleren. Ontsteekpuls meten (voorzichtig bij het meten van de netspanning van de ignitrons). Indien nodig lassturing omdraaien.
	Besturing krijgt geen signaal.	Drukschakelaar (elektrode voordruk) controleren. Externe schakelaar in/uit schakelen lasstroom controleren. Noodstop-schakelaar controleren. Beveiligingssysteem controleren. Stuurspanning van de lassturing controleren.

tabel 12.1 (vervolg) Overzicht van voorkomende machinestoringen, hun mogelijke oorzaken en de te nemen maatregelen

Storing	Mogelijke oorzaken	Maatregelen
Lasstroom te laag.	Netspanningsfluctuaties te groot.	Netspanning meten (ook tijdens het lassen).
	Fase-aansnijding te laag ingesteld.	Potentiometerinstelling verhogen.
	$\cos \phi$ niet goed ingesteld.	Instelling aanpassen.
	Fase-aansnijding reageert onregelmatig op de potentiometerverstelling.	Fase-ligging van stuur- en las spanning controleren.
	Thyristors of ignitrons versleten.	Vervangen door nieuwe.
	Hoofdcontacten van de schakelapparatuur zijn ingebrand.	Contacten vervangen en afregelen.
	Doorsnede van de stroomvoerende kabels zijn te klein of de kabels zijn te lang.	Narekenen en -meten.
Lastransformator broemt.	Ongelijkmatige elektrische belasting door asymmetrische ontsteking.	Ontsteekpulsen op asymmetrie controleren.
	Een thyristor of ignitron ontsteekt niet.	Ontsteekpulsen controleren.
	Ontsteektijdstop voor de eerste halve periode is niet goed ingesteld (slingereffect).	Indien nodig vervangen. D.v.m. oscilloscoop beeld zichtbaar maken en correct afstellen.
	Weekijzeren kernen of spoelen in de transformator liggen los.	Kernen door middel van bouten en/of banden vastzetten.
Zekering van de hoofdstroom smelt door.	Kortsluiting in het primaire circuit.	Stroomcircuit controleren.
	Kortsluiting tussen windingen in de lastransformator.	Transformator controleren.
	Machine overbelast.	Inschakelduur controleren.
Lastijd te lang.	Sturing slecht ingesteld.	Instelling controleren.
	Ignitron "blijft open staan". Thyristor blijft ontsteken.	Ignitron of thyristor controleren. Lassturing controleren.
	Lassturing wordt herhaald aangestuurd.	Drukschakelaar controleren. Startcontact controleren. Machinebesturing controleren.
	Lassturing werkt niet correct.	Lassturing controleren.
Lastijd te kort.	Sturing verkeerd ingesteld. Lastijd wordt door netspannings-fluctuaties beïnvloed.	Instelling controleren.
	Besturing werkt niet correct.	Besturing controleren.
Machine "komt niet in".	Geen of niet voldoende spanning aanwezig.	Netspanning controleren.
	Zekering niet in orde.	Zekeringen controleren.
	Beveiligingssystemen zijn ingekomen.	Beveiligingssystemen controleren.
	Drukschakelaar voor elektrode - krachtingstelling werkt niet correct.	Drukschakelaar controleren.
	Machinesturing werkt niet correct.	Machinesturing controleren.

Hoofdstuk 13

Referenties

- [1] Taschenbuch DVS-Merkblätter; Widerstandsschweisstechnik 1981.
- [2] DVS-Widerstandsschweissen, Vorträge der Stuttgarter Sondertagungen 1960, 1962, 1965, 1970, 1973, 1975; DVS-Widerstandsschweisstechnik 1981.
- [3] Weerstandlassen - Technologische voordrachten; Belgisch Instituut voor Lastetechniek.
- [4] Quality control of resistance welding by monitoring of critical machine parameters; IIW doc. 111-829-85.
- [5] Quality control for resistance welding; a review L.M. Rivett/KI/Johnson. Proceedings sheet metal welding conference, Detroit. The Welding Institute, 1984.
- [6] Superior Quality production spot welding using adaptive control. IRA L. Hawkins. Proceedings sheet metal welding conference, Detroit A.W.S. 1984.
- [7] LT 7/8-2004 P. van Ryment: Aluminium, het materiaal van de toekomst. Afl. 5 deel 1 weerstandlassen (1).
- [8] LT 9-2004 P. van Ryment: Aluminium, het materiaal van de toekomst. Afl. 5 deel 1 weerstandlassen (2).
- [9] LT 10-2004 P. van Ryment: Aluminium, het materiaal van de toekomst. Afl. 5 deel 1 weerstandlassen (3).
- [10] Metallerie april 2005; B. Verstraeten; Weerstandlassen hoge sterkte Staalsoorten en Staalsoorten met deklagen.
- [11] Der Praktiker 1-2006; H. Rusch; Widerstandsschweissen in der Praxis von Karosseriewerkstätten.

Overige Merkblätters en Normen

DVS 2902-1	Widerstandspunktschweißen von Stählen bis 3 mm Einzeldicke - Übersicht.
DVS 2902-2	Widerstandspunktschweißen von Stählen bis 3 mm Einzeldicke - Punktschweißseignung.
DVS 2902-3	Resistance spot welding of steels of an individual thickness of up to 3 mm; design and calculation.
DVS 2902-4	Widerstandspunktschweißen von Stählen bis 3 mm Einzeldicke - Grundlagen, Vorbereitung und Durchführung.
DVS 2908	Messen beim Punkt-, Buckel- und Rollennahtschweißen.
DVS 2913	Guidelines for measurements at single-phase spot welding machines, projection seam and seam welding machines.
DVS 2915-1	Quality assurance in spot welding, projection seam welding and roller seam welding; fundamentals.
DVS 2915-2	Quality assurance in spot welding, projection seam welding and roller seam welding; use of process control installations.
DVS 2915-3	Quality assurance in spot, projection seam and roller seam welding; quality assurance card.
(NEN) ISO 669	Weerstandlassen - Apparatuur voor weerstandlassen - Mechanische en elektrische eisen.
(NEN) ISO 693	Dimensions of seam welding wheel blanks.
(NEN) EN 1418	Laspersoneel - Het kwalificeren van bedieners van lasmachines voor smeltlassen en installateurs van weerstandlasapparatuur voor geheel mechanisch en automatisch lassen van metallische materialen
(NEN) ISO 3834-1 t/m 5	Quality requirements for fusion welding of metallic materials.
(NEN) ISO 5182	Lassen - Materialen voor weerstandlas elektroden en aanvullende uitrusting.
(NEN) EN ISO 5183-1	Puntlassen - Elektrode-adapters, buitenconus 1:10 - Deel 1: Conische aansluiting 1:10.
(NEN) EN ISO 5183-2	Puntlassen - Elektrode-adapters, buitenconus 1:10 - Deel 2: Cilindrische aansluiting voor loodrechte belasting.
(NEN) ISO 5184	Rechte elektroden voor puntlassen.
(NEN) EN 5821	Kappen voor puntlas elektroden.
(NEN) ISO 5827	Puntlassen - Onder elektroden en klemstukken.
(NEN) EN ISO 5828	Apparatuur voor weerstandlassen - Secundaire aansluitkabels met kabelschoenen met waterkoeling - Afmetingen en eigenschappen.
(NEN) ISO 5830	Resistance spot welding - Male electrode caps.
(NEN) EN ISO 7284	Apparatuur voor weerstandlassen - Bijzondere eisen voor transformatoren met twee gescheiden secundaire wikkelingen voor meerpuntlassen, zoals deze in de automobiellndustrie worden toegepast.
(NEN) ISO 7286	Grafische symbolen voor weerstandlasapparatuur.
(NEN) ISO 7931	Isolatiekappen en -bussen voor weerstandlasapparatuur.
(NEN) EN ISO 8166	Weerstandlassen - Procedure voor de evaluatie van de levensduur van puntlas elektroden bij gelijkblijvende afstelling van de machine.
(NEN) ISO 8167	Projecties voor weerstandlassen.
(NEN) EN ISO 8205-1	Met water gekoelde secundaire aansluitkabels voor weerstandlassen - Deel 1: Afmetingen en eisen voor aansluitkabels met twee geleiders.
(NEN) EN ISO 8205-2	Met water gekoelde secundaire aansluitkabels voor weerstandlassen - Deel 2: Afmetingen en eisen voor aansluitkabels met één geleider.
(NEN) ISO 8430-3	Puntlassen - Elektrodehouders - Deel 3: Cilindrische aansluiting voor loodrechte belasting.
(NEN) EN ISO 8205-3	Met water gekoelde secundaire aansluitkabels voor weerstandlassen - Deel 3: Beproevingseisen.
(NEN) ISO 8430-1	Resistance spot welding; electrode holders; part 1: taper fixing 1:10.
(NEN) ISO 8430-2	Resistance spot welding; electrode holders; part 2: Morse taper fixing.
(NEN) ISO 8430-3	Resistance spot welding; electrode holders; part 3: parallel shank fixing for end thrust.
(NEN) ISO 9001	Quality management systems - Requirements.
(NEN) EN ISO 9312	Apparatuur voor weerstandlassen - Isolerende pennen voor gebruik bij onder elektroden.
(NEN) ISO 9313	Puntlasapparatuur - Koelbuizen.
(NEN) EN 10130	Cold-rolled low carbon steel flat products for cold forming - Technical delivery conditions / Note: To be replaced by prEN 10130 (2004-08), prEN 10130 (2006-07).
(NEN) ISO 10656	Weerstandlassen - Geïntegreerde transformatoren voor laspistolen.
(NEN) ISO 12145	Apparatuur voor weerstandlassen - Hoekmaten voor montage van puntlas elektroden.

(NEN) ISO 12166	Apparatuur voor weerstandlassen - Bijzondere eisen voor transformatoren met één secundaire wikkelingen voor meerpuntlassen, zoals deze in de automobielindustrie worden toegepast.
(NEN) EN ISO 14270	Specimen dimensions and procedure for mechanized peel testing resistance spot, seam and embossed projection welds.
(NEN) ISO 14272	Specimen dimensions and procedure for cross tension testing resistance spot and embossed projection welds.
(NEN) ISO 14273	Specimen dimensions and procedure for shear testing resistance spot, seam and embossed projection welds.
(NEN) EN ISO 14324	Weerstandspuntlassen - Destructieve beproeving van lassen - Methode voor de vermoeingsbeproeving van puntlasverbindingen.
(NEN) EN ISO 14327	Weerstandlassen - Procedures voor de bepaling van het lasbereik voor punt-, projectie- en rolnaadlassen.
(NEN) EN ISO 14329	Laskwaliteit - Destructieve beproevingen van lasverbindingen - Storingstypes en geometrische metingen voor de laskwaliteit van puntlassen, rolnaad- en projectielassen.
(NEN) ISO 14373	Weerstandlassen - Methode voor puntlassen van niet-bekleed en bekleed laag koolstofstaal.
(NEN) EN ISO 14554-1	Kwaliteitseisen voor lassen - Weerstandlassen van metalen - Deel 1: Uitgebreide kwaliteitseisen.
(NEN) EN ISO 14554-2	Kwaliteitseisen voor lassen - Weerstandlassen van metalen - Deel 2: Elementaire kwaliteitseisen.
(NEN) EN ISO 15609-5	Beschrijven en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Lasmethodebeschrijving - Deel 5: Weerstandlassen.
(NEN) EN ISO 15613	Beschrijven en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Goedkeuring op basis van een lasproef voor aanvang van de productie.
(NEN) EN ISO 15614-12	Beschrijven en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Lasmethodebeproeving - Deel 12: Punt-, rolnaad- en doordruklassen.
(NEN) EN ISO 15614-13	Beschrijven en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Lasmethodebeproeving - Deel 13: Weerstand stuiklassen en afbrandstuiklassen.
(NEN) ISO 16432	Weerstandlassen - Methode voor doordruklassen van niet-bekleed en bekleed laag koolstofstaal.
(NEN) ISO 16433	Weerstandlassen - Methode voor rolnaadlassen van niet-bekleed en bekleed laag koolstofstaal.
(NEN) ISO 17657-1	Weerstandlassen - Lasstroømmeting voor weerstandlassen - Deel 1: Richtlijnen voor meting.
(NEN) ISO 17657-2	Weerstandlassen - Lasstroømmeting voor weerstandlassen - Deel 2: Lasstroømmeter met meetspoel.
(NEN) ISO 17657-3	Weerstandlassen - Lasstroømmeting voor weerstandlassen - Deel 3: Stroom meetspoel.
(NEN) ISO 17657-4	Weerstandlassen - Lasstroømmeting voor weerstandlassen - Deel 4: Kalibratie systemen.
(NEN) ISO 17657-5	Weerstandlassen - Lasstroømmeting voor weerstandlassen - Deel 5: Verificatie van het lasstroom meetsysteem.
(NEN) EN ISO 17654	Destructieve beproevingen van lasverbindingen in metalen - Weerstandlassen - Inwendige drukbeproeving van rolnaad lasverbindingen.
(NEN) EN ISO 18278-1	Weerstandlassen - Lasbaarheid - Deel 1: Bepaling van de lasbaarheid voor punt-, rolnaad- en doordruklassen van metalen.
(NEN) EN ISO 18278-2	Weerstandlassen - Lasbaarheid - Deel 2: Alternatieve procedures voor de beoordeling van staalplaat voor puntlassen.
(NEN) EN 50063	Machines voor weerstandlassen en aanverwante technieken - Veiligheidseisen voor de constructie en de installatie.
(NEN) EN 50240	Elektromagnetische compatibiliteit (EMC) - Productnorm voor de weerstand van lasapparatuur.



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