

# MIG/MAG lassen en zijn varianten

vm 124

# VWM



# *MIG/MAG lassen en zijn varianten*

*vm 124*



*Vereniging FME-CWM*

Vereniging van ondernemers in de  
technologisch-industriële sector

Boerhaavelaan 40

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

© Vereniging FME-CWM/januari 2008 - vs 02

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

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

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

# ***MIG/MAG lassen en zijn varianten***

## ***toelichting***

Deze publicatie is tot stand gekomen in het kader van een updateproject, waarbij een groot aantal technische voorlichtingspublicaties worden aangepast aan de huidige stand der techniek. Hierbij heeft een nauwe samenwerking plaatsgevonden tussen de in de stuurgroep vermelde partijen. Deze publicatie "MIG/MAG lassen en zijn varianten" is een update van de publicatie "MIG/MAG lassen", welke is geschreven door de heer J.D. Roeters van Lennep en in 1986 is uitgegeven door het Nederlands Instituut voor Lastechniek. De geüpdate publicatie is, evenals de andere in dit updateproject vervaardigde en uitgegeven publicaties, gratis te downloaden vanaf de websites "www.verbinden-online.nl", "www.dunneplaat-online.nl" en via de websites van de deelnemende organisaties.

## ***samengesteld door***

A. Gales (TNO Industrie & Techniek) met ondersteuning van T. Luijendijk (TU Delft), M. Hermans (TU Delft, H. Bodt (NIL) en G.H.G. Vaessen (GVA).  
Eindredactie: P. Boers (FME)

## ***samenstelling stuurgroep***

G. Vaessen	NIMR
O. Ruigrok	NIMR
H. Raaijmakers	FDP
J. van de Put	Syntens
F. Lodeizen	FDP
A. Konter	NIMR
H. de Jong	NIL
G. Huizinga	FME
S. Hoekstra	NIMR
A. Gales	TNO Industrie &Techniek
P. Boers	FME

Al deze bedrijven/instellingen hebben een bijdrage geleverd aan het tot stand komen van deze publicatie.

## ***technische informatie***

### **Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL)**

- 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 VM-publicaties***

### **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

	blz.		blz.
1 Inleiding	5	2.6 Beschermgassen voor het MIG/MAG lassen	27
2 Principe van het MIG/MAG lassen	6	2.6.1 De beschermfunctie	27
2.1 De boog en zijn karakteristiek	6	2.6.2 Ionisatie	28
2.1.1 De boogzuil	7	2.6.3 Inerte beschermgassen en hun mengsels	28
2.2 De stroombron en zijn karakteristiek	7	2.6.4 Actieve beschermgassen en hun mengsels	29
2.2.1 Dalende karakteristiek van de stroombron	7	2.6.5 Beschermgassen voor het lassen van staal	29
2.2.2 De vlakke karakteristiek van de stroombron	8	2.6.6 Beschermgassen voor het lassen van hooggelegeerde staalsoorten	30
2.2.3 Moderne (synergische) MIG/MAG stroombronnen	9	2.6.7 Beschermgassen voor het lassen van aluminium en zijn legeringen	30
2.3 Boogtypen bij het MIG/MAG lassen	9	2.6.8 Backinggassen	31
2.3.1 Kortsluitbooglassen	10	2.7 Lastoevoegmaterialen	31
2.3.2 Open booglassen	12	2.7.1 Massieve lasdraden	32
2.3.2.1 Globulaire boog	12	2.7.2 Gevulde lasdraden	32
2.3.2.2 Sproei-boog	12	2.7.2.1 Rutiel gevulde lasdraden	33
2.3.2.3 Pulsboog- (puls-MIG/MAG) lassen	12	2.7.2.2 Micro gelegeerde rutiel lasdraden	33
2.3.2.4 Roterende boog of gemo-dificeerde boog	14	2.7.2.3 Basisch gevulde lasdraden	33
2.4 Instellen van de lasparameters bij het MIG/MAG lassen	15	2.7.2.4 Metaal gevulde lasdraden	34
2.4.1 Invloed van de draadsnelheid	15	2.7.2.5 Gasloze draden	34
2.4.2 Invloed van de lasspanning	15	3 Procesvarianten van het MIG/MAG lassen	36
2.5 Apparatuur voor het MIG/MAG lassen	15	3.1 MIG/MAG lassen met verhoogde neersmelt- en lassnelheden	36
2.5.1 Stroombronnen voor het MIG/MAG lassen	16	3.1.1 Processen met meerdere lasdraden: tandem-arc en twin-arc lassen	37
2.5.1.1 Analoge MIG/MAG stroombron	17	3.1.2 Processen met één lasdraad en een vergrootte uitsteeklengte	39
2.5.1.2 De chopper MIG/MAG stroombron	17	3.1.3 Processen met één lasdraad en een korte booglengte	40
2.5.1.3 De inverter MIG/MAG stroombron	17	3.1.4 Samenvatting MIG/MAG lassen met verhoogde neersmelt- en lassnelheden	40
2.5.1.4 Levensduur en betrouwbaarheid van moderne stroombronnen	18	3.2 MIG/MAG lassen met platte lasdraad	40
2.5.1.5 Het ontsteken van de boog, spatgedrag en kratervullen	18	3.3 "Koude" varianten van het (MIG)/MAG lassen	41
2.5.1.6 Keuze van een stroombron	18	3.3.1 Surface Tension Transfer (STT) lassen	41
2.5.1.7 Verdere ontwikkelingen van stroombronnen op het gebied van het MIG/MAG lassen	19	3.3.2 Cold Metal Transfer (CMT) lassen	42
2.5.2 Draadaanvoermecanisme inclusief draadhaspel	19	3.3.3 ColdArc lassen	44
2.5.2.1 Aanvoermethoden van de lasdraad	20	3.3.4 Samenvatting MIG/MAG 'koude procesvarianten'	44
2.5.2.2 Draadaanvoerrollen	21	3.4 Lassolderen (MIG/MAG boogsolderen)	44
2.5.2.3 Uitlijnen draadvoerbuissjes	21	3.5 MIG/MAG hybride lassen	46
2.5.3 De lastoorts en zijn onderdelen	22	4 Economie van het MIG/MAG lassen	48
2.5.3.1 De contactbuis	23	5 Onvolkomenheden bij het MIG/MAG lassen	51
2.5.3.2 Gasmondstukken	24	6 Veiligheid en Milieu	53
2.5.3.3 Het slangenpakket	24	6.1 Inleiding	53
2.5.3.4 De draadgeleider	24	6.2 Lasrook	53
2.5.3.5 Gasvoorziening (cilinder, reduceerventiel, gasdoorstroommeter)	25	7 Lasopleidingen	55
		8 Normen	56
		9 Nuttige Websites	57
		10 Literatuur	58

## Hoofdstuk 1

### Inleiding

Het gasbooglassen met een afsmeltende elektrode is in de jaren 40 van de vorige eeuw in de Verenigde Staten ontwikkeld. De boog en het smeltbad werden indertijd beschermd tegen inwerking vanuit de atmosfeer door een inert gas. Na de tweede wereldoorlog kreeg het proces ook in Europa betekenis voor het lassen van aluminium onder argon beschermgas en even hierna voor het lassen van ongelegeerd staal onder CO<sub>2</sub> beschermgas.

Het type beschermgas bepaalt tegenwoordig de naamgeving van het proces namelijk MIG lassen en MAG lassen. MAG is de (Engelse) afkorting van Metal Active Gas met andere woorden als het proces wordt uitgevoerd onder een actief beschermgas. In actieve beschermgassen zijn componenten als CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> en H<sub>2</sub> naast argon aanwezig. Als hetzelfde proces onder een inert beschermgas wordt uitgevoerd (argon, helium), wordt gesproken van MIG lassen (Metal Inert Gas). In de Verenigde Staten wordt het proces niet aangeduid met de eerder genoemde Engelse benaming, maar wordt hier gesproken van het GMAW (Gas Metal Arc Welding).

Hoewel de introductie van het MIG/MAG lassen zeker niet probleemloos verliep, heeft een verdere ontwikkeling en verfijning van het proces ertoe bijgedragen dat het tegenwoordig het meest gebruikte lasproces in de industrie is. Hiervoor zijn een aantal redenen aan te geven, waarvan als belangrijkste genoemd kunnen wor-

den dat het MIG/MAG lasproces zeer flexibel is (groot applicatiegebied) en dat het een economisch aantrekkelijk lasproces is.

Vooraf dit laatste is de reden dat het MIG/MAG lassen grotendeels het lassen met beklede elektroden heeft verdrongen.

Optimalisatie van het MIG/MAG lassen heeft over de jaren heen geleid tot de ontwikkeling van een economisch, betrouwbaar en kwalitatief uitstekend lasproces. De optimalisatie en verbetering van de procesbeheersing van het MIG/MAG lassen zijn vooral mogelijk gemaakt door een snelle ontwikkeling van de elektronica. De mogelijkheden die de moderne elektronica biedt enerzijds en nieuwe behoeften vanuit de markt anderzijds hebben er toe geleid dat er in de loop der jaren vele varianten van het MIG/MAG lassen zijn ontwikkeld.

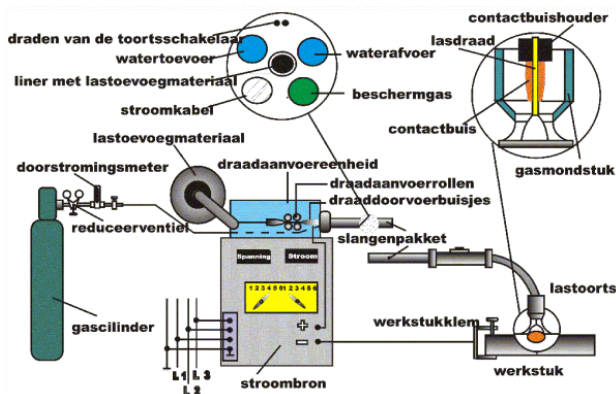
Het MIG/MAG lassen is van huis uit al een half gemechaniseerd lasproces, maar kan ook uitstekend volledig gemechaniseerd worden toegepast. Samen met de komst van industriële robots heeft dit ertoe geleid dat het MIG/MAG lassen in heel veel toepassingen door middel van lasrobots wordt uitgevoerd.

Toekomstige ontwikkelingen van het MIG/MAG lassen zullen gericht zijn op een verdere procesbeheersing. In eerste instantie is dit streven gericht op het voorkomen van hechtende spatten, waardoor de nabewerking tot een minimum kan worden beperkt, maar uiteindelijk is het ultieme doel te komen tot een volledige beheersing van het proces (wat de lasser ook doet de kwaliteit van de las blijft gewaarborgd - uiteraard binnen realistische grenzen), ervan uitgaande dat dit mogelijk is.

## Hoofdstuk 2

### Principe van het MIG/MAG lassen

Het MIG/MAG lassen behoort tot de groep gasbooglasprocessen. Binnen deze groep vallen alle lasprocessen die gebruik maken van elektrische energie als warmtebron en een beschermgas voor de bescherming van lasbad/elektrode/toevoegdraad. Bij het MIG/MAG lassen wordt een boog getrokken tussen een continu afsmeltende elektrode en het werkstuk. De elektrode is een dunne lasdraad (0,8 tot 1,6 mm), die meestal op een haspel is gespoeld (0,5 tot 15 kg). Het MAG lassen kan uitgevoerd worden met massieve en gevulde lasdraden (zie § 1.8.2), terwijl het MIG lassen alleen met massieve lasdraden wordt uitgevoerd. De samenstelling van het lastoevoegmateriaal wordt afgestemd op het te lassen metaal, waarbij de algemene regel is (die overigens lang niet altijd opgaat), dat het lastoevoegmateriaal meestal iets hoger is gelegeerd dan het basismateriaal. Vrijwel altijd is de sterkte van het lastoevoegmateriaal hierdoor iets groter dan de sterkte van het basismateriaal, om ervoor te zorgen dat de las niet de zwakste zone in de constructie is. Na stolling vormen de gesmolten lasnaadkanten samen met het lastoevoegmateriaal, de lasverbinding. De boog is omgeven door een inert of actief beschermgas, waardoor de naamgeving van het proces wordt bepaald (MIG = Metal Inert Gas en MAG = Metal Active Gas). Het MIG/MAG lassen wordt halfgemechaniseerd of kan volledig gemechaniseerd worden toegepast. Het principe van het MIG/MAG lassen is schematisch weergegeven in figuur 2.1.



figuur 2.1 Schematische weergave van het MIG/MAG lassen

Zoals te zien is in figuur 2.1 kent het MIG/MAG lassen een aantal basiscomponenten te weten:

- ▶ een stroombron inclusief koeling;
- ▶ de draadaanvoereenheid inclusief draadhaspel;
- ▶ een slangenpakket met lastoorts;
- ▶ de gasvoorziening (cilinder, reduceerventiel, gasdoorstromingsmeter).

Elk van deze onderdelen bestaat uiteraard weer uit verschillende afzonderlijke onderdelen die essentieel zijn voor een goede werking van het proces (een keten is zo sterk als de zwakste schakel).

Het starten van de boog vindt altijd plaats door middel van een kortsluiting tussen de continu aangevoerde

lasdraad en het werkstuk. Deze kortsluiting is nodig om de ionisatie van het beschermgas in te leiden, zodat de boog kan worden ontstoken.

Bij het MIG/MAG lassen wordt (als eerste) de lasspanning ingesteld. Hierna wordt de draadsnelheid/stroomsterkte zodanig ingesteld dat het gewenste boogtype wordt verkregen. Het MIG/MAG lassen wordt (vrijwel) altijd met gelijkstroom uitgevoerd, waarbij de lasdraad in de meeste gevallen met de positieve pool van de stroombron verbonden is. Voor sommige typen gevulde lasdraden is het noodzakelijk met de lasdraad op de minpool te lassen. De leverancier van de lasdraden vermeldt dit altijd in zijn brochure en op de verpakking van de lasdraad. Sommige MIG/MAG apparaten zijn voorzien van de mogelijkheid om met pulserende lasstroom te werken. Hierdoor is het mogelijk om met een lage gemiddelde stroomsterkte, met een open boog, te lassen. Experimenten zijn uitgevoerd in het verleden met het wisselstroomlassen. Tot nu toe is het lassen met wisselstroom echter nauwelijks tot commerciële ontwikkeling gekomen.

Bij het MIG/MAG lasproces zijn de belangrijkste samenwerkende factoren om tot een goede las te komen (buiten de lasser zelf):

- ▶ de lasboog;
- ▶ het beschermgas;
- ▶ het lastoevoegmateriaal.

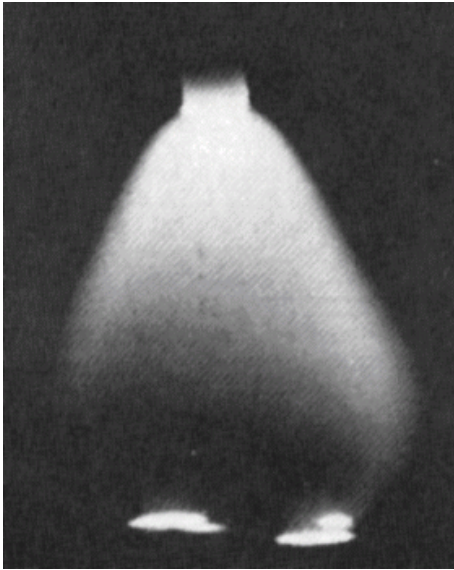
De instelling van de stroombron evenals de keuze van het beschermgas en lastoevoegmateriaal bepalen de wijze van materiaaloverdracht bij het MIG/MAG lassen. In de praktijk wordt dan meestal over het lassen met verschillende boogtypen gesproken. De mogelijkheid om te kunnen lassen met verschillende boogtypen is ook deels de kracht van het MIG/MAG lassen, omdat hiermee het proces optimaal op de gewenste toepassing kan worden afgestemd. Het is daarom van belang de eerder genoemde factoren goed op elkaar af te stemmen, zodat een optimale procesvoering mogelijk wordt. Hierna wordt iets dieper ingegaan op de verschillende factoren die een rol spelen bij het MIG/MAG lassen.

#### 2.1 De boog en zijn karakteristiek

Kenmerkend voor het MIG/MAG lassen is, dat de boogontlading plaatsvindt tussen het toevoegmateriaal, dat meestal in de vorm van een relatief dunne lasdraad (continu) wordt aangevoerd, en het basismateriaal. Hierdoor krijgt de boog zijn karakteristieke klokvorm (zie figuur 2.2).

Een boogontlading (meestal kortweg boog of lichtboog genoemd) zoals die bij het booglassen wordt toegepast, is een vorm van elektriciteitsgeleiding door een gas. Hierbij worden de hiervoor noodzakelijke ionen en elektronen door de stroomdoorgang zelf geproduceerd. Dit kan onder bepaalde omstandigheden een stabiele toestand opleveren, die in principe onbeperkt kan voortduren. Hiervoor moet dan echter wel aan een aantal voorwaarden worden voldaan. Zo kan bijvoorbeeld de lengte van de boog niet willekeurig worden gekozen. Bij een te grote lengte (in de praktijk boven ongeveer 20 mm) zal de boog doven. Een zeer korte boog is evenmin stabiel, doordat de oppervlakken waartussen de boog brandt aan elkaar kunnen smelten, waardoor eveneens de boog zal doven, omdat er weer een kortsluiting ontstaat.

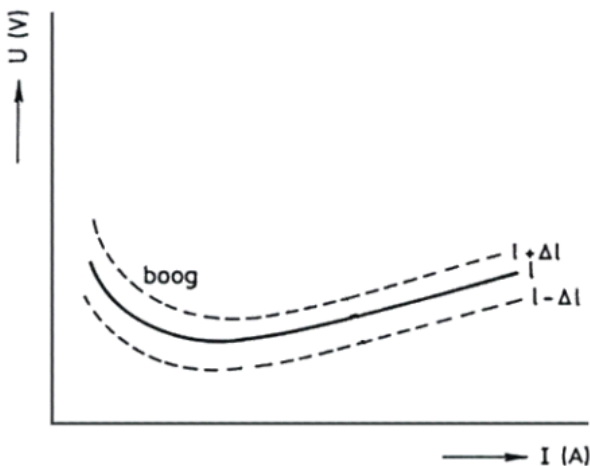




figuur 2.2 Karakteristieke boogvorm bij het MIG/MAG lassen. De boog heeft een klokvorm [67]

Ook de spanning over de boog in combinatie met de stroomsterkte moet binnen bepaalde grenzen liggen. Deze grenzen worden mede bepaald door de gebruikte beschermgassen en soort en afmetingen van de las-toevoegmaterialen.

Het verloop van de spanning en de stroomsterkte van een boog wordt ook wel de boogkarakteristiek genoemd (zie figuur 2.3).



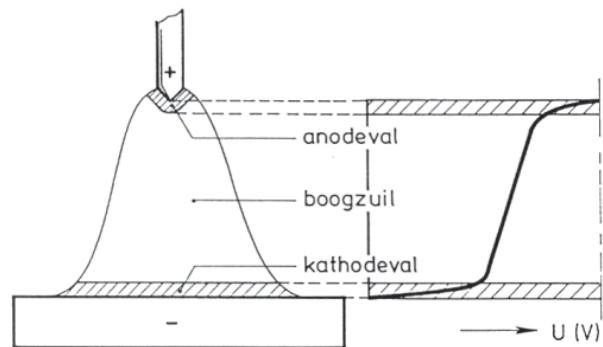
figuur 2.3 Boogkarakteristiek [61]

Duidelijk is in deze figuur te zien dat er een minimum vermogen noodzakelijk is om van een stabiele boog te kunnen spreken (lineaire deel curve). Bij te lage vermogens is de ionisatiegraad onvoldoende om een boog in stand te kunnen houden (links in figuur 2.3). Dit houdt in dat er altijd naar gestreefd wordt binnen het lineaire deel van de boogkarakteristiek te blijven.

Het vermogen van de boog, d.w.z. de hoeveelheid energie die per seconde wordt ontwikkeld, kan direct worden berekend door de stroomsterkte en de spanning over de boog met elkaar te vermenigvuldigen ( $I \times V$ ). Deze energie komt in de vorm van warmte en straling vrij.

### 2.1.1 De boogzuil

De energieontwikkeling in de boog blijkt voornamelijk op te treden aan het oppervlak van de lasdraad en aan dat van het basismateriaal. De spanning over de boog verloopt namelijk niet lineair, maar verandert sprongsgewijs dichtbij elk oppervlak (zie figuur 2.4). Om deze reden wordt de boog schematisch in drie gebieden verdeelt, namelijk de boogzuil, het kathodevalgebied en het anodevalgebied. De boogzuil vormt het grootste deel, waarin slechts een kleine spanningsval optreedt. Binnen de zogenaamde valgebieden treden de sprongsgewijze spanningsveranderingen op; het kathodevalgebied voor de kathode (de negatieve elektrode) en het anodevalgebied voor de anode (positieve elektrode) [61].



figuur 2.4 Verloop van de boogspanning over de boog [61]

### 2.2 De stroombron en zijn karakteristiek

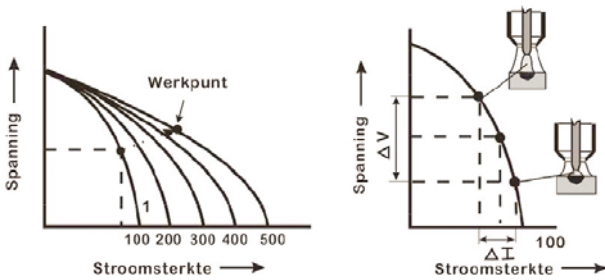
Elke stroombron kent twee soorten stroom-/spanningskarakteristieken te weten een statische en een dynamische. Meestal wordt kortweg gesproken van "de karakteristiek". De aard van deze karakteristieken bepalen in belangrijke mate hoe de stroombron zich gedraagt bij wisselende belastingen met andere woorden tijdens het lassen. Vooral tijdens het handmatig lassen kan de boog immers gezien worden als een continu variërende belasting, veroorzaakt door de steeds wisselende afstand van lastoorts tot werkstuk (booglengtevariëaties).

De karakteristiek van de stroombron zegt dus iets over het gedrag van de stroombron (welke spanning en stroomsterkte wordt verkregen) bij variaties van de booglengte.

Omdat de dynamische karakteristiek veel lastiger is te omschrijven (en te meten), beperken fabrikanten zich over het algemeen tot het verstrekken van informatie over de statische karakteristiek van de stroombron. Dit wil echter niet zeggen dat de dynamische karakteristiek niet belangrijk zou zijn, in tegendeel. Het gedrag tijdens het lassen (zoals de lasser dit ervaart) wordt altijd bepaald door een combinatie van de dynamische en statische karakteristiek van de stroombron. De dynamische karakteristiek van een stroombron is echter zoals het recept van de kok: moeilijk te achterhalen.

#### 2.2.1 Dalende karakteristiek van de stroombron

Bij het booglassen met beklede elektrode (Bmbe) en TIG lassen heeft de stroombron een steile, dalende dan wel een verticale karakteristiek (zie figuur 2.5).



figuur 2.5 Verband tussen stroom en spanning bij een stroombron met een dalende karakteristiek

Stroombronnen met een dalende karakteristiek hebben een verhoudingsgewijs hoge open spanning. Als de boog wordt ontstoken, daalt de spanning totdat de stroomsterkte de (door de lasser) ingestelde waarde heeft bereikt; dit wordt "het werkpunt" genoemd. Dit werkpunt is het snijpunt van de boogkarakteristiek en de karakteristiek van de stroombron. Tijdens het lassen met de hand varieert de booglengte constant, doordat de lasser met zijn lastoorts beweegt.

Tengevolge van deze booglengtevariaties verandert de weerstand van de boog en daarmee de boogspanning. Een langere boog resulteert in een hogere boogweerstand en boogspanning en omgekeerd. Uit figuur 2.5 blijkt, dat een verandering van de boogspanning (= booglengte), slechts weinig invloed op de stroomsterkte heeft.

Dit zorgt dat het lassen met een stroombron met dalende karakteristiek resulteert in een zo constant mogelijke stroomsterkte.

In de Engelstalige literatuur wordt dit ook wel een CC (Constant Current) stroombron genoemd.

Een dalende karakteristiek is voor het handlassen prettig, daar een lasser nu eenmaal niet in staat is over langere periode zijn booglengte constant te houden.

### 2.2.2 De vlakke karakteristiek van de stroombron

De stroombron bij het MIG/MAG lassen kent een afwijkende (ten opzichte van het Bmbe en TIG lassen) stroom-/spanningskarakteristiek, waardoor het mogelijk is met een continu aangevoerde lasdraad te lassen.

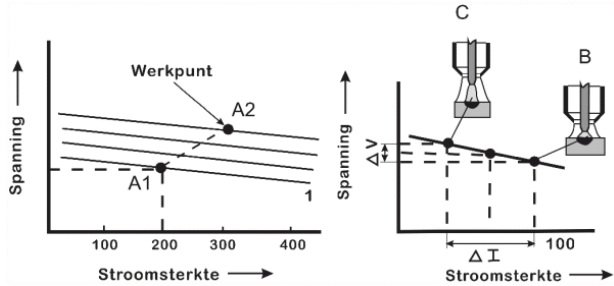
Dit laat zich als volgt verklaren:

Voor een stabiele procesvoering is het bij het MIG/MAG lassen nodig dat de toevoersnelheid van de lasdraad gelijk is aan de afsmeltsnelheid. Alleen dan blijft de afstand van het draadeinde tot het werkstuk constant en daarmee de booglengte. Wanneer een stroombron wordt gebruikt die, evenals bij het booglassen met beklede elektrode, de lasstroom constant houdt (dalende karakteristiek), dan kan het instellen van de draadsnelheid tot grote problemen leiden. Immers, als de draadsnelheid lager is dan de afsmeltsnelheid, dan zal de afstand van het draadeinde tot het werkstuk steeds groter worden, tot de boog dooft. Dit kan niet worden voorkomen door de lastoorts naar het werkstuk toe te bewegen, omdat het draadeinde dan tot binnen in de contactbuis zou afsmelten. Omgekeerd zal bij een te hoge draadsnelheid de lasdraad steeds verder buiten de contactbuis komen en dus de booglengte steeds kleiner worden, totdat er een zodanig instabiele situatie is ontstaan dat er niet

meer kan worden gelast.

Men heeft dit probleem opgelost door bij het MIG/MAG lassen een stroombron te gebruiken met een vlakke of horizontale karakteristiek.

Een horizontale karakteristiek van de stroombron zorgt ervoor dat de ingestelde boogspanning vrijwel constant blijft als de booglengte varieert. Dit is in figuur 2.6 door middel van situatie B en C weergegeven.



figuur 2.6 Verband tussen spanning en stroomsterkte bij een stroombron met een vlakke karakteristiek

De consequentie van een vlakke karakteristiek van de stroombron is dat de stroomsterkte zeer sterk varieert bij wisselende booglengten.

Voor een goed begrip wordt de werking van een vlakke karakteristiek hierna met enkele voorbeelden toegelicht.

De spanningen en stroomsterkten waarbij wordt gelast, de zogenaamde werkpunten, zijn afhankelijk van de gekozen boogspanning en draadsnelheid en weergegeven in figuur 2.6 (A1 = boog met lage spanning en draadsnelheid en A2 = boog met hoge spanning en draadsnelheid).

Er wordt van uitgegaan dat de boog is ontstoken (open boog) en dat er wordt gelast met een vast ingestelde lasspanning en draadsnelheid/stroomsterkte. Als er niets verandert, blijven de booglengte en dus de boogspanning en stroomsterkte constant.

De afsmeltsnelheid is dan dus even groot als de aanvoersnelheid van de lasdraad. Om ongewenste booglengtevariaties te voorkomen, wordt de lastoorts vastgeklemd in een houder die voor een constante afstand van de lastoorts tot het werkstuk zorgt. Er is dan dus gekozen voor één (onveranderlijk) werkpunt (bijvoorbeeld A2).

Veronderstel, dat de draadaanvoersnelheid plotseling wordt verhoogd. Het draaduiteinde zal dichterbij het werkstuk komen. De boog wordt korter, de boogweerstand daalt en daardoor de boogspanning. Bij een stroombron met vlakke karakteristiek zal bij een daling van de boogspanning, de stroom sterk toenemen. Dit heeft tot gevolg dat er meer materiaal wordt afgesmolten. Wanneer de verandering van de draadsnelheid binnen de toelaatbare grenzen is gebleven, stelt er zich een nieuw werkpunt in. De verhoogde draadsnelheid wordt gecompenseerd door een hogere afsmeltsnelheid. Evenzo kan worden nagegaan wat er gebeurt, als vanuit de begintoestand (A2) de draadsnelheid wordt verlaagd. De booglengte en dus de boogweerstand en boogspanning zullen toenemen. Hierdoor stelt zich een nieuw evenwicht (werkpunt) in, met een lagere stroomsterkte en dus lagere neersmeltsnelheid (zie figuur 2.19 in § 2.4.1).

Ditzelfde effect treedt ook op als de lasser met zijn lastoorts beweegt (zie figuur 2.6 situatie B en C), ook dan zal de vlakke karakteristiek van de stroombron ervoor

zorgen dat de booglength zoveel mogelijk wordt gecorrigeerd met als gevolg een nagenoeg constante booglength. Dit mechanisme wordt ook wel de zelfregulerende of zelfregelende werking van het MIG/MAG lasproces genoemd. Ditzelfde mechanisme wordt overigens ook gebruikt bij het onderpoederlassen met dunne lasdraden.

Uit deze voorbeelden kunnen twee belangrijke zaken worden afgeleid:

- 1) de draadsnelheid bepaalt de grootte van de lasstroom;
- 2) er is bij een eenmaal ingestelde boogspanning een gebied van instelbare booglengths en draadsnelheden waarbij een stabiele procesvoering wordt verkregen.

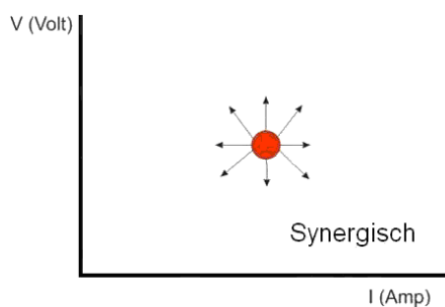
Een karakteristieke waarde van de stroom-/spanningskarakteristiek van een stroombron bij het MIG/MAG lassen is 1 tot 5 V spanningsdaling per 100 A stroomtoename.

Ook hier hebben fabrikanten de vrijheid om hun eigen keuze te maken en op deze manier de eigenschappen van de stroombron te beïnvloeden. In de Engelstalige literatuur wordt een stroombron met een vlakke karakteristiek ook wel CP (Constant Potential) of CV (Constant Voltage) genoemd.

Het belang van de stroombron met vlakke karakteristiek is, dat er op deze manier een gebied van stabiele materiaaloverdracht (ofwel booggedrag) rond het werkpunt is ontstaan. Hierdoor wordt het gemak van het instellen van de boog bij het MIG/MAG lassen sterk vergroot.

### 2.2.3 Moderne (synergische) MIG/MAG stroombronnen

Moderne MIG/MAG stroombronnen werken niet meer met 'karakteristieken', maar kunnen door de geïntegreerde elektronica elk willekeurig werkpunt (I,V) instellen en dit naar keuze verplaatsen over het volle bereik van de stroombron (zie figuur 2.7).



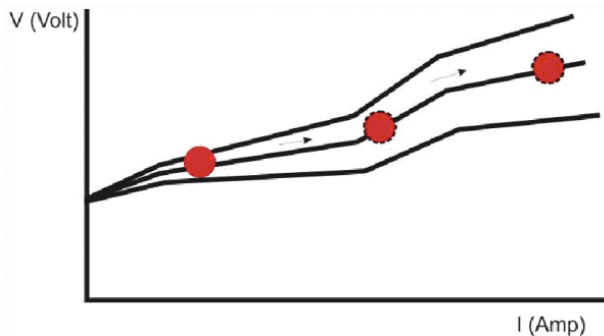
figuur 2.7 Willekeurig in te stellen meetpunt

Het kan uiteraard niet zo zijn dat het werkpunt willekeurig binnen het werkgebied van de apparatuur 'aan de wandel' gaat; dit zou leiden tot instabiliteit van het lasproces.

Hiervoor hebben fabrikanten een oplossing bedacht, die ervoor zorgt dat de werkpunten zich volgens vaste lijnen verplaatsen. Deze vaste lijnen worden ook wel synergische lijnen genoemd (zie figuur 2.8).

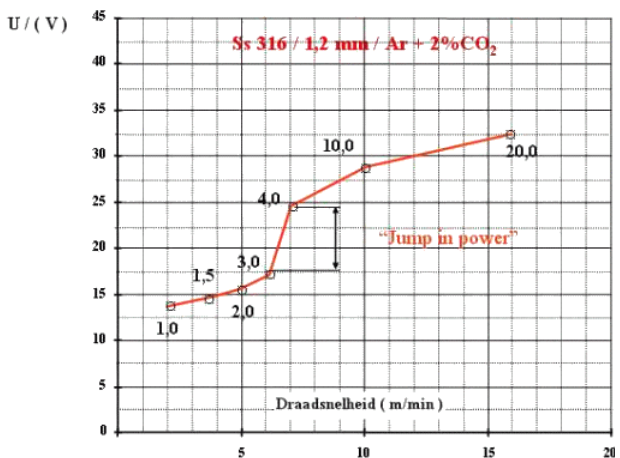
De fabrikant brengt deze synergische lijnen in zijn apparatuur in op basis van zijn ervaringen. Dit verklaart mede waarom lasapparaten verschillend lassen. De lasser kan slechts in geringe mate afwijken van de door de

fabrikant ingegeven synergische lijnen (zie figuur 2.8, bovenste en onderste lijnen).



figuur 2.8 Voorgeprogrammeerde synergische lijnen

Voor elke materiaal soort en -dikte worden op deze manier synergische lijnen voorgeprogrammeerd door de fabrikant van de stroombron. Voor het lassen van roestvast staal AISI 316 is voor een aantal materiaaldikten een door de fabrikant geprogrammeerde synergische lijn weergegeven in figuur 2.9 [71]. In deze figuur is ook de zogenaamde 'jump in power = extra spanningsverhoging' weergegeven die noodzakelijk is om ervoor te zorgen dat er geen instellingen worden gegenereerd die ertoe leiden dat er met een globulaire boog wordt gewerkt.



figuur 2.9 Synergische lijn voor AISI 316 toevoegmateriaal met een diameter van 1,2 mm. De getallen in de figuur geven de verschillende plaatdikten aan [71]

### 2.3 Boogtypen bij het MIG/MAG lassen

Het MIG/MAG lassen ontleent een belangrijk deel van zijn flexibiliteit aan het vermogen om met verschillende boogtypen te kunnen lassen. De verschillende boogtypen staan synoniem voor verschillende vormen van materiaaloverdracht. De volgende hoofdgroepen met betrekking tot de boogtypen worden onderscheiden:

- ▶ kortsluitboog;
- ▶ open boog.

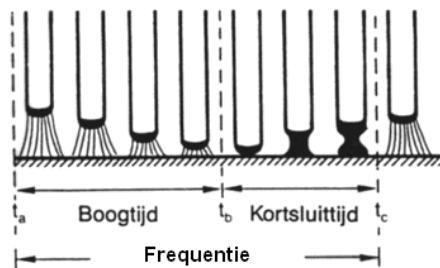
De open boog kan nog verder worden onderverdeeld in:

- ▶ globulaire boog
- ▶ pulsboog;
- ▶ sproeiboog;
- ▶ gemodificeerde sproeiboog/roterende boog.

Meestal worden de verschillende boogtypen bij het MIG/MAG lassen grafisch weergegeven in relatie tot de stroomsterkte en boogspanning. Figuur 2.10 geeft hiervan een voorbeeld.

### 2.3.1 Kortsluitbooglassen

Het kortsluitbooglassen wordt uitgevoerd met lage stroomsterkte en spanning (zie figuur 2.10). De hoeveelheid boogenergie is hierbij onvoldoende om continu een open boog in stand te kunnen houden. De lasdraad maakt, zoals de naam al impliceert, regelmatig kortsluitingen met het werkstuk. De hoge kortsluitstroom zorgt ervoor dat de draad verder smelt door weerstandsverhitting en de hiermee gepaard gaande grote elektromagnetische krachten zorgt ervoor dat er materiaal van de lasdraad wordt 'afgesplitst'. Na een kortsluiting ontstaat kortstondig een open boog. Door de constante toevoer van de lasdraad en het geringe vermogen van de boog dooft de boog hierna weer en ontstaat er een nieuwe kortsluiting, enz. Het kortsluitbooglassen is dus een cyclisch proces met afwisselend kortsluitingen en een open boog, zoals te zien is in figuur 2.11.



figuur 2.11 Schematische voorstelling van de cyclus bij het kortsluitbooglassen

De warmte van de kortsluitstroom wordt grotendeels in de afsmeltende lasdraad ontwikkeld. Voor het smelten van de laskanten en het vloeibaar houden van het smeltbad is echter ook boogwarmte nodig. Dit vindt voornamelijk plaats tijdens de relatief korte open boogperiodes (de open boogtijd is wel langer dan kortsluittijd).

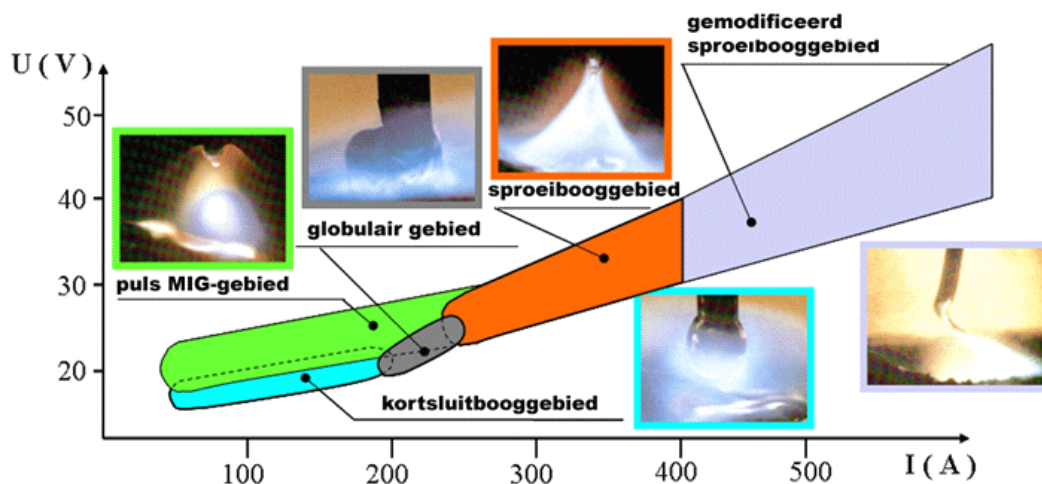
Bij het kortsluitbooglassen moet de lasser daarom alert zijn op het ontstaan van bindingsfouten; dit is vooral het geval bij het verticaal neergaand (PG) lassen. Het is echter een misvatting te veronderstellen dat er bij het MAG kortsluitbooglassen altijd bindingsfouten aanwezig zijn. Ook hier is een goed opgeleide en ervaren lasser de beste garantie voor een kwalitatief goede las.

Als de draadsnelheid wordt verhoogd, neemt bij het kortsluitbooglassen het aantal kortsluitingen per seconde (kortsluitfrequentie) toe. Bij een normale procesvoering ligt het aantal kortsluitingen tussen de 30 en 200 per seconde. Deze hoge frequentie is te snel voor het oog om waar te nemen. De lasser ervaart de boog dus als een continu brandende boog, hoewel hij uiteraard wel de kortsluitingen hoort. Deze kortsluitingen veroorzaken een kenmerkend geluid van het herontsteken van de boog (knetteren), waaraan een ervaren lasser kan horen of de procesparameters goed staan ingesteld. Het smeltbad is vanwege het lage vermogen klein, waardoor er in alle posities gelast kan worden. De kortsluitfrequentie bepaalt ook de druppelgrootte bij het MAG kortsluitbooglassen; naarmate de kortsluitfrequentie hoger wordt, worden de overgaande metaaldruppels kleiner. Het conventionele kortsluitbooglassen kenmerkt zich altijd door spatten, doordat de afsplitsing van de metaaldruppels, tengevolge van de hoge kortsluitstroom, explosief verloopt.

Nieuwe beschermgassen en lasraden in combinatie met verbeterde stroombronnen zorgen er tegenwoordig voor dat het spatverlies aanzienlijk kan worden beperkt. Recentelijk zijn er speciale varianten van het kortsluitbooglassen ontwikkeld die het spatverlies vrijwel tot nul kunnen reduceren (zie ook § 3.3).

Het kortsluitbooglassen kan alleen met het MAG lasproces worden uitgevoerd. Het traditionele kortsluitbooglassen is wel mogelijk, maar geeft een slechte kwaliteit van de las, doordat enerzijds de hoeveelheid ingebrachte warmte te laag is en anderzijds de oxidehuid niet verwijderd wordt.

Ook hier geldt echter dat nieuwe ontwikkelingen op het gebied van het MIG/MAG lassen de mogelijkheid bieden om bijvoorbeeld aluminium (MIG) met een kortsluitboog te lassen (zie § 3.3.2).



figuur 2.10 Schematisch ligging van de booggebieden bij het MIG/MAG lassen als functie van de stroomsterkte en de boogspanning[55]

Van grote invloed bij het traditionele kortsluitbooglassen zijn de eigenschappen van de stroombron, de instelling van de lasapparatuur, het type beschermgas en het type lastoevoegmateriaal en vooral de instelling van de smoorspoel.

### Smoorspoel

Bij het kortsluitbooglassen vindt de druppelafplitsing plaats door het insnoeren van het (weke) draadeinde ("pinch-effect"). Het insnoeren van de lasdraad wordt veroorzaakt door de optredende elektromagnetische krachten (Lorentzkrachten). Op het moment van de kortsluiting neemt de stroom in korte tijd toe tot de kortsluitwaarde van de stroombron. Als de stroomtoename te snel verloopt, kan de insnoering zo snel plaatsvinden dat het ingesnoerde gedeelte van de lasdraad explosief verdampt, wat tot overmatig spatverlies leidt. Een te sterke toename van de stroomsterkte wordt beperkt door de zelfinductie van de stroombron. Het gedrag van de stroombron tengevolge van de zelfinductie is uniek voor elke stroombron. Het is echter ook mogelijk de zelfinductie in het lascircuit nog te vergroten door het opnemen van een extra spoel in het secundaire circuit, de zogenaamde smoorspoel.

Als een spoel (zelfinductie) wordt opgenomen in een elektrisch circuit, worden snelle spanning- en stroomveranderingen tegengewerkt. Hiermee is gelijk gezegd dat een smoorspoel alleen maar werkt bij het kortsluitbooglassen en dus niet bij het open boog lassen.

Figuur 2.12 geeft een voorbeeld wat er gebeurt als een blokvormige puls aan een spoel wordt aangeboden. In deze figuur is te zien dat de spanning/stroomveranderingen worden tegengewerkt. De mate waarin dit gebeurt, is afhankelijk van de grootte van de zelfinductie (=hoeveelheid ingebrachte smoorspoelwerking). Voor de praktijk van het kortsluitbooglassen houdt dit in, dat door meer of minder smoorspoelwerking in te brengen de spanning en stroomsterkte tijdens het kortsluitbooglassen minder snel toe- of afnemen bij veranderingen. Hiermee is een instrument beschikbaar, waarmee de lasser naast de hoeveelheid in te brengen warmte ook het spatgedrag kan beïnvloeden.

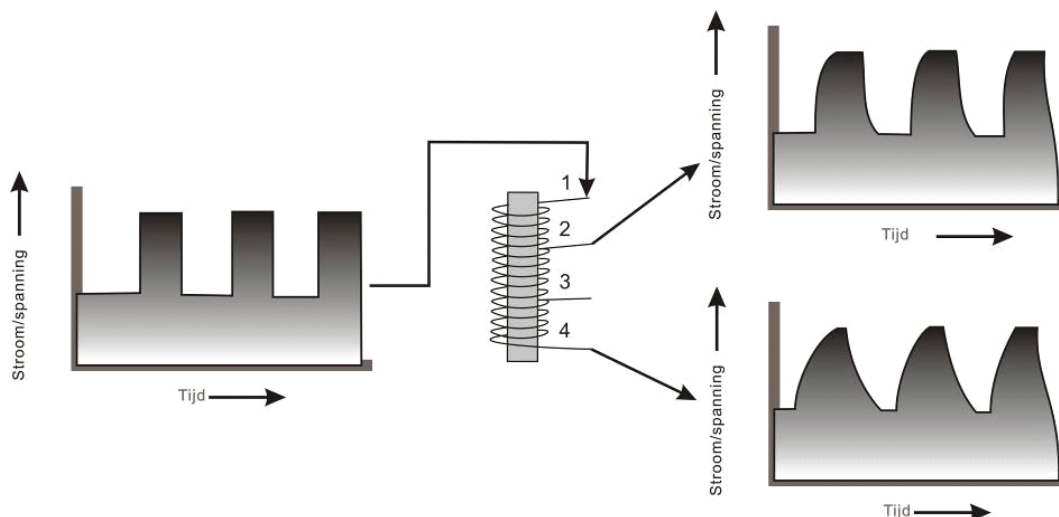
Sommige stroombronnen hebben de mogelijkheid om de hellingshoek van de vlakke karakteristiek in een

aantal stappen in te stellen (de zogenaamde "slope"), bijvoorbeeld: 1V/100A, 2V/100A, 3V/100A, 4V/100A en 5V/100A. Hiermee wordt bij booglangteveranderingen eveneens de mate van toe- en afname van de stroomsterkte beïnvloed (via de karakteristiek van de stroombron). Deze mogelijkheid wordt snel verward met de smoorspoelregeling. Dit is onjuist, omdat de instelling van de hellingshoek van de karakteristiek van de stroombron niets te maken heeft met zelfinductie en dus bijvoorbeeld ook werkt bij booglangtevariaties tijdens het open boog lassen.

Moderne stroombronnen zijn in staat, door de uitgebreide elektronica die hierin aanwezig is, om de zelfinductie traploos te regelen. Hierdoor is de regeling volledig anders geworden, maar het effect bij het lassen (en dit is wat de lasser ervaart) is gelijk gebleven.

Veel aandacht is de laatste jaren uitgegaan naar nieuwe ontwikkelingen op het gebied van het kortsluitbooglassen. Enerzijds om nog dunner materiaal MIG/MAG te kunnen lassen en anderzijds om ook bij het kortsluitbooglassen het spatten te elimineren. Vrijwel alle gerenommeerde leveranciers van lasapparatuur leveren tegenwoordig apparatuur voor het MIG/MAG kortsluitbooglassen met een lagere warmte-inbreng dan bij het traditionele kortsluitbooglassen. Veelal wordt dit soort apparatuur verkocht onder gepatenteerde handelsnamen als STT, CMT, ColdArc, FastROOT™, enz. In vrijwel alle gevallen gaat het om een aangepaste processturing, die mogelijk wordt gemaakt door de huidige snelle elektronica. Door deze snelle elektronica kan het proces binnen milliseconden geregeld en gestuurd worden en is een eerste stap op weg naar een volledige procesbeheersing. Soms worden niet alleen de stroomsterkte en spanning geregeld, maar wordt ook de draadsnelheid in de regeling opgenomen. Dit leidt tot een nog verdere procesbeheersing. Een afgeleide van deze ontwikkelingen betreft de mogelijkheid tot het zogenaamde "kortsluit"boogsolderen met de CuSi en de CuAl lasdraden (zie § 3.3.2).

Het MAG kortsluitbooglassen en zijn varianten wordt vooral ingezet voor toepassingen waar weinig warmte-inbreng gewenst is, zoals het lassen in positie, het maken van doorlassingen en het lassen van geringe materiaaldikten.



figuur 2.12 Invloed van de smoorspoel op het verloop van de spanning en stroom bij plotselinge veranderingen

### 2.3.2 Open booglassen

Het MIG/MAG lassen met een open boog is alleen mogelijk als er voldoende (boog)energie beschikbaar is. Dit wil zeggen dat de gemiddelde stroomsterkte en spanning zo hoog moeten zijn, dat een grenswaarde (ook wel overgangs- of transitiepunt genoemd) wordt overschreden. Deze grenswaarde is afhankelijk van vele factoren, zoals de stroomsterkte en spanning, het type beschermgas, de soort en afmetingen van de lasdraad en de uitsteeklengte.

Toevoegingen van zuurstof en/of CO<sub>2</sub> aan het beschermgas geven een verlaging van de oppervlaktespanning en zorgen er op deze manier voor dat de vrije druppelafsplitsing (overgangspunt) bij een lagere stroomsterkte en spanning plaatsvindt.

Soms is MAG lassen met een open boog niet mogelijk; bijvoorbeeld onder 100% CO<sub>2</sub> beschermgas. In volgorde zullen de volgende open boogtypen worden besproken:

- ▶ globulaire boog;
- ▶ sproeihoog;
- ▶ pulserende boog;
- ▶ roterende boog.

#### 2.3.2.1 Globulaire boog

Een globulaire boog ontstaat bij een combinatie van een relatief lage stroomsterkte en hoge lasspanning (zie figuur 2.10). De boogenergie is weliswaar voldoende om een open boog in stand te houden, maar de relatief lage stroomsterkte is niet in staat om fijne druppels van de lasdraad af te splitsen (te kleine elektromagnetische krachten). De druppelafsplitsing bij een globulaire boog vindt grotendeels plaats onder invloed van de zwaartekracht. In de praktijk komt dit erop neer dat er ongecontroleerde grove druppels van de lasdraad worden afgesplitst. Naast veel spatten is dit type boog zo onrustig, dat het gebied van de globulaire boog bij het conventionele MIG/MAG lassen beter vermeden kan worden.

Sommige moderne stroombronnen zijn wel in staat met relatief grove druppels MIG/MAG te lassen. De sturing van dit soort stroombronnen zorgt er hierbij voor dat er een gecontroleerde druppelovergang verkregen wordt. Dit type boog wordt beperkt toegepast en voornamelijk ingezet voor het lassen van dunne plaat en het overbruggen van grotere vooropeningen.

#### 2.3.2.2 Sproeihoog

Als vanuit de instelling voor het kortsluitbooglassen de stroomsterkte en lasspanning gelijktijdig worden opgevoerd, gaat, bij voldoende boogenergie, de kortsluitboog over in een sproeihoog. Een sproeihoog heeft een kenmerkende vorm zoals te zien is in figuur 2.13.



figuur 2.13 Karakteristieke vorm van een sproeihoog

De afsmeltende lasdraad gaat bij een sproeihoog over naar het smeltbad in een nevel van fijne metaaldruppels die niet meer afzonderlijk zichtbaar zijn.

Door de hoge warmte-inbreng en de grote snelheid van de metaaldruppels is bij het sproeihooglassen het smeltbad dunvloeibaar en de inbranding diep. Het dunvloeibare, grote smeltbad maakt alleen het lassen onder de hand (PA) en staande hoeklassen (PB) mogelijk. Vooropeningen kunnen niet worden overbrugd met dit boogtype, daarom moeten gesloten lasnaden worden toegepast.

Als dit niet mogelijk is, dan kan eventueel de grondlaag met behulp van het kortsluitbooglassen worden gelegd, of kan gebruik worden gemaakt van smeltbadondersteuning (zie figuur 2.14).



figuur 2.14 Enkele lasnaadvormen voor het MIG/MAG sproeihooglassen [62]

Omdat bij het MIG/MAG lassen de stroomsterkte en draadsnelheid gekoppeld zijn, worden bij hogere stroomsterkten ook hoge draadsnelheden gebruikt en dus hoge neersmeltsnelheden verkregen. Dit maakt het open booglassen zeer geschikt voor het lassen van grotere materiaaldikte. Het grote boogvermogen zorgt er ook voor dat er hoge lassnelheden bereikt kunnen worden.

Het is mogelijk MIG/MAG te lassen met een sproeihoog onder vrijwel alle soorten beschermgas. De enige uitzondering is het MAG lassen onder CO<sub>2</sub> beschermgas of hoog CO<sub>2</sub> houdende menggasen (> 30% CO<sub>2</sub>). Met dit type gasen is het met de traditionele MAG stroombronnen niet mogelijk met een open boog te lassen.

Als bij het open booglassen de draadsnelheid wordt opgevoerd, neemt de stroomsterkte toe en zal de booglengte afnemen. Bij verder opvoeren van de stroomsterkte treden er heftige kortsluitingen op, doordat de lasdraad de bodem van het smeltbad raakt; de boog zal nu onder het oppervlak van het materiaal branden. De heftige kortsluitingen zullen voor extra spatten zorgen en dat is niet gewenst.

Sommige fabrikanten maken gebruik van snelle digitale stroombronnen die de kortsluitingen registreren en onmiddellijk ingrijpen om de spatvorming te onderdrukken en dus te voorkomen. Hierdoor is het mogelijk met hoge draadsnelheden met een heel korte lasboog MAG te lassen. Het voordeel van deze variant is een geringere warmte-inbreng en iets diepere inbranding.

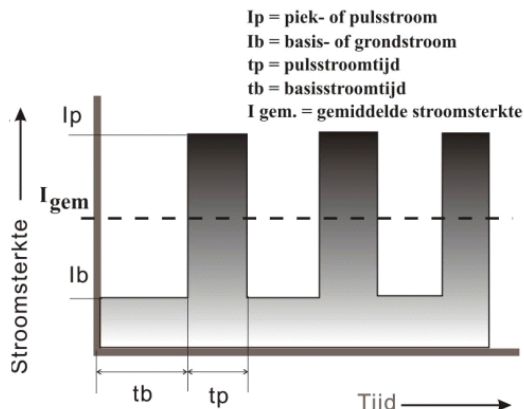
#### 2.3.2.3 Pulsboog - (puls-MIG/MAG) lassen

Het pulsbooglassen is ontwikkeld uit de behoefte aluminium met een relatief lage gemiddelde stroomsterkte te kunnen lassen. Immers aluminium kan niet met een kortsluitboog worden gelast, omdat de oxidehuid dan niet verwijderd wordt. Hierdoor is het lassen van dun aluminium evenals het lassen in verschillende posities niet mogelijk. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van het pulsbooglassen ook wel puls-MIG of pulserend MIG lassen genoemd. Tegenwoordig wordt het pulsbooglassen ook veelvuldig ingezet voor het

lassen van roestvast staal vanwege de betere procesbeheersing.

Het pulsbooglassen neemt een aparte plaats in bij het MIG/MAG lassen. Bij het pulsbooglassen wordt gebruik gemaakt van twee niveaus van de stroomsterkte: de basisstroom of grondstroom, en de pulsstroom of piekstroom. De basisstroom zorgt voor het in stand houden van de boog tijdens het lage stroomniveau. De hoeveelheid energie is echter onvoldoende om druppels van de lasdraad af te smelten. De basisstroomtijd bepaalt het stolgedrag van het smeltbad.

Het hoge stroomniveau (pulsstroom) zorgt voornamelijk voor het afsplitsen van de metaaldruppels en voor de inbranding. De pulsstroom moet uiteraard boven het transitiepunt liggen. In figuur 2.15 is het verloop van de pulsstroom weergegeven als functie van de tijd. Uiteraard kent de spanning een zelfde verloop. Zoals blijkt moeten er door de lasser 4 parameters worden ingesteld (pulsstroom en pulsstroomtijd, en de basisstroom en basisstroomtijd). De puls frequentie volgt uiteraard uit de instellingen van de basis- en de pulsstroomtijd.



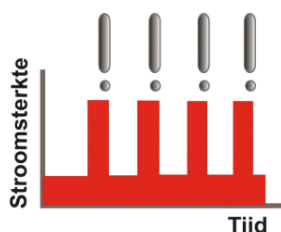
figuur 2.15 Schematische weergave van een blokvormige stroompuls, inclusief hun benamingen

De gemiddelde stroomsterkte laat zich eenvoudig berekenen:

$$I_{gem} = \frac{(I_p \cdot t_p) + (I_b \cdot t_b)}{(t_p + t_b)} \quad (A)$$

In het begin van het pulsbooglassen werd er met vaste puls frequenties gewerkt (16,5; 33; 50 en 100 Hz) die waren afgeleid van de netfrequentie (50 Hz).

Dit type apparatuur voldeed goed aan de kwaliteitseisen die in die periode aan het laswerk werden gesteld. Later onderzoek, ingegeven doordat de markt een hogere kwaliteit van de lassen wenste, toonde aan dat het voor een stabiele procesvoering noodzakelijk is, dat er één druppel per puls afgesmolten wordt (zie figuur 2.16).



figuur 2.16 Schematische weergave van het pulsbooglassen: één druppel per puls

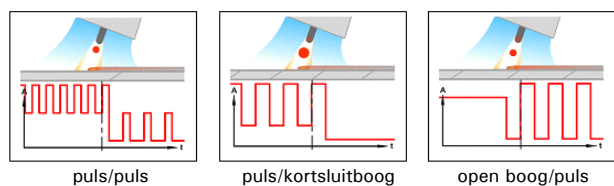
Het vereist veel vakkennis en ervaring van de lasser om de lasapparatuur volgens het principe van één druppel per puls in te stellen. Er zijn immers nogal wat variabelen die hierbij een rol spelen, zoals het type en de afmetingen van de lasdraad, het soort beschermgas en de uitsteeklengte.

Dit maakte dat het voor een lasser tijdrovend en lastig was om deze zogenaamde "vrij-programmeerbare" puls-MIG apparatuur op de juiste manier te stellen; met name bij steeds wisselende omstandigheden (materialen, productafmetingen en lasposities).

Fabrikanten van lasapparatuur gingen op zoek naar oplossingen en kwamen op de markt met zogenaamde synergische puls-MIG apparatuur. Bij deze apparatuur is vrijwel altijd de draadsnelheid aan de puls frequentie gekoppeld met als randvoorwaarde dat er één druppel per puls wordt afgesplitst. De lasser maakt bij dit soort apparatuur een voorselectie met betrekking tot het type lasdraad, de draaddiameter en het soort beschermgas. De apparatuur zorgt er hierna voor dat er altijd één druppel per puls wordt afgesplitst, ongeacht de draadsnelheid die wordt ingesteld. Vrijwel alle pulsboogapparaten zijn tegenwoordig synergische apparaten, sommige apparaten kunnen zowel 'vrij programmeerbaar' als synergisch worden gebruikt.

Bij het pulsbooglassen treden geen kortsluitingen op waardoor er een stabiele lasboog wordt verkregen en het proces kan dus worden beschouwd als een gecontroleerde manier van lassen. Bij het lassen met een pulsboog wordt gewerkt met een open boog in combinatie met een relatief laag boogvermogen en dus lage warmte-inbreng. Omdat de boog echter continu brandt, is de warmte-inbreng groter dan bij het kortsluitbooglassen. Ten opzichte van het open booglassen met continue stroom geldt dat, in de periode tussen twee pulsen, de boogenergie laag is en dus dat de gemiddelde warmte-inbreng minder is.

Het lassen met pulserende stroom ontwikkelt zich steeds verder. Door gebruik te maken van een zogenaamde dubbelpuls of een pulsboog te combineren met een kortsluitboog of met een open boog (zie figuur 2.17), kan het applicatiegebied van het MIG/MAG lassen verder worden vergroot.



figuur 2.17 Verschillende combinaties van boogtypen [72]

Verder zijn er varianten van het pulsbooglassen ontwikkeld, waarbij per stroompuls niet één druppel maar meerdere (kleine) druppels worden afgesplitst met behoud van de stabiliteit van het proces. Deze techniek is in het bijzonder geschikt voor het lassen van RVS en aluminiumlegeringen omdat de warmte-inbreng nog verder wordt beperkt.

#### Voor- en nadelen van het pulsbooglassen

Zoals gezegd is bij het pulsbooglassen de warmte-inbreng geringer dan bij het open boog lassen met continue stroomsterkte. Hierdoor is het smeltbad relatief klein. Pulsbooglassen is daardoor evenals het kort-

sluitbooglassen geschikt voor het lassen van dunne metalen en het lassen in alle posities. Omdat het pulsbooglassen met een open lasboog werkt, is het proces minder geschikt voor het maken van doorlassingen.

Bij het MAG kortsluitbooglassen worden er vrijwel altijd spatten gevormd. De pulsboog geeft (als de apparatuur goed is ingesteld) geen spatten. Als de pulsboog niet goed is ingesteld, kunnen er wel (kleine) spatten op de las en het basismateriaal worden waargenomen. Een voordeel van het pulsbooglassen is, dat er kan worden gewerkt met een relatief dikke toevoegdraad, wat goedkoper is, minder kans op draadstoringen geeft en bij het lassen van aluminium minder poreusheid oplevert.

Bij aluminium heeft het pulsbooglassen zich een vaste plaats verworven voor het lassen van dunne materialen met een lage warmte-inbreng. Zoals eerder aangegeven is de warmte-inbreng bij het kortsluitbooglassen, door de grote warmtegeleiding van aluminium, onvoldoende, waardoor de kans op lasfouten zeer groot is. Hiernaast wordt de oxidehuid bij het kortsluitbooglassen niet verwijderd, wat een onacceptabele laskwaliteit geeft. Het pulsbooglassen is dan een uitstekend alternatief. Een ander voordeel van het pulsbooglassen is dat er, ten opzichte van het open boog lassen, bij het lassen van magnesium of zinkhoudende aluminiumlegeringen minder afbrand optreedt.

Bij het kortsluitbooglassen van roestvaststaal zal bij het lassen altijd een sterke verkleuring optreden gecombineerd met de aanwezigheid van spatten. Pulsbooglassen kan in dit geval een gunstiger resultaat geven. Ook voor het lassen van ongelegeerd staalplaat wordt in toenemende mate van pulsbooglassen gebruik gemaakt, omdat het vrijwel spatloos is, waardoor nabewerken kan worden voorkomen. Nabewerken door slijpen is bij ongelegeerd staal soms niet wenselijk, vanwege mogelijke oppervlaktebehandelingen, zoals verzinken of moffelen.

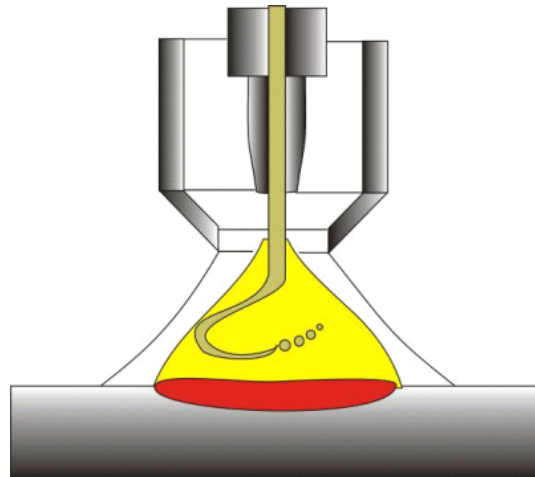
Als beperkingen van het pulsbooglassen kunnen worden genoemd, dat er meerdere parameters moeten worden ingesteld, wat de afstelling en bediening van de apparatuur lastiger maakt. Zoals eerder aangegeven, wordt hier tegenwoordig aan tegemoet gekomen door bijvoorbeeld het gebruik van synergische apparatuur. Synergische pulsboogapparatuur heeft wel een hogere aanschafprijs dan de traditionele MIG/MAG apparatuur zonder deze voorziening. De ervaring leert echter dat in 9 van de 10 gevallen deze extra investering snel wordt terugverdiend door bijvoorbeeld lagere nabewerkingskosten.

Een andere beperking van het pulsbooglassen is dat bij hoge lassnelheden, zoals die bijvoorbeeld worden toegepast bij het gemechaniseerd lassen, de te lassen materialen minder goed bevochtigen. Hierdoor worden minder mooi aangevloeide lassen verkregen, of zijn de maximale lassnelheden hierdoor gelimiteerd. Bij het handmatig lassen liggen de lassnelheden zo laag, dat dit geen probleem vormt.

Samenvattend kan worden gesteld, dat het MIG/MAG pulsbooglassen zich in de loop der jaren een vaste plaats heeft verworven als alternatief voor aan de ene kant het kortsluitbooglassen en aan de ander kant het sproei-booglassen.

#### 2.3.2.4 *Roterende boog of gemodificeerde boog*

Als vanuit het traditionale open booglassen de spanning en stroomsterkte verder worden opgevoerd ontstaat bij hoge spanningen en stroomsterkten, vaak in combinatie met een grotere uitsteeklengte, een zogenaamde roterende boog of gemodificeerde open boog. De combinatie van de genoemde factoren zorgen ervoor dat het draaduiteinde verweekt, waardoor dit ten gevolge van de erop uitgeoefende elektromagnetische krachten gaat roteren (zie figuur 2.18).



figuur 2.18 Roterende boog bij het MAG lassen

De verweking van het draadeinde wordt veroorzaakt door de weerstandsverhitting van het uit de contactbuis stekende draadeinde. Naast de grotere uitsteeklengte spelen ook het type lastoevoegmateriaal, de afmetingen hiervan en het type beschermgas een belangrijke rol of er een roterende boog wordt verkregen. Zo zal het bijvoorbeeld niet mogelijk zijn aluminium met een roterende boog te lassen. Dit komt, omdat er bij aluminium nauwelijks sprake is van weerstandsverhitting van de lasdraad en hiernaast heeft aluminium een zeer groot warmtegeleidingsvermogen. Het MAG lassen met een roterende boog kan, afhankelijk van de gekozen instellingen, zowel voor het oplassen van metalen worden gebruikt, als voor het verbindingslassen.

Doordat er wordt gewerkt met hoge stroomsterkten en dus draadsnelheden, wordt er veel materiaal per tijdseenheid neergesmolten of kunnen er hoge lassnelheden worden bereikt. Hierdoor is de roterende boog een efficiënt boogtype om mee te lassen. De keerzijde hiervan is, dat het lasbad groot is en dat deze variant hierdoor alleen geschikt is voor het lassen onder de hand (PA positie).

Het roterende booglassen stelt speciale eisen aan de lasapparatuur (stroombron, draadaanvoeren, las-toorts) en wordt tegenwoordig door een aantal leveranciers op de markt gebracht als alternatief voor het traditionele MAG lassen. De apparatuur heeft om deze reden een hogere aanschafprijs dan de traditionele MAG apparatuur.

In hoofdstuk 3 wordt verder ingegaan op de praktische uitvoeringen en varianten van het lassen met een roterende lasboog.

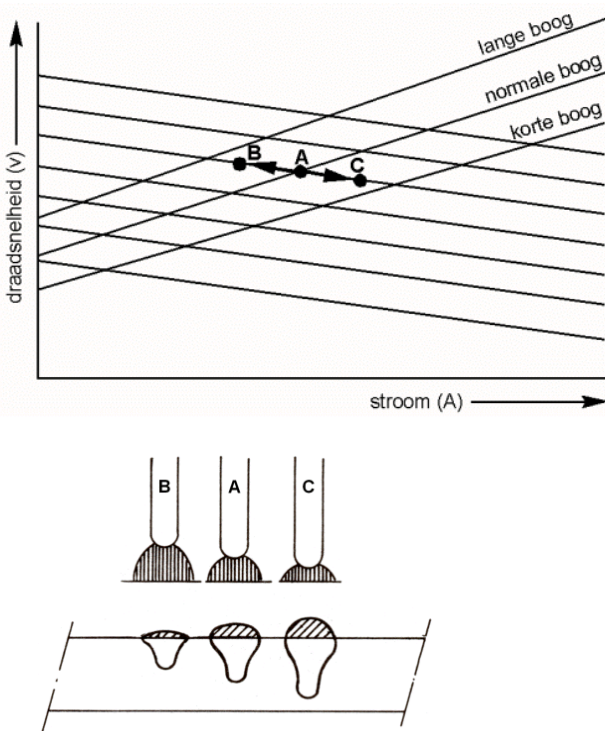


## 2.4 Instellen van de lasparameters bij het MIG/MAG lassen

Bij het MIG/MAG lassen zijn de belangrijkste parameters naast de keuze van het lastoevoegmateriaal en beschermgas: de draadsnelheid en de lasspanning.

### 2.4.1 Invloed van de draadsnelheid

De draadsnelheid bepaalt de stroomsterkte waarmee wordt gelast. Het verhogen van de draadsnelheid/stroomsterkte zorgt ervoor, dat er meer warmte wordt ontwikkeld in de boog met als gevolg een diepere inbranding. Een hogere stroomsterkte/draadsnelheid resulteert ook in een hogere neersmeltsnelheid. Beide aspecten hebben invloed op de uiteindelijke geometrie van de las. In figuur 2.19 is de invloed weergegeven van variaties in de draadsnelheid op het werkpunt en de vorm van de lasdoorsnede.

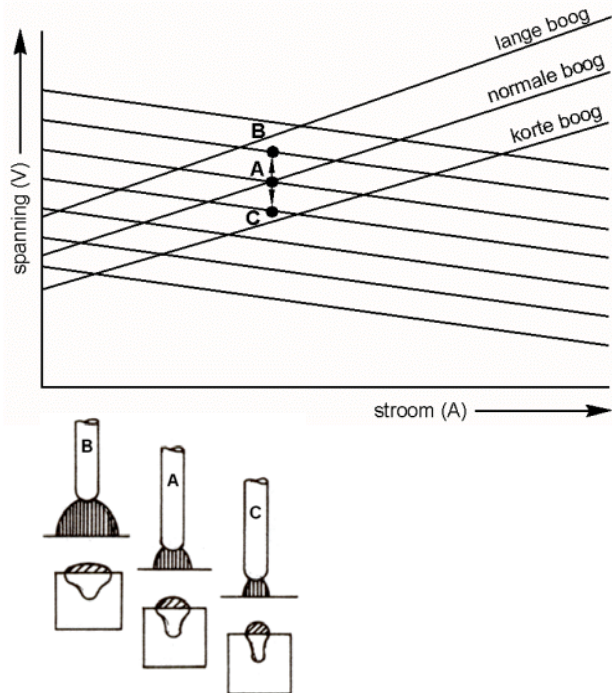


figuur 2.19 Invloed van de draadsnelheid op de ligging van het werkpunt en de geometrie van de las [62]

### 2.4.2 Invloed van de lasspanning

Wanneer de draadsnelheid constant blijft, wordt de lengte van de boog bepaald door het spanningsverschil tussen de elektrode en het werkstuk. Zo zal bijvoorbeeld het verhogen van de spanning een vergroting van de booglengte betekenen. Een langere boog is minder stabiel, terwijl de boogwarmte over een groter oppervlak wordt verspreid, hierdoor zal de breedte van de lasrups toenemen en krijgt de las een plattere vorm. In figuur 2.20 is de verschuiving van het werkpunt met de bijbehorende lasdoorsneden schematisch weergegeven.

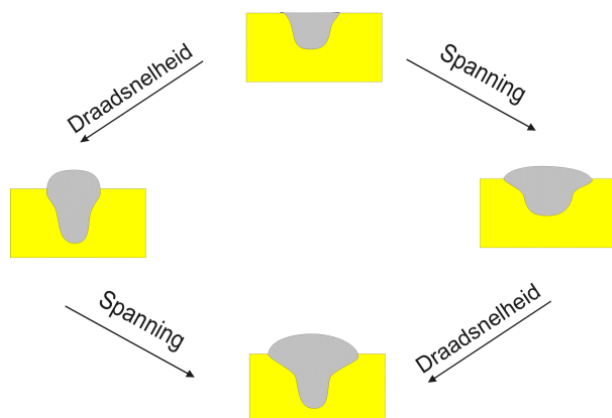
Wanneer de lasvorm correct is, maar te veel of te weinig inbranding heeft, moeten zowel de draadsnelheid als de spanning worden aangepast.



figuur 2.20 Invloed van ligging van het werkpunt en de geometrie van de inbranding bij het veranderen van de spanning [62]

De onderlinge relaties van veranderingen in de spanning en draadsnelheid op de geometrie van de dwarsdoorsnede van de las worden getoond in figuur 2.21.

De afstelling van het lasproces berust op het zodanig instellen van de draadsnelheid en lasspanning dat het gewenste (las)resultaat wordt verkregen.



figuur 2.21 Onderlinge relaties van veranderingen in de spanning en draadsnelheid op de geometrie van de dwarsdoorsneden van de las bij het MIG/MAG lassen [62]

## 2.5 Apparatuur voor het MIG/MAG lassen

Zoals eerder is aangegeven bestaat MIG/MAG apparatuur grofweg uit een aantal basiscomponenten te weten:

- ▶ een stroombron inclusief koeling;
- ▶ een draadaanvoerenheid inclusief draadhaspel;
- ▶ een slangenpakket met lastoorts;
- ▶ een gasvoorziening (cilinder, reduceerventiel, gasdoorstroommeter).

Hoewel er zeer veel verschillende uitvoeringen zijn van MIG/MAG apparaten worden vaak er vaak de volgende functies/bedieningsorganen op aangetroffen:

- ▶ aan/uit schakelaar;
- ▶ instellen van de open spanning (continu en/of in stappen);
- ▶ regelen van de draadsnelheid;
- ▶ schakelaar voor stroomloze draadaanvoer;
- ▶ instellen van de gasvoorstroomtijd/gasnastroomtijd;
- ▶ instellen van de terugbrandtijd van de lasdraad (afbrandvertraging);
- ▶ starten met lage stroom en lage draadsnelheid ("soft start");
- ▶ keuze schakelaars voor hechten/lassen/puntlassen/lassen met intervallen;
- ▶ mogelijkheden voor het instellen van de puntlastijd en intervalltijden;
- ▶ instellen van de helling van de statische stroom/spanningskarakteristiek (slope);
- ▶ veranderen van de zelfinductie in het lascircuit (smoorspoel);
- ▶ afstandsbediening (aan/uit, draadaanvoersnelheid, open spanning).

Op conventionele puls-MIG lasapparaten kunnen tevens de volgende instellingen worden gevonden:

- ▶ de puls frequentie;
- ▶ de piekspanning/-stroom (continu);
- ▶ de basisspanning/-stroom (continu en/of in stappen).

Meer geavanceerde puls-MIG/MAG apparaten hebben als extra instelmogelijkheden:

- ▶ de piekstroom/-spanning;
- ▶ de basisstroom/-spanning;
- ▶ de pulstijd;
- ▶ de basisstroomtijd;
- ▶ de frequentie. (soms apart instelbaar of als afgeleide van de puls- en basistijd)

Bij synergische puls-MIG/MAG apparatuur komen hier nog de voorinstellingen bij voor:

- ▶ het type beschermgas;
- ▶ het type toevoegmateriaal en eventueel de diameter hiervan;
- ▶ booglengteregeling voor het wijzigen van boogvermogen binnen het gekozen programma (één-knopsbediening).

Hierna wordt specifiek ingegaan op de vier hoofdcomponenten van een MIG/MAG installatie. Voor de beschrijving van de specifieke bedieningsorganen van een MIG/MAG installatie wordt verwezen naar de gebruiksaanwijzingen van de fabrikanten.

### 2.5.1 *Stroombronnen voor het MIG/MAG lassen*

De boogspanning bij het (MIG/MAG) lassen is aanzienlijk lager dan de netspanning. Dit houdt in dat elke stroombron een transformator nodig heeft die de netspanning omzet naar een voor het lassen geschikte spanning. Het omgekeerd geldt voor de stroomsterkte. Deze zal om te kunnen lassen naar een hogere waarde moeten worden getransformeerd. Verder geldt voor het MIG/MAG lassen dat zowel de spanning als de stroomsterkte aan de secundaire zijde regelbaar moeten zijn.

Een stroombron voor MIG/MAG lassen bestaat in principe uit een tweetal componenten: een transformator en een gelijkrichter. De meest voorkomende typen

stroombronnen voor het MIG/MAG lassen zijn, in volgorde van ontwikkeling:

#### ▶ *Driefasen gelijkrichters*

De lasspanning van de stroombron kan worden ingesteld door aftakkingen aan de transformator aan de secundaire zijde al dan niet in combinatie met transductors (= regelbare spoelen).

#### ▶ *Thyristor gestuurde stroombronnen*

De stroom en spanning worden via fase-aansnijding geregeld. De rimpel op de stroom en spanning kan hierbij aanzienlijk zijn. Met een smoorspoel wordt deze rimpel afgevlakt. Hierdoor wordt de stroomregeling echter trager.

#### ▶ *Transistor gestuurde stroombronnen*

Deze kunnen weer onderverdeeld worden in schakelende transistor bronnen (chopper, inverter) en analoge gestuurde transistor stroombronnen.

Transductor geregelde stroombronnen zijn zeer robuuste lasmachines, maar hebben het nadeel dat er niet gelast kan worden met pulserende stroom. Voor het lassen van constructiestaal met constante stroom voldoen ze uitstekend en worden nog steeds gebruikt in de industrie.

Met de komst van de vermogensthyristoren en transistoren namen de mogelijkheden van MIG/MAG stroombronnen sterk toe. Lassen met pulserende stroom werd mogelijk met een thyristor geschakelde stroombron. De maximale puls frequentie bij het lassen bedroeg echter in het begin maximaal 100 Hz en kon alleen in stappen ingesteld worden. Latere ontwikkelingen van snellere thyristoren maakten aanzienlijk hogere schakelfrequenties mogelijk en zorgden er tevens voor dat de puls frequenties bij het lassen traploos instelbaar werden. Thyristor geschakelde stroombronnen zijn nagenoeg volledig uit ontwikkeld en zijn om die reden betrouwbare stroombronnen.

Met de sterke opkomst van de elektronica namen de mogelijkheden om nieuwe stroombronnen te ontwikkelen, uitgerust met snelle thyristoren en vooral transistoren, toe. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van twee typen stroombronnen, namelijk de analoge stroombronnen en schakelende stroombronnen. Schakelende stroombronnen kunnen weer worden onderverdeeld in secundair schakelende stroombronnen of choppers en de primair schakelende stroombronnen of inverters.

Een onderscheidend verschil bij moderne stroombronnen is de plaats van de transformator in het elektrische circuit. Als de transformator is opgenomen in het begin van het elektrische circuit, dan worden stroom en spanning eerst getransformeerd. Hierna kan (in het secundaire circuit) het signaal elektronisch gestuurd of geschakeld worden; er is dan sprake van secundair geregelde of schakelende stroombronnen. Voorbeelden van secundair geregelde of schakelende stroombronnen zijn de transductor en thyristor gestuurde stroombronnen, analoge stroombronnen en choppers. Als de transformator later in de stroomkring is opgenomen en de sturing of het schakelen vindt voor het transformeren plaats, dan is er sprake van primair gestuurde of schakelende stroombronnen, waarvan de inverter voor het lassen de meest bekende en belangrijkste is. De afmetingen van een transformator worden bepaald door de frequentie van de stroom en spanning die getransformeerd moeten worden. Bij een gelijkblijvend te transformeren vermogen kan, als de frequentie van de spanning en stroom toenemen, de afmeting van de

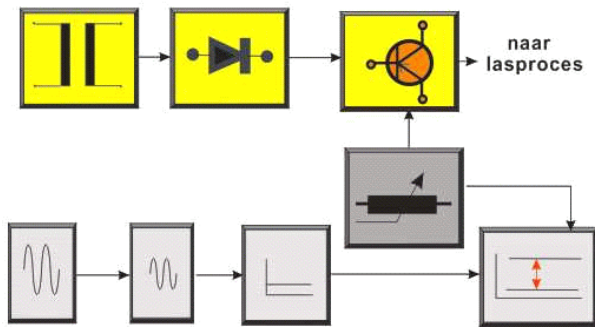
transformator kleiner worden. Deze empirische relatie (vuistregel) is weergegeven in de volgende vergelijking:  
 $P = f \times m$

(P = vermogen, f = frequentie en m = massa)

Bij transductor, thyristor, chopper en analoge stroombronnen worden als eerste de wisselstroom en wisselspanning getransformeerd. De frequentie van de wisselstroom en -spanning (uit het elektriciteitsnet) bedraagt in Europa 50 Hz. Het gevolg hiervan is dat, om een aanvaardbaar vermogen te kunnen transformeren, de massa van de transformator groot moet zijn (zie formule). Het hoge gewicht en de relatief grote afmetingen zijn dan ook de meest in het oog springende kenmerken van dergelijke stroombronnen.

### 2.5.1.1 Analoge MIG/MAG stroombron

De analoge stroombron kent in principe dezelfde opbouw als de hiervoor besproken stroombronnen (zie figuur 2.22). De spanning en stroom worden eerst getransformeerd en daarna wordt de stroom geregeld door middel van transistoren. Kenmerkend voor een analoge stroombron is, dat de transistoren de stroomsterkte regelen als een regelbare weerstand. Dit is vergelijkbaar met de versterker uit een geluidsinstallatie.



figuur 2.22 Schematische weergave van een analoge stroombron

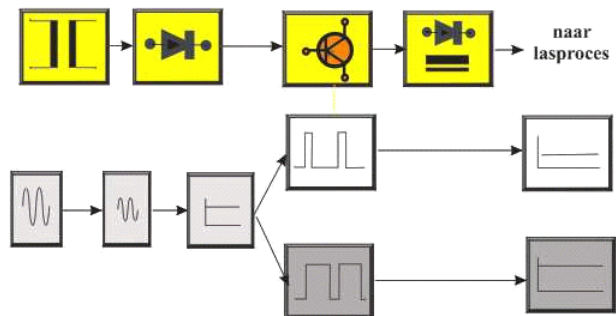
Analoge versterkers geven een vrijwel perfect uitgangssignaal (stroom en spanning). Het grote nadeel van het op deze manier regelen van de spanning en stroom is echter dat er veel overbodige energie in de vorm van warmte moet worden afgevoerd. Dit maakt dat bij analoge stroombronnen de transistoren op een watergekoeld koperen blok (cascade) moeten worden gemonteerd. Naast het feit dat dit veel energieverlies geeft, zijn deze transistoren het meest kwetsbare deel van de analoge stroombron. Hierbij komt nog dat de gebruikte vermogenstransistoren duur zijn, wat doorwerkt in de aanschafprijs van de lasapparatuur. Tegenwoordig worden analoge stroombronnen slechts zeer beperkt gebruikt (1-2% van de stroombronnen) in de lastechniek.

Deze eerder genoemde nadelen van de analoge stroombron hebben geleid tot de ontwikkeling van de zogenaamde schakelende stroombronnen (chopper, inverter), die een veel gunstiger elektrisch rendement kennen.

### 2.5.1.2 De chopper MIG/MAG stroombron

Het elektrisch regelcircuit bij de moderne chopper bevindt zich achter de transformator (zie figuur 2.23). Na de transformator is een gelijkrichter geplaatst met een buffercondensator. Hierna volgen de in serie ge-

plaatste transistoren die met hoge frequentie worden in- en uitgeschakeld. Er ontstaat dan een blokvormig spanning- en stroomsignaal (zie figuur 2.23). De (gemiddelde) stroomsterkte wordt bepaald door de verhouding tussen de in- en uitschakeltijd van de transistoren. Om de rimpel op de stroom en spanning af te vlakken, wordt na de transformator een (afvlak/smoor-)spoel geplaatst. De snelheid waarmee de stroombron reageert op veranderingen tijdens het lassen is mede afhankelijk van de frequentie waarmee de transistoren worden aangestuurd. Moderne transistoren werken met schakelfrequenties tussen de 50.000 en 100.000 Hz.



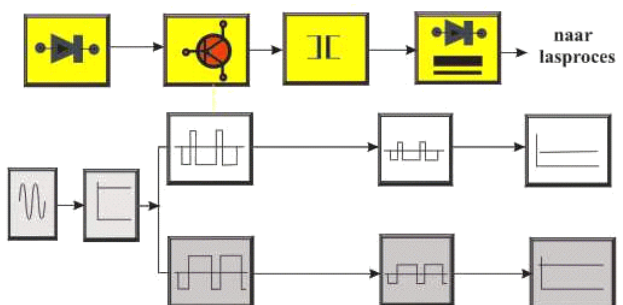
figuur 2.23 Schematische weergave van een chopper

Bij de chopper kan met wissel- en/of gelijkstroombron worden gelast en uiteraard kan er met een pulserende gelijkstroom worden gewerkt. De chopper heeft een hoog elektrisch rendement en is geschikt voor hoge stroomsterktes, is duurzaam en weinig onderhoudsgevoelig.

Een nadeel van de chopper is zijn hoge gewicht en dientengevolge grote afmetingen.

### 2.5.1.3 De inverter MIG/MAG stroombron

Bij de primair geschakelde stroombron of inverters worden de netspanning en netstroom eerst gelijkgericht en daarna afgevlakt (zie figuur 2.24).



figuur 2.24 Schematische weergave van een inverter

Via de, in serie geplaatste, snel schakelende transistoren wordt van de gelijkstroom/-spanning een wisselstroom/-spanning gemaakt met een zeer hoge frequentie (50.000 tot 100.000 Hz). Deze hoogfrequente wisselstroom/-spanning wordt aan een transformator toegevoerd. De transformator zet deze wisselspanning/-stroom om naar een waarde die geschikt is om mee te lassen. Tenslotte wordt deze spanning opnieuw gelijkgericht en afgevlakt. Doordat de wisselstroom en -spanning een zeer hoge frequentie heb-

ben, kan de transformator klein zijn (zie formule onder 2.5.1). De kleine afmetingen en het geringe gewicht zijn de belangrijkste kenmerken van de inverter stroombron. De stroomsterkte wordt op de inverter op dezelfde manier geregeld als bij de chopper namelijk door de aan/uit tijd van de schakelpuls te regelen. Een nadeel van de inverter is dat deze gevoeliger is voor netspanningvariaties dan de chopper. Niet dat de inverter de netspanningvariaties niet kan opvangen, maar de elektronische componenten worden door netspanningvariaties wel zwaarder belast.

#### 2.5.1.4 *Levensduur en betrouwbaarheid van moderne stroombronnen*

Moderne (digitale) stroombronnen gaan geen 50 jaar meer mee.

Zowel voor de inverter als voor de chopper geldt dat de levensduur van de stroombron voor een groot deel bepaald wordt door de kwaliteit van de elektronische componenten en de omgeving waarin hij wordt gebruikt. Gerenommeerde fabrikanten van stroombronnen stellen strenge specificaties op voor de elektronische componenten om daarmee de kwaliteit van hun stroombronnen te kunnen garanderen. De hoge kwaliteit van de elektronische componenten heeft uiteraard invloed op de prijs van de stroombron.

De levensduur van een inverter bedraagt, afhankelijk van de werkomgeving en de manier waarmee er wordt omgesprongen, tot 15 jaar en van een chopper 20 jaar. Een langere levensduur is ook niet noodzakelijk, want de ontwikkelingen op het gebied van stroombronnen gaan snel.

#### 2.5.1.5 *Het ontsteken van de boog, spatgedrag en kratervullen*

Het ontsteken van de boog bij het MIG/MAG lassen vindt plaats via een kortsluiting tussen lasdraad en werkstuk. Als gevolg van de hoge kortsluitstroom smelt een deel van de lasdraad en hierbij wordt het contact tussen de lasdraad en het werkstuk verbroken. De lasboog kan nu ontsteken als gevolg van de ionisatie van het beschermgas en de warmteontwikkeling ter plaatse.

Om de boog zonder problemen te kunnen ontsteken, is een lage inductie in het elektrische circuit nodig, maar om het spatten tijdens het ontsteken te beperken, is juist een hoge inductie gewenst. De inductie van moderne stroombronnen kan tegenwoordig zeer snel (elektronisch) worden geregeld. Hierdoor kan een inverter of chopper sneller, gemakkelijker en met minder spatten ontsteken. Sommige fabrikanten kiezen ervoor om door middel van een zogenoemde softstart het spatgedrag verder te beperken, evenals om bindingsfouten bij het starten te voorkomen. Bij een softstart wordt de boog ontstoken bij lage draadaanvoersnelheid. Als de boog eenmaal ontstoken is, wordt de draadsnelheid snel opgevoerd naar de ingestelde waarde. Een nog fraaiere oplossing is die waarbij na het ontsteken van de boog, de draadtoevoer kort wordt gestopt of de lasdraad zelfs iets wordt teruggetrokken. Net als bij het TIG lassen brandt de boog dan even zonder overdracht van lasmetaal en is de kans op eventuele bindingsfouten kleiner. Het terugtrekken en regelen van de lasdraad is overigens alleen mogelijk als de apparatuur is uitgerust met een push-pull systeem (zie § 2.5.2).

Bij het MIG/MAG lassen van nikkellegeringen en de

meeste aluminiumlegeringen is een stroombron met kratervulinstallatie gewenst. Bij deze materialen kan, als er abrupt met lassen wordt gestopt, de stollingslink van het lasmetaal voor een kleine krater zorgen. Als gevolg van de optredende spanningen kunnen nu de bekende kraterscheuren ontstaan.

Uitslijpen van die kraterscheuren is absoluut noodzakelijk, omdat bij het lassen van een volgende laag deze scheuren verder in de lasverbinding kunnen uitgroeien tot één of meerdere grote scheuren.

#### 2.5.1.6 *Keuze van een stroombron*

Moderne stroombronnen, zowel de inverter als de chopper, zijn tegenwoordig vrijwel allemaal transistor gestuurde stroombronnen. Zij reageren zeer snel op veranderingen in de lasomstandigheden. Hierdoor kunnen met moderne stroombronnen uitstekende lasresultaten worden behaald. Leveranciers van stroombronnen hebben het graag over volledig gedigitaliseerde stroombronnen. Daarmee wordt bedoeld dat de procesregelaar, die de stroom en spanning op de ingestelde waarde probeert te houden, volledig uit elektronische componenten is opgebouwd.

Welk type stroombron, inverter of chopper, moet worden aangeschaft, hangt af van vele factoren, zoals de aard van de te verrichten laswerkzaamheden, de gewenste kwaliteit van de verbinding en de omstandigheden waaronder moet worden gelast. Zo zal bijvoorbeeld bij het maken van korte laslengten het startgedrag van de stroombron een primaire rol spelen. Een aantal stroombronleveranciers biedt hiervoor de mogelijkheid van een zogenaamde softstart. Aspecten als startgedrag, kratervulling, correctiemogelijkheden voor grote kabellengtes bij het lassen met pulserende stroom, de draadaanvoereenheid, het te lassen materiaal, enz. bepalen mede de keuze van de stroombron. De gebruiker bepaalt de relevantie van al deze mogelijkheden voor zijn specifieke bedrijfssituatie of product. In tabel 2.1 zijn de kenmerkende eigenschappen van chopper en inverter stroombronnen nog eens naast elkaar gezet om de keuze tussen beide typen lasmachines te vergemakkelijken.

tabel 2.1 Vergelijking van enkele kenmerken van een inverter en chopper [17]

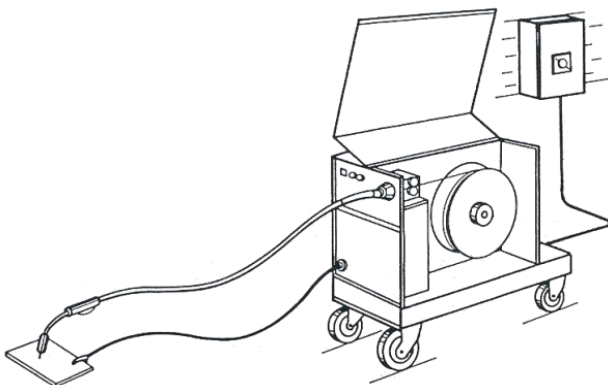
Inverter	Chopper
Gemakkelijk regelbaar maar gevoelig voor pieken in de netspanning	Regelen van hoge stromen door de primaire plaatsing van de transformator
Compact van bouw met een gering gewicht (gemakkelijk verplaatsbaar)	Hoog gewicht en grote afmetingen (minder gemakkelijk verplaatsbaar)
Levensduur 7 tot 15 jaar	Levensduur 7 tot 20 jaar
Zeer hoog elektrisch rendement	Hoog elektrisch rendement
Volledige digitalisering	Volledige digitalisering
Programmering via internet	Programmering via internet
Reparaties door leverancier	Reparaties bij voorkeur door leverancier
Gevoeliger voor netspanningvariaties	Minder gevoelig voor netspanningvariaties
Uitstekend geschikt voor het MIG/MAG lassen	Uitstekend geschikt voor het MIG/MAG lassen

### 2.5.1.7 *Verdere ontwikkelingen van stroombronnen op het gebied van het MIG/MAG lassen*

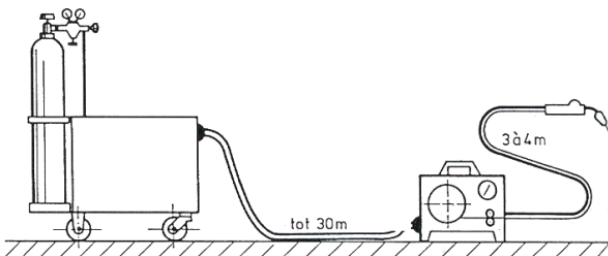
Moderne stroombronnen, zowel choppers als inverters, zijn gemakkelijk regelbaar. Dit biedt ongekende mogelijkheden om het verloop van stroom en spanning tijdens het lassen te sturen. Zowel bij het lassen in het kortsluitbooggebied, het lassen met pulserende stroom als bij het lassen in het openbooggebied zijn verdere ontwikkelingen erop gericht de materiaalovergang te verbeteren en daarmee het spatgedrag te beperken of zelfs te elimineren. Een bijkomend voordeel is, dat daarmee de (oppervlakte)kwaliteit van de lasverbinding toeneemt. De elektronica in de moderne stroombronnen is zo snel, dat het in de lijn der verwachtingen ligt dat in de nabije toekomst de procesbeheersing en dus de constantheid van de kwaliteit van de las, steeds onafhankelijker van de mens zal worden.

### 2.5.2 *Draadaanvoermechanisme inclusief draadhaspel*

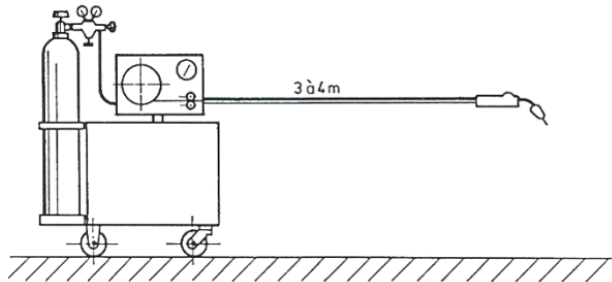
De lasdraad wordt door het draadaanvoermechanisme van de haspel getrokken en met een regelbare snelheid naar de lastoorts geduwd. Als de weg waarover de lasdraad moet worden getransporteerd lang is, kunnen meerdere aanvoermechanismen achter elkaar worden geplaatst. De figuren 2.25 t/m 2.29 geven een schematisch overzicht van een aantal methoden voor het aanvoeren van de lasdraad.



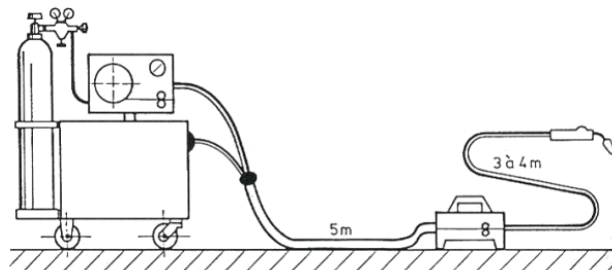
figuur 2.25 MIG/MAG apparaat met de draadaanvoereenheid in de kast van de stroombron [67]



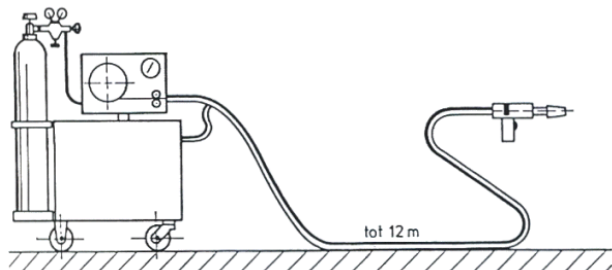
figuur 2.26 MIG/MAG apparaat met een gescheiden draadaanvoereenheid om het bereik te vergroten [67]



figuur 2.27 MIG/MAG apparaat met de draadaanvoereenheid als losse eenheid op de stroombron [67]



figuur 2.28 MIG/MAG apparaat met push-pull (duw-trek) draadaanvoereenheid met losse pull-eenheid [67]



figuur 2.29 MIG/MAG apparaat met push-pull (duw-trek) draadaanvoereenheid met de pull-eenheid ingebouwd in de lastoorts [67]

De keuze voor een specifiek type draadaanvoereenheid wordt enerzijds bepaald door de uit te voeren laswerkzaamheden (o.a. productafmetingen) en anderzijds door de te verlassen lastoevoegmaterialen. Voor het gebruik van dunne en/of zachte lasdraden is het vaak aan te bevelen gebruik te maken van een duw-trek (push-pull) draadaanvoersysteem. Dit soort draadaanvoersystemen is weliswaar duurder in aanschaf, maar deze kosten verdienen zich al snel terug door de grotere bedrijfszekerheid, waardoor (dure) draadstoringen kunnen worden voorkomen.

Bij het gebruik van dunne lasdraden, korte slangenpakketten en kleine uitsteeklengten is het niet noodzakelijk dat lasdraden gericht/gestrekt worden. Gerichte lasdraden bieden het voordeel dat weinig kracht nodig is om ze door het slangenpakket te duwen. Vooral bij het gemechaniseerd lassen, wanneer lasnaadvolgsystemen worden toegepast, kan het belangrijk zijn dat de lasdraad gericht is. Simpele draadrichtsystemen maken gebruik van drie rollen om de lasdraad te richten.

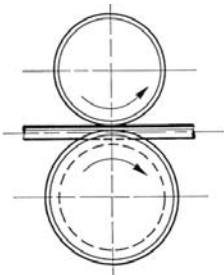
### 2.5.2.1 Aanvoermethoden van de lasdraad

De draadsnelheid kan bij traditionele MIG/MAG apparaten meestal traploos tussen 1 en 15 meter per minuut worden geregeld. De aandrijving kan op verschillende manieren plaatsvinden. Voor elk systeem geldt dat verschillen in de draadweerstand (binnen bepaalde grenzen) opgevangen moeten kunnen worden. De aandrijving wordt primair verzorgd door een gelijkstroommotor, waarvan de snelheid op eenvoudige wijze kan worden geregeld. Tegenwoordig zijn er ook systemen, waarbij het toerental van de motor wordt geregeld via een aan de stroomsterkte gerelateerde terugkoppeling. De aandrijving van de lasdraad kan plaats vinden door middel van draadaanvoersystemen met:

- ▶ twee draadaanvoerrollen;
- ▶ vier draadaanvoerrollen;
- ▶ zes draadaanvoerrollen
- ▶ planeetwielen;
- ▶ duwband.

#### Twee draadaanvoerrollen

Figuur 2.30 geeft een voorbeeld van een draadaanvoersysteem met twee rollen.



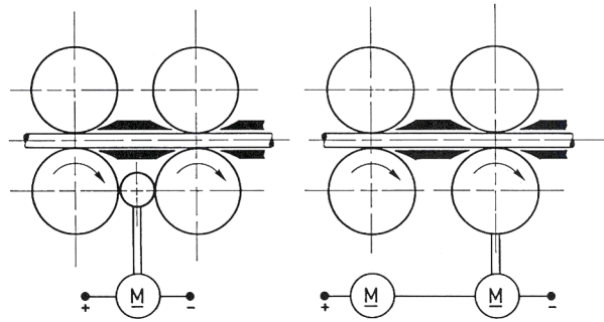
figuur 2.30 Tweerolsdraadaanvoersysteem [67]

Bij dit mechanisme kan één of kunnen beide rollen worden aangedreven. Het voordeel van deze uitvoering is dat het een relatief goedkoop systeem is. Als nadeel kan worden genoemd, dat er door de wrijvingsweerstand in het slangenpakket en de contactbuis slip van de draadaanvoerrollen op de lasdraad kan optreden. Fabrikanten proberen dit te beperken door de draadaanvoerrollen een zo groot mogelijke diameter te geven. De gebruiker zal echter de aandrukkracht op de rollen proberen te verhogen als hij slip constateert. Een tweede nadeel is, dat er altijd slip optreedt bij halfronde groeven, omdat de omtreksnelheid onder in de groef lager is dan boven in de groef. Dit heeft tot gevolg dat de draad zal vervormen wat de transporteerbaarheid van de lasdraad niet ten goede komt. Het is dus aan te bevelen een tweerols-draadaanvoersysteem niet te gebruiken bij relatief zachte lasdraden (aluminium).

#### Vier draadaanvoerrollen

Figuur 2.31 geeft een voorbeeld van een draadaanvoermechanisme met vier draadaanvoerrollen.

In deze figuur worden twee rollen aangedreven. In het linker schema met één motor en in het rechterschema met twee motoren. Er zijn ook (duurdere) systemen, waarbij alle vier de rollen afzonderlijk worden aangedreven. De aandrukkracht moet worden afgestemd op de draaddiameter en draadsoort.

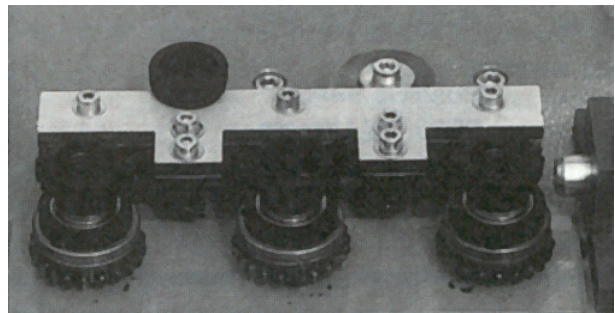


figuur 2.31 Vierrolsdraadaanvoersysteem [67]

Een groot voordeel bij draadaanvoersystemen met vier draadrollen is, dat de aandrukkracht op de lasdraad veel kleiner kan zijn dan bij een systeem met 2 draadaanvoerrollen. Bij systemen met vier draadaanvoerrollen wordt de kans op draadstoringen, vooral bij zachte lasdraden, om deze reden aanzienlijk verkleind.

#### Zes draadaanvoerrollen

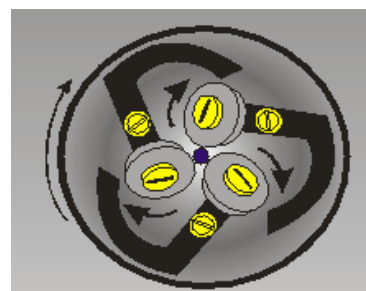
Draadaanvoersystemen met zes draadaanvoerrollen kennen min of meer dezelfde opbouw als de systemen met 4 draadaanvoerrollen (zie figuur 2.32). Dit soort draadaanvoersystemen worden gebruikt voor hoge draadsnelheden (> 20 m/min), als een absoluut betrouwbare draaddoorvoer noodzakelijk is. Deze hoge draadaanvoersnelheden worden gebruikt bij enkele speciale varianten van het MIG/MAG lassen, waarvan de meest bekende handelsnamen zijn het T.I.M.E., RapidArc™, Rapid-Melt en ForceArc® lassen (voor een andere toelichting op deze processen zie § 3.1).



figuur 2.32 Zesrolsdraadaanvoersysteem

#### Planeetwielen

In figuur 2.33 is een schematisch voorbeeld van een draadaanvoersysteem met planeetwielen gegeven (ook wel planetaire aandrijving genoemd).

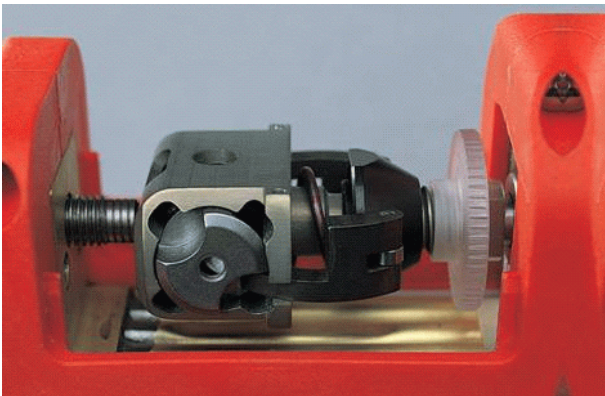


figuur 1.33 Planetaire aandrijving [67]

De schuin geplaatste planeetwielen oefenen bij het draaien een axiale schuifkracht op de lasdraad uit. De draadsnelheid is hierbij niet alleen afhankelijk van het toerental van de planeetwielen, maar ook van de draaddiameter en de hoek die de rollen maken met de lasdraad. De lasdraad wordt in het midden door de holle aandrijfjas van de motor aangevoerd.

Een nadeel van dit type aandrijving is de hoge aanschafprijs. Als voordelen staan hier echter tegenover een zeer betrouwbare en constante draaddoorvoer en het feit dat er voor de verschillende draaddiameters geen draadaanvoerrollen gewisseld hoeven te worden.

Een ander voordeel van het planetaire draadaanvoersysteem is de licht strekkende werking van de lasdraad, waardoor deze minder wrijving ondervindt in het slangenpakket en de contactbuis. Figuur 2.34 toont de praktische uitvoering van een planetaire aandrijving voor het transport van de lasdraad.



figuur 2.34 Praktische uitvoering van een planetaire aandrijving[71]

### Duwband

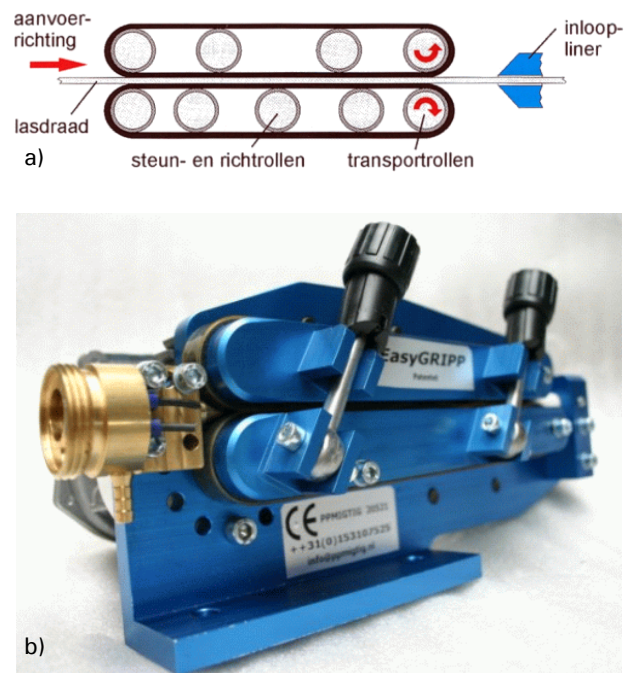
Een betrouwbare nieuwkomer ten aanzien van het doorvoeren van lasdraden bij het MIG/MAG lassen is de duwband. Bij dit systeem wordt gebruik gemaakt van kunststof transportbandjes die voor de aanvoer van de lasdraad zorgen. Het principe van deze draad-aanvoereenheid is weergegeven in figuur 2.35.

Doordat er een relatief groot contactoppervlak is tussen de lasdraad en de transportbanden ( $500 \text{ mm}^2$ ), treedt er ook bij grote weerstand in de liner geen slip van de lasdraad op. Een ander voordeel is, dat bij zachte lasdraden de kans op beschadiging van de lasdraad door deformatie verwaarloosbaar is en dat ook bij langere slangenpakketten een betrouwbare draaddoorvoer kan worden gegarandeerd. Het systeem is geschikt voor alle typen lasdraden.

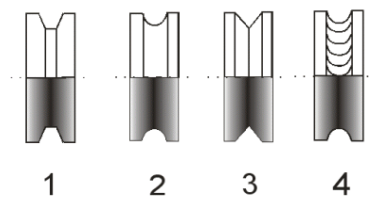
#### 2.5.2.2 Draadaanvoerrollen

Draadrollen kunnen verschillend gevormde groeven of tanden hebben (zie figuur 2.36) afhankelijk van het type lasdraad dat moet worden getransporteerd. De draadaanvoerrollen moeten worden afgestemd op de draaddiameter, dit hoort duidelijk op de draadaanvoerrollen te zijn vermeld.

Voor het lassen van staal en roestvast staal is de trapeziumvormige groef 1 uit figuur 2.36 uitstekend bruikbaar, echter ook groef 2 is goed bruikbaar voor deze



figuur 2.35 Duwband-draadaanvoersysteem; principe (a) en uitvoering (b) [73]

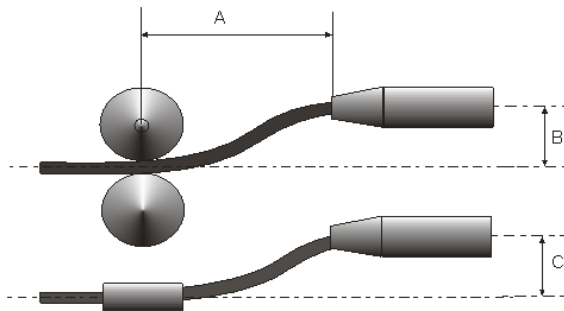


figuur 2.36 Schematische weergaven van de transport-groeven in draadaanvoerrollen

materialen. Groef 1 moet nooit voor aluminium worden gebruikt, omdat de kans op beschadigen van de zachte aluminiumlasdraad zeer groot is. Groef 2 en 3 uit figuur 2.36 zijn typische groeven voor het doorvoeren van aluminiumlasdraad of andere relatief zachte lasdraden, terwijl groef 4 gebruikt wordt voor het doorvoeren van gevulde lasdraad. Ook deze groef (4) moet nooit worden gebruikt voor het lassen van aluminium.

#### 2.5.2.3 Uitlijnen draadinvoerbuisjes

Na het verlaten van de draadaanvoerrollen wordt de lasdraad in het slangenpakket geleid. Dit gebeurt door middel van de zogenaamde draadinvoerbuisjes. De plaatsing van deze buisjes is belangrijk, omdat hierdoor veel draadstoringen kunnen worden voorkomen. De afstand van de draadinvoerbuisjes tot de draadaanvoerrollen moet zo klein mogelijk zijn, om het mogelijk knikken van de lasdraad te voorkomen. Tevens moet er op worden gelet, dat de buisjes in zowel hoogte als zijdelingse richting zo veel mogelijk "in lijn" staan met de lasdraad en draadaanvoerrollen (zie figuur 2.37). Naarmate de lasdraad zachter wordt (aluminium), worden deze aspecten belangrijker. Voor het lassen van zachte lasdraden (aluminium) moeten de draadinvoerbuisjes worden voorzien van kunststof binnenbussen om "vreten" van de lasdraad te voorkomen.



figuur 2.37 In "lijn" staan van de draadvoerbuisjes

### 2.5.3 De lastoorts en zijn onderdelen

Lastoortsen vormen een belangrijk en misschien zelfs wel het belangrijkste onderdeel van een MIG/MAG lasinstallatie. Vooral bij het handmatig lassen zijn de toortsen hét gereedschap waarmee de lasser tijdens het lassen letterlijk en figuurlijk moet manipuleren. Een zwaar en moeilijk te hanteren toorts, samen met een stug meebewegend slangenpakket, zal al snel tot vermoeidheid leiden. Daarom streven producenten voortdurend naar een zo ergonomisch mogelijke uitvoering, waarbij uiteraard ook nog de belangrijke functies van de toorts en zijn onderdelen voor langere tijd gewaarborgd moeten zijn.

De hoofdfuncties van de lastoorts zijn:

- ▶ het leiden van de lasdraad naar het lasbad;
- ▶ het leiden van het beschermgas naar het lasbad;
- ▶ het doorvoeren van de stroom via de contactbuis naar de lasdraad;
- ▶ (soms) het afzuigen van lasrook.

Een lastoorts moet een goede stroomoverdracht en een stabiele boog kunnen bieden, samen met een deugdelijke gasbescherming en een gelijkmatige aanvoer van het lastoefvoegmateriaal. Soms zijn lastoortsen voorzien van een mogelijkheid tot het afzuigen van de lasrook (zie figuur 2.38).

Een lichte constructie van de lastoorts is voor het manipuleren in allerlei posities uiteraard gunstig, maar deze eis staat weer haaks op de maximale capaciteit en dus stroombelasting van de toorts. Het is zaak dat de gebruiker voor zichzelf bepaalt wat zijn wensen zijn, want het gebruik van bijvoorbeeld (push-)pull lastoortsen of lastoortsen voorzien van een afzuiging zijn over het algemeen veel zwaarder dan de traditionele lastoortsen.

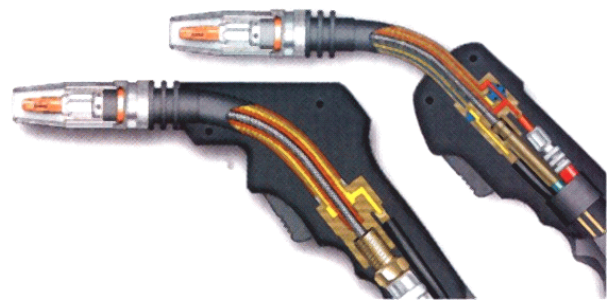


figuur 2.38 Lastoorts voorzien van afzuiging aan de toorts [74]

Ook het verschil tussen een gasgekoelde en vloeistofgekoelde lastoorts kan al een aanzienlijk verschil in gewicht van de lastoorts in combinatie met het slangenpakket betekenen. De aan- en afvoerleidingen van de koelvloeistof zijn namelijk onderdeel van het slangen-

pakket en geven daardoor ook weer extra gewicht en weerstand bij het lassen.

Uit bovenstaande blijkt dat er twee typen lastoortsen zijn met betrekking tot het soort koeling: gas- en vloeistofgekoeld (zie figuur 2.39). Bij gasgekoelde lastoortsen wordt door middel van een aparte gas slang het beschermgas in een ringvormige kamer van de lastoorts gebracht. Van daaruit wordt het beschermgas gedwongen om langs vele kleine geribbelde kanalen het gasmondstuk uit te stromen. Dergelijke lastoortsen hebben meestal een beperkte capaciteit waar het de stroomsterkte en inschakelduur betreft en zijn vooral geschikt voor het lichtere laswerk. Er zijn echter ook zwaardere typen verkrijgbaar tot circa 500 ampère bij een inschakelduur van maximaal 60%.



figuur 2.39 De gas- (rechts boven) en watergekoelde uitvoering van een handlastoorts [75]

Bij vloeistofgekoelde lastoortsen wordt een koelvloeistof gebruikt die vanuit een pomp in de stroombron wordt rondgepompt. Er wordt dus gebruik gemaakt van een gesloten koelcircuit. De koeling van vloeistofgekoelde lastoortsen is veel effectiever dan die van gasgekoelde lastoortsen, vandaar dat vloeistofgekoelde lastoortsen hoger belast mogen worden en een hogere inschakelduur hebben. Vloeistofgekoelde lastoortsen zijn verkrijgbaar tot een maximale stroomsterkte van 650 ampère bij een inschakelduur van 100%.

Sommige lastoortsen zijn uitgerust met een zogenaamd dubbelcircuit waterkoeling. Bij een dubbelcircuit waterkoeling wordt het vermogen van het koelwater om warmte op te nemen maximaal benut. Zowel de contactbuis als het gasmondstuk worden gescheiden gekoeld. Het koelwater loopt over de volle lengte van de zwanenhals door middel van meerdere telescopische kanalen. Op deze manier wordt een groot oppervlak gecreëerd om de opgewekte warmte over te brengen naar het koelwater.

Naast de indeling met betrekking tot de manier van koelen, worden lastoortsen ook wel ingedeeld op basis van de uitvoering van het lassen: handtoortsen en machinetoortsen. Handtoortsen hebben een maximale inschakelduur van 60% terwijl machinetoortsen meestal een inschakelduur hebben van 100%. Een ander kenmerkend verschil is, dat de meeste handtoortsen een gebogen voorstuk (zwanenhals) hebben, terwijl machinetoortsen (meestal) recht zijn.

Toortsen met ingebouwde motor en draadaanvoermecanisme (pull) bieden het voordeel, dat bij gebruik van knikgevoelige lasdraden en lange slangenpakketten, draadstringen tot een minimum beperkt kunnen worden. Als nadeel kan worden genoemd, dat de lastoorts zwaarder is dan een vergelijkbare lastoorts zonder pull eenheid.

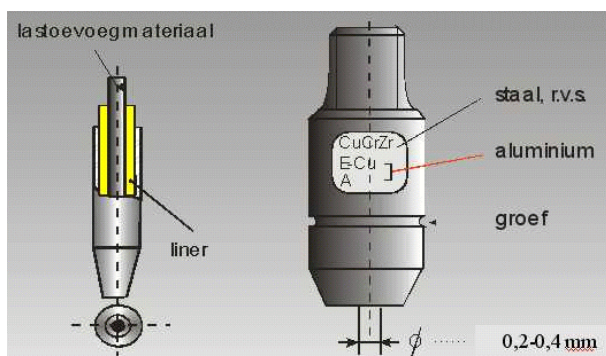


Behalve het geleiden van de lasdraad heeft de lastoorts nog twee belangrijke functies: namelijk overdracht van de stroom op de lasdraad en toevoer van gas ter bescherming van de afsmeltende druppels en het smeltbad.

### 2.5.3.1 De contactbuis

De contactbuis is een belangrijk onderdeel van de toorts. In de contactbuis wordt de stroom overgedragen op de lasdraad door middel van een slepend contact tussen de lasdraad en de contactbuis. Het contactvlak met de lasdraad is klein en de stroomdichtheid is hoog, daarom worden er specifieke eisen gesteld aan het materiaal van de contactbuis. De contactbuis bestaat uit een koperlegering (bijv. CuCrZr) die moet zorgen voor een goede warmte- en stroomoverdracht, evenals voldoende slijtagebestendigheid. Doordat de contactbuis zich dicht bij de boog bevindt, wordt de temperatuur zo hoog, dat spatten zich gemakkelijk op het oppervlak kunnen hechten. Om dit laatste te beperken, wordt vaak met een antispaspray gewerkt.

Als contactbuizen te warm worden, wordt de boring kleiner, waardoor de lasdraad extra weerstand ondervindt en de draadaanvoer onregelmatig kan worden. De boring van de contactbuis moet daarom ongeveer 0,2 tot 0,4 mm groter zijn dan de diameter van de lasdraad, afhankelijk van de te verlossen draadsoort. Te ruime contactbuizen geven echter weer aanleiding tot het zogenaamde "kwispelen" van de lasdraad en kunnen voor extra vonkoverslag in de contactbuis zorgen. Het is daarom noodzakelijk de contactbuizen regelmatig aan een inspectie te onderwerpen en niet te aarzelen om ze te vervangen. Veel problemen worden bij het MIG/MAG lassen veroorzaakt doordat men wil besparen op (dit soort) slijtdelen, wat meestal meer kost (i.v.m. reparaties) dan het oplevert. Voor het lassen van aluminium zijn speciale contactbuizen in de handel die meestal te herkennen zijn doordat de contactbuis gecodeerd is met de letters A of AL of doordat er een groef in de contactbuis gedraaid is (zie figuur 2.40).



figuur 2.40 Contactbuis voor het lassen van aluminium en zijn legeringen

Voor het vastzetten van contactbuisjes zijn speciale (simpele) gereedschappen verkrijgbaar (zie figuur 2.41).

Contactbuizen zijn er in vele soorten en maten zoals te zien is in figuur 2.42.

Soms hebben contactbuizen een extra conus op de schroefdraad waardoor de lasstroom en de warmte op een zo optimale wijze worden overgedragen. Daar-



figuur 2.41 Simpel gereedschap voor het vastzetten van de contactbuis



figuur 2.42 Enkele verschillende soorten contactbuizen

naast voorkomt deze conus dat de tips niet loskomen tijdens het lasproces.

Contactbuizen voor het robotlassen zijn soms vervaardigd van gelegeerd en gesinterd koperpoeder. Deze contacttips zijn cilindrisch en worden rondom over een grote lengte ingeklemd (zie figuur 2.42 links). Hierdoor kan er een optimale afvoer van warmte en overdracht van stroom plaatsvinden.

Recentelijk is een nieuw soort contacttip op de markt verschenen voor het MIG lassen. Een probleem bij het MIG lassen van aluminium is het vastlopen van de lasdraad in de contactbuis. Zelfs als de juiste contactbuis wordt gekozen, kunnen deze problemen niet altijd worden voorkomen. Een recente ontwikkeling die hieraan tegemoet komt, is de zogenaamde grafiettip. Deze contactbuis is oorspronkelijk ontwikkeld om bij het lassen van korte laslengten bindingsfouten te voorkomen. Belangrijker echter is dat bij het MIG lassen met deze grafiettip vastlopers, zelfs bij hoge stroomsterktes en korte werkafstanden, minder voorkomen en sneller te verhelpen zijn. De grafiettip bestaat uit twee delen: een geleidend koperen deel dat als een normale contactbuis in de toorts wordt geschroefd en een tweede deel uit speciaal grafiet dat op het koperen deel wordt bevestigd (zie figuur 2.43).



figuur 2.43 MIG toorts met grafiettip [8]

Door het koperen deel in te korten kan de speciale contactbuis in een standaardtoorts worden toegepast. De voorkant van de contactbuis bestaat uit grafiet. Dit materiaal kan worden gebruikt, omdat grafiet ook een goede stroomgeleider is. Omdat aluminium en grafiet niet in elkaar oplossen, zal de aluminiumdraad niet samensmelten met de grafiettip. Hiermee wordt voorkomen dat bij draadstoringen en het hierdoor omhoog komen van de boog, vastlopers optreden. De grafiettip kan in principe voor elke toorts worden gebruikt door de vorm aan te passen. De spanningsval in de contactbuis is iets groter dan bij gebruik van een volledig koperen tip veroorzaakt door een grotere uitsteeklengte vanwege het niet mee doen van de grafiettip aan de stroomgeleiding. De lasser zal dus een iets hogere spanning en draadaanvoer moeten instellen dan bij een koperen contactbuis. De verschillen zijn echter minimaal.

### 2.5.3.2 Gasmondstukken

Het gasmondstuk geleidt het beschermgas om op deze manier de overgaande metaaldruppels en het lasbad te beschermen. Gasmondstukken zijn bij het MIG/MAG lassen meestal gemaakt van een koperlegering om de warmte goed af te kunnen voeren. De aansluiting van het mondstuk op de toorts moet goed zijn afgedicht met het oog op het aanzuigen van omgevingslucht. Het gasmondstuk moet elektrisch geïsoleerd zijn ten opzichte van de contactbuis.

De hoeveelheid beschermgas die moet worden ingesteld is afhankelijk van de doorstroomopening van de gascup, het te lassen materiaal, het soort beschermgas en de afstand van de lastoorts tot het werkstuk. Afhankelijk van de eerder genoemde factoren en de laspositie ligt de hoeveelheid beschermgas in de regel tussen de 10 en 30 liter per minuut. Het aanhechten van spatten, vooral tijdens het kortsluitbooglassen, zorgt ervoor dat het gasmondstuk aan de binnenkant regelmatig moet worden schoongemaakt om de beschermgasstroom niet te verstoren.

Antispat spray kan nuttig zijn om het vasthechten van lasspatten op het mondstuk tegen te gaan en is in het bijzonder effectief bij het automatisch lassen.

Voor het verwijderen van spatten uit het gasmondstuk zijn speciale gereedschappen verkrijgbaar (zie figuur 2.44).



figuur 2.44 Speciale tang voor het afknippen van de lasdraad en het schoonmaken van het gasmondstuk

Gasmondstukken kunnen geklemd worden of voorzien zijn van een trapezium schroefdraad, zodat ze gemakkelijker uitwisselbaar zijn (zie figuur 2.45).



figuur 2.45 Verschillende typen gasmondstukken

Belangrijk is te zorgen voor een optimaal contact tussen het gasmondstuk en de lastoorts waardoor een goede warmteoverdracht naar het koelwater gewaarborgd is. Veel gasmondstukken zijn verchromd en voorzien van een verwisselbare O-ring. Deze O-ring zorgt ervoor, dat de gasmondstukken op de zwanenhals op hun plaats worden gehouden.

Bij de keuze van een lastoorts moet er behalve op de vorm en prijs van de lastoorts ook gelet worden op de volgende punten:

- ▶ maximaal te gebruiken stroomsterkte;
- ▶ de inschakelduur (in de regel voor handtoortsen maximaal 60% en voor machinetoortsen, bij bijvoorbeeld het lassen met robots, 100%);
- ▶ het gewicht en de afmetingen van de lastoorts eventueel in combinatie met de flexibiliteit van het slangenpakket;
- ▶ de service-vriendelijkheid (mogelijkheid van snel verwisselen van slijtdelen);
- ▶ soms kan het wenselijk zijn een lastoorts te gebruiken die voorzien is van een kogelscharnier aan het einde van de toorts, om de hanteerbaarheid van toorts plus slangenpakket te vergroten.
- ▶ de prijs van de reserve-onderdelen.

### 2.5.3.3 Het slangenpakket

Het slangenpakket wordt meestal als kant-en-klaar pakket bij een lastoorts geleverd en omvat:

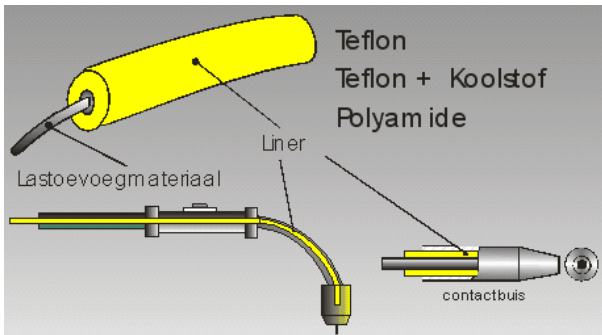
- ▶ een draadgeleider ook wel 'liner' genoemd, die van staal (spiraalvormig gewonden) of van kunststof is gemaakt. Kunststof draadgeleiders worden toegepast bij het aanvoeren van aluminium, gevulde en roestvaste lasdraden;
- ▶ een gastoevoerslang;
- ▶ een kabel voor de lasstroom;
- ▶ een kabel voor de toortsschakelaar;
- ▶ koelwaterslangen,
 

Bij kleine lasapparaten wordt de stroomkabel wel eens door de koelwaterslang geleid. Dit heeft tot voordeel dat het totale slangenpakket klein en soepel blijft. Het systeem wordt hierdoor echter tamelijk kwetsbaar;
- ▶ een centrale toortsaansluiting, waardoor het pakket snel te verwisselen is.

### 2.5.3.4 De draadgeleider

Een belangrijk onderdeel van het slangenpakket is de draadgeleider of "liner"; dit is het onderdeel waar de lasdraad doorheen loopt. De draadsnelheid tijdens het MIG/MAG lassen ligt globaal tussen de 5 en 15 meter

per minuut. Dit maakt dat storingen in de draaddoorvoer onmiddellijk leiden tot problemen bij het lassen. Dit is één van de meest voorkomende bronnen van storingen bij het MIG/MAG lassen. Bij het MAG lassen van staal en roestvaststaal wordt over het algemeen gebruik gemaakt van een flexibele, gepsiraliseerde stalen draadgeleider. Voor het MAG lassen van zachte lasdraden en vooral aluminium is deze draadgeleider ongeschikt. Bij aluminium moet de stalen draadgeleider worden vervangen door een kunststof (teflon, polyamide) geleider (zie figuur 2.46).



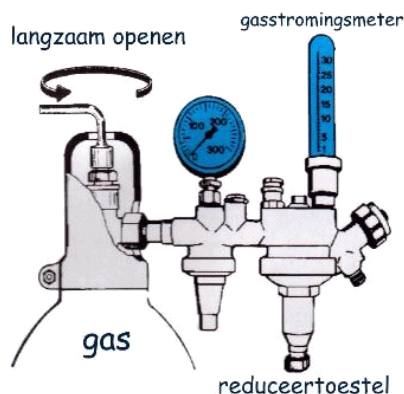
figuur 2.46 Kunststof draadgeleider bij het MIG lassen van aluminium

### 2.5.3.5 Gasvoorziening (cilinder, reduceerventiel, gasdoorstroommeter)

De gasvoorziening bij het MIG/MAG lassen is relatief simpel en bestaat uit de volgende onderdelen:

- ▶ gascilinder;
- ▶ reduceerventiel;
- ▶ gasstromingsmeter (ook wel: gasdoorstromingsmeter of flowmeter).

De plaats van deze onderdelen is weergegeven in figuur 2.47.



figuur 2.47 Onderdelen voor de gasvoorziening bij het MIG/MAG lassen[69]

In de stroombron is meestal een gasklep ingebouwd, die door de toortsschakelaar wordt bediend. In veel gevallen is een dergelijke gasklep voorzien van een tijdrelais. Met een dergelijke relais is het mogelijk de gasklep, met een in te stellen tijd, vertraagd te laten afvallen. Op deze manier wordt dus de beschermgasstroom vertraagd uitgeschakeld, dit wordt de gasnaastroomtijd genoemd. Een zelfde mechanisme is beschikbaar bij het starten met lassen (gasvoorstroomtijd).

### Gascilinder

Het beschermgas wordt meestal geleverd in stalen cilinders. Om de vullingsgraad te verhogen, wordt het gas in de cilinders geperst, meestal onder een druk van 150, 200 of 300 bar. Op de kop van de cilinder staan een aantal gegevens gestempeld, onder andere welk gas zich in de cilinder bevindt, het gewicht en de controledatum.

Gascilinders worden tegenwoordig geleverd met de kleurcoderingen volgens de Europese norm NEN-EN 1089-3. Wanneer de behoefte aan beschermgas groot is, of als er op veel verschillende plaatsen in een werkplaats moet worden gelast, kan worden overgegaan tot een centrale opstelling van de gasvoorziening (ringleiding). Meestal wordt dan gekozen voor het aansluiten van meerdere cilinders op de ringleiding, waarbij meerdere cilinders worden gekoppeld in een zogenaamde batterijopstelling. De opslag van cilinders vindt tegenwoordig vrijwel altijd buiten in aparte en goed geventileerde ruimten plaats. Soms wordt ook gebruik gemaakt van grote opslag tanks, van waaruit het gas via een ringleiding naar de verschillende lasplaatsen wordt geleid.

### Reduceertoestel

Het reduceertoestel heeft tot doel:

- ▶ de druk van het gas in de cilinder te verlagen tot een geschikte werkdruk of ingangsdruk voor de gasdoorstroommeter;
- ▶ de ingestelde druk tijdens het lassen constant te houden bij afname van het beschermgas.

Het reduceertoestel bestaat uit een membraan dat onder invloed van een veerdruk kan worden verplaatst. Door de veerdruk op het membraan te verhogen, stroomt gas door een gekalibreerde opening aan één zijde van het membraan, totdat de druk gelijk is aan de veerdruk. Door de veer dus meer of minder te spannen, kan men de gasdruk regelen. Daarna kan men via een naaldafsluiter de hoeveelheid uitstromend gas regelen tot de gewenste hoeveelheid. Figuur 2.48 toont een voor het lassen veel gebruikt type reduceerventiel met rechts de hoge drukmeter en links de lage drukmeter. Aan de onderzijde (zwart) is de stelschroef voor het instellen van de veerdruk zichtbaar.



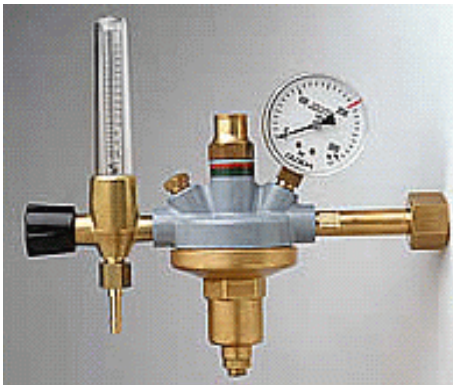
figuur 2.48 Reduceertoestel

### Gasdoorstroommeters

Gasdoorstroommeters (flowmeters), ook wel rotameters genoemd, meten het verbruik van de hoeveelheid beschermgas in liters per minuut. Met gasdoorstroommeters kan nauwkeurig de hoeveelheid beschermgas

worden ingesteld. Er is een aantal typen meters, waarvan de meest bekende zijn de manometer (gasdoorstroommeter met een wijzeraanduiding) en de rotameter (gasdoorstroommeter met een vlotterlichaam, dat zich verplaatst als de hoeveelheid beschermgas verandert).

Als de soortelijke massa van de beschermgassen niet te veel van elkaar verschillen, kan een gasdoorstroommeter voor meerdere beschermgassen worden gebruikt. Als de soortelijke massa echter substantieel verschilt (bijvoorbeeld argon t.o.v. helium), dan moet de gasdoorstroommeter specifiek geschikt zijn voor het te gebruiken beschermgas. Tegenwoordig zijn zowel reduceerventiel als gasdoorstroommeter vaak tot één geheel samengebouwd dit is weergegeven in figuur 2.49.



figuur 2.49 Reduceertoestel met gasdoorstroommeter

Gasdoorstroommeters met een vlotterlichaam moeten altijd verticaal worden opgesteld om enerzijds de meter goed af te kunnen lezen en anderzijds om te voorkomen dat het vlotterlichaam tegen de zijkant van de vlotterbuis rust, waardoor een foutieve aflezing wordt verkregen. Het beschermgas, of beter gezegd de dichtheid van het beschermgas, bepaalt de doorstroming, vandaar dat de schaalverdeling van een gasdoorstroommeter altijd voor één bepaald type beschermgas is bedoeld. Wordt een beschermgas met een andere dichtheid gebruikt, dan zal op de afgelezen hoeveelheid een correctie moeten worden aangebracht. In tabel 2.2 zijn een aantal soortelijke massa's van veelvoorkomende gassen weergegeven.

tabel 2.2 Dichtheid van de verschillende gassen (15°C en 1000 mbar) [66]

Gas	Soortelijke massa in kg/m <sup>3</sup>
Argon	1,669
Helium	0,167
Koolzuur	1,849
Zuurstof	1,337
Waterstof	1,170
Stikstof	0,0841
Lucht	1,21

In tabel 2.3 zijn de verschillende beschermgassen en correctiefactoren weergegeven. Zoals te zien is in deze tabel geldt voor veel beschermgasmengsels dat er nauwelijks een correctie aangebracht hoeft te worden.

Alleen als de soortelijke massa's van de beschermgassen sterk verschillen is dit wel noodzakelijk. In de praktijk geldt dit alleen voor helium en hoog heliumhoudende beschermgasmengsels.

tabel 2.3 Correctiefactoren voor de verschillende beschermgasmengsels [66]

Argon	Helium	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	Correctiefactor
100	-	-	-	-	1
80	-	20	-	-	0,99
85	-	15	-	-	0,99
80	-	15	5	-	1
91	-	5	4	-	1
-	-	100	-	-	0,95
75	25	-	-	-	1,14
50	50	-	-	-	1,35
25	75	-	-	-	1,75
-	100	-	-	-	3,16
95	-	-	-	5	1,03

Uit tabel 2.3 blijkt bijvoorbeeld dat als een argon gasdoorstroommeter wordt gebruikt voor helium beschermgas, er een 3,16 × zo grote gashoeveelheid moet worden ingesteld.

Door storingen of lekkages in de gasketen kan het voorkomen dat er minder gas uit het gasmondstuk stroomt dan de stromingsmeter aangeeft. Handzame gasdoorstroommeters die op het gasmondstuk van de lastoorts kunnen worden geplaatst, maken het mogelijk de werkelijke hoeveelheid uitstromend beschermgas te controleren. Een dergelijke meter is weergegeven in figuur 2.50.



figuur 2.50 Gasdoorstroommeter voor plaatsing op het gasmondstuk van de lastoorts

### Gasklep

Meestal is in de stroombron een elektromagnetisch gestuurde gasklep ingebouwd. Als de lasstroom wordt ingeschakeld door de toortsschakelaar in te drukken, dan wordt de gasklep geopend. Als de toortsschakelaar wordt losgelaten, dan wordt de klep gesloten en is er dus geen beschermgasstroom meer.

Door een tijdrelais in te bouwen kan de gasklep vòòr het starten van de draadaanvoer worden geopend. Hierdoor gaat het beschermgas stromen, voordat de boog ontstoken wordt. Zo kan de gasklep vertraagd sluiten, waardoor de las kan afkoelen in een nastroom van beschermend gas.

Een onderschat probleem bij het MIG lassen is, als de apparatuur over een langere periode niet gebruikt is (bijvoorbeeld nacht of weekend). In dergelijke gevallen kan er altijd via het gasmondstuk vochtige lucht in het slangenpakket komen. Ditzelfde kan ook het geval zijn bij een minder goede kwaliteit van de gaslangen. Langer voorspoelen van het beschermgas (3-5 minuten) is in dit soort situaties wenselijk om een goede laskwaliteit te kunnen waarborgen. Dit is vooral van belang bij metalen die gevoelig zijn voor oxidatie (aluminium).

## 2.6 *Beschermgassen voor het MIG/MAG lassen*

Bij het MIG/MAG lassen kan alleen voldoende bescherming van het smeltbad worden verkregen, als aan de volgende eisen wordt voldaan:

- ▶ toepassing van het juiste beschermgas of beschermgasmengsel;
- ▶ de kwaliteit van het beschermgas moet voldoen aan de door het lasproces gestelde eisen;
- ▶ de hoeveelheid beschermgas moet correct ingesteld zijn.

Om een afdoende bescherming van de las te kunnen waarborgen, is het verder nodig dat aan de volgende aspecten aandacht wordt besteed:

- ▶ gebruik van het juiste slangmateriaal;
- ▶ slangen zo kort mogelijk houden;
- ▶ poreuze slangen vervangen door nieuwe. Hierbij moet ook worden gedacht aan de slangen in het slangenpakket van de toorts;
- ▶ ringgasleidingen zoveel mogelijk uit staal of koper;
- ▶ bij het in bedrijf nemen van een nieuw slangenpakket of leidingsysteem dit gedurende langere tijd doorspoelen.

De juiste keuze van het beschermgas bij het MIG/MAG lassen is belangrijk voor de uiteindelijke kwaliteit van de lasverbinding. Onder kwaliteit kan worden verstaan: het uiterlijk, de geometrie, de mechanische eigenschappen en de chemische samenstelling van de las, het spatgedrag, de afwezigheid van lasfouten, enzovoort. Ook heeft de keuze van het beschermgas invloed op de lassnelheid en/of neersmeltsnelheid evenals op de nabewerking van de las en dus op de economie van het lassen.

Beschermgassen zorgen er in de eerste plaats voor dat de lasdraad, de afgesmolten metaaldruppels en het smeltbad worden afgeschermd tegen de omgevingslucht.

Lucht bestaat voor een groot deel uit zuurstof en stikstof. Het vloeibare lasmetaal moet tegen de invloed van deze gassen worden beschermd, omdat anders de kwaliteit van de lasverbinding onvoldoende zal zijn. Een onvoldoende bescherming van het smeltbad kan resulteren in poreusheid, verbranding van het lasmetaal of er kunnen oxide-insluitels in de las ontstaan. Hiernaast kunnen zowel de mechanische eigenschappen als de corrosievastheid verslechteren door een onvoldoende gasbescherming.

Behalve de hoofdfunctie "beschermen" heeft het beschermgas ook invloed op tal van andere aspecten bij het MIG/MAG lassen, waaronder:

- ▶ de boogvorming;
- ▶ de oppervlaktespanning (druppelovergang, geometrie van de las);

- ▶ de chemische samenstelling van het lasmetaal;
- ▶ de bevochtiging tijdens het lassen;
- ▶ de inbrandingsdiepte;
- ▶ de koeling van de lastoorts;
- ▶ de uitgezonden elektromagnetische straling van de boog (UV, IR);
- ▶ de hoeveelheid emissie en samenstelling van de lasrook.

Beschermgassen voor het MIG/MAG kunnen verdeeld worden in de inerte en de actieve gassen. Beschermgassen zijn actief, als er één of meerdere actieve componenten in voorkomen.

Dit leidt tot de volgende indeling van beschermgassen:

- ▶ inerte beschermgassen en beschermgasmengsels;
- ▶ actieve beschermgassen en beschermgasmengsels.

Een aantal van deze aspecten zal hierna aan de orde komen bij de bespreking van:

- ▶ de beschermfunctie;
- ▶ de ionisatie;
- ▶ type beschermgassen voor het MIG/MAG lassen van verschillende metalen.

### 2.6.1 *De beschermfunctie*

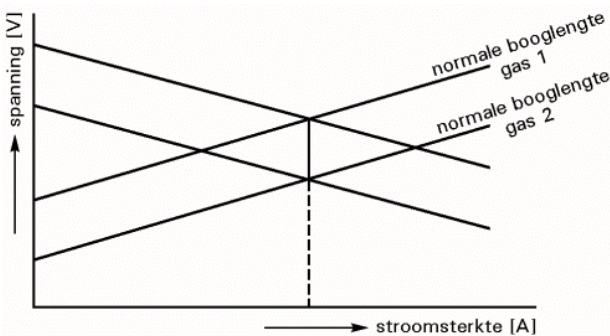
De beschermende functie van het beschermgas kan worden verkregen door de omgevingslucht te verdringen, dit is het geval bij inerte beschermgassen. Inert wil zeggen dat het gas niet met andere stoffen reageert onder de condities van het lasproces. Tot de inerte beschermgassen behoren de voor de lastechniek belangrijke beschermgassen argon en helium. Non-ferro metalen als aluminium, magnesium, koper en hun legeringen worden altijd met een inert beschermgas gelast. Andere gassen kunnen onder bepaalde omstandigheden inert gedrag vertonen. Stikstof gedraagt zich bijvoorbeeld bij niet te hoge temperaturen als inert gas en kan worden gebruikt voor het spoelen van leidingen en pijpen, voordat eraan gelast wordt. Bij de hoge boogtemperaturen is stikstof niet meer inert. Stikstofhoudende gassen worden vooral gebruikt als backinggas en minder als beschermgas.

Een andere manier om een goede gasbescherming te verkrijgen, is door een inert gas te gebruiken met hieraan toegevoegd actieve componenten (menggassen) of een volledig actief gas (bijvoorbeeld CO<sub>2</sub>).

Bij het lassen van on-, laag- en hooggelegeerd staal worden altijd actieve beschermgassen toegepast. Actieve componenten zoals CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> of H<sub>2</sub> of combinaties van deze gassen werken op het smeltbad in, met als doel (onder meer) de oppervlaktespanning te verlagen. Een verlaging van de oppervlaktespanning zorgt ervoor dat de bevochtiging van het lasmetaal, evenals de druppelafplitsing, bevordert worden. Dit is de reden dat staal en roestvast staal met actieve beschermgasmengsels worden gelast, omdat er anders bij deze metalen geen goede aanvloeiing van het lasmetaal mogelijk is, wat zou resulteren in bolle lassen. Een actief beschermgas beïnvloedt dus de grootte van de overgaande metaaldruppels, het type druppelovergang en de geometrie van de las. Actieve beschermgassen zorgen er echter ook voor dat er afbrand van legeringselementen optreedt. Dit kan gecompenseerd worden door legeringselementen met een zekere overmaat aan de lasdraad toe te voegen.

### 2.6.2 Ionisatie

Een boog kan alleen ontstaan en in stand gehouden worden wanneer er ionisatie (geleiding) van het beschermgas optreedt. Er wordt aangenomen dat de stroomoverdracht in de boog voor het grootste deel plaatsvindt via de geïoniseerde metaaldamp in het beschermgas. Het beschermgas heeft ook invloed op de procesparameters en vooral de boogspanning. De boogweerstand (kathode- en anodeval) bepaalt immers samen met de booglengte de boogspanning. De boogspanning kan dus sterk variëren als er onder verschillende beschermgassen wordt gelast. Dit is schematisch weergegeven in figuur 2.51.



figuur 2.51 Instellingen van de werkpunten bij toepassing van twee verschillende beschermgassen [62]

In figuur 2.51 is te zien dat onder beschermgas 1 een hogere boogspanning wordt verkregen dan onder beschermgas 2; de booglengte is uiteraard gelijk gehouden. Door de hogere boogspanning is het boogvermogen onder beschermgas 1 dus ook groter dan dat onder beschermgas 2.

Dit heeft enerzijds invloed op de hoeveelheid warmte die in het werkstuk wordt ingebracht en dus op de materiaalkundige eigenschappen van de verbinding en anderzijds op de economie van het lassen (lassnelheid).

CO<sub>2</sub> beschermgas heeft bijvoorbeeld een boogspanning die 3 à 4 volt hoger is dan die onder argon beschermgas (onder dezelfde condities). Ook helium en helium houdende beschermgassen geven een aanzienlijk hogere boogspanning (30 tot 70%) ten opzichte van argon, waardoor er sneller gelast kan worden of er bij gelijke lassnelheid een grotere inbrandingsdiepte wordt verkregen.

### 2.6.3 Inerte beschermgassen en hun mengsels

In de praktijk worden de inerte gassen argon en helium of hun mengsels bij het MIG lassen vrijwel alleen gebruikt voor het lassen van non-ferro metalen met als belangrijkste representant aluminium en aluminiumlegeringen.

#### Argon

Argon heeft een grotere soortelijke massa dan lucht en kan relatief gemakkelijk elektrisch geleidend (geïoniseerd) worden. Hierdoor geeft argon een stabiele boog en een goede gasbescherming gecombineerd met een relatief laag gasverbruik. Onder argon beschermgas wordt met een lagere boogspanning gelast dan onder helium beschermgas. De ontwikkelde boogenergie is dus ook lager. De boog is stabiel en rustig. Argon is

een slechte warmtegeleider, waardoor de warmte geconcentreerd wordt in het midden van de boog. Dit, en het type materiaalovergang (kleine druppels met hoge snelheid) dragen bij tot de, voor het MIG lassen onder argon beschermgas, zo karakteristieke vingervormige inbranding bij het openboog lassen. Het grootste toepassingsgebied voor argon beschermgas is het MIG lassen van aluminium en zijn legeringen. Daarnaast wordt argon beschermgas gebruikt bij het MIG lassen van koper, nikkel, titaan, magnesium en hun legeringen. Voor het lassen van staal en roestvast staal wordt zuiver argon niet toegepast. Daar wordt gebruik gemaakt van argon gasmengsels, meestal met toevoeging van O<sub>2</sub> of CO<sub>2</sub> of beiden. Voor austenitisch RVS worden vaak argon-waterstof gasmengsels toegepast. De hoge oppervlaktespanning van de metaaldruppels geeft, bij gebruik van argon beschermgas, meestal een onrustige druppelafplitsing, waardoor een hoog spatverlies en bolle lasrupsen ontstaan. Bij O<sub>2</sub> of CO<sub>2</sub> houdende menggassen wordt een veel rustiger druppelafplitsing verkregen door een verlaging van de oppervlaktespanning.

#### Helium

Helium heeft een lage soortelijke massa (circa 10 × lichter dan argon), waardoor het noodzakelijk is een grotere hoeveelheid beschermgas te gebruiken dan bij het lassen onder argon beschermgas. Door de lage soortelijke massa is helium beschermgas gevoeliger voor tocht dan argon. De boog ontsteekt moeilijker onder helium beschermgas en is minder stabiel. Zuiver helium is evenmin als zuiver argon geschikt voor het lassen van staal en roestvast staal, doordat er geen componenten aanwezig zijn die de oppervlaktespanning van het lasbad en de overgaande metaaldruppels verlagen. Een belangrijk voordeel van helium beschermgas is, dat er bij gelijke booglengte een aanzienlijk hogere boogspanning (en dus boogenergie) wordt verkregen dan onder argon beschermgas. De hogere boogenergie compenseert voor een deel de slechtere aanvoeding tengevolge van de hoge oppervlaktespanning en zorgt ervoor dat de lassen breder uitvloeien en breder en dieper inbranden dan onder argon beschermgas. Als gevolg hiervan neemt de kans op bindingsfouten op de flanken van de lasnaad af. Het hogere boogvermogen maakt helium beschermgas geschikt voor het zonder voorwarmen lassen van (aluminium en koperen) producten in grotere materiaaldikten. Een ander voordeel van helium is, dat er grovere druppels worden gevormd, waardoor de vingervormige inbranding niet optreedt. Een heliumboog is door het hogere warmtegeleidingsvermogen ook breder dan een argonboog. Het gevolg daarvan is een breder lasbad.

#### Inerte beschermgasmengsels (argon-helium)

Bij materialen met een goede warmtegeleiding, zoals aluminium en koper, zal bij toenemende materiaaldikte de warmte zo snel wegvloeien, dat er in de argonboog te weinig warmte ontwikkeld kan worden voor een goede inbranding. Dit heeft geleid tot het gebruik van argon-helium beschermgasmengsels. De eigenschappen van deze beschermgasmengsels worden bepaald door de percentages van de afzonderlijke componenten die zich in het beschermgas bevinden. Mengverhoudingen, waarbij méér dan 75% van één van de componenten aanwezig is, komen bij inerte beschermgassen niet voor, omdat het beschermgas zich dan gedraagt naar de hoogst aanwezige component. Bij be-

schermgasmengsels met een hoger helium percentage dan 50% wordt het openboog lassen met de hand moeilijk, omdat het smeltbad dan moeilijk onder controle is te houden. Bij kleinere materiaaldikten kunnen de lassnelheden bij hoog-heliumhoudende beschermgasmengsels zo hoog worden, dat een handlasser dit niet meer kan realiseren; er kan dan beter gemechaniseerd worden gelast.

#### 2.6.4 Actieve beschermgassen en hun mengsels

CO<sub>2</sub> is het enige actieve beschermgas dat ook ongemengd kan worden toegepast. CO<sub>2</sub> beschermgas is indertijd geïntroduceerd om het MAG lassen voor ongelegeerd staal mogelijk te maken. Inmiddels is, binnen Europa, CO<sub>2</sub> beschermgas door het gebruik van menggassen voor een groot deel verdrongen. Buiten Europa, bijvoorbeeld in Japan, wordt nog wel veel CO<sub>2</sub> als beschermgas gebruikt, meestal in combinatie met het gebruik van gevulde lasdraden.

##### CO<sub>2</sub> beschermgas

CO<sub>2</sub> heeft een aantal gunstige eigenschappen, waardoor het als beschermgas bij het MAG lassen kan worden gebruikt. Deze zijn:

- ▶ De boogspanning bij het lassen onder CO<sub>2</sub> beschermgas is 3 à 4 volt hoger dan bij het lassen onder argon beschermgas. Hierdoor wordt onder CO<sub>2</sub> beschermgas meer boogenergie verkregen dan bij het lassen onder menggassen.
- ▶ Bij gebruik van CO<sub>2</sub> worden de lastoorts en gascup sterker gekoeld. De lastoorts is daardoor bij CO<sub>2</sub> hoger belastbaar dan onder argonrijke menggassen.
- ▶ CO<sub>2</sub> beschermgas is minder gevoelig voor (beperkt) geoxideerd uitgangsmateriaal.

De grotere boogenergie wordt niet alleen veroorzaakt door de al eerder genoemde hogere boogspanning, maar laat zich tevens als volgt verklaren. De CO<sub>2</sub> in de boog zal als gevolg van de hoge boogtemperatuur dissociëren (= uiteenvallen). De moleculen splitsen zich in CO + O, waarvoor warmte nodig is. Deze warmte wordt aan de boog onttrokken. Op het werkstuk vindt een omgekeerde reactie plaats en wordt uit CO + O weer CO<sub>2</sub> gevormd. De hierbij vrijkomende warmte wordt aan het smeltbad afgegeven. Dit geeft in combinatie met de hogere lassing een dunvloeibaar smeltbad, een brede inbranding en een goede ontgassing van het smeltbad. Als voordeel van het lassen onder CO<sub>2</sub> beschermgas kan nog worden genoemd, dat het lassen met dit gas beter geschikt is voor gebruik van (beperkt) vervuilde plaat (roest). Hoewel de algemeen regel voor het lassen altijd is, dat het te lassen materiaal altijd zo schoon mogelijk moet zijn.

Daar er aan het gebruik van CO<sub>2</sub> ook nadelen zijn verbonden, zoals een grove druppelovergang en tengevolge hiervan een ruwer lasuiterlijk evenals een groot spatverlies, wordt CO<sub>2</sub> tegenwoordig vrijwel uitsluitend als toevoeging aan argon (menggassen) gebruikt.

Een andere beperking van het MAG lassen onder CO<sub>2</sub> beschermgas is, dat er bij hoge stroomsterkten een eigenaardig gevormde druppel (Engels: repelled transfer) aan het uiteinde van de lasdraad wordt gevormd, die het volledig openbooglassen onmogelijk maakt.

CO<sub>2</sub> beschermgas wordt toegepast voor het MAG lassen van ongelegeerd staal, maar geeft dan een spatverlies in de orde van 10 à 15%, waardoor het procesrendement laag is. CO<sub>2</sub> beschermgas is alleen maar

geschikt voor het kortsluitlassen met stroomsterkten onder de circa 220 ampère. CO<sub>2</sub> beschermgas kan niet worden gebruikt voor het lassen van roestvast staal, omdat bij het gebruik hiervan door opkoling de corrosievastheid wordt verlaagd. Als toevoeging aan het beschermgas wordt CO<sub>2</sub> bij het lassen van roestvast staal gebruikt in maximum percentages van 3%. CO<sub>2</sub> beschermgas kan ook worden gebruikt bij het lassen met sommige gevulde lasdraden. Er kan dan met een openboog worden gelast. Het gedrag van de boog blijft echter onrustig met relatief veel spatverlies.

##### Actieve beschermgasmengsels

Om de bevochtiging en hiermee de aanvloeiing van de lassen bij het MAG lassen te verbeteren, worden actieve componenten aan het beschermgas toegevoegd. De toevoeging van geringe percentages zuurstof aan argon verlaagt de oppervlaktespanning sterk, waardoor een betere bevochtiging wordt verkregen, er fijne druppels worden gevormd en de overgang van het kortsluitbooglassen naar het sproei-booglassen (transitiepunt) bij een lagere stroom en spanning komt te liggen. Dit verschijnsel treedt op bij alle ferro-metalen. Ook het toevoegen van CO<sub>2</sub> aan argon geeft een verlaging van de oppervlaktespanning, zij het bij hogere percentages CO<sub>2</sub> dan zuurstof. Dit wordt veroorzaakt, doordat bij het lassen onder CO<sub>2</sub> houdende beschermgassen er eveneens vrije zuurstof in de boog ontstaat door de dissociatie van het CO<sub>2</sub> (C + O<sub>2</sub>). Uiteraard is het ook mogelijk combinaties van CO<sub>2</sub> en O<sub>2</sub> toe te voegen aan argon.

De keuze van het lastoevoegmateriaal wordt mede bepaald door de oxidatiegraad van het beschermgas. De oxidatiegraad van 10% CO<sub>2</sub> komt ongeveer overeen met 1% O<sub>2</sub>.

De oxidatiegevoeligheid van het moedermateriaal bepaalt de maximale toelaatbare hoeveelheid actieve componenten in het beschermgas. Roestvast staal is bijvoorbeeld gevoeliger voor oxidatie dan ongelegeerd staal. Beschermgassen voor roestvast staal bevatten dan ook lagere percentages actieve componenten.

Een verlaging van de oppervlaktespanning heeft invloed op de druppelovergang en het spatgedrag evenals op het uiterlijk van de las. De oppervlaktespanning is echter ook van invloed op de mogelijkheid om in positie te kunnen lassen. Hoe dunner vloeibaar het smeltbad, des te moeilijker zal er in positie gelast kunnen worden.

#### 2.6.5 Beschermgassen voor het lassen van staal

Voor het lassen van staal zijn de voordelen van menggassen overtuigend. Het meest in het oog lopend is het veel gunstiger spatgedrag van menggassen ten opzichte van het gebruik van CO<sub>2</sub>. De kortsluitfrequentie bij gebruik van een menggas ligt eveneens hoger, waardoor een stabielere boog wordt verkregen. De kortsluitfrequentie blijkt onder menggas ook nog minder gevoelig te zijn voor variaties in de uitsteeklengte dan onder CO<sub>2</sub> beschermgas. De boogspanning is bij het lassen onder menggassen iets lager dan bij het lassen onder CO<sub>2</sub> beschermgas, waardoor de inbranding iets minder diep is. Tabel 2.4 geeft een aantal veel gebruikte beschermgasmengsels voor het lassen van ongelegeerd en laaggelegeerd staal met hun bijzonderheden.

tabel 2.4 Samenvatting van beschermgassen voor het MIG/MAG lassen van verschillende materialen [66]

materiaal	%Ar	%CO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>	%H <sub>2</sub>	%He	toepassing en/of laseigenschappen
on- en laaggelegeerd staal	-	100	-	-	-	kortsluitbooglassen, niet geschikt voor het pulsbooglassen
	91	8	1	-	-	weinig spatten, hoge lassnelheid, ook pulsbooglassen
	91	5	4	-	-	weinig spatten, hoge lassnelheid, pas op voor bindingsfouten, ook pulsbooglassen, lassen in positie moeilijk
	92	8	-	-	-	weinig spatten, gunstige inbrandingsvorm, pulsbooglassen
	80	15	5	-	-	onder de hand lassen, dun vloeibaar smeltbad, lassen in positie moeilijk
	79	20	1	-	-	fraaie sproeihoog, goede inbranding
	80	20	-	-	-	goede lasbaarheid, algemeen gebruik
	85	15	-	-	-	goede lasbaarheid, algemeen gebruik
roestvast staal	98	-	-	2	-	goede lasbaarheid
	95	-	-	5	-	iets ingesnoerde boog, goede penetratie
	98-99	-	1-2	-	-	goede lasbaarheid
	98	2	-	-	-	mooie aanvloeiing, pulsbooglassen
	96	3	-	1	-	goede lasbaarheid, iets ingesnoerde boog, pulsbooglassen
aluminium en aluminiumlegeringen	100	-	-	-	-	goede lasbaarheid; algemeen gebruik, goede reinigende werking
	70-75	-	-	-	25-30	goede lasbaarheid, grotere materiaaldikten
	50	-	-	-	50	diepe penetratie, grotere materiaaldikten
	25-30	-	-	-	70-75	zeer felle boog; zeer diepe penetratie, gemechaniseerd lassen
nikkel, koper en hun legeringen	100	-	-	-	-	goed lasbaar, algemeen gebruik
	70	-	-	-	30	warme boog, goed lasbaar, grotere materiaaldikten
titaan, tantaal, zirkoon	100	-	-	-	-	vereist zeer goede gasbescherming, liefst in couveuse lassen
koper en koperlegeringen	100					algemeen gebruik, dunne materialen
	0-50				50-100	grotere materiaaldikten

Voor het lassen van ongelegeerd en laaggelegeerd staal zijn argon + 20% CO<sub>2</sub> en argon + 15% CO<sub>2</sub> de meest bekende 'klassieke' samenstellingen. Beschermgassen van argon met méér dan 30% CO<sub>2</sub> hebben geen zin; daar de boog zich dan als een CO<sub>2</sub> boog gedraagt. Argon + 20% CO<sub>2</sub> beschermgas geeft een wat diepere inbranding en is daarom meer geschikt voor de dikkere materialen. Argon + 15% CO<sub>2</sub> beschermgas kan zowel worden toegepast voor het kortsluitbooglassen, als het open booglassen. Naarmate het zuurstofgehalte in het beschermgas toeneemt, neemt ook de vloeibaarheid van het smeltbad toe. Het lassen in positie wordt dan lastiger en vergt een grotere concentratie van de lasser. Moderne beschermgasmengsel bestaat uit lagere CO<sub>2</sub> percentages (5 tot 10%) in combinatie met een hoger zuurstofgehalte (1 tot 5%).

Naast de traditionele beschermgasmengsels levert elke leverancier zijn eigen specifieke beschermgassen. Het is aan de gebruiker om het beschermgasmengsel te kiezen dat het meest geschikt is voor zijn toepassing.

### 2.6.6 Beschermgassen voor het lassen van hooggelegeerde staalsoorten

Corrosie, hittebestendige en roestvaste staalsoorten zijn gevoelig voor de inwerking van zuurstof. Zoals al eerder bleek, hebben toevoegingen van kleine hoeveelheden zuurstof of CO<sub>2</sub> gunstige effecten op de oppervlaktespanning waardoor er fijnere metaaldruppels worden gevormd, er minder spatverlies optreedt en er een veel betere bevochtiging van het materiaal wordt verkregen.

Voor het open booglassen van hooggelegeerde staalsoorten kunnen beschermgasmengsels van argon met

1 tot maximaal 3% O<sub>2</sub> worden gebruikt. Voor het lassen in positie zijn hoog zuurstofhoudende beschermgasmengsels minder geschikt vanwege het dunvloeibare smeltbad. Er kan dan beter voor een beschermgasmengsel van 98% argon met 2% CO<sub>2</sub> worden gekozen. Als bij het MAG lassen een hetero boog gewenst is, kan bijvoorbeeld waterstof worden toegevoegd aan het beschermgas. Dat heeft geleid tot mengsels met een samenstelling van Ar + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> zoals 96% Ar + 3% CO<sub>2</sub> + 1% H<sub>2</sub>. In dit soort mengsels werkt de waterstof reducerend, waardoor verkleuring van de lassen wordt beperkt met als bijkomend voordeel dat er een iets hogere boogspanning wordt verkregen. Hogere percentages waterstof dan 1% worden niet toegevoegd aan het beschermgas in verband met de kans op koudscheuren in daartoe gevoelige staalsoorten. Tabel 2.4 geeft een aantal veel gebruikte beschermgasmengsels voor het lassen van hooggelegeerde staalsoorten.

Er is een Europese norm beschikbaar (EN 439<sup>1)</sup>) waarin de verschillende beschermgassen zijn ingedeeld naar hun oxidatiegraad (zie tabel 2.5). Van boven naar beneden in de tabel worden de beschermgassen en hun mengsels steeds actiever.

### 2.6.7 Beschermgassen voor het lassen van aluminium en zijn legeringen

Het MIG lassen van aluminium en zijn legeringen wordt in de regel uitgevoerd onder argon beschermgas. Argon heeft ten opzichte van lucht een grotere soortelijke massa. Hierdoor wordt een uitstekende gasbescherming verkregen. De relatief zware argon-ionen zorgen voor een goede reinigende werking (verwijderen van

1) De EN 439 wordt vervangen door de EN ISO 14175, welke meer detaillering kent.



tabel 2.5 Indeling van beschermgassen volgens de EN 439 op basis van hun oxiderend vermogen [56]

aanduiding <sup>*)</sup>		componenten in volumeprocent						typische toepassing	opmerkingen
groep	identificatie-nummer	oxiderend		inert		reducerend	laag reactief		
		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	He	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>		
R	1			rest <sup>**)</sup>		>0 - 15		TIG, plasmalassen, plasmasnijden, gasbacking	reducerend
	2			rest <sup>**)</sup>		>15 - 35			
I	1			100				MIG, TIG, plasmalassen, gasbacking	inert
	2				100				
	3			rest	>0 - 95				
M1	1	>0 - 5		rest <sup>**)</sup>		>0 - 5		MAG	licht oxiderend ↑ ↓ sterk oxiderend
	2	>0 - 5		rest <sup>**)</sup>					
	3		>0 - 3	rest <sup>**)</sup>					
	4	>0 - 5	>0 - 3	rest <sup>**)</sup>					
M2	1	>5 - 25		rest <sup>**)</sup>					
	2		>3 - 10	rest <sup>**)</sup>					
	3	>0 - 5	>3 - 10	rest <sup>**)</sup>					
	4	>5 - 25	>0 - 8	rest <sup>**)</sup>					
M3	1	>25 - 50		rest <sup>**)</sup>					
	2		>10 - 15	rest <sup>**)</sup>					
	3	>5 - 50	>8 - 15	rest <sup>**)</sup>					
C	1	100							
	2	rest	>0 - 30						
F	1						100	plasmasnijden, gasbacking	laagreactief
	2					>0 - 50	rest		reducerend

<sup>\*)</sup> Indien niet vermelde componenten bij een van de aangegeven groepen in de tabel wordt toegevoegd, moet het mengsel als een speciaal gasmengsel met het voorvoegsel 5 worden aangeduid.  
<sup>\*\*)</sup> Argon mag tot 95% door helium worden vervangen.

de oxidehuid) bij het lassen van aluminium en zijn legeringen.

Als er grotere materiaaldikten moeten worden gelast, kan het zinvol zijn om helium aan het beschermgas toe te voegen om de boogenergie te vergroten als alternatief voor het voorwarmen van het materiaal. Uit economisch oogpunt kan de toevoeging van helium aan het beschermgas eveneens gunstig zijn (hogere lassnelheden). Hierbij moeten de meerkosten van het helium worden afgewogen tegen de hogere lassnelheden die kunnen worden bereikt. Naarmate het helium aandeel in het beschermgas groter wordt, wordt de beheersbaarheid van het smeltbad en dus het kunnen lassen in positie lastiger. De reinigende werking van de boog wordt ook minder naarmate het helium aandeel in het beschermgas toeneemt.

### 2.6.8 Backinggassen

Bij het MAG lassen van hooggelegeerde staalsoorten, koper, nikkel en zijn legeringen en titaan moet de achterzijde van de las worden beschermd, omdat deze anders verbrandt. Een doorlassing die verbrand is resulteert in een sterkte teruggang van de corrosiebestendigheid van de las.

Argon kan voor alle materialen als backinggas worden toegepast. Voor het lassen van roestvast staal wordt echter de voorkeur gegeven aan het goedkopere formegras dat uit stikstof en 5 tot 10% waterstof bestaat. Bij enkele roestvaste staalsoorten en bij het lassen van koper en koper-nikkellegeringen mag uitsluitend argon worden gebruikt. Bij het lassen van alumi-

nium en zijn legeringen hoeft geen backinggas te worden gebruikt, daar er aan de lucht onmiddellijk een oxidehuid wordt gevormd.

Er moet op worden gelet, dat het backinggas zich niet via de lasnaad vermengt met het beschermgas, aangezien dit poreusheid in de las tot gevolg kan hebben. Dit kan worden voorkomen door de hoeveelheid backinggas veel lager in te stellen (wat gebruikelijk is) dan de hoeveelheid beschermgas. De duur van het spoelen wordt bepaald door twee factoren, te weten de grootte en vorm van de te spoelen ruimte en de stroomsnelheid van het backinggas. Als vuistregel voor de spoeltijden wordt wel aangehouden: circa 5 × het volume van de te spoelen ruimte. Met andere woorden als de te spoelen ruimte 10 liter bedraagt en er wordt gespoeld met een gasstroom van 5 liter per minuut, dan moet er 10 minuten worden gespoeld. Tijdens het lassen moet men doorgaan met het toevoegen van backinggas. Doordat backinggassystemen zijn voorzien van één of meerdere uitstroomopeningen, heeft men bij het sluiten van de lasnaad geen drukopbouw. Het spoelen moet ook worden voortgezet tijdens het lassen van de (eerste) opeenvolgende vollagen. De doorlassing kan immers nog oxideren. Na het lassen moet men blijven spoelen tot de las is afgekoeld tot onder de 250°C.

### 2.7 Lastoevoegmaterialen

Het lastoevoegmateriaal is een wezenlijk onderdeel van het MIG/MAG lassen. Dit komt mede doordat de lasdraad stroomvoerend is, wat wil zeggen dat, als de

stroomoverdracht niet goed is, dit direct zijn weerslag heeft op de stabiliteit van het lasproces. Hiernaast draagt het lastoevoegmateriaal in belangrijke mate bij aan de kwaliteit van en in het bijzonder de mechanische eigenschappen van de lasverbinding. Dit is de reden dat er hoge eisen moeten worden gesteld aan de kwaliteit van het lastoevoegmateriaal. Dit begint al bij de productie van het lastoevoegmateriaal. Eisen die vanuit de productie minimaal aan lastoevoegmateriaal moeten worden gesteld betreffen:

- ▶ de lasdraad moet zuiver rond zijn;
- ▶ de draaddiameter moet binnen bepaalde grenzen liggen;
- ▶ het draadoppervlak moet glad zijn en vrij van oxides, vet en vuil;
- ▶ de lasdraad moet zijn voorzien van een corrosievast laagje ter voorkoming van corroderen en ter verbetering van de stroomgeleiding;
- ▶ de lasdraad moet zorgvuldig zijn gewikkeld (geen knikken).

Om de lasdraad te beschermen tegen oxidatie is het oppervlak meestal voorbehandeld of voorzien van een corrosiewerende laag.

Het aanbrengen van een corrosiewerende laag kan op verschillende manieren worden bereikt. De meest bekende en gebruikte manier is het aanbrengen van een dun laagje koper. Dit moet met grote nauwkeurigheid gebeuren. Een slecht verkoperde lasdraad kan voor vervuiling van de draadgeleider (liner) en contactbuis zorgen en hierdoor juist extra draaddoorvoerproblemen veroorzaken. Soms worden er smeermiddelen, bijvoorbeeld suspensies van grafiet, op het oppervlak van de lasdraad aangebracht. Maar ook hiermee kan het middel erger zijn dan de kwaal en voor vervuiling van het draaddoorvoersysteem zorgen.

Algemene regels voor de oppervlaktegesteldheid van de lasdraad zijn er niet te geven, behalve de volgende kernwoorden: glad, schoon en bij verkoperde lasdraad  $Cu < 0,1\%$ . Verschillende fabrikanten brengen al langere tijd uitvoeringen van lasdraad op de markt die aan de buitenzijde niet zijn verkoperd, waaronder:

- ▶ blanke lasdraad;
- ▶ vernikkelde lasdraad;
- ▶ geoxideerde lasdraad.

Blanke lasdraad wordt soms voorzien van een dunne siliconenfilm voor betere smeereigenschappen. Tegen het vernikkelen van de lasdraad is uit oogpunt van lasbaarheid en metallurgische eigenschappen van het lasmetaal meestal geen bezwaar omdat het een zeer dunne laag betreft. Het aanbrengen van een kunstmatige oxidehuid blijkt eveneens een goed alternatief. Een voorwaarde is dat de oxidehuid tijdens het fabricageproces zodanig wordt gevormd, dat de zuurstof die het oxide bevat, te gering is om invloed op het lasbad uit te oefenen.

Naast de productietechnische aspecten is het uiter-aard van belang dat de chemische samenstelling van de lasdraad is afgestemd op het te lassen metaal. Hierbij is de algemene vuistregel bij het MIG/MAG lassen, dat het lastoevoegmateriaal qua chemische samenstelling en materiaaleigenschappen zoveel mogelijk overeen moet komen met het te lassen basismateriaal. Hierop zijn echter vele uitzonderingen, dus is er voorzichtigheid bij de selectie van een lastoevoegmateriaal geboden.

Lastoevoegmaterialen voor het MIG/MAG lassen kun-

nen in twee groepen worden ingedeeld:

- ▶ massieve lasdraden;
- ▶ gevulde lasdraden.

Voor het MIG lassen zijn alleen massieve lasdraden beschikbaar, terwijl voor het MAG lassen massieve en gevulde lasdraden beschikbaar zijn. Gevulde lasdraden kunnen in twee onderdelen worden gesplitst namelijk gevulde lasdraden die onder een beschermgas worden verlast en gevulde lasdraden die geen beschermgas nodig hebben. Deze laatste groep gevulde lasdraden worden ook wel "gasloze draden" genoemd.

### 2.7.1 Massieve lasdraden

Leveranciers van lastoevoegmaterialen hebben voor het lassen van vrijwel alle metalen, massieve lasdraden ontwikkeld. In massieve lasdraden zijn de oxidatiegevoelige elementen met een nauwkeurig vastgestelde overmaat aanwezig om afbrand te kunnen compenseren. Voor massieve lastoevoegmaterialen is een verdere aanpassing niet mogelijk en in veel gevallen ook niet nodig. Aanpassing aan laspositie, lasnaadvorm en materiaaldikte wordt gevonden in de procesparameters in combinatie met de diameter van het lastoevoegmateriaal. Dit houdt in, dat als het te lassen materiaal bekend is, de keuze van de toe te passen (massieve) lastoevoegmateriaal over het algemeen beperkt is.

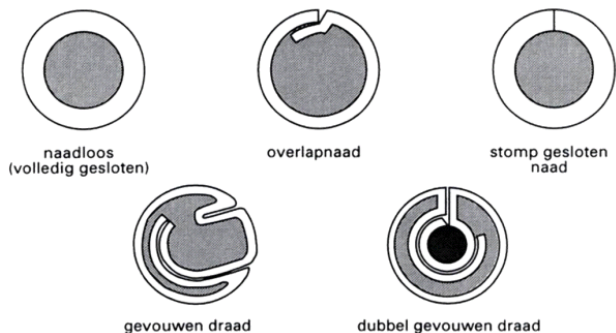
### 2.7.2 Gevulde lasdraden

Onder een gevulde lasdraad wordt verstaan een holle lasdraad die gevuld is met laspoeder. Het laspoeder is te vergelijken met de bekleding van een beklede elektrode zonder de vul- en bindmiddelen van die bekleding. De gevulde lasdraad wordt (meestal) onder een gasbescherming verlast. De vulling van de lasdraad kan tot doel hebben:

- ▶ het smeltbad te desoxideren;
- ▶ een beschermend slaklaagje aan te brengen;
- ▶ de lasboog te stabiliseren;
- ▶ legeringselementen toe te voegen;
- ▶ de neersmeltsnelheid te verhogen;
- ▶ de lassnelheid te verhogen;
- ▶ de mechanische eigenschappen van de las te verbeteren.

In veel gevallen is het de combinatie van een aantal van deze factoren die het lassen met gevulde draden economisch verantwoord en technisch aantrekkelijk maakt.

De buisvormige lasdraad kan een gelaste naadloze buis of een dichtgevouwen niet gelaste buis zijn. In figuur 2.52 zijn enkele voorbeelden gegeven van doorsneden van gevulde lasdraden.



figuur 2.52 Doorsneden van enkele types gevulde lasdraad [58]

Gevulde lasdraden voor het MAG lassen worden het meest gebruikt in de volgende diameters: 0,8, 1,0; 1,2; 1,4; 1,6 en 2,0 mm, waarbij de meest toegepaste diameters zijn 1,2, 1,4 en 1,6 mm.

Gevulde lasdraden, die worden verlast onder beschermgas zijn in drie groepen te verdelen n.l.:

► *Rutiel gevulde lasdraden*

Deze hebben laseigenschappen die vergelijkbaar zijn met rutiel elektroden. In deze groep wordt onderscheid gemaakt in snelstollende types (P), geschikt voor het lassen in alle posities en langzaam stollende types (R).

Moderne rutiel gevulde lasdraden zijn de zogenaamde microgelegeerde lasdraden met als belangrijkste verbetering een verbeterde kerftaaiheid van het lasmetaal.

► *Basische gevulde lasdraden*

Deze lasdraden hebben het karakter en de eigenschappen die vergelijkbaar zijn met een basische elektrode.

► *Metaalpoeder gevulde lasdraden*

Dit is een gevulde lasdraad met zeer weinig slak, die vooral wordt gebruikt voor het gemechaniseerd lassen (robots) vanwege het feit dat de slak voor het leggen van opvolgende lagen niet verwijderd hoeft te worden. Hiernaast wordt een hogere neersmelt verkregen ten opzichte van de massieve lasdraad.

### 2.7.2.1 *Rutiel gevulde lasdraden*

Qua toepassing zijn er geen grote verschillen tussen het lasmetaal van een rutiel gevulde lasdraad en een rutiel elektrode. De rutiel gevulde lasdraden hebben dezelfde karakteristieke eigenschappen, waaronder een gelijkmatige tekening, een uitstekende aanvloeiing van het lasbad en een voortreffelijke slaklossing. Afhankelijk van de chemische samenstelling van de vulling, het toegepaste beschermgas, de warmte-inbreng en de opmenging met het basismateriaal, kunnen de eigenschappen van het lasmetaal iets variëren. De lasbaarheid van een rutiel gevulde lasdraad is in vergelijking met een basische gevulde lasdraad aanmerkelijk beter. Om deze reden kiest de industrie veelal voor een rutiel gevulde lasdraad. Het lassen met rutiel gevulde lasdraden geeft evenals het lassen met rutiel beklede elektroden een lasmetaal met een hoger waterstofgehalte dan bij het lassen met basisch gevulde lasdraden [59]. Bij het lassen van stalen die gevoelig zijn voor koudscheuren tengevolge van de aanwezigheid van waterstof in het lasmetaal, is het om deze reden verstandig om voorzichtig te zijn met het gebruik van rutiel gevulde lasdraden.

Rutiel gevulde lasdraden kunnen moeilijk in het kortsluitbooggebied worden verlast, waardoor een vrije doorlassing in de praktijk lastig te maken is.

Slechts in situaties waar de toegevoerde warmte snel door het basismateriaal kan worden opgenomen (K- en X-naden), is een dergelijke vrije doorlassing, afhankelijk van de laspositie, wel mogelijk. Het maken van een doorlassing op een keramische lasbadondersteuning is met een rutiel gevulde lasdraad zeer goed uitvoerbaar.

Doordat de (snelstollende) slak het vloeibare lasmetaal goed ondersteunt, is in de verticaal opgaande positie een relatief hoge stroomsterkte toepasbaar (tot circa 225 A).

Een belangrijke toepassing van rutiel gevulde lasdraden is het maken van hoeklassen in alle posities. Vooral in

de verticaal opgaande positie (PF) kan de rutiel gevulde lasdraad uitstekend worden gebruikt, omdat, door de hoge stroomsterkte waarmee kan worden gelast, de laskosten laag zijn.

De weerstand tegen brosse breuk van het, met een rutiel gevulde lasdraad, neergesmolten lasmetaal hangt in sterke mate af van het type lasdraad dat wordt gebruikt. Naast de conventionele rutiel gevulde lasdraden zijn er ook de microgelegeerde rutiel gevulde lasdraden.

### 2.7.2.2 *Micro gelegeerde rutiel lasdraden*

De keuze voor rutiel gevulde lasdraden betekende vroeger altijd een keuze voor uitstekende laseigenschappen en gemiddelde mechanische eigenschappen. De beperkte mechanische eigenschappen kwamen tot uitdrukking in een lage kerftaaiheid bij temperaturen beneden het nulpunt. De groep microgelegeerde rutiel gevulde lasdraden, onderscheidt zich door een uitstekende kerftaaiheid bij lage temperaturen, en een goede lasbaarheid in alle posities. Als belangrijkste microlegeringselementen worden aan rutiel gevulde lasdraden borium en titaan toegevoegd. Deze elementen zorgen voor een fijnere korrelgrootte wat de mechanische eigenschappen en vooral de taaiheid van het lasmetaal ten goede komen. Met microgelegeerde lasdraden gelaste constructies kunnen ook goede CTOD waarden worden bereikt [59]. Dit is vooral belangrijk voor offshore toepassingen. Indien de lasverbinding spanningsarm moet worden gegloeid en er Charpy-V en/of CTOD eisen aan de lasverbinding worden gesteld, is het niet altijd aan te bevelen microgelegeerde rutiel gevulde lasdraden te gebruiken, omdat na de spanningsarm gloeibehandeling de Charpy-V kerfslagwaarden en met name de CTOD waarden sterk kunnen dalen.

### 2.7.2.3 *Basisch gevulde lasdraden*

Basisch gevulde lasdraden hebben slakvormende bestanddelen in de vulling met een basisch karakter, zoals carbonaten en fluoriden. Samen met de aan de lasdraad toegevoegde desoxidanten leidt de basische slak tot een laag zuurstofgehalte van het lasmetaal. Ten opzichte van de rutiel gevulde lasdraad heeft een basisch gevulde lasdraad een minder gunstige aanvloeiing. Typische kenmerken van de basisch gevulde lasdraad zijn het ontstaan van een matbruine, dun vloeibare slak en een wat ruw en bol (convex) uiterlijk van de lasrups. Met alle basisch gevulde lasdraden worden uitstekende kerftaaiheidswaarden verkregen, zelfs bij lage gebruikstemperaturen. De lasbaarheid van basisch gevulde lasdraden is echter minder goed dan die van de rutiel gevulde lasdraden. De druppelovergang is grover en de hoeveelheid spatten is groter. Het lassen in positie is goed mogelijk wanneer menggas wordt toegepast. Basische gevulde lasdraden kunnen in het kortsluitbooggebied worden verlast, waardoor een vrije doorlassing mogelijk is. In de verticaal opgaande positie is de basisch gevulde lasdraad ten opzichte van de rutiel gevulde lasdraad slechts toepasbaar bij relatief lagere stroomsterkten (tot circa 180 A). Dit wordt veroorzaakt door de geringere hoeveelheid slak, die het lasmetaal in mindere mate ondersteunt.

Basische gevulde lasdraden staan bekend om de goede mechanische eigenschappen van het lasmetaal. Ze worden dan ook voornamelijk toegepast voor het lassen van stompe naden waarbij hoge eisen worden gesteld aan bijvoorbeeld [59]:

- de kerftaaiheidseigenschappen van het lasmetaal;

- ▶ een hoge ductiliteit (opvangen van de krimp) van het lasmetaal;
- ▶ de eerste laag in naden, waarbij de (krimp)vervorming tengevolge van het lassen voornamelijk uit het lasmetaal moet komen, omdat de constructie zelf te star is.

Het waterstofgehalte van basisch gevulde lasdraden is meestal lager dan 5 ml /100 gram neergesmolten lasmetaal. Een niveau van 3 ml/100 gram en lager is, afhankelijk van het type lasdraad, eveneens mogelijk. Deze basische gevulde lasdraden worden, evenals de "micro gelegeerde rutiel lasdraden" vooral ingezet voor het lassen van de hoogvaste fijnkorrelige staalsoorten. Een bij uitstek geschikte toepassing van de basisch gevulde lasdraad is, daar waar er sprake is van een zeer starre constructie. Lasverbindingen in dikke tot zeer dikke materialen behoren uiteraard ook tot de groep van starre constructies. Bij dergelijke toepassingen is een zeer ductiel lasmetaal een eerste vereiste om scheurvrije lasverbindingen te verkrijgen.

#### 2.7.2.4 *Metaal gevulde lasdraden*

De metaal gevulde lasdraad kan in meerdere varianten in de markt voorkomen, te weten:

- ▶ als een ongelegeerde lasdraad;
- ▶ als een laaggelegeerde lasdraad met toevoegingen in de vulling van nikkel, molybdeen en/of chroom;
- ▶ als een lasdraad met een gemiddeld dan wel laag waterstofgehalte in het neergesmolten lasmetaal.

De vulling van metaal gevulde lasdraden bestaat vrijwel geheel uit metaalpoeders aangevuld met desoxiderende elementen. In metaal gevulde lasdraden zijn dus nauwelijks slakvormende elementen aanwezig, waardoor de slakvorming minimaal is en er op de las nauwelijks slak aanwezig is. Op deze wijze wordt een lasdraad verkregen met een lasgedrag dat veel lijkt op een massieve lasdraad. Hierdoor is het mogelijk om met een metaal gevulde lasdraad in het kortsluitboog en openboog gebied te lassen. Ook het pulserend lassen behoort tot de mogelijkheden. Metaal gevulde lasdraden geven een verhoogd neersmeltrendement (90-95%) ten opzichte van een rutiel of basische gevulde lasdraad. De metaal gevulde lasdraad heeft de volgende karakteristieke eigenschappen [59]:

- ▶ hoge neersmelt snelheid;
- ▶ minder gevoelig voor poreusheid en bindingsfouten ten opzichte van een massieve lasdraad;
- ▶ uitstekende lasbaarheid;
- ▶ nagenoeg geen spatten bij gebruik van het juiste beschermgas en de juiste instelling van de lasparameters;
- ▶ evenals bij massieve lasdraad slechts een lichte oxidatie van het oppervlak;
- ▶ door de verhoogde inbranding kan in sommige toepassingen van een kleinere openingshoek of "a"-hoogte bij hoeklassen worden uitgegaan;
- ▶ zeer goed toepasbaar voor vullagen en hoeklassen;
- ▶ goed inzetbaar voor het gemechaniseerd lassen (o.a. lasrobots) in verband met het afwezig zijn van slak, vooral bij 'meerlagen' lassen;
- ▶ met de metaal gevulde lasdraad zijn goede kerfslageigenschappen mogelijk, wel moet rekening worden gehouden met een iets verhoogd zuurstofgehalte in het lasmetaal.

Metaal gevulde lasdraden dekken zo'n 70% van alle gevulde lasdraadtoepassingen. Gezien de resultaten die men in de praktijk met de metaal gevulde lasdraad behaalt, loopt het toepassingsgebied van het lassen

van S 235JL tot aan S 450NL. Laaggelegeerde metaal gevulde lasdraden met toevoegingen van chroom, nikkel, mangaan en molybdeen zijn zelfs bruikbaar tot S 690QL1 materialen.

Het lassen met rutiel, basisch en metaalgepulde lasdraden kan over het algemeen worden uitgevoerd met dezelfde beschermgassen die ook voor massieve lasdraden worden gebruikt. De meeste gevulde lasdraden worden op de traditionele manier gelast: dat wil zeggen met de plus aan de lasdraad. Enkele gevulde lasdraden (basisch) worden echter verlast op de min pool. Het is raadzaam om zowel over het te gebruiken beschermgas als de pooling van de lasdraad de gebruiksaanwijzingen van de leverancier van de lasdraad op te volgen.

Gevulde lasdraden worden over het algemeen toegepast, omdat hiermee uitstekende mechanische eigenschappen van de lasverbinding worden verkregen en/of uit economisch oogpunt.

Ten aanzien van dit laatste kan bij het lassen met gevulde lasdraden enerzijds met hogere lassnelheden worden gelast of worden anderzijds hogere neersmelt snelheden verkregen. Elke keer zal de gebruiker een afweging moeten maken of voor zijn specifieke situatie de te behalen voordelen opwegen tegen de hogere kosten van een gevulde lasdraad en mogelijke herkwalificatie van de lasprocedure.

#### 2.7.2.5 *Gasloze draden*

Het ligt voor de hand om bij de ontwikkeling van een gevulde lasdraad, die geheel zonder beschermgas kan worden verlast, een vulling te gebruiken die zelf zoveel gasontwikkeling geeft, dat een extra beschermgas niet meer nodig is. Hiervoor is echter in de traditionele gevulde lasdraad te weinig plaats.

Om deze reden is een principiële andere weg gekozen bij gasloze draden. In de vulling worden naast slakvormende bestanddelen legeringselementen toegevoegd, die de eigenschap hebben zowel stikstof als zuurstof goed te kunnen binden.

Staal bevat over het algemeen maximaal 0,03% aluminium. Dit is niet het geval bij het lasmetaal dat gelegd is met de gasloze draden. Het lasmetaal van deze draden heeft een duidelijk hoger aluminiumgehalte, afhankelijk van het type gasloze draad 0,5 tot 1,5%. Het hoge gehalte aan aluminium heeft als doel de zuurstof en de stikstof uit de lucht te binden. Bovendien wordt aan de vulling lithium toegevoegd, welke tot doel heeft de stikstof uit de lucht en uit de directe omgeving van de lasboog te verwijderen. Tenslotte wordt het zwavelgehalte in het lasmetaal drastisch verlaagd door in het slaksysteem naast aluminium, magnesium toe te voegen.

Bij de aanwezigheid van silicium in het lasmetaal is het beschikbare stikstof in opgeloste vorm aanwezig. Aluminium vormt met stikstof aluminium-nitride (AlN), hetgeen veel minder goed oplosbaar is in het lasmetaal. Bij dergelijke typen gasloze draden, wordt bij het eerder genoemde aluminiumgehalte, een verwaarloosbare hoeveelheid stikstof gebonden. De aluminiumstikstof en aluminium-zuurstof verbindingen zullen insluitsels veroorzaken. Deze insluitsels zijn echter bijzonder klein. Conventioneel lasmetaal heeft oxide-insluitsels van 1 tot 2 µm groot. De insluitsels bij het lassen met gasloze draad zijn duidelijk kleiner namelijk ± 0,3 µm. Deze zeer kleine insluitsels gedragen zich

bij de stolling van het lasmetaal als kiemvormers en als startpunten voor het ontstaan van nieuwe korrels. Indien men zorg draagt dat de opgeloste stikstof extreem laag is, dan krijgt men een minimale nitridenvorming en nagenoeg geen teruggang in bijvoorbeeld de kerftaaiheid. De aluminiumnitriden die gevormd worden zijn, in tegenstelling tot ijzernitriden, niet hard en niet bros en hebben dus geen negatieve effecten op de kwaliteit van de las. Door de fijne korrel en toevoegingen aan het lasmetaal van mangaan en soms nikkel geven het gasloze draadproces superieure eigenschappen. Afhankelijk van het type draad kunnen hoge kerftaaiheden bereikt worden tot minus 40°C.

Naast de verschillen in chemische samenstelling tussen gasloze draden en de traditionele gevulde lasdraden bestaan er grote verschillen in de apparatuur en de wijze van verlassen. Doordat geen extra gasbescherming nodig is bij het lassen met gasloze draad, kan de lastoorts die de draad transporteert, beduidend lichter worden uitgevoerd. Hiernaast wordt het zicht op het lasbad vergroot en de hanteerbaarheid vergemakkelijkt. De lasser wordt minder moe en presteert daardoor meer en beter, wat resulteert in een hogere inschakelduur.

De lastoorts is klein en gemakkelijk te hanteren door het ontbreken van gascup en toevoer van beschermgas. De stroombron is weliswaar een gelijkstroombron met een vlakke karakteristiek, maar moet wel de mogelijkheid bieden de boogspanning relatief nauwkeurig in te stellen.

Om goede resultaten in de praktijk te verkrijgen, is het noodzakelijk dat met een korte booglengte wordt gelast, omdat anders meer lucht in het vloeibare metaal terechtkomt dan de lasdraad kan compenseren. De uitsteeklengte echter kan veel langer worden ingesteld dan bij het traditionele MAG lassen, waardoor de afsmeltsnelheid bij een gegeven stroominstelling kan worden vergroot.

Als belangrijke voordelen van gasloze draden ten opzichte van de andere gevulde lasdraden kunnen worden genoemd [59]:

- ▶ het gasloze draadlassen heeft geen gasbescherming nodig en kan dus in "lucht" worden gelast;
- ▶ er kan buiten gelast worden met een windsnelheid van maximaal 10 m/s (windkracht 5);
- ▶ er kan gelast worden met grote uitsteeklengten (belangrijk voor het maken van doorlassingen in dikke platen);
- ▶ de stijve lasdraad zorgt vrijwel niet voor draaddoervoerproblemen;
- ▶ de nadelige invloed van zuurstof en stikstof uit de lucht wordt voornamelijk uitgeschakeld door toevoeging van aluminium;
- ▶ door toevoegingen van aluminium en magnesium wordt een lasmetaal verkregen met een uitzonderlijk

laag zwavelgehalte, waardoor een lasmetaal ontstaat dat voor een slakproces zeer zuiver is. Het gehalte aan opgeloste zuurstof en stikstof is laag, veelal lager dan bij een goede basische elektrode. Dit geldt ook voor het element zwavel;

- ▶ de corrosie-eigenschappen van het gasloze draad lasmetaal gelast in ongelegeerd staal zijn superieur aan die van andere ongelegeerde lasmetalen en in de meeste gevallen ook beter dan het te lassen plaatmateriaal;
- ▶ afhankelijk van het type draad kunnen hoge kerftaaiheden worden verkregen met dit proces.

Als beperkingen van gasloze lasdraden kunnen worden genoemd:

- ▶ de grote rookontwikkeling;
- ▶ speciale MAG lasapparatuur noodzakelijk;
- ▶ de lassers moeten een speciale training volgen.

Bij lassen met gasloze draad zal de lucht (zuurstof) rond de boog ervoor zorgen dat er oxiden en nitriden ontstaan in het adembereik van de lasser. Het is daarom aan te bevelen dat er gebruik wordt gemaakt van een lastoorts met ingebouwde rookafzuiging. Dit is een absolute noodzaak bij het werken in kleine ruimten. Het lassen met gasloze draad is in eerste instantie ontwikkeld voor het lassen in de buitenlucht.

Gasloze draden kunnen worden onderverdeeld naar hun kenmerkende neersmelteigenschappen, waarbij worden onderscheiden:

- ▶ snelvullende (fast-fill) lasdraden die de mogelijkheid bieden met hoge neersmeltsnelheid zware verbindingen te lassen, waaraan geen speciale mechanische eigenschappen worden gesteld. Gewoonlijk zijn ze alleen toepasbaar in de posities PA, PB en PC;
- ▶ snelvolgende (fast-follow) lasdraden die de mogelijkheid bieden om een hoge lassnelheid toe te passen;
- ▶ snelstollende (fast-freeze) lasdraden die de mogelijkheid bieden om in alle lasposities te lassen met draaddiameters tot en met 2,0 mm.

Het toepassingsgebied van de gevulde lasdraden zonder gasbescherming ligt van oudsher voornamelijk in het lassen van zware staalconstructies en in de scheepsbouw, offshore installaties, bruggenbouw en pijpleidingen e.d. Speciaal bij het lassen van verzinkte plaat blijken met de speciaal daarvoor ontwikkelde gasloze draden goede resultaten te worden verkregen. Deze toepassing is echter tegenwoordig grotendeels verdrongen door het zogenaamde MIG solderen zie § 3.3.5.

Binnen Nederland wordt het lassen met gasloze draad op beperkte schaal toegepast. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door de steeds verder krimpende zware industrie en anderzijds door de toenemende strenge wetgeving ten aanzien van de milieu-aspecten bij het lassen.

## Hoofdstuk 3

### Procesvarianten van het MIG/MAG lassen

Geen lasproces kent zo veel verschillende varianten als het MIG/MAG lassen, waarbij soms de vraag gerechtvaardigd is of het een nieuwe variant betreft, dan wel een nieuw lasproces. Nieuwe varianten worden vaak met een specifiek doel ontwikkeld, veelal gebaseerd op de beperkingen van het traditionele MIG/MAG lassen. Deze beperkingen kunnen worden veroorzaakt doordat de industrie producten ontwerpt, waarin nieuwe materialen worden verwerkt. Het gevolg hiervan kan zijn dat het traditionele MIG/MAG lassen slechts beperkt of niet meer ingezet kan worden. Soms zijn er wel alternatieve lasprocessen beschikbaar, maar ook die kennen weer hun technische beperkingen of vallen op basis van economische overwegingen af.

Veel nieuwe ontwikkelingen op het gebied van het MIG/MAG lassen zijn mogelijk gemaakt door de steeds verdere ontwikkelingen en miniaturisatie in de moderne elektronica. Tegenwoordig kunnen we in fracties van seconden meten en regelen, iets dat enkele tientallen jaren geleden voor onmogelijk werd gehouden. Aan de ontwikkeling van nieuwe varianten van een lasproces liggen vaak één of meerdere wensen ten grondslag:

- ▶ verhogen van de productiviteit;
- ▶ verlagen van de (las)kosten;
- ▶ betere beheersing van het lasproces, waardoor een constantere kwaliteit van de lassen wordt verkregen;
- ▶ verlagen van de warmte-inbreng, beheersen van vervormingen;
- ▶ mogelijkheid om nieuwe metalen te kunnen lassen.

Figuur 3.1 geeft een schematisch overzicht van de wensen (groen) enerzijds en de varianten (geel) anderzijds die ontwikkeld zijn vanuit het traditionele MIG/MAG lassen. In het blauw zijn de aanvullende voordelen weergegeven van de verschillende groepen varianten van het MIG/MAG lassen.

Al deze varianten hebben zich over langere tijd bewezen, maar de ontwikkelingen gaan nog steeds door. De markt wordt overspoeld met nieuwe kreten en varianten als het FastROOT™ MAG lassen, SP-MAG lassen, Superpuls MAG lassen, Spray-model MAG lassen, enz.

De toekomst zal leren welke van deze procesvarianten van het MIG/MAG lassen voldoende potentie hebben om zich, in een steeds sneller veranderende markt, een blijvende positie te veroveren.

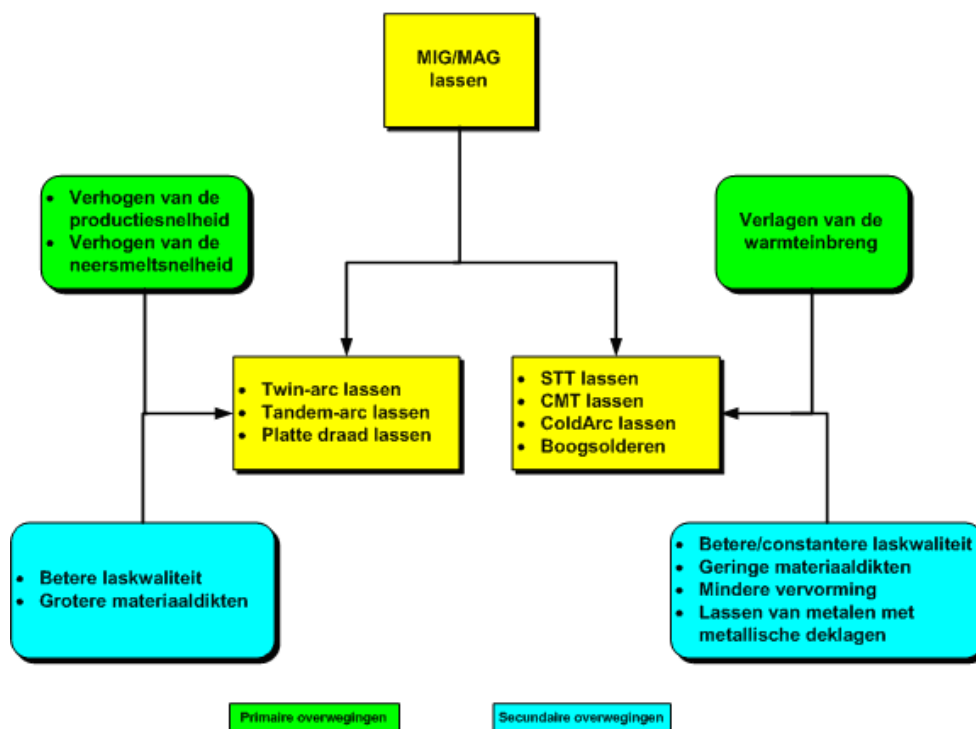
Varianten van het MIG/MAG lassen die inmiddels worden gebruikt in de industrie betreffen het:

- ▶ Tandem-arc lassen;
- ▶ Twin-arc lassen;
- ▶ MIG/MAG lassen met platte lasdraad;
- ▶ STT Lassen;
- ▶ CMT, ColdArc lassen;
- ▶ MIG/MAG boogsolderen;
- ▶ MIG/MAG- laser hybride lassen.

Dit geldt overigens nog niet voor het MIG/MAG lassen met platte lasdraad, hiervan moet nog aangetoond worden in de komende jaren of dit een interessant alternatief is voor het gebruik van ronde lasdraden.

#### 3.1 MIG/MAG lassen met verhoogde neersmelt- en lassnelheden

Bij het traditionele MIG/MAG lassen is er sprake van lassen met verhoogde neersmeltsnelheid als de draad-



figuur 3.1 Schematisch overzicht van de wensen (groen) enerzijds en een aantal varianten (geel) met betrekking tot het MIG/MAG lassen

aanvoersnelheid groter is dan 15 m/min (voor massieve lasdraden van  $\varnothing$  1,0 of 1,2 mm). Bij het MAG lassen van ongelegeerd staal met een lasdraad met een diameter van 1,2 mm is, bij een draadaanvoersnelheid van 15 m/min, de neersmeltsnelheid ruim 8 kg/uur.

De varianten van het MIG/MAG lassen die een verhoogde neersmelt- en lassnelheid geven, kunnen in vier groepen worden ingedeeld:

- ▶ processen met meerdere lasdraden;
- ▶ processen met één lasdraad en een vergrootte uitsteeklengte;
- ▶ processen met één lasdraad en een korte booglengte (verhoogde draadsnelheid);
- ▶ hybride lasprocessen.

Deze procesvarianten van het MIG/MAG lassen worden ook wel samengevat onder de verzamelnaam "hoogvermogen MIG/MAG lassen". MIG/MAG lasprocessen met meerdere lasdraden zijn bekend geworden als tandem-arc en twin-arc lassen. De MIG/MAG procesvarianten met hoge neersmeltsnelheden of hoge lassnelheden zijn in de industrie het meest bekend onder hun handelsnamen waaronder TIME lassen, Rapid-Melt en RapidArc™ lassen, ForceArc® lassen, enz. Het MIG/MAG hybride lassen wil zeggen dat het MIG/MAG proces gecombineerd wordt met een ander lasproces (vaak laserlassen). De beperkingen van de meeste van deze procesvarianten liggen vooral op het gebied van het aantal lasposities waarin kan worden gelast, de lasnaadvormen die kunnen/moeten toegepast, de toleranties van de te lassen onderdelen en de chemische samenstelling van de te lassen materialen (warmte-inbreng). Een aantal van deze procesvarianten wordt hiernavolgend toegelicht.

### 3.1.1 *Processen met meerdere lasdraden: tandem-arc en twin-arc lassen*

Daar waar in dit hoofdstuk wordt gesproken van tandem-arc en twin-arc lassen wordt het MIG/MAG tandem-arc en het MIG/MAG twin-arc lassen bedoeld, tenzij anders wordt vermeld.

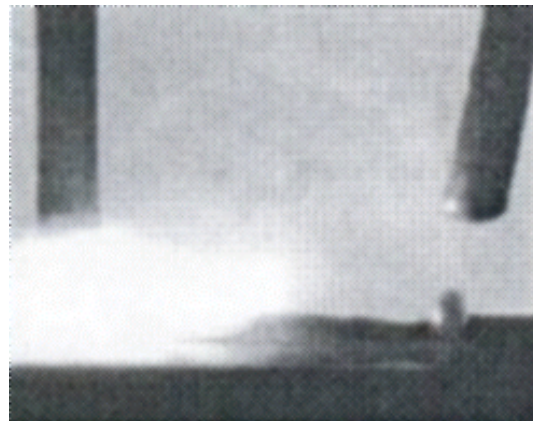
#### **Het principe**

Het tandem-arc en twin-arc lassen zijn twee varianten van het MIG/MAG proces waarbij een verhoging van de neersmeltsnelheid (en lassnelheid) wordt verkregen. Deze verhoging van de neersmeltsnelheid wordt bereikt door niet met één, maar met twee lasdraden te lassen, die in één toorts zijn ondergebracht (zie figuur 3.2). Doordat de beide lasdraden in één toorts zijn ondergebracht, kan deze relatief compact blijven ten opzichte van bijvoorbeeld het gebruik van twee aparte lastoortsen. De lastoorts is uiteraard wel groter dan de traditionele lastoorts voor het MIG/MAG lassen. Bij het twin-arc lassen wordt één stroombron gebruikt en bij het tandem-arc lassen altijd twee stroombronnen. Kenmerkend verschil tussen beide procesvarianten is, dat bij het twin-arc lassen gebruik wordt gemaakt van één contactbuis waar de beide lasdraden doorheen worden gevoerd, terwijl bij het tandem-arc lassen de lasdraden door twee aparte contactbuizen lopen. Dit houdt automatisch in dat bij het twin arc lassen de bogen identiek zijn (tweelingen) en dat bij het tandem-arc lassen de beide lasbogen afzonderlijk geregeld kunnen (maar ook moeten) worden.

Dit is te zien in figuur 3.3, de linker boog is ingesteld als sproei-boog, terwijl de rechterboog als pulsboog is



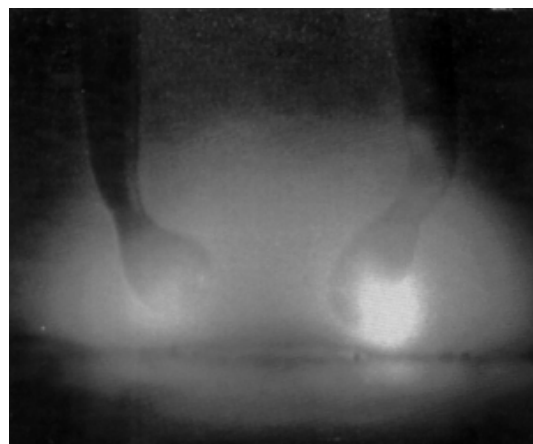
figuur 3.2 Lastoorts MIG/MAG tandem-arc lassen[76]



figuur 3.3 Tandem-arc lassen; links een sproei-boog, rechts een pulsboog. De lasrichting is van rechts naar links [76]

ingesteld. Let in deze figuur ook eens op de stand van de lasdraden. Duidelijk is te zien dat de rechter lasdraad onder een kleine hoek is geplaatst.

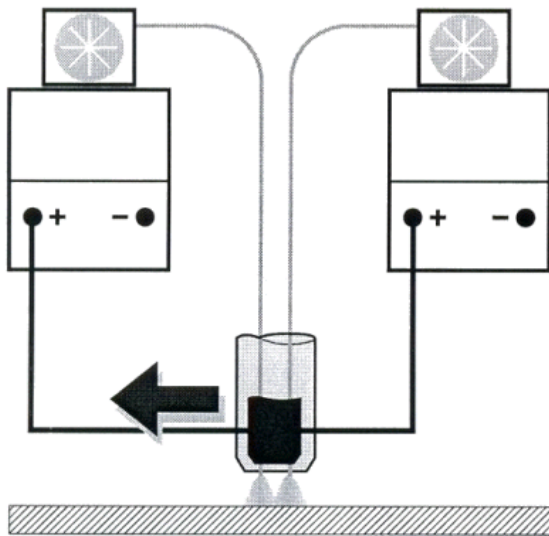
Bij het twin-arc lassen wordt gelast met twee lasbogen die tegelijkertijd en met hetzelfde vermogen branden. Dit is te zien in figuur 3.4.



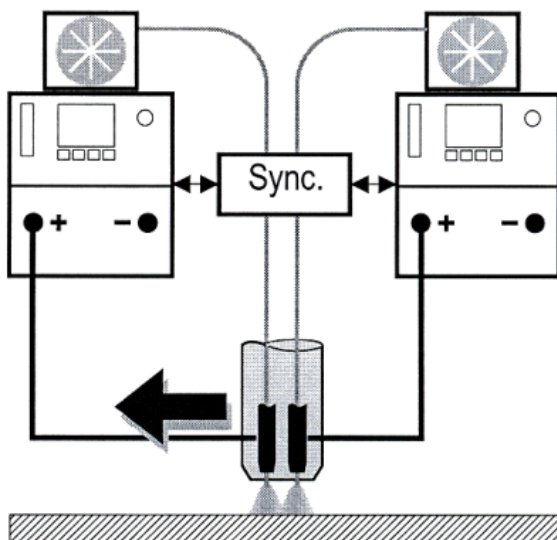
figuur 3.4 Eén boog bij het MIG/MAG twin-arc lassen [76]

Een nadeel van het gebruik van één contactbuis waar de beide lasdraden gemeenschappelijk doorheen lopen is dat deze niet afzonderlijk kunnen worden ingesteld. Dit is de belangrijkste reden dat het twin-arc lassen weinig wordt toegepast. In vrijwel alle voorkomende gevallen wordt het MIG/MAG tandem-arc lassen toegepast.

Figuur 3.5 geeft een schematische weergave van het MIG/MAG twin-arc lassen en figuur 3.6 voor het MIG/MAG tandem-arc lassen, waarin duidelijk de verschillen in uitvoering tussen de beide procesvarianten zijn te zien.



figuur 3.5 Schematische weergave van het MIG/MAG twin-arc lassen



figuur 3.6 Schematische weergave van het MIG/MAG tandem-arc lassen [53]

Een ander verschil tussen het MIG/MAG twin-arc lassen en tandem-arc lassen is dat veelal in de praktijk bij het tandem-arc lassen de twee lasdraden achter elkaar geplaatst zijn, terwijl de lasdraden bij het twin-arc lassen naast elkaar gepositioneerd zijn (ten opzichte van de lasrichting).

Bij het tandem-arc lassen kan vaak een verdubbeling van de neersmeltsnelheid en/of lassnelheid ten opzichte van het conventionele MIG/MAG lassen worden verkregen.

Een gemiddelde handlasser is niet in staat over een langere periode met lassnelheden boven de 50 cm/min te werken. Bij het tandem-arc lassen kunnen lassnelheden worden bereikt van vele meters per minuut. Dit is de reden samen met het gewicht van de lastoorts, dat het maximale rendement bij zowel het twin-arc als het tandem-arc lassen alleen maar wordt verkregen als deze processen gemechaniseerd worden toegepast.

### Apparatuur

Het zal duidelijk zijn dat zowel de hoge stroomsterkten als draadsnelheden hun specifieke eisen stellen aan de lasapparatuur. Stroomsterkten tot 800 A en draadsnelheden tot 30 m/min zijn geen waarden die conventionele MIG/MAG apparatuur aankan. Zo worden over het algemeen draadaanvoereenheden gebruikt met 6 draadaanvoerrollen in plaats van de gebruikelijke 2 of 4. Soms wordt nog gebruik gemaakt van een extra draadstrekinrichting om de kans op draadstoringen zoveel mogelijk te beperken. Voor een stabiele procesvoering is het bij het tandem-arc lassen vereist, dat de twee stroombronnen worden gekoppeld, om vervolgens elektronisch gestuurd te kunnen worden.

Bij het tandem-arc lassen moeten beide lasdraden en contactbuizen elektrisch van elkaar geïsoleerd zijn. Bij het tandem-arc lassen kan in principe met een twee maal zo hoog vermogen worden gelast ten opzichte van het traditionele MIG/MAG lassen met één lasdraad. Omdat de beide lasdraden in één toorts zijn ondergebracht is de koeling van de contactbuizen en gascup zeer belangrijk. Fabrikanten hebben daarom de vloeistofgekoelde lastoorts voorzien van een gasmondstuk dat eveneens vloeistofgekoeld is. Samen dragen deze voorzieningen zorg voor een optimale warmteafvoer waarbij deze lastoortsen uiteraard altijd een inschakelduur van 100% hebben.

### Toepassingen

Het tandem-arc lassen wordt inmiddels voor een groot aantal toepassingen ingezet. Dit geldt niet alleen voor het verbinden van metalen, maar ook voor het oplassen ervan. Het tandem-arc lassen wordt onder andere toegepast:

- ▶ in de transportsector (auto-industrie, trailerbouw, productie van transportrails);
- ▶ in de scheepsbouw;
- ▶ in de ketel- en apparatenbouw (o.a. opslagvaten en drukvaten);
- ▶ in de installatietechniek;
- ▶ bij het vervaardigen van grondverzetmachines;
- ▶ voor het leggen van pijpleidingen.

Zoals bij alle lasprocessen kent echter ook het tandem-arc lassen zijn beperkingen.

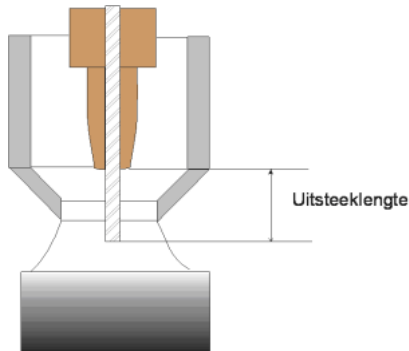
Zo kan er niet in alle posities worden gelast. De meest gebruikte posities bij het tandem-arc lassen zijn PA, PB en PC. Er zijn eveneens beperkingen ten aanzien van de minimum te lassen materiaaldikte (circa 2 mm).

Een belangrijk voordeel van tandem-arc lassen is, dat er ten aanzien van het gebruik van beschermgassen en lastoevoegmaterialen geen speciale eisen worden gesteld, zodat er kan worden gelast met gangbare beschermgassen en lasdraden.



### 3.1.2 Processen met één lasdraad en een vergrootte uitsteeklengte

Bij het MIG/MAG lassen is het uit de contactbuis stekende deel van de lasdraad stroomvoerend (zie figuur 3.7).



figuur 3.7 Uitsteeklengte bij het MIG/MAG lassen

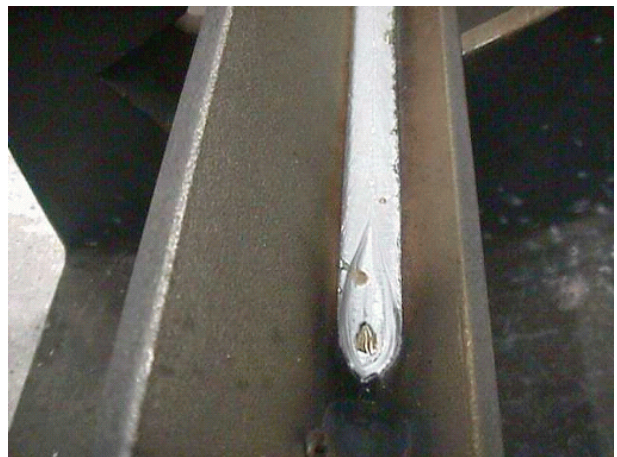
Hoewel de elektrische weerstand van de lasdraad gering is, zal, tengevolge van de hoge stroomsterkte bij het lassen, door weerstandsverwarming dit uitstekende draaddeel bijdragen aan een verhoging van de neersmeltsnelheid. Dit staat bekend als het I<sup>2</sup>R-effect. Dit is ook de reden dat een dunne lasdraad bij dezelfde stroomsterkte voor een hogere neersmelt zorgt dan een dickere lasdraad. Met afnemende draaddiameter neemt immers de elektrische weerstand van het uit de contactbuis stekende deel van de lasdraad toe en daarmee de weerstandsverwarming van de lasdraad. Op hetzelfde principe berust de grotere neersmeltsnelheid van gevulde lasdraad ten opzichte van massieve lasdraad (dunne stroomvoerende mantel met hoge elektrische weerstand). Het lassen met een vergrootte uitsteeklengte wordt niet toegepast voor het lassen van aluminium en zijn legeringen. Dit komt, omdat er bij aluminium nauwelijks sprake is van een weerstandsverhitting van de lasdraad door de grote elektrische warmtegeleidbaarheid van het aluminium. Echter het smeltpunt en soortelijk gewicht van aluminium zijn lager, dus er is per volume ook minder warmte nodig.

Normaal wordt bij het MIG/MAG lassen een uitsteeklengte tot 15 mm toegepast. Bij het lassen met een vergrootte uitsteeklengte moet men denken aan uitsteeklengtes tot 30 mm. De elektrische weerstand van de uitstekende lasdraad neemt daarmee met een factor twee toe, waardoor de lasdraad aanzienlijk warmer wordt en de lasspanning (= boogspanning + spanningsval over uitstekende draadeinde) toeneemt.

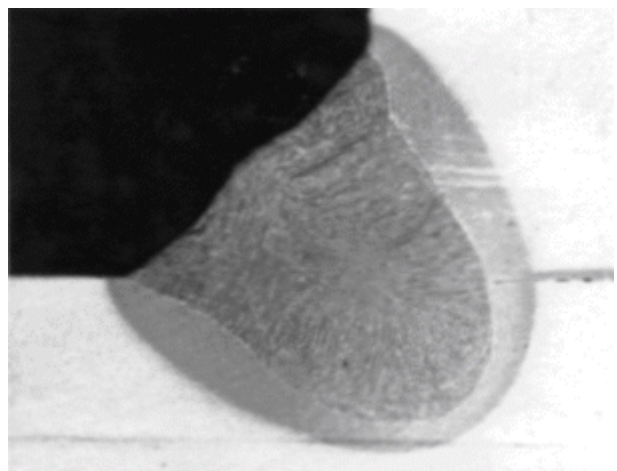
Dit zorgt ervoor dat het totale boogvermogen toeneemt en er dus, bij een gelijke diameter van de lasdraad, meer materiaal per tijdseenheid neergesmolten kan worden. Een dunne draaddiameter zal dit effect nog verder versterken, zoals eerder opgemerkt is. Ook de samenstelling van het beschermgas is van invloed op de beschikbare boogenergie. Evenals bij het traditionele MIG/MAG lassen geven toevoegingen van helium aan het beschermgas een hogere boogspanning en dus meer boogenergie. Meestal werken dit soort lasprocessen met uitgebalanceerde mengsels van beschermgassen, waarbij de doelstelling is te komen tot een optimaal resultaat.

Evenals bij het MIG/MAG lassen met meerdere lasdraden (zie § 3.1.1) is het noodzakelijk speciale apparatuur te gebruiken, daar de draadsnelheden en stroomsterkten hoog zijn. Een voordeel van dit type lasprocessen ten opzichte van het lassen met meerdere lasdraden is, dat er gebruik gemaakt kan worden van een relatief simpele lastoorts. Het optimale rendement wordt ook hier bereikt als het lasproces gemechaniseerd wordt toegepast. Het lasproces kan echter, in tegenstelling tot het lassen met meerdere lasdraden, ook met de hand worden uitgevoerd.

Bij het MIG/MAG lassen met een verlengde uitsteek van de lasdraad kunnen verhogingen van de lassnelheid worden gerealiseerd tussen de 50 en 200%. Naast hogere lassnelheden kan ook veel meer materiaal worden neergesmolten, waardoor lasnaden in minder lagen gevuld kunnen worden. Zo kan een X-naad in een 20 mm plaat in vier lagen worden gelegd, wat een halvering is van het gebruikelijke aantal lagen. Tevens kunnen hoeklassen met een grotere a-hoogte en vooral een diepere inbranding in één keer worden gelegd (zie figuur 3.8 en 3.9). Voorwaarde is in dit geval wel dat er in de PA (onder de hand) positie gelast moet kunnen worden.



figuur 3.8 Hoeklas in de PA positie gelegd met het RapidArc™ proces. Ongelegeerd staal 12 mm, a-hoogte = 8 mm [53]



figuur 3.9 Dwarsdoorsnede van de hoeklas uit figuur 2.7 [53]

Evenals bij het onderpoederlassen moet men bij deze procesvarianten, die een grote inbrandingsdiepte kunnen geven, alert zijn op het ontstaan van H/B scheuren. H/B scheuren kunnen ontstaan als de hoogte (H)/breedte (B) verhouding van een las ongunstig is. Dit is het geval als de hoogte van de las substantieel groter is dan de breedte. Er kunnen dan in het midden van de las scheuren ontstaan, die in de lengterichting van de las doorlopen. Alle lasprocessen die een grote inbrandingsdiepte kunnen bereiken, zijn hier in principe gevoelig voor.

### Toepassingen

Dit type lasprocessen wordt, in tegenstelling tot het tandem-arc lassen, vrijwel uitsluitend ingezet voor het lassen van ongelegeerd staal. Daarnaast vinden deze varianten van het MAG proces ook meer en meer toepassing bij het lassen van laag gelegeerde staalsoorten, zoals de constructiestalen met een verhoogde rekgrens. Hooggelegeerde staalsoorten zijn eveneens met deze processen te lassen, terwijl ze ook ingezet kunnen worden voor het oplassen van metalen. Dit type lasprocessen is bij de meeste bedrijven bekend onder hun handelsnamen waarbij T.I.M.E., Rapid-melt en ForceArc® lassen de meest bekende zijn.

#### 3.1.3 Processen met één lasdraad en een korte booglengte

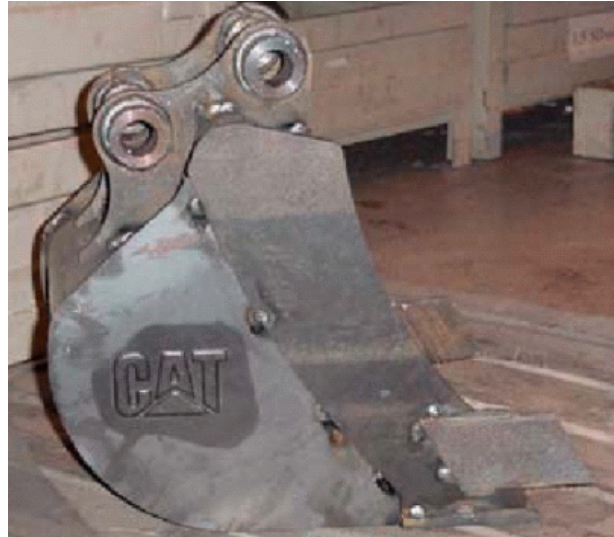
Tegenwoordig kan er met behulp van moderne stroombronnen met een kleinere maar stabiele booglengte worden gelast dan in het verleden met conventionele stroombronnen mogelijk was. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van het MAG lassen met korte booglengte en hoge draadsnelheden. De korte booglengte wordt verkregen door het reduceren van de boogspanning. Hierbij kan de boog zo kort worden, dat deze onder het plaatoppervlak brandt. Normaal gesproken is het bij zulke korte booglengten niet te vermijden dat er kortsluitingen optreden, die tot excessief spatgedrag leiden. Dit probleem heeft men opgelost door tijdens de kortsluitingen de stroom en spanning te meten en deze real-time te regelen, zodat spatten zoveel mogelijk worden vermeden. Dit leidt ertoe dat over het algemeen een diepe inbranding in combinatie met een smalle warmtebeïnvloede zone wordt verkregen.

Het MAG lassen met een korte boog is vooral interessant bij zwaarder laswerk waar de warmte-inbreng beperkt moet blijven. Hierbij kan worden gedacht aan het lassen in de machine- en installatiebouw, de transportmiddelenindustrie, scheepsbouw, offshore, staalconstructies en container-, ketel- en apparatenbouw. Figuur 3.10 toont een graafbak van ongelegeerd staal die is gelast met behulp van het RapidArc™ proces. Verkorting van de lastijd levert hierbij een aanzienlijk economisch voordeel op.

De hoge draadsnelheden zorgen ervoor dat de neersmelt met 20 tot 30% wordt verhoogd ten opzichte van het traditionele MAG lassen.

Ook voor deze variant van het MAG lassen geldt dat de maximale winst wordt bereikt bij het gemechaniseerd lassen en dat het proces minder geschikt is voor het (langdurig) lassen met de hand. Evenals bij de eerder genoemde lasprocessen moet ook hier de apparatuur aan specifieke eisen voldoen ten aanzien van het werken met hoge stroomsterkten en draadsnelheden en voorzien zijn van de nodige elektronische regel-

systemen. Echter ook hier kan een relatief simpele las-toorts worden gebruikt, doordat slechts met één lasdraad wordt gelast.



figuur 3.10 Graafbak gelast met het RapidArc™ proces [76]

#### 3.1.4 Samenvatting MIG/MAG lassen met verhoogde neersmelt- en lassnelheden

De bovengenoemde hoogvermogen MIG/MAG lasprocessen kunnen niet altijd en overal ingezet worden. Tabel 3.1 geeft een (beperkt) overzicht van de inzetbaarheid van de verschillende MIG/MAG procesvarianten.

tabel 3.1 Overzicht van de inzetbaarheid van de verschillende MIG/MAG procesvarianten

Proces	Lasposities	hand/gemech.	Staal	RVS	Alu.
Tandem-arc	PA,PB,PC,PD	mech.	ja	ja	ja
T.I.M.E.	PA,(PB)	mech. (hand)	ja	ja	nee
Rapid-melt	PA,(PB)	mech. (hand)	ja	ja	nee
RapidArc™	PA,PB	mech.(hand)	ja	ja	nee

Het is verstandig contact op te nemen met de leveranciers van de verschillende apparatuur als u overweegt dergelijke processen toe te gaan passen in uw productie.

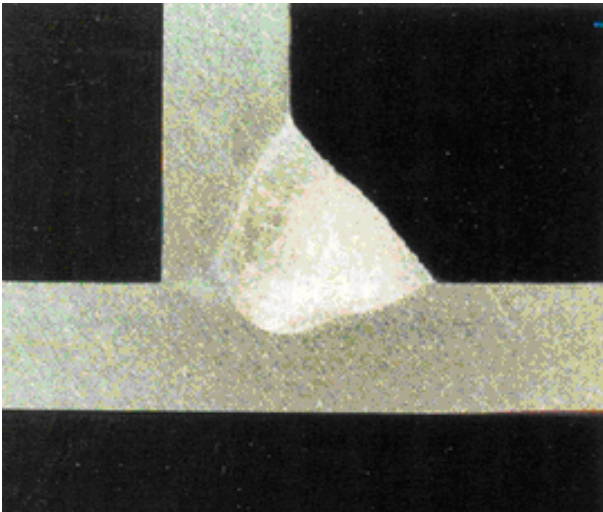
Het gaat hierbij aan de ene kant om de technische mogelijkheden van het lasproces en aan de andere kant om economische aspecten, zoals de terugverdiëntijd. Ten aanzien van de economische overwegingen geldt dat de laskosten in Nederland voornamelijk uit loonkosten bestaan, een vermindering van de loonkosten maakt dat forse investeringen toch relatief snel kunnen worden terugverdiend.

### 3.2 MIG/MAG lassen met platte lasdraad

Hoewel (anno 2007) het MIG/MAG lassen met een platte lasdraad nog beperkt wordt toegepast, willen we deze variant toch niet in dit overzicht laten ontbreken.

Bij het MIG/MAG lassen met platte lasdraad is, zoals de naam al doet vermoeden, de traditionele ronde lasdraad vervangen door een rechthoekige platte lasdraad.

De platte lasdraad heeft afmetingen die liggen tussen de 4 tot 4,5 mm bij 0,7 tot 0,5 mm. Hierdoor is de oppervlakte van de doorsnede vergelijkbaar met een  $\varnothing$  1,6 mm lasdraad. Het grote verschil is gelegen in de totale omtrek van het toevoegmateriaal die bij een 1,6 mm lasdraad 5 mm is en bij de platte bijna dubbel zo groot namelijk 9,5 mm (+ 79%). Dit is van wezenlijke invloed op de stroomdoorgang, de druppelovergang en de inbranding. Hiernaast is een belangrijk voordeel van het platte draadlassen, dat er zowel MIG als MAG kan worden gelast. Door de rechthoekige vorm van de lasdraad wordt een extra parameter toegevoegd aan het lassen, namelijk de stand van de lasdraad ten opzichte van de lasrichting (smalle of brede zijde van de lasdraad in de lasrichting). Dit is vooral van invloed op de vorm van de inbranding en het spleetoverbruggend vermogen van de boog. Een typische inbrandingsvorm, waarbij de lasdraad onder een hoek van  $45^\circ$  heeft gestaan, is te zien in figuur 3.11 (hoeklas in 4 mm AIMg4,5Mn).



figuur 3.11 Dwarsdoorsnede van een hoeklas in 4 mm dik AIMg4,5Mn, met lasdraad onder een hoek van  $45^\circ$  t.o.v. de lasrichting [44]

Een probleem vormt nu nog de verkrijgbaarheid van de platte lasdraden. In veel gevallen worden ronde lasdraden door een mal getrokken tot de gewenste afmetingen van de platte lasdraad.

Dit is echter een extra bewerking en verhoogt de prijs van de lasdraad. Het voordeel is, dat er gebruik kan worden gemaakt van een groot potentieel aan al beschikbare lasdraden.

In principe kunnen alle moderne stroombronnen worden gebruikt voor het platte lasdraad lassen, mits ze voldoende vermogen hebben (tot 500 A).

Uiteraard moet de apparatuur zijn voorzien van een speciale draadaanvoereenheid, die geschikt moet zijn voor het transporteren van platte lasdraden.

### 3.3 "Koude" varianten van het (MIG)/MAG lassen

Het MAG kortsluitbooglassen wordt uitgevoerd met een lage stroomsterkte en spanning, waardoor een lage warmte-inbreng wordt verkregen. Binnen Europa en ook Nederland is echter de laatste jaren een sterke

verschuiving zichtbaar van het lassen van relatief grote materiaaldikten naar kleinere materiaaldikten. Dit maakte dat de grens in zicht kwam waarbij het traditionele MAG kortsluitbooglassen nog kon worden ingezet. De behoefte ontstond om met lagere warmte-inbreng MAG te kunnen lassen. Ook hier kwamen de ontwikkelingen van de moderne elektronica de lasindustrie te hulp.

Moderne, elektronisch gestuurde stroombronnen reageren niet alleen snel op veranderingen in de boog, maar zijn ook in staat om de stroomsterkte bij het kortsluitbooglassen, tijdens de kortsluitfase, bijna tot vrijwel nul terug te brengen. Op deze manier is het mogelijk weinig warmte in te brengen tijdens het lassen. Dit is één van de redenen waarom deze procesvarianten van het MAG lassen zo interessant zijn voor het lassen van dunne plaat en buis.

Een ander voordeel van dergelijke regelingen is, dat hiermee het spatgedrag, dat zo kenmerkend is voor het kortsluitbooglassen, grotendeels kan worden onderdrukt. Spatten geven materiaalverlies, maar belangrijker is echter het feit dat een aantal spatten een zodanig volume hebben dat ze zich op het oppervlak hechten. Afhankelijk van de kwaliteitseisen die aan het laswerk worden gesteld, moeten deze spatten meestal worden verwijderd.

Bij het lassen van roestvast staal moeten deze spatten altijd worden verwijderd, in verband met het nadelige effect op de corrosiewerende eigenschappen van de lasverbinding.

Een ander belangrijk voordeel bij de processen die met lage warmte-inbreng werken, is de beperking van de hoeveelheid lasrook. Uiteraard is de hoeveelheid en schadelijkheid van de lasrook van veel meer factoren afhankelijk dan alleen de warmte-inbreng en spelen factoren als de te verbinden materialen, het lastoevoegmateriaal en het beschermgas eveneens een belangrijke rol. Ten aanzien van de procesvoering is er echter bij het MIG/MAG lassen een vrijwel lineair verband tussen de stroomsterkte en de hoeveelheid lasrook die vrijkomt. Daar, bij al deze "koude varianten van het MIG/MAG lassen", met een zeer lage stroomsterkte wordt gewerkt, is de hoeveelheid geproduceerde lasrook laag.

In de volgende paragrafen wordt een aantal "koude" varianten van het MIG/MAG lassen besproken, die als kenmerk hebben dat ze met een zeer lage warmte-inbreng verbindingen kunnen maken.

#### 3.3.1 *Surface Tension Transfer (STT) lassen*

De doelstelling bij het STT lassen was het ontwikkelen van een semi-automatische kortsluitbooglastechniek met minimaal spatgedrag onder  $\text{CO}_2$  beschermgas. Bij het STT lassen is men er in geslaagd de lasstroom te meten, te controleren en te regelen tijdens de kortsluitperiode (onafhankelijk van de draadaanvoersnelheid). Naast de aanzienlijke vermindering van het spatgedrag bij het lassen onder  $\text{CO}_2$  beschermgas, biedt het STT proces ook de mogelijkheid om met dickere lasdraden kortsluitboog te lassen. Verder wordt er door de sterke beperking van de kortsluitstroom minder warmte ingebracht ten opzichte van het traditionele MAG kortsluitbooglassen.

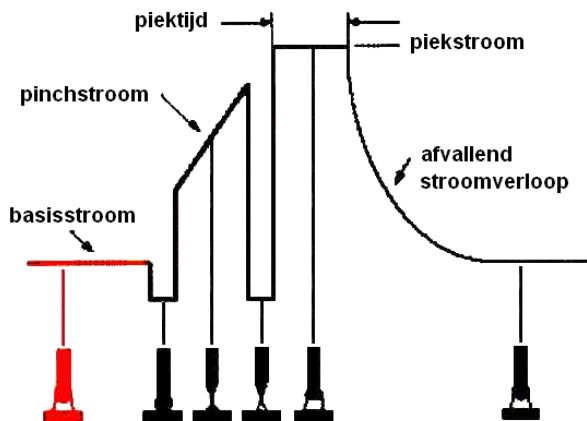
#### Principe van het STT lassen

Tijdens het afsplitsen van de druppel spelen een aantal krachten een rol: elektromagnetische krachten tenge-

volge van de stroomdoorgang door de lasdraad, de zwaartekracht en de oppervlaktespanning. Bij het afsplitsen van de druppel neemt het oppervlak van de druppel toe en daarmee de oppervlakte-energie. De oppervlaktespanning is daardoor één van de belangrijkste tegenwerkende krachten bij de druppelafsplitting. Door de oppervlaktespanning te verlagen, kan de druppelafsplitting worden bevorderd.

Het systeem tracht in de laatste fase van de kortsluiting de totale oppervlakte-energie te verlagen door het grote oppervlak van de vloeistofbrug te verkleinen door de brug te verbreken en weer een aan de elektrode een druppelvorm aan te nemen.

Dit is de grondgedachte bij het Surface Tension Transfer (STT). In figuur 3.12 is schematisch het stroomverloop tijdens een kortsluitfase en de druppelafsplitting van dit lasproces weergegeven.



figuur 3.12 Schematische weergave van het stroomverloop bij het STT lassen [18]

Essentieel bij het STT proces is de beperking van de kortsluitstroom na de kortsluiting. Dit wordt gedaan door de pinchstroom na enige tijd tot vrijwel 0 ampère te verlagen. De afsplitsing van de metaaldruppel verloopt hierdoor vrijwel stroomloos (zie figuur 3.12) en als gevolg hiervan zonder spatten. Dit wordt bereikt door met behulp van een boogsensor de stroom en spanning continu te meten.

De boogsensor registreert het eerste moment van kortsluiting, waarna de stroomsterkte bij het contact tussen druppel en lasbad tot bijna nul wordt teruggebracht. De lage stroomsterkte voorkomt, dat dit eerste contact tussen druppel en lasbad door de lorentzkracht direct wordt verbroken. Het eerste contact tussen lasbad en lasdraad is er om voor te zorgen dat de druppel goed in het bad wordt opgenomen. De drijvende krachten achter deze druppelafsplitting zijn bij het lassen in horizontale positie de zwaartekracht en de elektromagnetische kracht (t.g.v. de pinchstroom en het geïnduceerde magneetveld). Deze krachten knijpen de druppel van de elektrode af. De mate van insnoering kan worden bepaald uit het stroom-/spanningssignaal. Vervolgens wordt de stroomsterkte snel teruggebracht en zal de oppervlaktespanning het laatste stukje van de vloeistofbrug verbreken. Dit mechanisme (vermindering van de oppervlakte-energie) komt ook tot uitdrukking in de naamgeving van het proces (surface tension 'driven' transfer = het door de oppervlaktespanning gestuurde transport). Hierdoor ontstaat

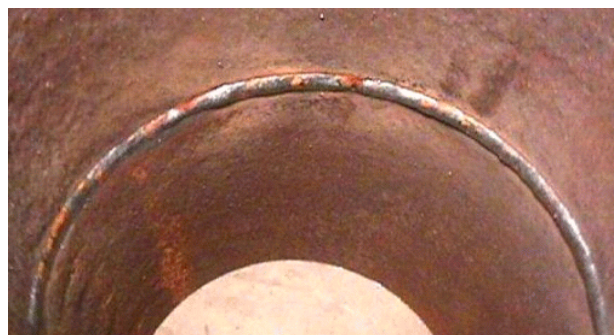
een zeer geleidelijke materiaaloverdracht die de basis is voor het geringe spatgedrag bij het STT proces.

Om de druppelafsplitting verder te bevorderen, wordt een geleidelijk oplopende stroompuls gebruikt, de zogenoemde pinchstroom. De vloeibare materiaalbrug tussen de lasdraad en het lasbad snoert in onder invloed van de pinchstroom. Tijdens deze fase berekent de stroombron het moment van verbreken van contact tussen lasdraad en lasbad. Hierna wordt door een stroompuls de boog weer ontstoken en wordt de hoge piekstroom enige tijd aangehouden. Deze fase van het proces kan worden gebruikt voor toename van de warmte-inbreng in de plaat, om te voorkomen dat bindingsfouten ontstaan.

Het STT lassen wordt vooral ingezet voor het lassen van dunne plaat en buis in alle posities, en het maken van doorlassingen in pijp. Ten aanzien van dit laatste is het STT lassen vooral een concurrent van het TIG lassen, met als voordeel dat er bij het STT lassen minder warmte in het materiaal wordt ingebracht en een aanzienlijk hogere lassnelheid wordt bereikt ten opzichte van het TIG lassen. In de figuren 3.13 en 3.14 is een voorbeeld te zien waarbij een grondnaad in dikwandige pijp is gelast met behulp van het STT proces.



figuur 3.13 Oppervlak van een SST gelaste grondnaad in 15 mm dik pijp materiaal [53]



figuur 3.14 Doorlassing van een SST gelaste grondnaad in 15 mm dik pijp materiaal [53]

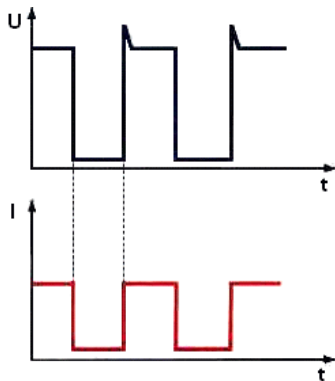
### 3.3.2 Cold Metal Transfer (CMT) lassen

Het Cold Metal Transfer (CMT) lassen kan eveneens gezien worden als een verdere ontwikkeling van het MAG kortsluitbooglassen. Het CMT lassen is een me-

thode, waarbij met een zeer geringe warmte-inbreng smeltlasverbindingen kunnen worden gemaakt. Het Cold Metal Transfer proces is oorspronkelijk ontwikkeld vanuit de vraag om aluminium aan staal te verbinden door middel van booglassen.

### Principe CMT lasproces

CMT lassen is een kortsluitboogproces, waarbij een nieuwe manier van materiaaloverdracht is gerealiseerd. Bij het conventionele kortsluitbooglassen wordt de kortsluitstroom beperkt met behulp van een spoel of door de inductieve weerstand van de stroombron zelf. Bij moderne stroombronnen kan het toenemen van de stroom na een kortsluiting worden beperkt door een elektronische regeling. Het voordeel hiervan is, dat de hoeveelheid spatten vrijwel tot nul gereduceerd kan worden en dat de warmte-inbreng zeer klein is. Het innovatieve aan het CMT proces is, dat aanvoer van de lasdraad in deze elektronische regeling is opgenomen. Op deze manier kan ervoor worden gezorgd, dat tijdens de materiaaloverdracht (van lasdraad naar lasbad), de stroom en spanning vrijwel tot nul worden gereduceerd (zie figuur 3.15).



figuur 3.15 Schematisch verloop van de spanning (boven) en stroomsterkte/draadsnelheid (beneden) tijdens het CMT lassen [16]

Nadat de lasdraad contact heeft gemaakt met het werkstuk, wordt deze een klein stukje teruggetrokken en, in combinatie met een beperking van de lasstroom, vindt hierna de materiaaloverdracht zonder spatten plaats. De boog zal als gevolg van de oplopende temperatuur (kortsluiting) na het oplopen van de spanning weer automatisch ontsteken. Na de materiaaloverdracht wordt de lasdraad weer aangevoerd en nemen de spanning en stroomsterkte toe. Opnieuw vindt contact met het smeltbad plaats en het beschreven proces herhaalt zich. Dit alles met een gemiddelde frequentie van circa 70 Hz. Het kenmerkende verschil tussen het STT en CMT lassen is dus, dat er bij het CMT lassen naast de regeling van stroom en spanning tevens een koppeling van beiden met de draadsnelheid is gerealiseerd. Door de lasdraad op de juiste tijd terug te trekken, wordt slechts een geringe hoeveelheid materiaal naar het lasbad getransporteerd. Op deze manier wordt het aantal (hechtende) spatten geminimaliseerd.

### Benodigde apparatuur

Voor het CMT proces zijn als belangrijkste componenten een speciale aanvoereinheid, een draadbuffer en een elektronisch geregelde stroombron noodzakelijk. Spe-

ciale stuurlektronica is nodig om snel te kunnen meten en snelle stroom- en spanningsvariaties te kunnen realiseren. Natuurlijk is in de besturing ook de elektronische regeling van de lasdraad opgenomen. Om de lasdraad op de juiste manier te kunnen terugtrekken, is de apparatuur voorzien van een speciale draadaanvoereinheid. Een tweerols-draadaanvoereinheid is ondergebracht in de lastoorts, terwijl een tweede aanvoereinheid nodig is voor het constant aanvoeren van de lasdraad.

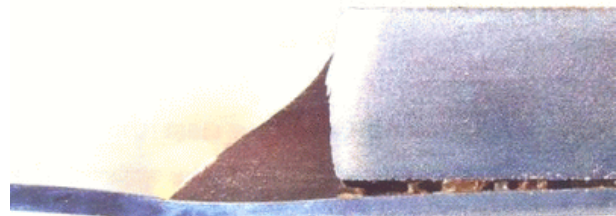
Deze tweede aanvoereinheid bestaat uit een normale vierrols-draadaanvoereinheid en is op de stroombron geplaatst. Beiden zijn uiteraard elektronisch gekoppeld en gestuurd.

Het terugtrekken van de lasdraad vindt plaats over een afstand van enkele millimeters en wordt opgevangen door de speling die in de liner zelf aanwezig is. Om het stoten van de lasdraad te voorkomen, is een speciale buffer ontwikkeld die in het slangenpakket is opgenomen.

### Toepassing

Het CMT lassen is bij uitstek geschikt voor het lassen van dunne plaat en buis met een minimale warmte-inbreng. De procesbeheersing bij dit proces is zo goed, dat zelfs het MIG kortsluitbooglassen van aluminium tot de mogelijkheden behoort.

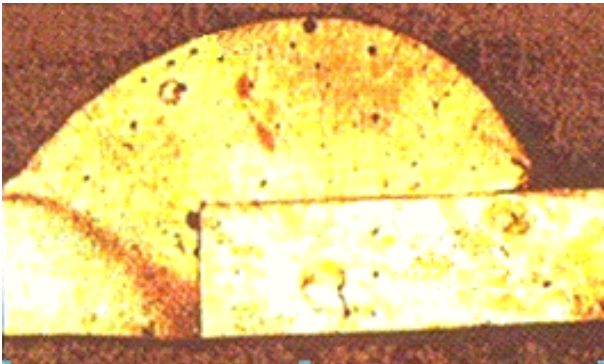
De gebruikelijke lasnaden kunnen worden toegepast bij het CMT proces: overlapverbindingen, stompe lassen en hoeklassen voor alle lasposities. Daarnaast is het CMT proces bijzonder geschikt voor het boogsolderen (zie ook § 3.4). Een voorbeeld hiervan is te zien in figuur 3.16.



figuur 3.16 Boogsolderen met behulp van het CMT proces van dun (0,3 mm) aan dik (3 mm) materiaal, ongelegeerd staal [16]

Het CMT lassen is ook geschikt voor het maken van ongelijksoortige verbindingen, zoals het lassen van aluminium aan verzinkt staal. Bij dit soort verbindingen moet worden voorkomen dat (ongewenste) intermetallische aluminium-staalverbindingen ontstaan. Het staal mag tijdens het lassen niet smelten en moet zijn voorzien van minstens een 10 micron dikke zinklaag. Figuur 3.17 toont een dergelijke CMT gelaste verbinding. Hoewel het staal niet gesmolten is, ontstaat door diffusie op het grensvlak toch een acceptabele verbinding. De geringe warmte-inbreng waarmee het CMT proces werkt, maakt deze toepassing mogelijk.

Het CMT lassen was tot voor kort, vanwege de noodzakelijke stabiele procesvoering, alleen gemechaniseerd mogelijk. Verdere ontwikkelingen hebben er echter toe geleid, dat het proces ook met de hand kan worden toegepast.



figuur 3.17 1 mm staal (rechts) verbonden aan 1 mm aluminium (links) door middel van CMT lassen [16]

### 3.3.3 ColdArc lassen

Een alternatief voor het CMT lassen is het ColdArc proces. Ook bij het ColdArc proces vindt er een gecontroleerde druppelafsplitsing plaats door tijdens de kortsluiting de stroom en spanning te meten en te regelen. Om dit te kunnen realiseren kan het stroomverloop gemeten en geregeld worden door gebruik te maken van een nieuw type dynamische inverterschakeling gecombineerd met een snelle digitale procescontrole. Bij het ColdArc lassen is er bewust voor gekozen om de lasdraad niet te sturen, waarbij als voordeel wordt genoemd, dat er met standaard lastoortsen kan worden gewerkt. In dit opzicht lijkt het proces meer op het STT lassen dan op het CMT lassen.

Het toepassingsgebied van het ColdArc proces is volledig complementair met het CMT lassen en omvat het in alle lasposities kunnen lassen van dunne plaat en buis. Met het ColdArc proces kan staal, aluminium en roestvast staal, evenals staal aan aluminium en aluminium aan magnesium worden gelast vanaf materiaaldikten van circa 0,3 mm.

### 3.3.4 Samenvatting MIG/MAG 'koude procesvarianten'

Fabrikanten komen stap voor stap steeds dichterbij een volledige procesbeheersing van het MIG/MAG lassen. De hierboven besproken varianten van het MAG kortsluitbooglassen zijn het beste wat anno 2007 op het gebied van procesbeheersing bij het kortsluitbooglassen op de markt verkrijgbaar is. Bedrijven die uit oogpunt van materialen en materiaaldikten kritische toepassingen hebben (geringe wanddikte, ongelijksoortige materialen), kunnen hun voordeel doen met deze nieuwe ontwikkelingen. Maar ook kunnen dit soort processen worden ingezet als vervanging voor het traditionele MAG kortsluitbooglassen, waarbij de extra investering kan worden terugverdiend door bijvoorbeeld een vermindering van de nabewerkingskosten.

## 3.4 Lassolderen (MIG/MAG boogsolderen)

Het lassolderen is de verzamelnaam van traditionele lasprocessen, die gebruik maken van een toevoegmateriaal dat normaliter voor het hardsolderen wordt gebruikt. Dit zijn over het algemeen koperhoudende las-toevoegmaterialen met een lager smeltpunt dan staal. Hierdoor heeft de verbinding een totaal andere chemische samenstelling dan de te verbinden materialen.

Hoewel de ontwikkeling van het lassolderen in de vorige eeuw ligt, heeft het lassolderen zijn nieuwe status vooral te danken aan de ontwikkelingen in de auto-industrie. De toepassing van verzinkte plaat in deze industrie zorgde voor grote problemen bij het traditionele MAG kortsluitboog- en pulsbooglassen (veel porusheid en spatten). Vrij onverwacht kwam de oplossing in de vorm van het lassolderen. Het lassolderen bleek een uitstekend alternatief te zijn voor het traditionele MAG kortsluitbooglassen en/of pulsbooglassen van verzinkte plaat.

Bij het boogsolderen wordt gebruik gemaakt van een boog als warmtebron. Groot voordeel van het boogsolderen is, dat er standaard booglasprocessen kunnen worden gebruikt zoals het TIG-, MIG- en plasmalassen. Het lassolderen kan ook met een laser worden uitgevoerd, waarbij de warmte- en de materiaaltoevoer gescheiden zijn (evenals bij het TIG lassen). Het enige verschil is de aard van het toevoegmateriaal dat, zoals gezegd, meestal bestaat uit een koperhoudende, soldeerlegering.

Een belangrijk voordeel ten opzichte van het traditionele solderen met een vlam is, dat er bij het boogsolderen wordt gewerkt met een veel geconcentreerder energiebron. Dit zorgt voor een zeer locale verwarming, wat enerzijds gunstig is voor de materiaalkundige eigenschappen van de verbinding, en anderzijds de vervorming minimaliseert.

Als gevolg van de meer geconcentreerde warmte-inbreng ligt de productiesnelheid bij het boogsolderen aanzienlijk hoger dan bij het traditionele vlamsolderen. Ook ten opzichte van het lassen ligt de productiesnelheid hoger, doordat enerzijds het smeltpunt van het toevoegmateriaal lager is en anderzijds een betere bevochtiging van de te verbinden materialen wordt verkregen.

Een belangrijk verschil met het traditionele vlamsolderen is verder, dat er bij het boogsolderen vrijwel geen capillaire werking (= opzuigen van vloeibaar soldeer in de nauwe soldeerspeet) is, omdat de warmte te geconcentreerd wordt toegevoegd.

### Soldeer toevoegmaterialen

Voor het boogsolderen wordt als toevoegmateriaal vaak een koperlegering met 3% silicium toegepast (CuSi3). Deze draad geeft een uitstekend aangevloeide verbinding door de goede bevochtigingseigenschappen. Het silicium verlaagt niet alleen de oppervlaktespanning, maar fungeert ook als desoxidatiemiddel.

Koper neemt namelijk op hoge temperatuur zuurstof op, dat vervolgens door silicium wordt gebonden, waardoor de vorming van het ongewenste koperoxiduul kan worden voorkomen. De chemische samenstelling van CuSi3 lassoldeer is weergegeven in tabel 3.2, terwijl enkele relevante eigenschappen zijn weergegeven in tabel 3.3.

tabel 3.2 Chemische samenstelling van CuSi3 [2]

Chemische samenstelling in gew. %					
Cu	Si	Sn	Zn	Mn	Fe
> 94	2,8 - 4,0	< 0,2	0,5 - 1,0	1	< 0,3

tabel 3.3 Enkele eigenschappen van CuSi3 soldeer-materiaal [2]

Eigenschap	Waarde
Treksterkte	> 390 MPa
Rekgrens	> 145 MPa
Rek tot breuk	46%
Hardheid	85 - 100 HB
Smelttraject	910 - 1025°C

Als een hogere sterkte gewenst is, dan kan gebruik worden gemaakt van andere toevoegmaterialen zoals koper-aluminium toevoegdraad gelegerd met aluminium (8 gew. %). Daarnaast zijn er nog vele andere toevoegdraden beschikbaar, waaronder CuSi2Mn, CuAl8Ni2, CuSn en CuSn6, elk met hun specifieke kenmerken en toepassingsgebied.

### Kenmerken van het MIG boogsolderen

Bij het MIG boogsolderen van verzinkte plaat worden porievrije lassen verkregen. Door de relatief lage smelttemperatuur van het soldeermateriaal vindt geen of slechts een zeer geringe afbrand van de zinklaag aan de onderkant van bijvoorbeeld een overlapverbinding plaats.

De weer- en corrosiebestendigheid van de booggesoldeerde verbinding is groter dan de rest van het product. De afmetingen van de soldeernaad zijn klein ten opzichte van de rest van het product, waardoor er een kleine kathode en een relatief grote anode wordt verkregen. Deze combinatie leidt onder atmosferische omstandigheden niet tot problemen.

Het boogsolderen verloopt bij goed ingestelde parameters praktisch spatvrij, waardoor de verbinding meestal niet nabewerkt hoeft te worden. Mocht toch een mechanische afwerking van de soldeernaad gewenst zijn, dan zijn de relatief zachte overdikte en doorlassing gemakkelijk machinaal te bewerken.

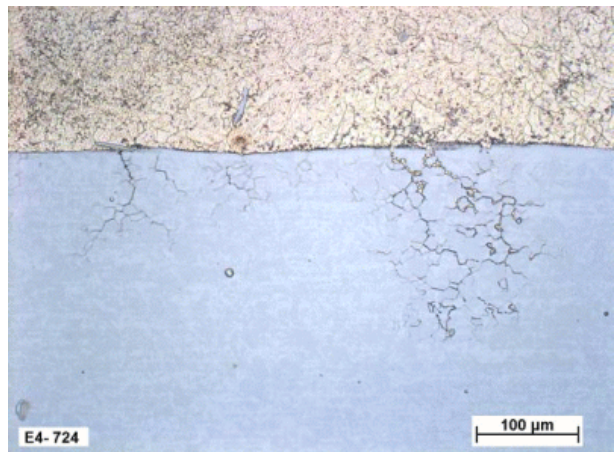
Het MIG boogsolderen wordt toegepast voor staal en met name verzinkt staal. Ook roestvast staal kan booggesoldeerd worden. Wel is het zo dat de lassen een koperkleur hebben, wat om esthetische redenen bij roestvast staal niet altijd toelaatbaar is. Er zijn echter op het moment ontwikkelingen aan de gang waarbij de fabrikanten van soldeertoevoegmaterialen "color matching" toevoegmateriaal ontwikkelen voor het boogsolderen van roestvast staal. Probleem hierbij is, dat er legeringselementen toegevoegd (moeten) worden die de smelttemperatuur van de soldeerdraad verhogen. Een ander gevaar bij het MIG boogsolderen van roestvast staal is het ontstaan van koperpenetratie in het basismateriaal, vooral austenitische roestvaste staal-soorten zijn hier gevoelig voor. Hierdoor kan de sterkte van de verbinding afnemen en wordt het materiaal gevoeliger voor corrosieve aantasting.

In figuur 3.18 is een overlapverbinding weergegeven van een TIG soldeerverbinding in roestvast staal. De warmte-inbreng is te hoog geweest tijdens het maken van deze verbinding, waardoor er koperpenetratie is opgetreden in het basismateriaal zoals goed te zien is in de uitvergroting in figuur 3.19.

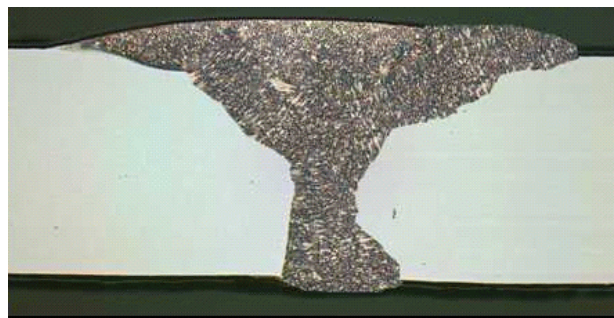
Onderzoek heeft uitgewezen [2] dat het boogsolderen van roestvast staal, zonder het risico van koperpenetratie op de korrelgrenzen, goed kan worden uitgevoerd met behulp van het laserlassen (zie figuur 3.20).



figuur 3.18 TIG booggelast AISI 304, 2 mm [2]

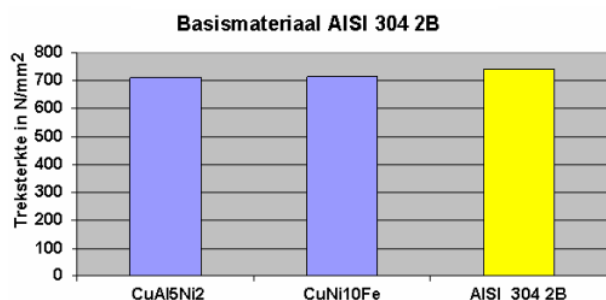


figuur 3.19 Detail van de las uit figuur 73: koperpenetratie in het AISI 304 basismateriaal [2]



figuur 3.20 Laser lasgesoldeerde verbinding in AISI 304, 2 mm dikte. Geen koperpenetratie zichtbaar [2]

Opmerkelijk is dat hierbij sterkten van de verbinding kunnen worden bereikt, die vrijwel overeenkomen met de sterkte van het basismateriaal (zie figuur 3.21).



figuur 3.21 Sterkten van laser lasgesoldeerde verbindingen (twee soldeersoorten). Basismateriaal AISI 304, 2 mm plaatdikte [2]

### Gasbescherming

Koper neemt, zoals eerder aangegeven, makkelijker zuurstof op, waardoor er langs de korrelgrenzen koper-oxi-duel wordt gevormd ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). Dit is nadelig voor de mechanische eigenschappen, vooral voor de taaiheid van de verbinding. Een goede gasbescherming is dus bij het boogsolderen een eerste vereiste. Vanwege de opname van zuurstof kunnen geen of zeer beperkt actieve gassen worden gebruikt en moet bij voorkeur met argon worden gewerkt. Sommige leveranciers van soldeertoevoegmaterialen bevelen de toevoeging van maximaal 1% zuurstof aan het beschermgas aan. Zij adviseren dit voor een betere bevochtiging. Het is mogelijk om maximaal 1% zuurstof aan het argon beschermgas toe te voegen omdat silicium in de lasdraad als desoxidant werkt.

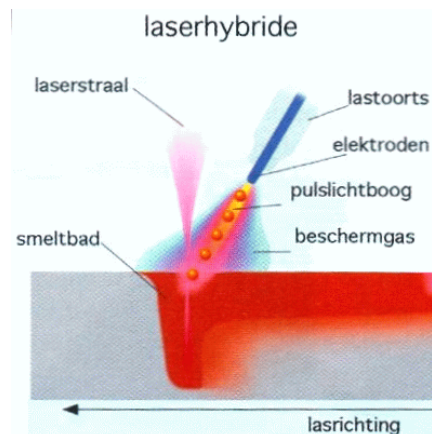
### Samenvatting

Lassolderen en vooral boogsolderen is een interessante verbindingstechniek voor dunne plaat, strip en buis. Deze techniek is vooral interessant als het uiterlijk van de soldeernaad belangrijk. De voordelen van het MIG boogsolderen worden het beste benut als gebruik wordt gemaakt van moderne stroombronnen, waarmee met pulserende stroom kan worden gelast. Dit soort stroombronnen is vaak voorzien van speciale programma's voor het boogsolderen. Bij het boogsolderen van verzinkte plaat zal de mate van beschadiging van de zinklaag onder andere afhangen van de dikte van de zinklaag. Bij elektrolytisch verzinkte plaat zal als gevolg van de geringe dikte van de zinklaag deze sneller beschadigen dan bij dompelverzinkte staalplaat. Een nadeel van dompelverzinkte plaat is echter weer de ongecontroleerde dikte van de zinklaag. Bij goed ingestelde soldeerparameters zal bij een overlapverbinding de zinklaag, ook bij elektrolytisch verzinkte plaat, aan de achterzijde van de soldeernaad niet worden beschadigd. De sterkte van een soldeerverbinding is bij een juiste geometrie van de soldeernaad en juiste uitvoering van het boogsoldeerproces dusdanig, dat breuk meestal optreedt in het basismateriaal, zelfs bij materialen die een hogere sterkte hebben dan het soldeer zelf. Er kunnen daarom niet alleen visueel fraaie, maar ook mechanisch sterke verbindingen met het MIG boogsolderen worden gerealiseerd.

### 3.5 MIG/MAG hybride lassen

Onder het hybride lassen wordt verstaan het gebruik van twee lasprocessen voor het maken van één verbinding. Het hybride lassen kan worden uitgevoerd met combinaties van TIG en Plasma, MIG/MAG en Plasma, MIG/MAG en TIG en MIG/MAG, plasma en laserlassen. Vooral deze laatste combinatie staat sterk in de belangstelling.

Bij het hybride lassen wordt vaak getracht de nadelen van de afzonderlijke processen te elimineren. Figuur 3.22 geeft een schematische weergave van het MIG/MAG-laser of laser-MIG/MAG hybride lassen.



figuur 3.22 Schematische weergave van het MIG/MAG laser hybride lassen [26]

Bij het MIG/MAG lassen zijn de maximale lassnelheden gelimiteerd. Deze beperking is vooral gelegen in het feit dat de bevochtiging van het smeltbad, bij hoge lassnelheden, onvoldoende is. Een manier om de lassnelheid verder te kunnen verhogen, is door het inzetten van een extra energiebron. Deze extra energiebron zorgt enerzijds voor meer warmte in het materiaal en anderzijds voor een betere bevochtiging. Een laser kan fungeren als een dergelijke extra energiebron.

Aan de kant van het laserlassen is een beperkende factor de hoge eisen die aan de nauwkeurigheid van de te verbinden productdelen en de lasnaadvoorbewerking worden gesteld. Door het MIG/MAG lassen te combineren met het laserlassen, kan de voorbewerking minder kritisch zijn om tot een goed resultaat te komen.

Hoewel er bij het MIG/MAG laser hybride lassen met twee warmtebronnen wordt gewerkt, is de hoeveelheid ingebrachte warmte beperkt ten gevolge van de hoge lassnelheden. Dit is voor een aantal lasprocessen te zien in tabel 3.4.

Figuur 3.23 toont het gunstiger inbrandingsprofiel bij het hybride lassen ten opzichte van het laserlassen en MIG bij gelijke lassnelheden (1 m/min).

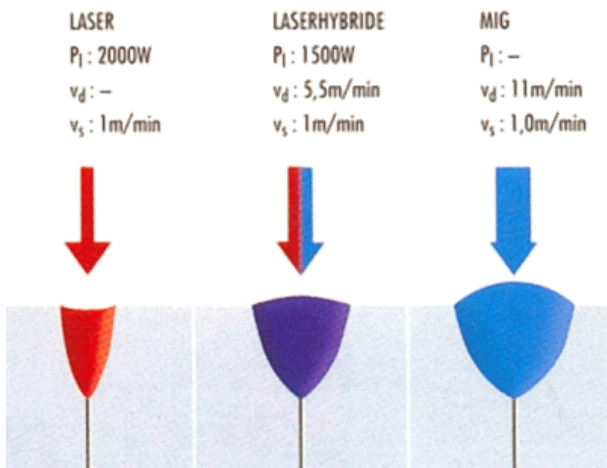
#### Apparatuur voor het MIG/MAG laser hybride lassen

De apparatuur voor het MIG/MAG laser hybride lassen bestaat, zoals al eerder aangegeven, uit de integratie van een laser (Nd-YAG,  $\text{CO}_2$  of Hoog Vermogen Diode laser) en MIG/MAG apparatuur. Natuurlijk is het noodzakelijk deze apparatuur elektronisch te koppelen, zodat het mogelijk wordt beide apparaten aan te sturen en te regelen. In de geïntegreerde laskop bevinden zich de laser met het lenzenstelsel en de MIG/MAG lastoorts (zie figuur 3.24).

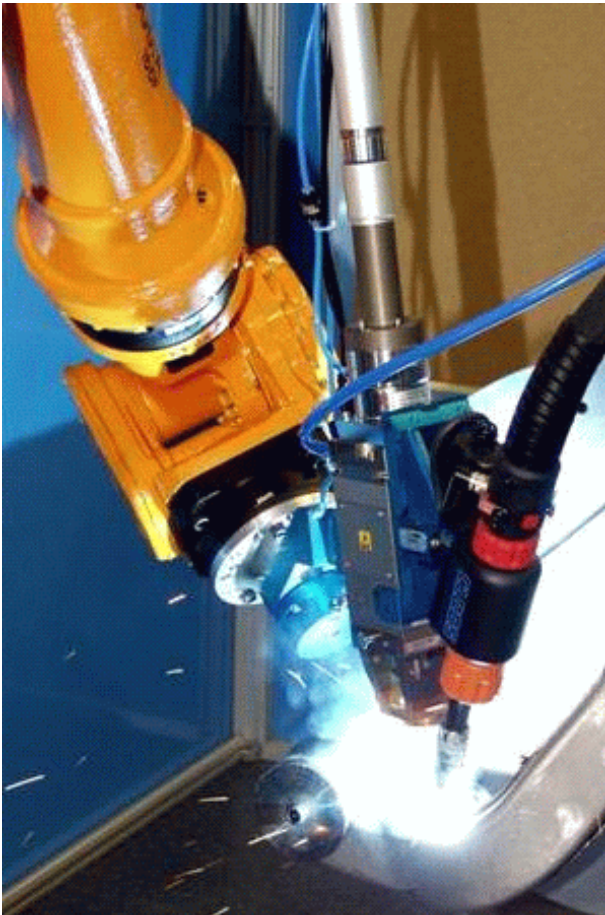
tabel 3.4 Vergelijking van de warmte-inbreng bij het lassen van 6 mm staalplaat [40]

	onderpoeder	laser + koude draad	laser alleen	laser/MAG	laser/MAG-twin
voortloopsnelheid (m/min)	0,5	1,2	2,7	3	4
warmte-inbreng (l/mm)	1548	300	133	342	258





figuur 3.23 Gunstiger inbrandingsvorm (t.o.v. het laserlassen) door de combinatie van laserlassen en MIG lassen [40]



figuur 3.24 MIG/MAG en laser geïntegreerd in één laskop [75]

Hierbij komt nog de eis vanuit de praktijk, dat deze laskop niet te groot van afmetingen mag zijn vanwege de bereikbaarheid van de lasnaden. Dit maakt dat aan de uitvoering van deze laskop hoge eisen worden gesteld.

### Toepassing

Wanneer heeft het zin het hybride lasproces toe te passen? Het zal duidelijk zijn, dat gezien de prijs die voor een dergelijk systeem moet worden betaald, er vele meters las moeten worden gelegd om concurrerend te kunnen werken. De hoge voortloopsnelheid (lassnelheid) die daarbij haalbaar is, helpt natuurlijk enorm om het proces rendabel te maken. Wel moet er bij het MIG/MAG-laser hybride lassen, door de hoge productiesnelheden die worden verkregen, aandacht worden besteed aan de logistiek binnen het bedrijf.

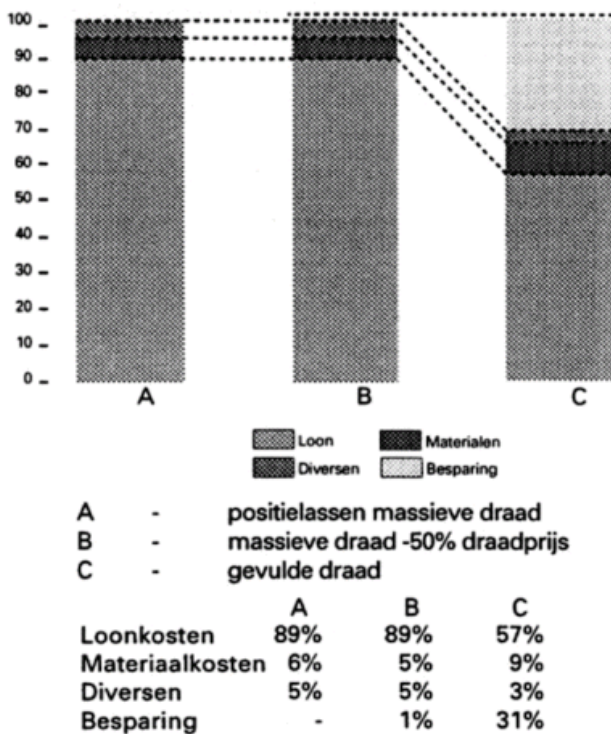
Huidige gebruikers van dit soort systemen komen uit de wereld van de automobielandustrie. Maar ook de scheepsbouw ziet mogelijkheden. De verwachting is echter, dat vooral de dunne plaatindustrie van dergelijke systemen gebruik zal gaan maken. Plaatdikten van onder de 2 mm zijn al met succes gelast.

Op dit moment zijn er in West-Europa slechts een beperkt aantal leveranciers van werkende MIG/MAG-laser hybride systemen, maar voor zover bekend zijn er (nog) geen systemen in Nederland in gebruik. Naast de technische aspecten moet ook extra aandacht worden besteed aan de veiligheid bij dit soort systemen.

## Hoofdstuk 4

### Economie van het MIG/MAG lassen

De kosten per meter laslengte of kg neergesmolten lasmetaal bestaan uit loonkosten inclusief sociale lasten en overhead, verbruikskosten van materialen, energie en machinekosten. De overhead wordt soms gebruikt om de kosten voor toevoegmaterialen, energie en machines in op te nemen. Dit vereenvoudigt de berekening natuurlijk sterk maar komt de nauwkeurigheid niet ten goede, aangezien er dan met bedrijfsgemiddelden gewerkt gaat worden. Bekijken we als voorbeeld een eenvoudige lassituatie, waarbij een MAG lasser met massieve lasdraad een hoeklas in positie maakt (figuur 4.1), dan blijkt dat de kosten van de lasser 89% van de totale kosten uitmaken.



figuur 4.1 Vergelijking laskosten [59]

Wordt nu de draadprijs gehalveerd, dan zullen de materiaalkosten (opgebouwd uit draad en gaskosten) van 6 naar 5% dalen, zodat er 1% op de prijs per kg lasmetaal wordt bespaard. Het zal duidelijk zijn dat wanneer deze lagere draadprijs ook een lagere kwaliteit inhoudt, dit kostenvoordeel snel teniet kan gaan door machinestoringen veroorzaakt door een slechtere wikkeling van de lasdraad of een mindere oppervlaktekwaliteit. Hieruit blijkt dat de laskosten een samenspel zijn van een groot aantal factoren, die in hun onderlinge samenhang, de uiteindelijke laskosten bepalen.

De reden om in de praktijk te kiezen voor het MIG/MAG lassen is in verreweg de meeste gevallen economisch van aard. De verschillende MIG/MAG varianten die voor het lassen van staal en non-ferrometalen in aanmerking komen, hebben zowel ten opzichte van het lassen met beklede elektroden als ten opzichte van het

TIG lassen, een veel hogere neersmeltsnelheid, hogere inschakelduur (ID of PID - procentuele inschakelduur) en gunstiger procesrendement. De grenzen van inschakelduur van een aantal lasprocessen zijn weergegeven in tabel 4.1.

tabel 4.1 Enkele inschakelduren van een aantal veel voorkomende lasprocessen [59]

Lasprocessen	Inschakelduur
Elektrode lassen	20 - 30%
MIG/MAG lassen	25 - 35%
TIG lassen	15 - 20%
Onder poeder lassen	40 - 40%

Het is verstandig de genoemde inschakelduren met verstand te benaderen, daar in de praktijk vaak vele aspecten een rol spelen. Zo is bij het lassen met beklede elektroden de inschakelduur in de praktijk gemiddeld 20 a 30%. Dit betekent, dat de lasser 70 à 80% van zijn tijd bezig is met allerlei andere dingen, zoals hechten, verwisselen van elektroden, slakbikken, slijpen, rusten, wachten.

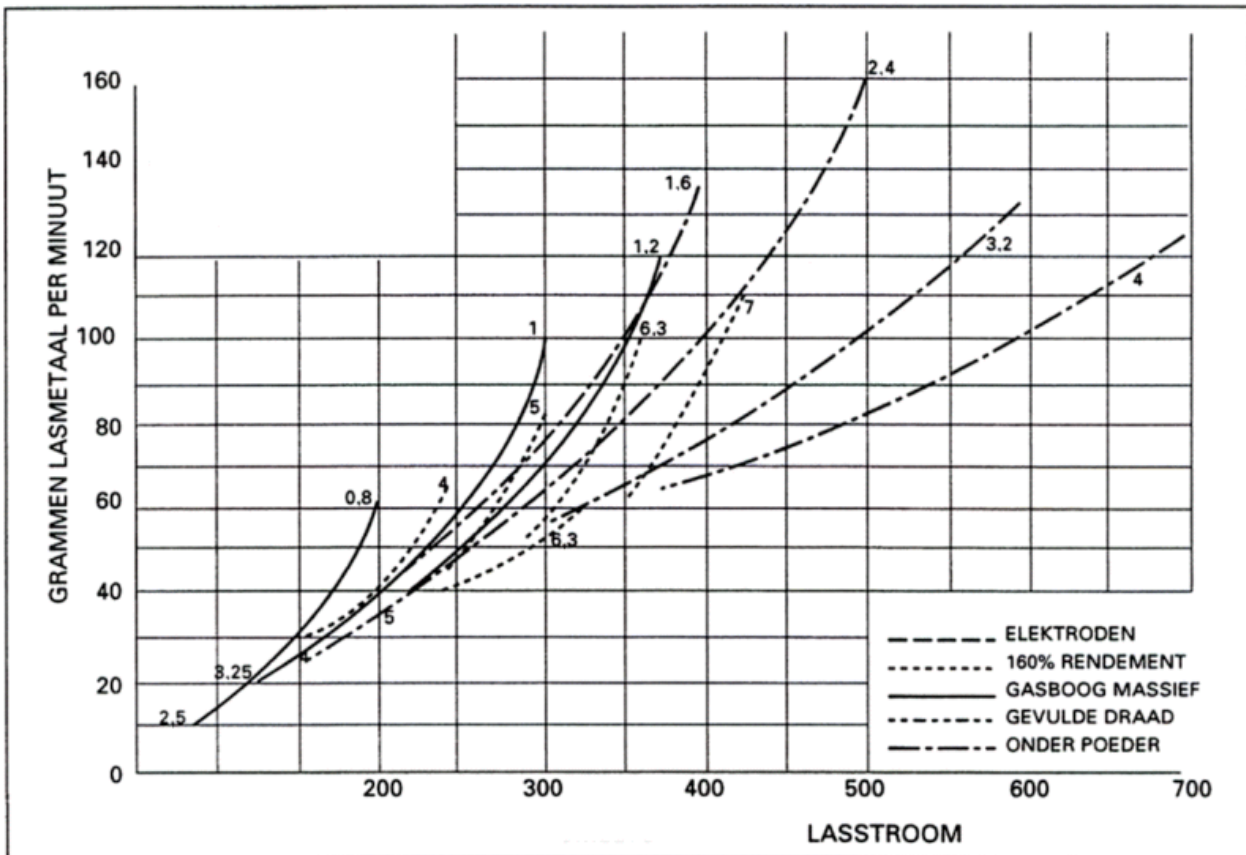
Wanneer voor het lassen wordt overgeschakeld naar het MIG/MAG lassen, dat met hogere inschakelduur werkt, dan is het laswerk natuurlijk eerder gereed. Het is echter niet zeker dat de tijdswinst altijd op gunstige wijze wordt benut. Weliswaar zijn er factoren aan te wijzen, die wat betreft het lassen een positief effect hebben, zoals het ontbreken van de noodzaak van het wisselen van elektroden, en geen of minder slakbikken, doch in vele gevallen, zullen de neventijden niet in die mate dalen als de zuivere lastijden, zodat de ID daalt en een gedeelte van het mogelijke voordeel van het MIG/MAG lassen verloren kan gaan.

De praktijk leert echter dat het MIG/MAG lassen aanzienlijk economischer is dan bijvoorbeeld het Bmbe lassen. Dit komt, doordat vrijwel altijd geschikte maatregelen worden getroffen om de nadelen geheel of voor een zeer groot gedeelte te elimineren. Men moet echter van tevoren goed beseffen, dat in de praktijk veel inspanning nodig is om tot het gewenste (optimale) resultaat te komen.

Naast het lasproces zelf is de inschakelduur dus ook in belangrijke mate afhankelijk van de aard van het laswerk, de nauwkeurigheid van de productonderdelen en de organisatie van het laswerk rond de werkplek

Uiteraard is de dominerende factor bij de inschakelduur, de stroomsterkte (beter: stroomdichtheid) die tijdens het lassen bereikbaar is; deze verschilt sterk per lasproces. Uit figuur 4.2 blijkt dat bij het onderpoeder lassen met hoge stroomsterkten kan worden gewerkt met als goede tweede het MIG/MAG lassen.

Er moet onderscheid worden gemaakt tussen draad- of elektrodeverbruik en neersmeltsnelheid. Het verschil tussen deze twee is het procesrendement. Bij elektroden bijvoorbeeld is dit laag. Door spatverliezen, lasrook, weggegooide laspeuken en slak zal het rendement tussen de 55% en 68% liggen. Het MIG/MAG lassen heeft een aanzienlijk beter procesrendement (97 - 92%). In tabel 4.2 zijn een aantal grenzen van procesrendementen weergegeven voor de verschillende lasprocessen.



figuur 4.2 Relatie tussen de neersmeltsnelheid en lasstroom van een aantal lasprocessen [59]

tabel 4.2 Grenzen van procesrendementen van de verschillende lasprocessen[59]

Lasproces	procesrendement
rutiel elektroden	55 - 60%
basische elektroden	60 - 68%
massieve draad MIG/MAG	87 - 92%
massieve draad TIG	92 - 95%
metaalpoeder gevulde draad	90 - 95%
rutiel/basisch gevulde draad	85 - 90%
onderpoederdeklassen	98%

Het procesrendement is voor de kostprijsberekening van belang, omdat hierdoor vrijwel altijd voor een meter laslengte meer toevoegmateriaal nodig is dan uit het lasnaadvolume blijkt.

De inschakelduur, het procesrendement en neersmeltsnelheid zijn, hoe belangrijk ook, uiteraard niet de enige factoren die de laskosten bepalen.

In de praktijk moeten ook tot de (las)kosten worden gerekend de kosten van:

- de voorbereiding;
- het aanbouwen;
- voorwarmen;
- een warmtebehandeling;
- het lasonderzoek;
- reparaties;
- kwalificatie van lasmethoden en lassers;
- opleiding van lassers;
- investeringen.

Over het algemeen worden de laskosten van het MAG lassen vergeleken met het booglassen met beklede elektroden, omdat dit beide lasprocessen zijn die met de hand kunnen worden uitgevoerd en een ongeveer gelijkwaardige flexibiliteit kennen. Het MIG lassen zou het beste vergeleken kunnen worden met het TIG lassen, daar het booglassen met beklede elektrode uiteraard geen serieus alternatief is. Het heeft weinig zin gemechaniseerde lasprocessen te vergelijken met handmatige lasprocessen, omdat deze vergelijking op een aantal punten mank gaat, bijvoorbeeld door het grote verschil in inschakelduur en investering. Gemechaniseerde processen kunnen wel weer onderling worden vergeleken ten aanzien van hun laskosten. Bij een goede analyse van de kosten is het noodzakelijk ook de technische aspecten en mogelijkheden te betrekken, anders loopt men het risico appels met peren te vergelijken.

Een programma dat uitstekende diensten kan bewijzen is het programma COSTCOMP<sup>®</sup> dat door het Nederlands Instituut voor Lastechniek wordt uitgegeven (zie [www.nil.nl](http://www.nil.nl)). COSTCOMP<sup>®</sup> berekent voor een aantal lasprocessen de verschillende laskosten per kg neergesmolten lasmetaal of meter laslengte afhankelijk van de gekozen condities.

Veel kostprijsberekeningsprogramma's voor het berekenen en vergelijken van de laskosten gaan evenals COSTCOMP<sup>®</sup> uit van de kosten per kg neergesmolten lasmetaal. Dit is een bruikbare methode voor het lassen van grotere materiaaldikten waar gewerkt wordt met relatief hoge neersmeltsnelheden. Tegenwoordig ligt echter de gemiddelde plaatdikte waaraan gelast

wordt in Nederland rond de 3 mm waarbij processen zoals laserlassen, TIG en plasmalassen veelvuldig worden ingezet. Bij het lassen van kleine materiaaldikten zijn de laskosten die gebaseerd zijn op een verschil in neersmeltsnelheden van de verschillende lasprocessen, van ondergeschikt belang. De laskosten bij kleine materiaaldikten worden voornamelijk bepaald door verschil in lassnelheden tussen de verschillende lasprocessen, hetgeen een andere manier van berekenen vraagt. Voor het berekenen van de laskosten bij het laserlassen is een uitstekend laskostenberekeningsprogramma te vinden op de volgende websites [www.dunneplaat-online.nl](http://www.dunneplaat-online.nl) en [www.verbinden-online.nl](http://www.verbinden-online.nl) en kan vrij worden gedownload.

Kostprijsberekeningsprogramma's hebben de intentie de gebruiker te ondersteunen bij het berekenen van de kostprijs voor het lassen. Het is goed te beseffen dat ze slechts ondersteuning bieden voor een deel van het product, namelijk alleen voor de laskosten. De laskosten maken echter over het algemeen slechts een beperkt deel uit van de productkosten. De laskosten per product kan sterk verschillen per sector en type product. Dit is te zien in tabel 4.3, waar is aangegeven wat de hoeveelheid lasmetaal per ton product in Nederland is in de verschillende sectoren.

tabel 4.3 Hoeveelheid lasmetaal per ton product in Nederland voor verschillende sectoren (richtwaarden) [59]

branche	% lasmetaal
scheepsbouw	2
staalconstructies	3
offshore	6
apparatenbouw	6
transportmiddelenindustrie	0,2
tankbouw	1
bruggenbouw	2,5
pijpleidingenbouw	0,15

Voor degene die zelf hun laskosten willen berekenen, kan de formule uit figuur 4.3 behulpzaam zijn.

**Kosten per meter laslengte**

$$W = V \times \rho \left[ \frac{100}{i} \times F \left( L + \frac{A+R+O}{1600} \times \frac{100}{\beta} \right) + M \times \frac{100}{\eta} + P \times \delta + \frac{1000}{60} \times \frac{V_g \times G}{F} \right]$$

Labels in de afbeelding:

- Neersmeltsnelheid lasmetaal [kg/h]**:  $\frac{100}{i}$
- Afschrijving apparatuur [€/jaar]**:  $A$
- Rente op investering apparatuur [€/jaar]**:  $R$
- Onderhoud betreffende apparatuur [€/jaar]**:  $O$
- Kosten lastoevoegmateriaal [€/kg]**:  $M$
- Kosten beschermgas [€/m<sup>3</sup>]**:  $P$
- Verbruik beschermgas [l/min]**:  $V_g$
- Kosten laspoeder [€/kg]**:  $G$
- Rendement lasmateriaal [%]**:  $\beta$
- Bezettingsgraad apparatuur [%]**:  $\eta$
- Kosten laspoeder [€/kg]**:  $P$
- Rendement lasmateriaal [%]**:  $\delta$
- Factor poederverbruik per kg lasdraad**:  $\frac{1000}{60} \times \frac{V_g \times G}{F}$
- Loonkosten [€/h]**:  $V$
- Inschakelduur lasser (duty cycle = effectieve boogtijd/totale werktijd in functie [%])**:  $F$
- Dichtheid lasmetaal [kg/m<sup>3</sup>]**:  $\rho$
- Volume lasnaad inclusief overdikte [mm<sup>3</sup>]**:  $L$

figuur 4.3 Formule voor het berekenen van de laskosten uit [11]

## Hoofdstuk 5

### Onvolkomenheden bij het MIG/MAG lassen

Bij ieder lasproces kunnen onvolkomenheden, vaak onterecht lasfouten genoemd, optreden, ook bij het MIG/MAG lassen. Als de procesparameters niet goed zijn afgestemd, dan kunnen bij de uitvoering onvolkomenheden optreden, waarvan de juiste oorzaak achteraf vaak moeilijk te onderkennen en te achterhalen is.

Apparatuur, beschermgas, toevoegmateriaal, draaddiameter en keuze van het type boog (kortsluitboog, openboog of pulsboog) bepalen samen het MIG/MAG proces. Daarnaast spelen het moedermateriaal, de lasnaadvorm, de laspositie en de ervaring en vakkennis van de lasser een zeer belangrijke rol. De werkplaatsleiding moet voldoende kennis bezitten om steeds voor de juiste lasprocedures of werkschrijvingen te zorgen. Zelfs als deze door het vervaardigen van proeflassen tot stand zijn gekomen, is het nodig alert te blijven.

Het MIG/MAG lassen wordt vooral vanwege de hoge inschakelduur en neersmelt per tijdseenheid toegepast. Tegelijkertijd houdt deze eigenschap ook een gevaar in. Wanneer hierdoor een te groot smeltbad ontstaat, kan dit onder de boog doorlopen. Hierdoor verhit de boog niet meer de laskanten, maar het smeltbad. Het smeltbad is dan niet in staat de laskanten tot smelten te brengen, waardoor bindingsfouten ontstaan. Dit is te voorkomen door een grotere voortloopsnelheid te kiezen. Wordt echter de voortloopsnelheid te groot gekozen, dan is er kans dat het smeltbad nog niet is gestold, als dit zich buiten het gebied van de gasbescherming bevindt. Ervaring en vakmanschap van de lasser zijn daarom een absolute voorwaarde om onvolkomenheden te voorkomen.

Het MIG/MAG lassen is oorspronkelijk ontwikkeld voor het lassen van aluminium onder argon beschermgas. De overgang naar het lassen van koolstofstaal onder aanvankelijk CO<sub>2</sub> beschermgas gaf, door een tekort aan proceskennis, ervaring en scholing aanleiding tot veel problemen door de aanwezigheid van bindingsfouten. Dit bezorgde het MIG/MAG lassen in de beginperiode een slechte naam. Door verbeterde technieken, apparatuur en proceskennis zijn deze problemen overwonnen. Het MIG/MAG lassen wordt tegenwoordig door alle keuringsinstanties volledig geaccepteerd. Wel is het nog zo, dat bij het MIG/MAG lassen voor kritische toepassingen, aanvullende (zij)buigproeven of ultrasoon onderzoek gevraagd worden.

#### Enkele voorkomende lasgebreken

De meest geconstateerde onvolkomenheden bij het MIG/MAG lassen zijn:

- ▶ poreusheid;
- ▶ randinkarteling;
- ▶ bindingsfouten;
- ▶ slakinsluitels.

De onvolkomenheden zijn uiteraard niet uniek voor het MIG/MAG lassen maar komen bij vrijwel alle lasprocessen voor. De procestechnische eigenschappen van ieder lasproces verschillen echter, waardoor ook de maatregelen ter voorkoming van fouten verschillen. Op enkele problemen, die zich bij het MIG/MAG lassen kunnen voordoen, wordt nu nader ingegaan.

#### Poreusheid

Stikstof en waterstof zijn gasen die gemakkelijk oplossen in vloeibaar metaal. De oplosbaarheid in de vaste stof is maar heel gering. Als het smeltbad met één van deze gasen in aanraking komt, zullen er gasatomen in oplossing gaan. Tijdens het stollen zullen deze opgeloste atomen het smeltbad weer moeten verlaten, omdat de oplosbaarheid in het gestolde materiaal zo gering is. De buitenkant van het smeltbad stolt het eerst, waardoor de gasatomen meestal niet kunnen ontsnappen. Deze verzamelen zich tot kleine gasbelletjes die poreusheid wordt genoemd. De lucht bestaat voor circa 78% uit stikstof (N<sub>2</sub>). Poreusheid ten gevolge van stikstof is te wijten aan onvoldoende gasbescherming.

Waterdamp is in de lucht aanwezig en kan waterstof aan het smeltbad leveren. Waterstof is ook aanwezig in vetten, in oxidelagen (roest op de laskanten) en verf- of primerlagen. Dit is de reden dat er altijd aan schoongemaakt materiaal moet worden gelast.

Er zijn veel oorzaken, die kunnen leiden tot een onvoldoende gasbescherming. Meestal moet worden gezocht naar het optreden van ongewenste wervelingen, die de gasbescherming verstoren.

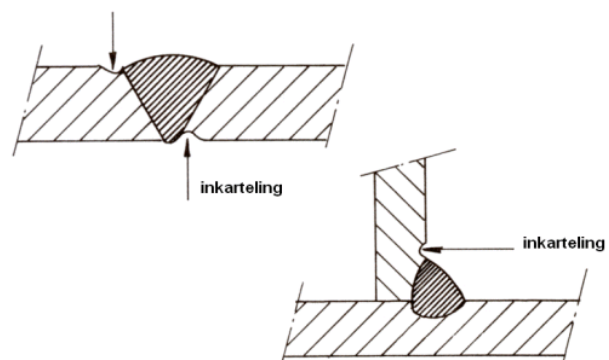
Enkele mogelijkheden zijn:

- ▶ te hoge of te geringe gastoevoer;
- ▶ lekkende slangaansluitingen of koppelingen;
- ▶ tocht;
- ▶ vervuild mondstuk;
- ▶ te grote uitsteeklengte;
- ▶ verkeerde stand van de lastoorts;
- ▶ vervuilde lasnaadkanten (vet, verf of roest).

Naarmate het te lassen materiaal gevoeliger is voor de opname van waterstof (aluminium en zijn legeringen), is het noodzaak meer aandacht te besteden aan de gasbescherming.

#### Randinkarteling

Randinkarteling ontstaat als de laskant wel tot smelten komt, maar het smeltbad daarna niet in staat is de lasnaad volledig te vullen. Het smeltbad komt dus te vroeg tot stolling (zie figuur 5.1). De oorzaak is een verkeerde verdeling van de ingebrachte warmte. Bij het kortsluitbooglassen kan het smeltbad onvoldoende mee vloeien of kan de voortloopsnelheid van de lastoorts te hoog zijn.



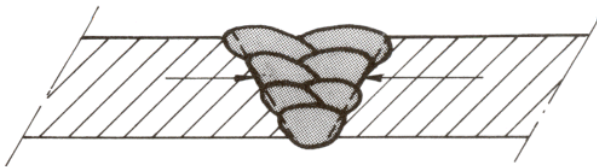
figuur 5.1 Randinkarteling [62]

Ook de stand van de lastoorts kan invloed hebben op het ontstaan van randinkarteling. De boog kan meer op het smeltbad gericht zijn dan op het moedermateriaal

- of andersom - afhankelijk van de hoek die de lastoorts met de lasnaad maakt. Mede is van invloed of stekend dan wel slepend wordt gelast. Bij het stekend lassen heeft het smeltbad de neiging naar voren te worden gedrukt. Hierdoor kan makkelijker een dreigende randinkarteling worden opgevuld. Bij hoeklassen is vooral het risico aanwezig dat door een verkeerde stand van de lastoorts aan de bovenzijde van de las randinkarteling ontstaat. Dit laatste kan vooral het geval zijn bij het openbooglassen. Randinkarteling is vrijwel altijd een fout van de lasser.

### Bindingsfouten

Bij het lassen smelten de laskanten van het moeder-materiaal en vloeien samen met het smeltbad. Dit geeft na het stollen een homogene verbinding. Wanneer plaatselijk een laskant niet gesmolten of al gestold is voordat het smeltbad is aangevloed, vindt geen vermenig-plaats. Na het stollen van het smeltbad zijn op de betreffende plaats de twee lagen niet met elkaar verbonden. Dit wordt een bindingsfout genoemd (zie figuur 5.2). Bij het leggen van meerdere lagen kunnen ook bindingsfouten tussen twee lagen onderling optreden.



figuur 5.2 Bindingsfouten op de flank van de lasnaad [62]

Bindingsfouten ontstaan door een tekort aan (lokale) warmte-inbreng. Bindingsfouten houden direct verband met de procesomstandigheden en worden vaak beïnvloed door de lasser, bijvoorbeeld door de keuze van booglengte, voortloopsnelheid, zwaaien, stekend of slepend lassen, enz.

Wanneer bindingsfouten voorkomen, kan dit erop duiden, dat de procesomstandigheden kritisch zijn. Vooral bij het kortsluitbooglassen kan dit voorkomen. Wanneer bindingsfouten optreden bij het kortsluitbooglassen, kan men in kritische situaties overwegen pulse-rend te lassen. Bij het openbooglassen ontstaat een groot, dunvloeibaar smeltbad. De voortloopsnelheid moet hierop zijn aangepast. Bij een te lage voortloop-snelheid is de kans groot dat het smeltbad onder de

boog doorloopt. De boog zal in een dergelijke situatie het onderliggende materiaal niet voldoende tot smelten kunnen brengen, hetgeen bindingsfouten veroorzaakt. Bindingsfouten kunnen ook gemakkelijk ontstaan bij het verticaal neergaand MIG/MAG lassen en gaan dan vaak samen met een onvoldoende inbranding. Dit is een laspositie die voor het MIG/MAG lassen zeer kritisch is en een hoge concentratie van de lasser vraagt.

### Slakinsluitingen

Bij MIG/MAG lassen met massieve lasdraad is de kans op slakinsluitingen nauwelijks aanwezig. Dit is juist één van de belangrijke voordelen van het MIG/MAG lassen. Wel blijven op de las oxideschilfers (silicaten) tengevolge van de afbrand van legeringelementen achter. Zelfs bij het lassen in meerdere lagen blijkt het niet altijd nodig te zijn die te verwijderen en kan de volgende laag zonder nabewerking worden gelegd. Bij gevulde lasdraad zijn slakvormende bestanddelen in de lasdraad aanwezig. Bij de gevulde lasdraad met gas-bescherming is de slakvorming geringer, dan bij elektrodelassen, omdat deze niet voor badbescherming dient. Daarom wordt wel gemeend, dat deze lasdraad ook in meerdere lagen zonder nabewerking kan worden verwerkt. Dit geldt wel voor de metaalgevulde lasdraden maar zeker niet voor rutiel en basische gevulde lasdraden.

Bij toepassing van gevulde lasdraad moet men altijd alert zijn op de mogelijkheid van slakinsluitingen als in meerdere lagen wordt gelast. Overigens is over het algemeen de slak eenvoudig te verwijderen en is het bikken veel minder arbeidsintensief dan bij elektrodelassen.

### Scheuren

Het ontstaan van scheuren bij het MIG/MAG lassen heeft over het algemeen te maken met de lasbaarheid van de te verbinden materialen en is niet direct gekoppeld aan het MIG/MAG lassen zelf. Ongelegeerde en laaggelegeerde staalsoorten zijn meestal goed lasbaar. Ze kunnen echter wel gevoelig zijn voor stollingsscheuren, waterstofscheuren en reheat cracking (scheurvorming bij hogere temperatuur). Andere onvolkomenheden die bij het lassen kunnen optreden, zijn lamellaire breuk en scheuren als gevolg van dubbelingen. Echter, bij het gebruik van modern geproduceerd kwaliteitsstaal en hoogwaardige toevoegmaterialen zullen deze laatste zelden optreden. Verder informatie is beschikbaar op de site [www.nil.nl](http://www.nil.nl).

## Hoofdstuk 6

### Veiligheid en Milieu

#### 6.1 Inleiding

Het booglassen en dus ook het MIG/MAG lassen brengt onvermijdelijk een aantal risico's met zich mee voor de veiligheid en de gezondheid van de lasser en andere direct of indirect bij deze activiteit betrokken mensen. Voor een veilige uitvoering zijn dan ook altijd maatregelen noodzakelijk die ervoor zorgen dat er op een veilige manier gewerkt kan worden voor de lasser en zijn omgeving.

De noodzakelijke maatregelen zijn vastgelegd in voorschriften en wettelijke regelingen zoals de ARBO-wet, waarin zowel de werkgever als werknemer de verplichting tot hanteren van veilige werkmethoden is opgelegd.

Voor de veiligheid van de lasser in de praktijk is een goed inzicht in de risico's verbonden aan het MIG/MAG lassen van groot belang. Deze risico's zijn talrijk en uiteenlopend van aard, doch zijn doorgaans met eenvoudige voorzorgsmaatregelen afdoende te elimineren. Factoren die, in de breedste zin van het woord, direct het werkklimaat van de lasser beïnvloeden, betreffen:

- ▶ *Fysische factoren*
  - ◆ lawaai;
  - ◆ elektrische spanning;
  - ◆ straling.
- ▶ *Chemische factoren*
  - ◆ gassen;
  - ◆ lasrook.
- ▶ *Fysieke factoren*
  - ◆ gedwongen houding;
  - ◆ werken in besloten ruimten.
- ▶ *Psychische factoren*
  - ◆ werken onder tijddruk;
  - ◆ stress door hoge inspectiegraad en hoge afkeur;
  - ◆ monotonie van het werk;
  - ◆ geïsoleerdheid: geen contact met collega's.

Al deze factoren hebben vaak niet alleen een ongunstige invloed op het welzijn en dus de inschakelduur van de lasser, maar kunnen ook van invloed zijn op de hele werkplek.

Hoe hiermee moet worden omgegaan en welke wettelijke grenzen en voorwaarden hierbij gehanteerd moeten worden, kan in brochures van de arbeidsinspectie en NIL opleidingsboeken worden teruggevonden.

Eén aspect (lasrook) wordt hierna kort toegelicht, waarmee we niet willen aangeven dat de andere factoren minder belangrijk zouden zijn.

#### 6.2 Lasrook

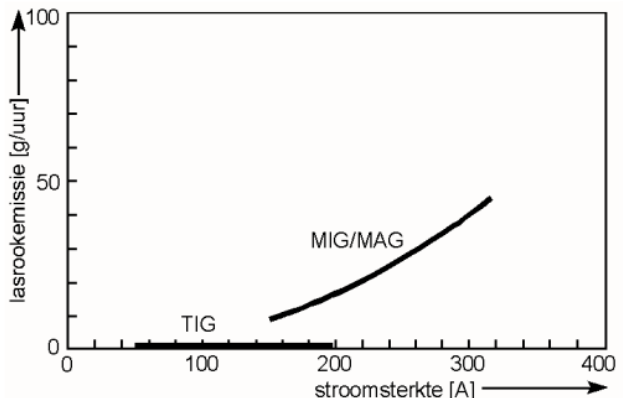
Het ontstaan van lasrook is inherent aan het lokaal zeer sterk opwarmen van metalen bij het lassen. De warmtetoevoer zorgt voor het smelten van de te verbinden delen en/of lastoevoegmateriaal. De MIG/MAG lasboog heeft een zo grote warmte-inhoud, dat het metaal lokaal kan verdampen en verbranden en er dientengevolge metaaldampen vanuit het smeltbad zullen ontstaan. Dit fenomeen zorgt voor het ontstaan van de lasrook.

Onder lasrook wordt een mengsel verstaan van vaste deeltjes en gassen die bij het lassen vrijkomen. De in

de lasrook aanwezige vaste deeltjes maken de lasrook veelal zichtbaar. De vaste deeltjes, het lasstof, bestaat al naar gelang van de grootte van de deeltjes uit respirabel en niet-respirabele stof. Tegen deze stofontwikkeling moeten altijd maatregelen genomen worden, omdat deze schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid van de mens.

Het lastoevoegmateriaal bij het MIG/MAG lassen zal, ten gevolge van het transport in de boog, een hogere temperatuur hebben dan het smeltbad zelf, waardoor relatief veel metaaldampen ontstaan tijdens het metaaltransport. Dit maakt dat het grootste deel van de lasrook, ca. 90%, afkomstig is van het toevoegmateriaal!

Dit verschil wordt duidelijk als we de ontwikkeling van de hoeveelheid lasrook bekijken bij het TIG en het MIG/MAG lassen met massieve draad in figuur 6.1.



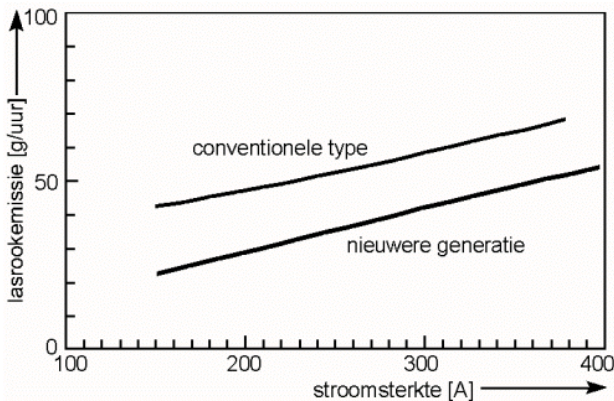
figuur 6.1 Emissie van lasrook van het TIG en het MIG/MAG lassen [70]

Duidelijk blijkt ook uit figuur 6.1 dat er bij het MIG/MAG lassen een relatie is tussen de hoeveelheid lasrook en de stroomsterkte: als de stroomsterkte toeneemt, neemt ook de hoeveelheid lasrook toe.

Het type lastoevoegmateriaal heeft eveneens een belangrijke invloed op de hoeveelheid lasrook die wordt ontwikkeld. Zo zal bij het gebruik van gevulde lasdraden ten gevolge van de slak in de vulling, de hoeveelheid ontwikkelde lasrook meer zijn dan bij het MIG/MAG lassen met massieve lasdraden.

Onder invloed van de technologische ontwikkelingen zijn er echter nieuwe gevulde draden ontwikkeld voor een groter toepassingsgebied. Tevens hebben deze ontwikkelingen ertoe geleid dat de hoeveelheid lasrookemissie aanzienlijk is verminderd, dit is te zien in figuur 6.2.

Daarnaast hebben de ontwikkelingen van de menggassen er toe geleid dat er een 'rustiger' lasbad wordt verkregen, waardoor er minder lasspatten optreden. Minder lasspatten die buiten het beschermgas in aanraking komen met de zuurstof uit de lucht, zullen leiden tot minder oxidaties en dus minder lasrook. Voor twee typen lasbogen (sproeiboog en pulsboog) is de relatie in figuur 6.3 tussen het boogtype en de verschillende beschermgasmengsels weergegeven ten opzicht van de hoeveelheid geproduceerde lasrook. In deze figuur is te zien dat er verschillen kunnen optreden van rond de 100%!



figuur 6.2 Verschil in emissie van lasrook tussen gevulde lasdraden van de oude en nieuwe generatie [70]

De mate van schadelijkheid van lasrook is continu onderwerp van studie. Op grond van de inzichten in de schadelijkheid van de verschillende componenten van lasrook, zijn de waarden vastgesteld van de maximaal toelaatbare concentraties daarvan in de ingeademde lucht. Deze worden aangeduid met MAC (Maximaal Aanvaarde Concentratie)- of TLV (Threshold Limit Value)-waarde.

De MAC-waarde van een bestanddeel van lasrook is een zodanige concentratie op de arbeidsplaats, die, voor zover de huidige kennis reikt, bij herhaalde blootstelling daaraan ook gedurende een langere, tot zelfs een arbeidsleven omvattende periode, meestal de gezondheid van de werkers en hun nageslacht nog niet benadeelt.

Binnen een convenant dat enige jaren geleden is afgesloten tussen de overheid, werkgevers, werknemers en vakbonden wordt uitgegaan van het (in stappen) komen tot een veilige waarde voor lasrook van 1 mg per m<sup>3</sup>. In 2003 heeft dit geleid tot een verlaging van de MAC waarde van 5 mg per m<sup>3</sup> voor lasrook naar 3,5 mg per m<sup>3</sup>. Per 1 januari 2007 is een nieuwe en

volgende stap gezet binnen dit convenant, deze wordt hierna kort toegelicht.

In de nieuwe Arbowetgeving bestaat het begrip "MAC-waarde" niet meer, maar is er een systeem van grenswaarden ingesteld. De maximale concentratie lasrook waaraan de werknemers in de laswerkplaats mogen worden blootgesteld is per 1 januari 2007 1 mg per m<sup>3</sup> lucht; dit is namelijk het voorliggende advies van de Gezondheidsraad. Echter, van de praktijkrichtlijn "Beheersing van blootstelling aan lasrook" is een nieuwe versie verschenen (augustus 2006), waarin nog wordt uitgegaan van 3,5 mg per m<sup>3</sup>. Vooralsnog handhaaft de Arbeidsinspectie anno 2007 deze waarde.

Beleidsregels worden vervangen door zogenaamde "Arbocatalogi", waarin de werkgevers en werknemers afspraken maken welke concentratie wordt nagestreefd (wettelijk is 1 mg/m<sup>3</sup> verplicht!) en op welke wijze men naar deze waarde toegaat via een plan van aanpak. Specialisten hebben berekend dat een concentratie van minder dan 1,5 mg lasrook per m<sup>3</sup> lucht zeer moeilijk haalbaar is en zeker nog niet tot de zogenaamde "stand der techniek" behoort. De NIL-TC VIII volgt de ontwikkelingen op de voet en houdt hun achterban op de hoogte via het blad Lastechniek en de NIL website.

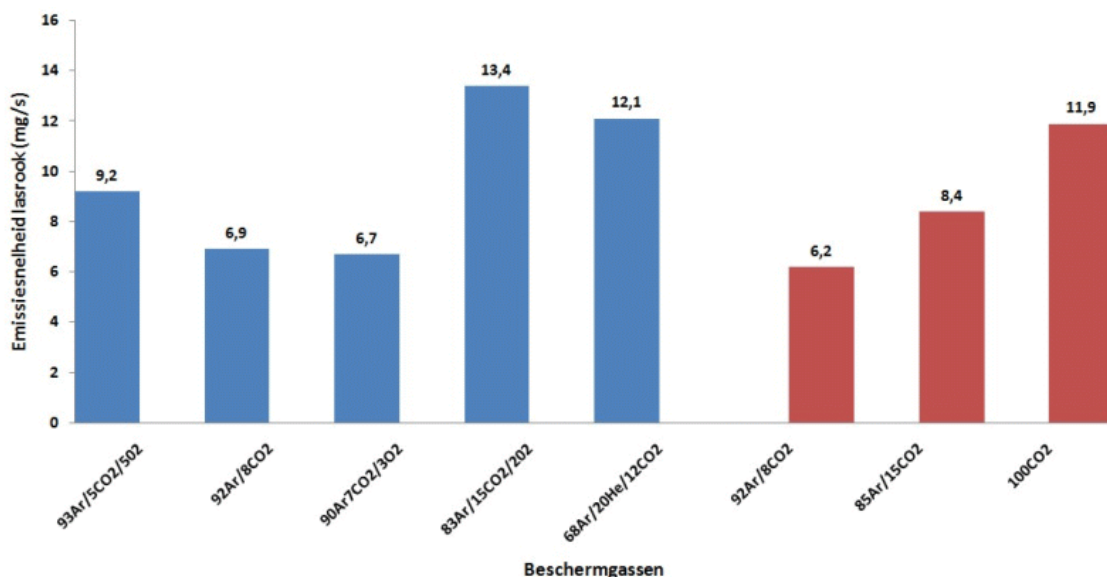
### Maatregelen

Om de lasser evenals de overige werknemers tijdens hun werkzaamheden tegen de eventuele schadelijke inwerking van de lasrook op zijn gezondheid te beschermen, moeten maatregelen worden genomen. Hiertoe is de zogenaamde Arbeidshygiënische Strategie in het leven geroepen. Deze strategie omvat:

- ▶ het wegnemen, verkleinen of afschermen van de bron;
- ▶ ventilatie/afzuiging toepassen;
- ▶ afschermen van mens en bron;
- ▶ persoonlijke beschermingsmiddelen gebruiken.

### Verdere informatie

Veel informatie met betrekking tot lasrook is terug te vinden op de website [www.lasrook-online.nl](http://www.lasrook-online.nl).



figuur 6.3 Invloed van het beschermgas op de emissiesnelheid aan lasrook bij het MAG lassen van constructiestaal [70]



## Hoofdstuk 7

### Lasopleidingen

Ten aanzien van het lassen is er in de achterliggende jaren binnen Nederland een duidelijke structuur opgezet van handvaardigheid tot de kaderopleidingen. Deze structuur is na Europees te zijn geharmoniseerd, nu overgenomen door het International Institute of Welding (IIW), waarmee hij mondiaal is geworden. In dit systeem, waarvan alle nationale lasinstituten deel uitmaken, functioneert in Nederland het Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL). De kaderopleidingen zijn Europees geharmoniseerd, zodat de behaalde diploma's binnen heel Europa geldig zijn. In figuur 7.1 is schematisch de structuur van de opleidingen voor het lassen weergegeven.

Verder zijn er tal van aanverwante opleidingen, waarvan de belangrijkste zijn: NIL beoordelaar van lasserskwalificaties, Europees lasinspecteur, lasrobotbeheerder, lasrobotoperator, lasinstructeur.

Steeds belangrijker wordt het kwalificeren en certificeren van lassers. Certificatie - zowel van lassers als kaderpersoneel - is een belangrijk onderdeel van de kwaliteitsborging. Door middel van certificaten wordt aangetoond, dat lassers en kaderpersoneel over actuele kennis en vaardigheden beschikken. Daarom is een certificaat ook beperkt geldig: voor lassers 2 jaar en voor kaderpersoneel 3 jaar.

Speciaal opgeleide en gecertificeerde NIL-beoordelaars kunnen worden ingeschakeld voor het afnemen van de noodzakelijke lasproef ten behoeve van een lasserskwalificatiecertificaat en de commissie Kadercertificatie beoordeelt de aanvragen van het kaderpersoneel.



figuur 7.1 Schematisch overzicht van de structuur van lasopleidingen in de gehele wereld en dus ook Nederland

Uitgebreide informatie over deze opleidingsmogelijkheden voor het lassen is te vinden op de website van het Nederlands Instituut voor Lastechniek ([www.nil.nl](http://www.nil.nl)), hier zijn ook de adressen te vinden van opleidingsinstituten die deze opleidingen verzorgen.

## Hoofdstuk 8

### Normen

De lijst van Nederlandse normen op het gebied van het (boog)lassen is zodanig van omvang, dat het ondoenlijk is deze allemaal te noemen, de lijst zou altijd incompleet zijn. Ook worden normen regelmatig vernieuwd of aangepast. Hier wordt slechts volstaan met het noemen van een aantal algemene normen die betrekking hebben op het lassen en die ook relevant zijn voor de selectietabellen die genoemd zijn in deze publicatie.

Meer gedetailleerde bibliografische informatie is te vinden op [www.nen.nl](http://www.nen.nl) onder: Normshop

#### Woordenlijst

Termen en definities lassen  
 NEN-EN 1792  
 NPR-CEN/TR 14599

#### Lasprocessen

Definities  
 NEN-EN-ISO 17659

Nummering lasprocessen

NEN-EN 14610; NEN-ISO 857-1;  
 NEN-EN-ISO 4063; NEN-ISO 4063

Aanduiding van smeltlasverbindingen op tekening  
 NEN-ISO 2553

#### Lasposities

Definities

NEN-EN-ISO 6947 (nl)

Vergelijking van Europese en Amerikaanse lasposities  
 NPR-CEN/TR 14633

Laswerk dat voldoet aan Europese Normen is een steeds vaker gestelde eis. Toepassing van de NEN-EN-ISO 14731, NEN-EN-ISO 3834, NEN-EN 287-1, NEN-EN-ISO 9606-2 en NEN-EN-ISO 15607 e.v. geeft afnemers en opdrachtgevers zekerheid over kwaliteit. Wie werkt volgens de Europese Normen, voldoet tevens aan de nieuwe aansprakelijkheidswetgeving; de kwaliteit van de werkwijze is immers aantoonbaar.

Ten aanzien van de lastoevoegmaterialen heeft de European Welding Association (EWA) het navolgende schema opgesteld, waarin duidelijk de complexe systematiek van de internationale normering wordt aangegeven (zie tabel 8.1).

tabel 8.1 Schema EWA met systematiek van de internationale normering

productvorm		lasproces	ongelegeerd en fijnkorrel staal		
			EN of EN-ISO	AWS	ISO
gevulde draad	FCAW	758:2004		A 5.20-95	17632:2004
massieve draad	GMAW	440:1994		A 5.18/A5.18M:2005	14341:2002
productvorm		lasproces	hoge sterkte staal		
			EN of EN-ISO	AWS	ISO
gevulde draad	FCAW	18276:2006		A 5.29/A5.29M:2005	18276:2005
massieve draad	GMAW	16834:2006		A 5.28/A5.28M:2005	16834:2005
productvorm		lasproces	roestvast en hittebestendig staal		
			EN of EN-ISO	AWS	ISO
gevulde draad	FCAW	17633:2006		A 5.22-95R	17633:2004
massieve draad	GMAW	14343:2006		A 5.9-93	14343:2002
productvorm		lasproces	aluminiumlegeringen		
			EN of EN-ISO	AWS	ISO
gevulde draad	FCAW	NA		NA	NA
massieve draad	GMAW	18273:2004		A 5.10 - A5.10M:1999	18273:2004
productvorm		lasproces	nikkellegeringen		
			EN of EN-ISO	AWS	ISO
gevulde draad	FCAW	NA		NA	
massieve draad	GMAW	18274:2004		A 5.14/A5.14M:2005	18274:2004
productvorm		lasproces	gietijzer		
			EN of EN-ISO	AWS	ISO
gevulde draad	FCAW			A 5.15-90R	
massieve draad	GMAW	1071:2003		A 5.15-90R	1071:2003

## ***Hoofdstuk 9***

### ***Nuttige Websites***

- ▶ [www.nil.nl](http://www.nil.nl)
- ▶ [www.fme.nl](http://www.fme.nl)
- ▶ [www.fdp.nl](http://www.fdp.nl)
- ▶ [www.tno.nl](http://www.tno.nl)
- ▶ [www.tud.nl](http://www.tud.nl)
- ▶ [www.syntens.nl](http://www.syntens.nl)
- ▶ [www.awl.nl](http://www.awl.nl)
- ▶ [www.hollandia.s3c.nl](http://www.hollandia.s3c.nl)
- ▶ [www.las-online.nl](http://www.las-online.nl)
- ▶ [www.norlas.nl](http://www.norlas.nl)
- ▶ [www.demarlaser.nl](http://www.demarlaser.nl)
- ▶ [www.nimr.nl](http://www.nimr.nl)
- ▶ [www.utwente.nl](http://www.utwente.nl)
- ▶ [www.ewf.be](http://www.ewf.be)
- ▶ [www.iiw-iis.org](http://www.iiw-iis.org)
- ▶ [www.lasrook-online.nl](http://www.lasrook-online.nl)
- ▶ [www.dunneplaat-online.nl](http://www.dunneplaat-online.nl)
- ▶ [www.verbinden-online.nl](http://www.verbinden-online.nl)
- ▶ [www.rustbuster.nl/lassen\\_en\\_gereedschap/MIG\\_lassen.html](http://www.rustbuster.nl/lassen_en_gereedschap/MIG_lassen.html)
- ▶ [www.ppmigtig.nl](http://www.ppmigtig.nl)
- ▶ [www.lascentrum.com](http://www.lascentrum.com)
- ▶ [www.cloos.de](http://www.cloos.de)

## Hoofdstuk 10

### Literatuur

- [1] Mol M. 2007. Lastechniek 73(1). Recente ontwikkelingen lastoortsen. p 11-16.
- [2] Gales, A.; Sérin, M.; Säynäjäkangas, J.; Akdut, N.; Hoecke, D.; Sanchez, R.; 2007; Final report "Development of lightweight trains and metro cars by using ultra high strength stainless steels. ECSC research programme number 7210-PR-363.
- [3] Gower, H.L.; Pieters, R.R.G.M.; Richardson, I.M.; 2006; In SN (Ed.), Paper #519 (Poster #519); Proceedings Conference ICALEO 2006, Scottsdale, Arizona, USA. SL: ICALEO. The use of overlapping ND:YAG laser spot welds to butt weld steelite, a metal polymer laminate. p 1-7.
- [4] Kriebel, C.; Luijendijk, T.; 2006. Lastechniek 72(3). T.I.M.E.-lassen. Deel 1 - Een hoog rendement uit het werkkapitaal; p.6-9.
- [5] Yudodibroto, B.Y.; Hermans, M.J.M.; Richardson, I.M.; 2006. In SN (Ed.), IIW Doc. No. XII-1910-06. Proceedings of the 58th Annual Assembly of the International Institute of Welding (IIW), Quebec, Canada. The influence of pulse synchronisation on the process stability during tandem wire arc welding. p. 77-87.
- [6] Yudodibroto, B.Y.; Hermans, M.J.M.; Richardson, I.M.; (2006). In SN (Ed.), IIW Doc. No. XII-1876-06. Proceedings of the 58th Annual Assembly of the International Institute of Welding (IIW), Quebec, Canada. Process stability analysis during tandem wire arc welding. p. 52-65.
- [7] Richardson, I.M.; Norrish, J.; Hermans, M.J.M.; 2006. In SN (Ed.), IIW Doc. No. XII-1893-06. Proceedings of the 58th Annual Assembly of the International Institute of Welding (IIW), Quebec, Canada. The mechanism and significance of drop spray transfer in GMAW. p. 325-334.
- [8] Luijendijk, T.; 2006. Lastechniek 72(9). Recente ontwikkelingen MIG/MAG-lassen. p 8-12.
- [9] Luijendijk, T.; 2006. Lastechniek 72(4). Chopper of inverter. De keuze tussen moderne stroombronnen. p 20-23.
- [10] Kriebel, C.; & Luijendijk, T.; 2006. Lastechniek 72(4). T.I.M.E. lassen. Deel 2 - Praktijkvoorbeelden. p 10-12.
- [11] Neessen, F.; Hilken, J.; 2006. Lastechniek 72(4). Laskostenbeheersing. p. 22 t/m 27.
- [12] R. Killing; 2006. Der Praktiker 2. Mit geringem Wärmeeintrag schnell und sicher verbinden -Übersicht über die energiearmen MSG -Verfahrenen
- [13] Syllabus NIL/BIL symposium 2006. Diverse documentatie van voordrachten.
- [14] Dzelnitzki, D.; 2006. MIG Flachdrahtschweissen von Aluminium. Technische berichte 1. Hamburg.
- [15] F. Neessen en J. Hilken; 2006. Lastechniek april. Laskostenbeheersing. p 22 t/m 27.
- [16] Luijendijk, T.; 2005. Lastechniek 71(3). Cold Metal Transfer. p 6 t/m 9.
- [17] Luijendijk, T.; 2005. MIG-solderen. Utrecht, NIL-voorlichtingsdag proceedings: "50 jaar MIG/MAG-lassen".
- [18] Luijendijk, T.; 2005. Lastechniek 71(11). Koud en spatloos lassen, p 12-15.
- [19] Yudodibroto, B.Y.; 2005, Proceedings NIMR Conference 2005 "Building Bridges in Metallurgy", Noordwijkerhout. Increasing productivity with synchronised tandem wire arc welding.
- [20] Luijendijk, T.; 2005. Lastechniek 71(1). MIG/MAG-lassen. Met verhoogde neersmeltsnelheid (deel 2). p. 16-20.
- [21] Luijendijk, T.; 2005. Metaalmagazine 43(8), Easygripp last storingsvrij met 15 meter lang slangenpakket. p 28-29.
- [22] Syllabus 50 Jaar MIG/MAG lassen. NIL voorlichtingsdag 22 juni 2005. Diverse documentatie van voordrachten.
- [23] Luijendijk, T.; Bulk, C. van den; & Kriebel, C.; 2005. Lastechniek 71 (3). Cold metal transfer. Een revolutie in kortsluitbooglassen. p 6-9.
- [24] Syllabus BIL/NIL symposium 2005. Diverse documentatie van voordrachten.
- [25] Luijendijk, T.; 2005. Lastechniek november. "Koud en spatloos lassen de nieuwste ontwikkelingen". 12 pagina's.
- [26] Neuheiten uitgave van Fronius 2005. p 15.
- [27] Luijendijk, T.; 2004. Lastechniek 70(2), MIG/MAG-lassen met verhoogde neersmeltsnelheid (deel 1), p. 11-13.
- [28] Luijendijk, T.; 2004. Lastechniek 71(1). Stroombronnen voor het lassen van roestvast staal. p 25-27.
- [29] Luijendijk, T.; 2004. Metaalmagazine 42(20). Inverter of chopper, hamvraag bij de keuze eigentijdse lasstroombron. p 24-27.
- [30] Luijendijk, T.; 2004. Metaalmagazine, 42(17). Terugtrekken lasdraad, het geheim achter Cold Metal Transfer. p 36-37.
- [31] Hu, B.; & Richardson, I.M.; 2004. IIW Doc. IV-869-04, Proceedings 57th Annual Assembly of the International Institute of Welding (IIW), IIW Commission IV "Power Beam Processes", Osaka, Japan Hybrid laser/GMA welding aluminium alloy 7075. p. 1-11.
- [32] Luijendijk, T.; & Bulk, C. van den; 2004. De Constructeur 43(16). Boogsolderen, een techniek met veel mogelijkheden. p 38-42.
- [33] Luijendijk, T.; 2004. NIL/BIL Lassymposium Evoluon, Eindhoven d.d. 22-23 november 2004. Proceedings. Boogsolderen.
- [34] Luijendijk, T.; 2004. MK Metaal en kunststof, 42(10). Koolstofuiteinde carbotip voorkomt draadstoringen MIG/MAG lassen. p 26-27.
- [35] Luijendijk, T.; 2004. Metaalmagazine, 42(14), Tandemlassen en Twin-arc MIG/MAG-lassen met verhoogde neersmeltsnelheid. p 30-33.
- [36] Luijendijk, T.; 2004. Lastechniek 70. NIL Lassymposium - Ontwikkelingen en toekomst laswereld. p. 27-31.
- [37] Luijendijk, T.; 2004. Lastechniek juni. Boogsolderen.
- [38] Luijendijk, T.; 2004. Lastechniek november. MAG lassen met verhoogde neersmeltsnelheid deel 1. 11 bladzijden.

- [39] Yudodibroto, B.Y.; Hermans, M.J.M.; Hirata, Y.; Richardson, I.M.; & Ouden, G. den; 2004. Proceedings 57th Annual Assembly of the International Institute of Welding (IIW), Study Group 212 "Physics of Welding", Osaka, Japan. Monitoring pendant droplet oscillation during pulsed current GMAW. In IIW (Ed.), IIW Doc.212-1070-04, p. 1-10.
- [40] Luijendijk, T.; 2003. Lastechniek 7/8. Hybride las(er)technieken.
- [41] Graf, T. en Staufer, H.; 2003. Welding Journal January. Laserhybrid welding.
- [42] B. Verstraeten; 2003. Metallerie augustus. MIG/MAG lassen blijft werkpaard van de constructeur. 31 blz.
- [43] BIL katern Lasprocessen.Voorlichtingsfiche aluminium. Deel IV. Metallerie 53. September 2003.
- [44] D. Rehfeldt, T. Polte et al. 2002. Welding and cutting. 6. Application potential of gas shielded metal-arc welding with a strip electrode.
- [45] B. Hu; 2002. Dissertatie Technische Universiteit Delft september. Nd:YAG Laser-assisted Arc Welding.
- [46] T. Graf en H. Staufer; 2002. UW Doc.XII-1730-02. Laser hybrid process at Volkswagen.
- [47] F. Roland, T. Reinert en G. Pethan; 2002. IIW Internat. Conf. Advanced processes and technologies in welding and allied processes, Kopenhagen. Laser welding in shipbuilding - an overview of the activities at Meyer Werf.
- [48] K. Minami, S. Asai, Y. Makinl, K. Shiihara en T. Kanehara; 2002. IIW Doc. XII-1704-02. Laser-MIG hybrid welding process for stainless steel vessels.
- [49] Y, Makino, K. Shiihara and S. Asai; 2002. Welding International 16(2) Combination welding between CO<sub>2</sub> laser beam and MIG welding. p 99-103.
- [50] D.L. Downs en S.J. Mulligan; 2002. TWI Internet Report. Hybrid CO<sub>2</sub> laser/MAG welding of carbon steel.
- [51] U. Dilthey; 2002. IIW Doc-XII-1720-02. Laser- and Hybrid welding an overview.
- [52] S.E. Nielsen, M.M. Anderson, J.K. Kristensen and T.A. Jensen; 2002. IIW-DOCXII 1731-02. Hybrid welding of thick section C/Mn steel and aluminium.
- [53] NIL eindrapport "Productiviteitsverhoging booglassen" pb 00-44. Boer, P. en Gales, A. 2001.
- [54] N. Abe, Y. Kunugita, M. Hayashi; 1998. Trans. JWRI 27 (2), Combination mechanism of high speed leading path laser-arc combination welding. p 7-11.
- [55] Lafèbre, D.; Stabiliteit van de materiaalovergang bij hoog vermogen MAG lassen. Lastechniek 62. oktober 1996. p 3 t/m 7.
- [56] NEN-EN 439/C1:1995 nl. Lastoevoegmaterialen - Beschermgassen voor het booglassen en snijden.
- [57] D.R.J. Lafèbre; 1994. Lastechniek Juli/augustus. MAG lassen van laag- en ongelegeerd staal. p. 297-300.
- [58] M.P. Sipkes; 1993. Themanummer Lastechniek MIG/MAG lassen, januari. Lassen met gevulde draad in de zware constructiebouw. p 21-26.
- [59] J.J. van der Goes. P.J. Quist. 1993 - januari. Themanummer Lastechniek. MIG/MAG lassen met massieve en gevulde draad in de praktijk van de scheepsbouw, ketelbouw en apparatenbouw. p. 13-20.
- [60] Gales, A. en Sipkes, M.P.; 1993 - januari. Themanummer Lastechniek MIG/MAG lassen. Pulserend MIG lassen, p. 27-34.
- [61] G. den Ouden prof.dr.; 1987. Delftse Uitgeversmij B.V. Lastechnologie. ISBN 90 6562 087 7. p 16 en 53.
- [62] Roeters van Lennep J.D.; 1986 - juni. MIG/MAG lassen, voorlichtingsblad NIL.
- [63] ColdArc - EWM Folder: "The cold arc joining process".
- [64] H. Staufer, M. Rührnossl en G. Miessbacher. Fronius International, Oostenrijk. LaserHybrid welding and Laserbrazing: State of the art in technology and practice by the examples of the Audi A8 en VW-Phateon.
- [65] S. Heiten en H. Staufer. Gezamenlijke publicatie van het Aluminiumcentrum in Duitsland, Audi en Fronius Application des Laser-MIG-Hybridschweiss-verfahrens im Aluminiumkarosseriebau des Audi A8.
- [66] NIL-LPI cursus, boek 1, hoofdstuk: MIG/MAG lassen.
- [67] Van Lent, Dr.Ir. P.H.; Handboek MIG/MAG lassen. Uitgave van het NIL.
- [68] Folder van EWM High Tech. Welding.
- [69] [www.rustbuster.nl/lassen\\_en\\_gereedschap/MIG\\_lassen.html](http://www.rustbuster.nl/lassen_en_gereedschap/MIG_lassen.html).
- [70] Lasprocessen en lasrook emissie. Pors, W.; Download van website [www.lasrook-online.nl](http://www.lasrook-online.nl).
- [71] Heinrich, H.; Fronius Schweissmaschinen KG. Austria.
- [72] Aristo Superpulse™. Folder.
- [73] Dinse manual welding torches. Folder.
- [74] [www.ppmigtig.nl](http://www.ppmigtig.nl)
- [75] [www.lascentrum.com](http://www.lascentrum.com)
- [76] [www.cloos.de](http://www.cloos.de)
- [77] RapidArc™ High speed GMA Welding. Lincoln Electric Folder.







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](mailto:alg@fme.nl)

I [www.fme.nl](http://www.fme.nl)