

Lasttechnologie

Lasttechnologie

G. den Ouden

© VSSD

Eerste druk 1987

Derde druk **1993-2006**

Uitgegeven door:

VSSD

Leeghwaterstraat 42, 2628 CA Delft, The Netherlands

tel. + 31 15 2782124, telefax +31 15 2787585, e-mail: hlf@vssd.nl

internet: <http://www.vssd.nl/hlf>

URL over dit boek: <http://www.vssd.nl/hlf/m006.htm>

Aan docenten die dit boek in cursusverband gebruiken, kunnen de illustraties in dit boek desgewenst in digitale vorm beschikbaar gesteld worden.

Men kan de collectie aanvragen bij emailadres hlf@vssd.nl

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photo-copying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

Gedrukte editie

ISBN-10 90-407-1285-9

ISBN-13 978-90-407-1285-2

NUR 971

Trefwoord: lassen

Elektronische versie

ISBN-10 90-6562-137-7

ISBN-13 978-90-6562-137-5

Voorwoord

Dit boek handelt over lastechnologie in de brede zin van het woord. Het is in eerste instantie bedoeld voor studenten aan technische universiteiten en gelijkwaardige opleidingsinstituten als handleiding bij de studie. Daarnaast kan het ook van nut zijn voor degenen die in het kader van hun werk direct of indirect met het onderwerp te maken hebben.

De inhoud van het boek is gebaseerd op notities ten behoeve van colleges gegeven in de periode sedert 1980 aan studenten van de Technische Universiteit Delft.

De eerste druk (1987). Deze druk moet worden gezien als 'eerste benadering'. De bedoeling is om in volgende drukken de stof uit te breiden en waar nodig te verdiepen.

De tweede druk (1990). Ten behoeve van deze druk zijn de volgende paragrafen geheel of gedeeltelijk herschreven: paragraaf 1.10 (De neersmeltsnelheid), paragraaf 2.10 (Laser lassen), paragraaf 5.1 (De temperatuurcyclus) en paragraaf 5.5 (De structuur van de lasverbinding).

Voorts is de tekst op een aantal plaatsen uitgebreid en aangepast en zijn enkele figuren toegevoegd.

De derde druk (1993). In deze druk is de tekst op een aantal plaatsen verder uitgebreid. Voorts zijn opgaven aan de hoofdstukken toegevoegd.

Suggesties met betrekking tot de inhoud zullen door de schrijver zeer op prijs worden gesteld.

Delft, juni 1993

G.d.O.

Inhoud

Algemene inleiding	11
I PROCESSEN	
1. Booglassen	15
1.1. Inleiding	15
1.2. Algemene beschrijving van de boog	16
1.3. De boogzuil	18
1.4. Het kathodevalgebied	32
1.5. Het anodevalgebied	34
1.6. Het ontsteken van de boog	34
1.7. Het booglasproces	38
1.8. Warmtetransport bij het booglassen	47
1.9. Materiaaltransport bij het booglassen	50
1.10. De neersmeltsnelheid	57
1.11. Spatverliezen	59
1.12. Magnetische effecten	61
1.13. Stroombronnen	64
1.14. Robotisering van het booglasproces	65
Opgaven	69
Literatuur	72
2. Andere lasprocessen	73
2.1. Inleiding	73
2.2. Weerstandlassen	73
2.3. Hoog-frequent lassen	76
2.4. Elektroslak lassen	77
2.5. Autogeen lassen	78
2.6. Thermiet lassen	80
2.7. Wrijvingslassen	81
2.8. Ultrasoon lassen	82
2.9. Explosielassen	83
2.10. Laser lassen	84
2.11. Elektronenbundel lassen	88
2.12. Diffusielassen	89

Opgaven	91
Literatuur	92
3. Solderen	93
3.1. Inleiding	93
3.2. Oppervlaktegesteldheid	94
3.3. Bevochtigingseigenschappen van soldeer	94
3.4. De vloeibaarheid van soldeer	95
3.5. Zachtsolderen en hardsolderen	96
3.6. De sterkte van de soldeerverbinding	98
Opgaven	99
Literatuur	99
4. Thermisch snijden	100
4.1. Inleiding	100
4.2. Autogeen snijden	100
4.3. Boogsnijden	103
4.4. Laser snijden	104
Opgave 104	
Literatuur	104
II METAALKUNDIGE ASPECTEN	
5. Metaalkundige aspecten van het booglassen	107
5.1. De temperatuurcyclus	107
5.2. Het lasbad	113
5.3. Slak-bad reacties	117
5.4. De opname van di-atomaire gassen	117
5.5. De structuur van de lasverbinding	120
5.6. Restspanningen	128
5.7. Lasdefecten	131
5.8. Lasbaarheid	133
Opgaven	134
Literatuur	136
III TOEPASSINGEN	
6. Lassen van ongelegeerd en laaggelegeerd staal	139
6.1. Ongelegeerd en laaggelegeerd staal – soorten en kenmerken	139
6.2. Lasprocessen en lasprocedures	140
6.3. Beklede elektroden voor het lassen van ongelegeerd en laaggelegeerd staal	142

6.4.	De structuur van de lasverbinding	151
6.5.	Lasproblemen	159
	Opgaven	170
	Literatuur	171
7.	Lassen van roestvast staal	173
7.1.	Eigenschappen van roestvast staal	173
7.2.	Lasbaarheid van roestvast staal	177
7.3.	Vermindering van de corrosiebestendigheid ten gevolge van het lassen	182
7.4.	Lasverbindingen tussen staalsoorten van verschillende samenstelling (zwart-wit verbindingen)	186
	Opgaven	188
	Literatuur	188
8.	Lassen van aluminium	190
8.1.	Eigenschappen van aluminium	190
8.2.	Lasbaarheid van aluminium	191
	Opgave 194	
	Literatuur	194
Appendices		
A.	Lastypen	196
B.	Naadvormen	196
C.	Lasposities	197
D.	Normen op lasgebied	198
E.	Organisaties op lasgebied	199
F.	Afkortingen	199
Index		201

Algemene inleiding

Voor het duurzaam verbinden van materialen is in loop der tijd een groot aantal methodes en technieken ontwikkeld.

Solderen, lijmen en lassen zijn bekende voorbeelden, die elk een zeer belangrijke rol spelen in de huidige metaalverwerkende industrie. Vooral lassen wordt op grote schaal toegepast.

Bij het lassen worden metalen delen met elkaar verbonden door gebruik te maken van warmte, al of niet in combinatie met druk. Essentieel daarbij is dat

- er volledige continuïteit ontstaat tussen de delen;
- de verbinding globaal dezelfde materiaaleigenschappen heeft als de verbonden delen.

De warmte die voor het lassen nodig is kan door verschillende bronnen worden geleverd. Er kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van chemische reactiewarmte, van wrijvingswarmte en van warmte die ontstaat bij elektrische stroomdoorgang.

De verschillende lasprocessen kunnen worden ingedeeld in smeltlassen en druklassen, waarbij het criterium is het al dan niet toepassen van druk tijdens het lassen. Duidelijker is echter een indeling naar de aard van de benodigde warmtebron. Een dergelijke indeling is voor de belangrijkste lasprocessen weergegeven in onderstaande tabel.

Warmtebron	Lasproces
elektrisch	booglassen
	weerstandlassen
	hoog-frequent lassen
	elektroslak lassen
thermo-chemisch	autogeen lassen
	thermiet lassen
mechanisch	wrijvingslassen
	ultrasoon lassen
	explosie lassen
straling	laser lassen
	elektronenstraal lassen

Opgemerkt moet worden dat sommige lasprocessen niet zonder meer in dit schema zijn in te passen. Dit houdt verband met het feit dat de benodigde warmtebron in die gevallen van samengestelde aard is. Deze situatie doet zich voor bij diffusielassen, waar zowel warmte van thermo-chemische als van mechanische oorsprong een rol speelt.

Tijdens het lassen doorloopt het metaal een temperatuurcyclus, bestaande uit een zeer snelle opwarming gevolgd door een betrekkelijk snelle afkoeling. Gedurende deze cyclus vinden er in de vloeibare en vaste fase verschillende fysische en chemische veranderingen plaats, die bepalend zijn voor de eigenschappen van de uiteindelijke verbinding. Aan deze eigenschappen worden in het algemeen hoge eisen gesteld, vooral wanneer de verbinding deel uitmaakt van een hoogwaardig produkt of van een hoogwaardige constructie.

In dit boek worden de belangrijkste aspecten die bij het lassen een rol spelen aan de orde gesteld.

Deel I (hoofdstuk 1 tot en met 4) handelt over processen, dat wil zeggen over de mogelijkheden die er zijn om een lasverbinding tot stand te brengen. Van de verschillende lasprocessen die in de praktijk worden toegepast is booglassen verreweg de belangrijkste, vandaar dat aan dit proces de meeste aandacht wordt besteed (hoofdstuk 1). Van de andere lasprocessen die in hoofdstuk 2 worden besproken krijgen weerstandlassen, autogeen lassen en laser lassen de meeste aandacht. Naast lasprocessen komen ook solderen (hoofdstuk 3) en thermisch snijden (hoofdstuk 4) kort aan de orde.

In deel II (hoofdstuk 5) worden de metaalkundige aspecten van het lassen behandeld. Het gaat daarbij vooral om de eigenschappen van de lasverbinding en om de manier waarop die eigenschappen door het lasproces worden beïnvloed.

Tenslotte wordt in deel III (hoofdstuk 6 tot en met 8) het lassen van ongelegeerd en laaggelegeerd staal, roestvast staal en aluminium besproken.

I Processen

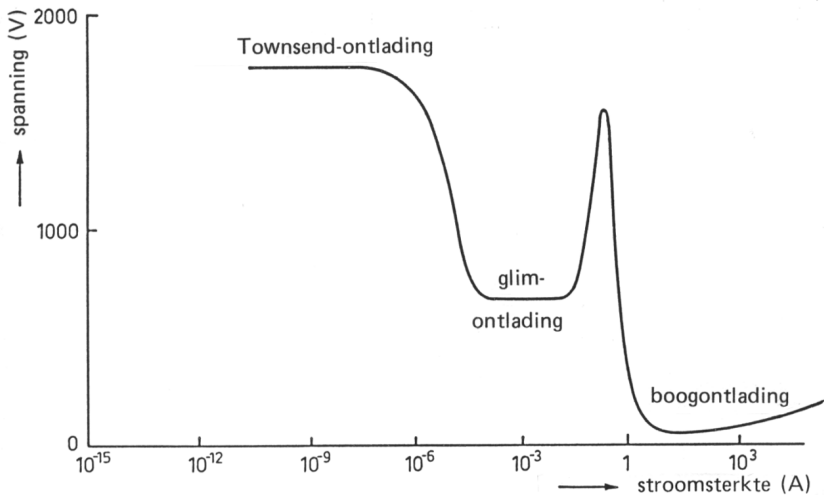
1

Booglassen

1.1. Inleiding

Het verschijnsel van elektriciteitsgeleiding door gassen is al heel lang bekend. Het manifesteert zich in een aantal van elkaar verschillende vormen, die met de nogal misleidende naam gasontladingen worden aangeduid. Voorbeelden van gasontladingen zijn: vonk, bliksem, Townsend-ontlading, glimontlading en boogontlading. Vonk en bliksem zijn kortstondige, niet-stationaire ontlastingstypen; hun maximale levensduur ligt in de buurt van 10^{-2} s.

De Townsend-ontlading, glimontlading en boogontlading zijn stationaire ontlastingstypen die voor onbepaalde tijd kunnen voortduren. Zij kunnen onder bepaalde omstandigheden in elkaar overgaan en kunnen worden beschreven aan de hand van een zogenaamde stroom-spanning karakteristiek, waarvan een voorbeeld is gegeven in figuur 1.1.



Figuur 1.1. Stroom-spanning karakteristiek van de verschillende typen gasontlading.

De Townsend-ontlading wordt gekenmerkt door een hoge spanning (kilovolts) en een zeer lage stroom (micro-ampères). Een hoge weerstand in de stroomkring is noodzakelijk om deze ontladingsvorm te handhaven.

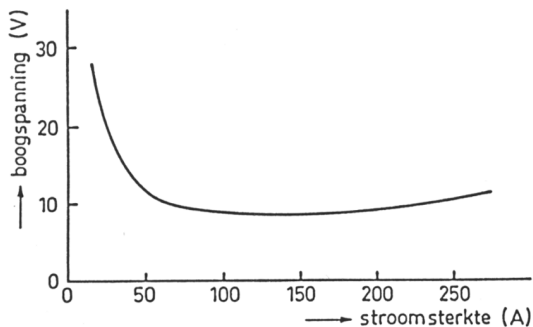
De glimontlading wordt gekenmerkt door een lagere spanning (enkele honderden volts) en een hogere stroom (milli-ampères). Bij deze ontlading treedt een positieve ruimtelading op vlak voor de kathode, die het elektrisch veld ter plaatse sterk vervormt.

Bij de boogontlading spelen ruimteladingen eveneens een essentiële rol. De spanning is nog veel lager dan bij de glimontlading (enkele tientallen volts) en de stroom is veel hoger (ampères).

In dit hoofdstuk zal aandacht worden besteed aan de boogontlading. Allereerst zullen de belangrijkste eigenschappen ervan worden besproken. Vervolgens komt aan de orde op welke wijze de boogontlading kan worden toegepast als warmtebron bij het booglassen.

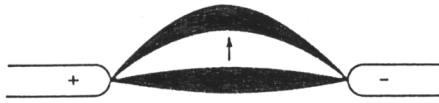
1.2. Algemene beschrijving van de boog

Zoals reeds werd opgemerkt, wordt de boogontlading (voortaan kortweg boog genoemd) gekenmerkt door een relatief lage spanning (tientallen volts) en een relatief hoge stroom (ampères). Een typische stroom-spanning karakteristiek is gegeven in figuur 1.2. Per tijdseenheid zal in de boog elektrische energie worden ontwikkeld. Deze energie is gelijk aan $V \times I$, waarbij V de boogspanning en I de stroomsterkte voorstelt. In stationaire toestand zal deze energie gelijk zijn aan de energie die per tijdseenheid uit de boog verdwijnt door middel van warmtegeleiding, convectie en straling.



Figuur 1.2. Stroom-spanning karakteristiek van de boogontlading.

De boog ontleent zijn naam aan de vorm die door het hete gas wordt aangenomen bij horizontale stroomdoorgang, dat wil zeggen wanneer de elektroden horizontaal tegenover elkaar zijn geplaatst (figuur 1.3): door de kleinere dichtheid zal het hete gas de neiging hebben op te stijgen en dat resulteert dan in het aannemen van de boogvorm. Dit effect is vooral goed waar te nemen wanneer dunne, staafvormige elektroden worden gebruikt die op betrekkelijk grote afstand van elkaar zijn geplaatst. In de praktijk van het booglassen is deze afstand echter meestal klein (maximaal enkele centimeters) en is slechts één van de twee elektroden (de elektrode) staafvormig. In dat geval blijft er weinig van de boogvorm over en is er bijna altijd sprake van een klokvorm (figuur 1.4).



Figuur 1.3. Ontstaan van de boogvorm (staafvormige elektroden, horizontale stroomdoorgang).



Figuur 1.4. Klokvormige boog.