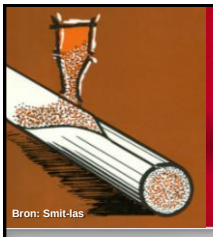


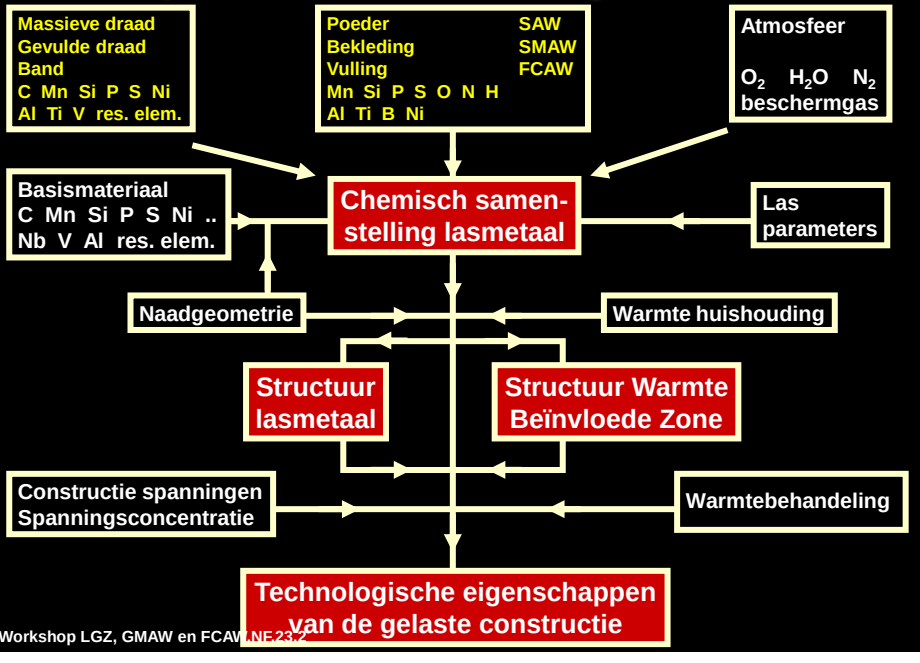
Druppelovergang (boogtypen) voor het MIG/MAG-lassen met massieve en gevulde draad

Workshop MIG/MAG

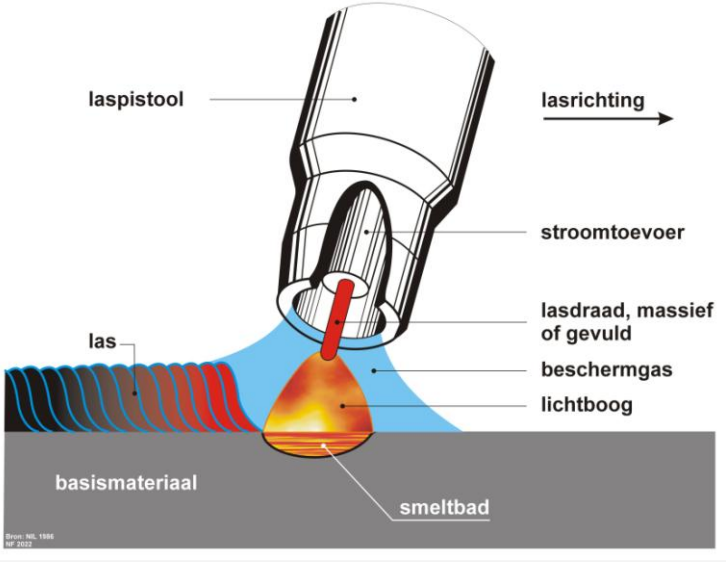
Fred Neessen
Voorheen Lincoln Smitweld B.V.

Lasgroep Zuid, 26 Sept. en 31 Okt. 2023

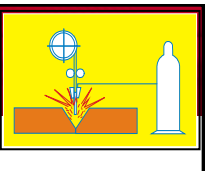
Complexe interacties bij het lassen



Principe MIG-MAG (GMAW)



MIG/MAG-lassen (GMAW)



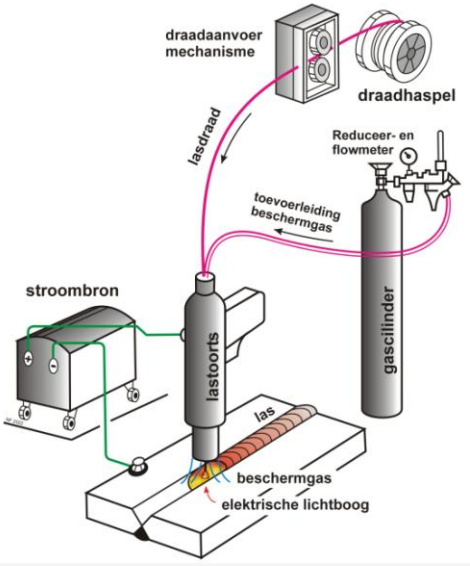
Voordelen

- Geen bekleding⇨ geen slak
- Grote lassnelheid !!
- Geringe warmte-inbreng !!
- Weinig vervorming
- Lasbaar in alle posities
- Hoge inschakelduur !!
- Gemakkelijk te mechani.
- Grote overbrugging !!
- Goede bescherming tegen oxidatie
- Weinig spatten in directe omgeving !!

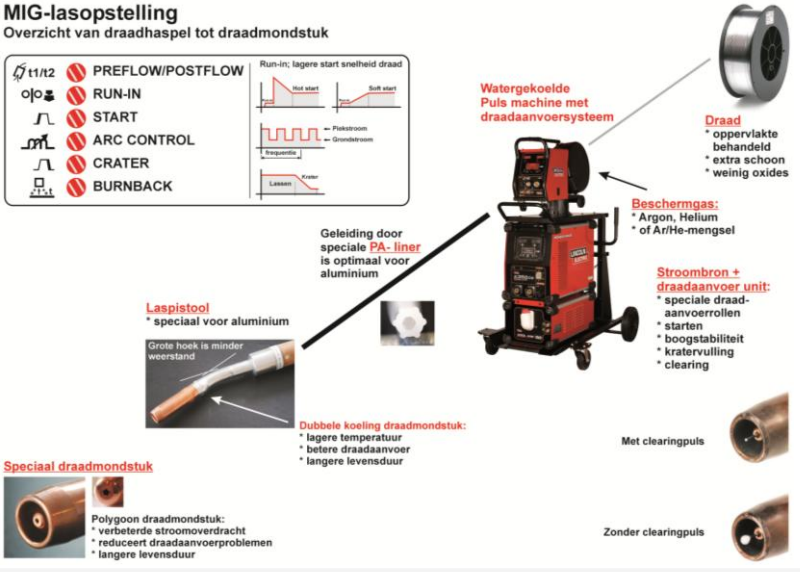
Nadelen

- Windgevoelig
- (Backing is nodig)
- Geen correctie van de chemische samenstelling
- Moeilijk toepasbaar in kleine ruimten
- Hoge onderhoudskosten
- Heldere maar hinderlijke lichtboog
- Grote concentratie van de lasser vereist

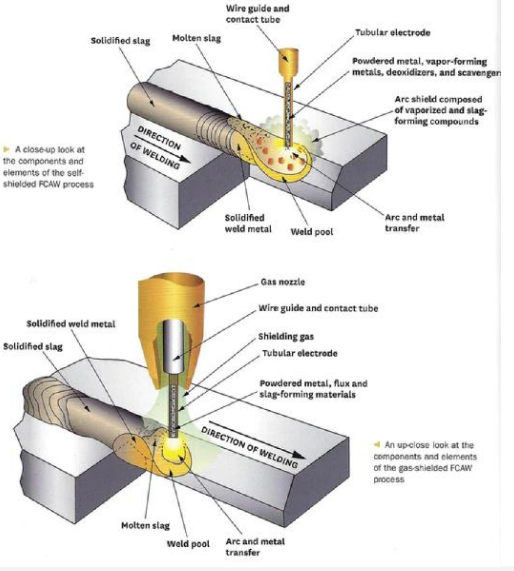
MIG/MAG-lasopstelling proces 131, 132, 133, 135, 136, 138



MIG-lasopstelling, voor lassen van aluminium



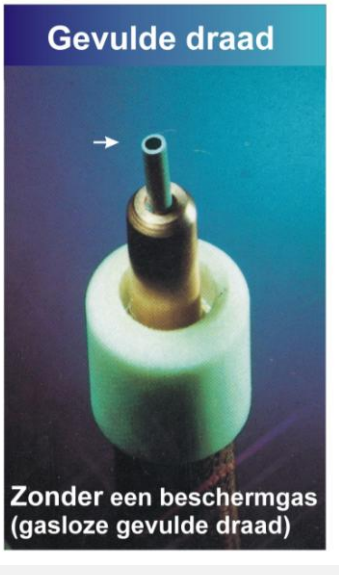
Met en zonder gasbescherming



A close-up look at the components and elements of the self-shielded FCAW process

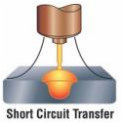
An up-close look at the components and elements of the gas-shielded FCAW process

Twee mogelijkheden, één toepasing

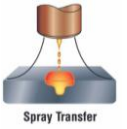


De vier belangrijkste MIG/MAG boogtypes (druppelovergang)

- **Kortsluitboog**
  - **(Short Arc)**

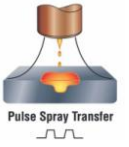


- **Openboog- of sproeibooglassen**
  - **(Spray Arc)**



- **Overgangsboog gebied tussen KSB en OB**
  - **(Globular Transfer)**

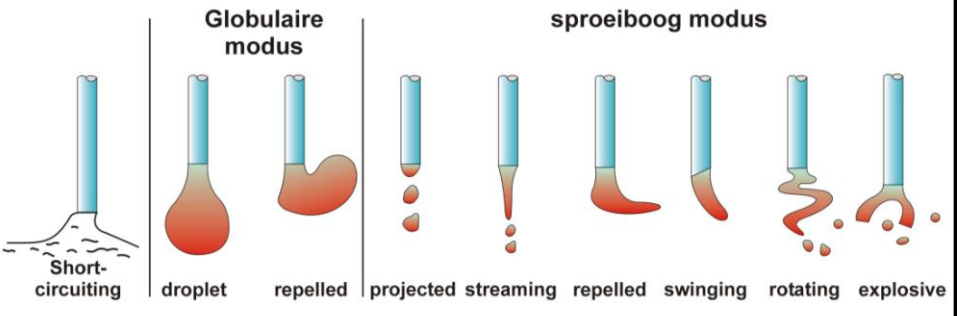
- **Pulsboog**
  - **(Puls Arc)**



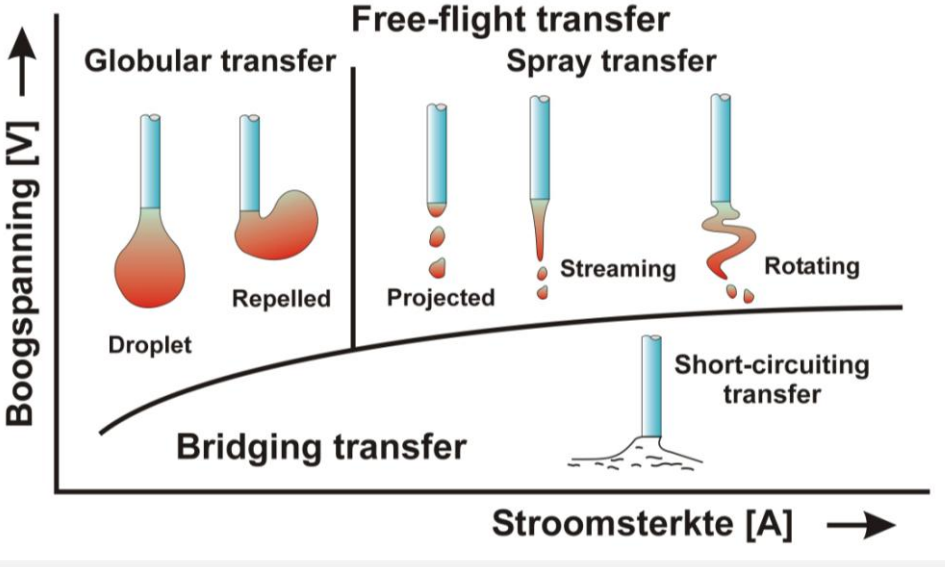
Droplet Transfer Classification according IIW

Transfer Group	Sub-Group	Example
1.0 Free flight		
1.1 Globular	1.1.1 Globular Drop	Low current GMAW
	1.1.2 Globular repelled	CO2 shielded GMAW
1.2 Spray	1.2.1 Projected	GMAW above high current GMAW
	1.2.2 Streaming	Medium to high current GMAW
	1.2.3 Rotating	High current, extended stick-out GMAW
	1.2.3 Explosive	SMAW
	1.2.4 Drop Spray	Pulsed GMAW
2.0 Bridging transfer		
2.1 Short circuiting	--	Low current GMAW
2.2 Bridging without interruption	--	Welding with filler wire addition
3.0 Slag protected transfer		
3.1 Flux wall guided	--	SAW
3.2 Other modes	--	SMAW, FCAW

Verschillende vormen van druppel-overgang bij het MIG/MAG-lassen



Classificatie van druppelovergang bij het GMAW-lasproces (IIW)

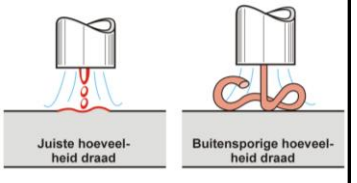


Samenvatting van de waarnemingen

	Globulair	Sproeiboog	Streaming
Stroomsterkte	90 - 235 A	236 - 270 A	≥ 270 A
Boogvorm	Klokvorm	Cilinder	Klokvorm
Vorm van draadtip	Cilindervorm – geen nek	Korte kegel	Lang gerekt
Rook	Slecht	Excellent	Goed
Stabiliteit	Hoog	Laag	Hoog
Druppelvorm	Onregelmatig	Bolvorm	Bolvorm
Druppel-diameter	Veel groter dan draad	Vergelijkbaar met draad	Vergelijkbaar met draad
Druppel freq.	< 100 Hz	250 - 600 Hz	> 600 Hz
Druppel snel-heid	--	1,3 - 1,7 m/sec	0,7 - 0,9 m/sec
Temp. druppel	2.750 °C	2.500 °C	2.750 °C

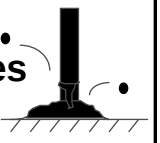
MIG/MAG boogtypes

- Type van lasboog afhankelijk van:
  - Lasspanning
  - Lasstroom (draadsnelheid)
  - Uitsteeklengte (stick-out)
  - Diameter en type draad
  - Type beschermgas (EN ISO 14175)
  - Type en instelling van stroombron (o.a. smoorspoel en/of slope)

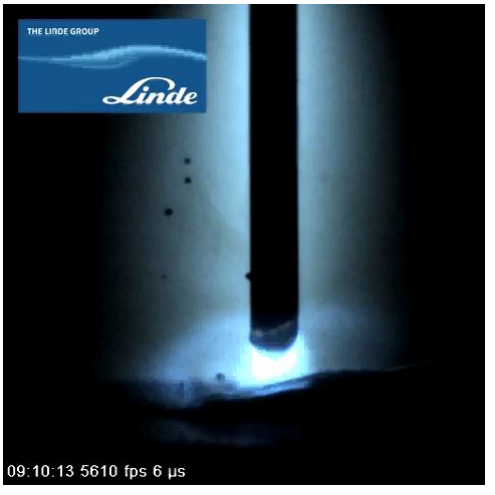


MIG/MAG-lassen: kortsluitboog

- Bij lage lasspanning en stroomsterkte
- Het gesmolten draadeinde maakt contact (kortsluiting) met het smeltbad
- De lasboog herontsteekt en het proces herhaalt zich telkens weer opnieuw



De druppelovergang bij het kortsluitbooglassen



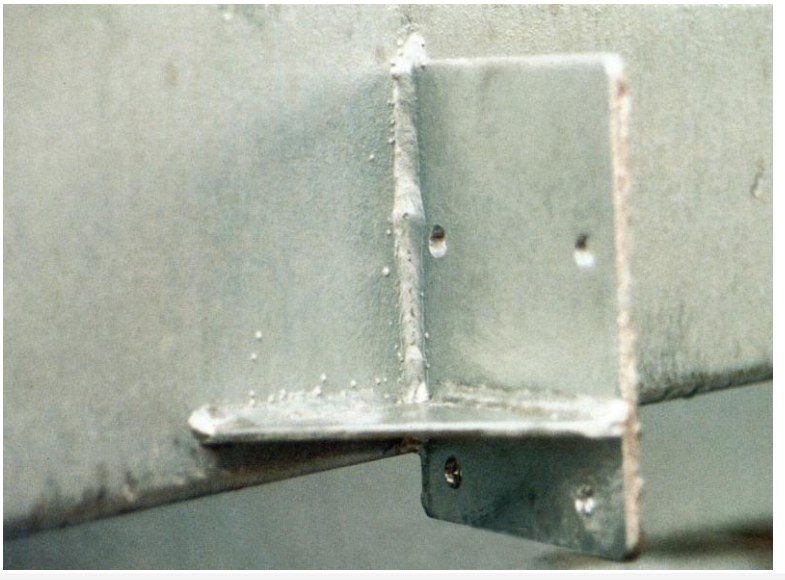
Kortsluit-boog

KSB hoeklas

MIG/MAG-lassen: kortsluitboog

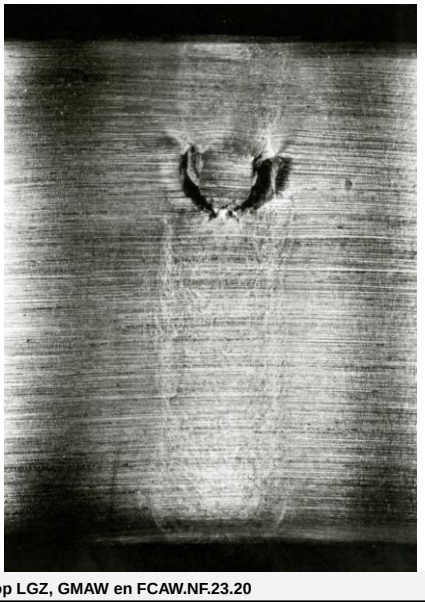
- **Kortsluitboog: lassen met relatief lage energie**
  - **Energie = U_b x I_b**
    - ✓ **Lage boogspanning en lage stroomsterkte**
    - ✓ **De boog brandt niet continue**
  - **Geschikt voor dunne plaat en lassen in positie**
  - **Minder gunstig**
    - ✓ **Spatten (hoge energiepiek na kortsluiting – smoorspoel)**
    - ✓ **Trage voortloopsnelheid**
    - ✓ **Niet geschikt voor (dun) Aluminium (oxidehuid)**

Duidelijk waarneembare spatten na het verzinken

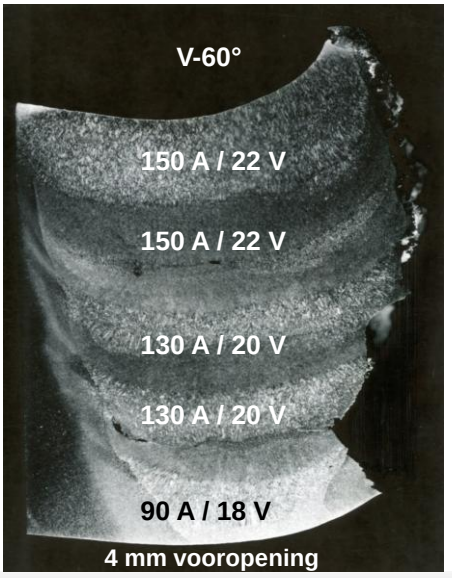


Lasspatten op RVS door KSB

Buigstaaf Root, aanhechtingsfout

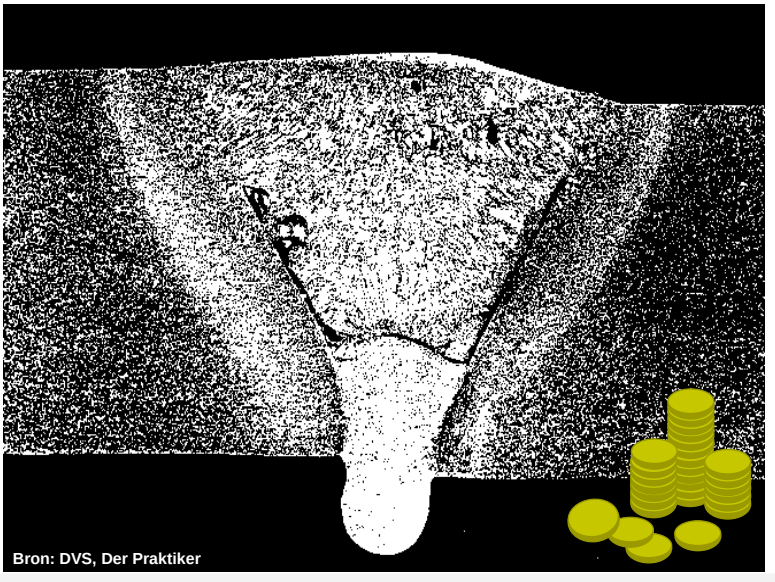


MC, bindingsfouten, in 3G up



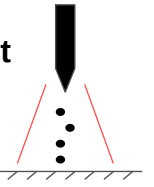
- Zijbuigstaaf
- 22 mm plaat in 3Gup gelast met een 0,9 mm MCW
- Tv = 10°C
- Ti max = 400°C
- Gas: 15 L / 80Ar/20CO_2

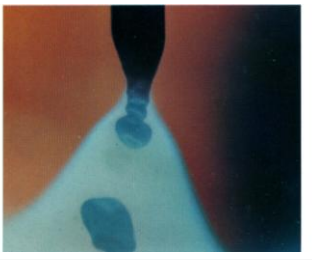
Porositeit en gebrek aan inbranding in een 10 mm V-60° naad, in 2 lagen gelast

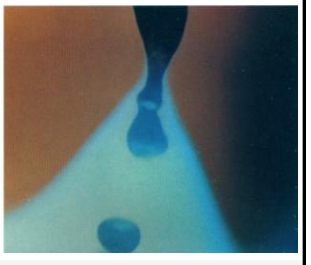


MIG/MAG-lassen: sproeiboog

- **Bij hoge boogspanning en stroomsterkte**
  - **De draad smelt af in fijne druppels**
  - **Druppels gaan in sproeiregen over in het smeltbad, zonder contact te maken**
  - **De lasboog blijft continue branden**







De druppelovergang bij het sproeibooglassen

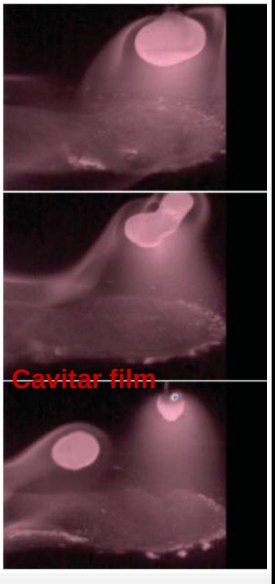
Sproei-boog

MIG/MAG-lassen: sproeiboog

- Sproeiboog: lassen met hoge lasenergie
  - Hoge boogspanning en stroomsterkte
    $E = U_b \times I_b$
  - De boog brandt continue
- Geschikt voor lassen van grote, dikke werkstukken en voor onder de hand lassen
- Minder gunstig
  - Niet geschikt om dun materiaal te lassen
  - Niet geschikt voor lassen in positie

MIG/MAG-lassen: overgangsboog

- Treedt op in het overgangs-gebied tussen lage en hoge boogspanningen
  - De lasboog is onstabiel
  - De gesmolten druppel blijft lang aan de draad hangen en wordt oververhit
  - De druppel valt ongecontroleerd in het smeltbad met zeer veel spatten



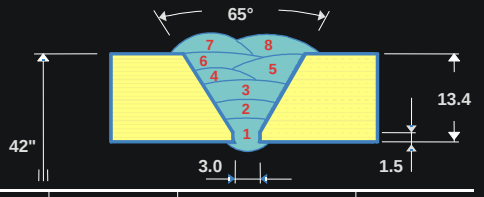
Globulaire boog

Lasparameters

	Globulaire boog	Sproeiboog
Basis materiaal	A36 materiaal	
Lasdraad	ER70S-6	
Draaddiameter	1,2 mm	
Draadsnelheid	175 ipm (4,4 m/min)	400 ipm (10,4 m/min)
Boogspanning	33 V	35 V
Stroomsterkte	183	334
Voortloopsnelheid	20 ipm (0,5 m/min)	
Stick-out	18 mm	25 mm
Beschermgas	85% Ar + 15% CO_2	

Welding Procedure Qualification SMAW + Innershield

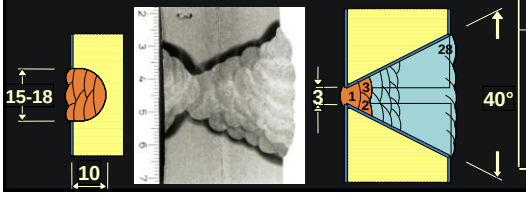
Base material : StE 415.7 ; pipe o 1067x13.4 mm
Welding position : PF+PG (5G up + 5G down)
Pre−heat temp. : 150°C / FCAW−SS: 100°C / SMAW
Interpass temp. : 200°C max.



run	pass	filler material	diam.	DC/AC pol.	Amperage	Voltage
1	root	Conarc 51	3.2	DC-	70÷120	18÷23
2÷5	hot+fil.	NR-207	2.0	DC-	160÷220	19÷21
6	strip.	NR-207	2.0	DC-	150÷240	20÷21
7÷8	cap	NR-207	2.0	DC-	190÷230	20÷21

Kugelgasbehälter

Werkfoto: Klöckner Wilhelmsburger



Verfahrensprüfung

Grundwerkstoff: StE 355-35 mm

Schweißposition : PC (q)

Vorwärmtemp. : 120°C
Zwischenlagentemp. : 220°C

Zusatzwerkstoffe:

E-Hand, Conarc 49C 3.2/4.0mm
MF, Innershield NR-203 Ni1,
Durchmesser 2.0 mm

Raupe	Verfahren	Ampere	Volt
1	E-Hand	130	
2-3	E-Hand	160	
4-28	MF	275	22
1-9	E-Hand	160	

NR.41.NF

MIG/MAG-lassen: overgangsboog

- Om een goede laskwaliteit te verkrijgen moet deze laswijze vermeden worden, remedies:
  - Lagere boogspanning: kortsluitbooglassen
    - ✓Trager, maar in positie lasbaar
    - ✓Spatten
  - Hogere boogspanning: sproeibooglassen
    - ✓Spatarm
    - ✓Veel te hete boog, niet in positie te lassen
  - Pulserend MIG/MAG-lassen

MIG/MAG-lassen: Pulsboog

- Pulsboog: een combinatie van het goede van kortsluitboog en sproeiboog
  - “Druppel per Druppel” afsmelten
  - Gecontroleerde druppelovergang van draad naar smeltbad
  - Toepassingsgebied MIG/MAG wordt uitgebreid

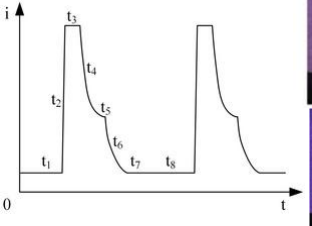
MIG/MAG-lassen: Pulsboog

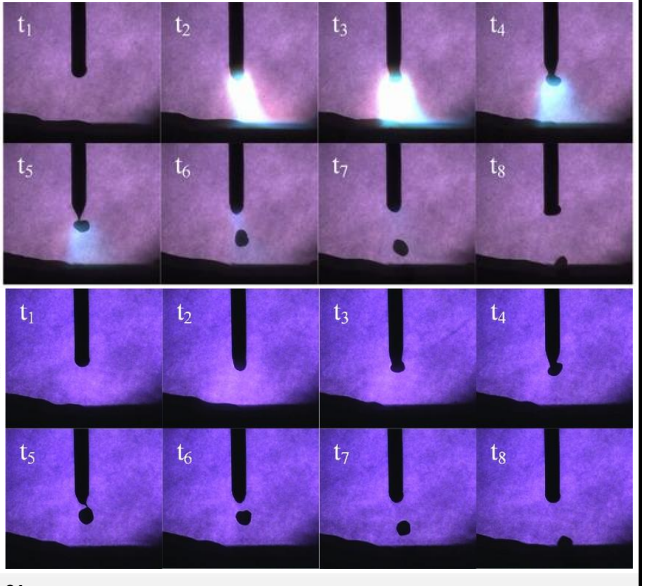
- Doel
  - Stabiele boog in een laag stroombereik, zelfs onder de kritische waarde
  - Voorkomen van kortsluitingen en spatten
  - Positielassen
  - Spatvrij lassen van dunne materialen
- Hoe werkt het precies?
  - Basisspanning en basisstroom: onderhouden van de lasboog => geen afsmelten
  - Pulsspanning en pulsstroom: druppel wordt afgesmolten zoals in openboog

MIG/MAG-lassen: Pulsboog

Pulsboog

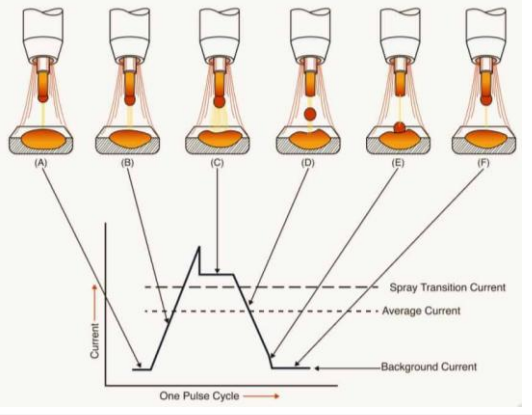
Typische pulsstroomgolfvorm en contrastbeelden





MIG/MAG-lassen: Pulsboog

- De boogstabiliteit wordt vooral bepaald door de grondstroom



- Ideaal: één druppel per puls, steeds hetzelfde volume en dezelfde grootte
- Het proces is in evenwicht als net evenveel draad wordt aangevoerd als er in de lasboog afgesmolten wordt

MIG/MAG-lassen: Pulsboog

- Veelvoud van parameters:
  - Grondspanning en grondstroom
  - Pulsspanning en pulsstroom
  - Pulsfrequentie: aantal pulsen/tijd
  - Verhouding pulstijd / daltijd
  - Draaddiameter, legeringstypen, beschermgas …
- Dit leidde tot moeilijke afstelling van de eerste puls MIG stroombronnen

MIG/MAG-lassen: Pulsboog

- Voor een optimale regeling van alle parameters; synergische stroombronnen
  - Voorgeprogrammeerde parameters per materiaalsoort en/of combinatie materiaalsoort/beschermgas
  - Worden automatisch aangepast bij verhogen van de lasenergie
  - Eenvoudige instelling door de lasser
  - Ideale druppelovergang

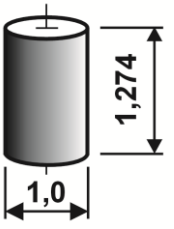
MIG/MAG-lassen: Pulsboog

- Voor praktisch alle materialen inzetbaar
  - Extra mogelijkheden daar waar kortsluitboog of sproeiboog niet toepasbaar zijn
  - Goede smeltbadbeheersing
    - ✓Doorlassen ?
    - ✓Controle van warmteïnbreng
    - ✓Inbranding
    - ✓Naadvorm
    - ✓Mogelijkheid om in alle posities te lassen

MIG/MAG-lassen: Pulsboog

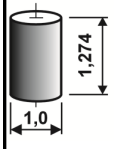
Voordelen

- Verhoogde lassnelheid en neersmeltsnelheid t.o.v. het kortsluitbooglassen
- Lagere warmteïnbreng en minder vervorming t.o.v. sproeibooglassen
- Praktisch spatvrij en minder rookontwikkeling
- In het bijzonder toe te passen voor RVS en Aluminium
- Dikkere draad, kleiner specifiek oppervlak
  - ⇨ minder oxide per volume lasdraad
  - ⇨ minder vochtopname
  - ⇨ minder H_2-porositeit



Bij MIG-draad is de optimale opper-vlakte/inhoud verhouding van belang

- Relatieve oppervlak en daarmede het aanbod aan aluminiumoxide is geringer naarmate de draaddiameter groter is
- Inhoud van 1 mm^3 : $\pi/4 \times D^2 \times L$
  - ⇨ L = 1/0,785 x 1^2 = 1,274 mm ⇨ 1/0785 x $1,2^2$ = 0,88 mm
- Oppervlakte per mm^3: $\pi \times D \times L$
  - ⇨ O = π x 1,0 x 1,274 = 4 mm^2 ⇨ π x 1,2 x 0,88 = 3,3 mm^2
- Relatieve oppervlak van ø1,0 mm = 4 mm^2/mm^3,
  van een draad van ø1,2 mm: 3,3 mm^2/mm^3
  en van ø1,6 mm: 2,5 mm^2/mm^3
- Uit het oogpunt van oxides heeft lassen met een grotere diameter de voorkeur

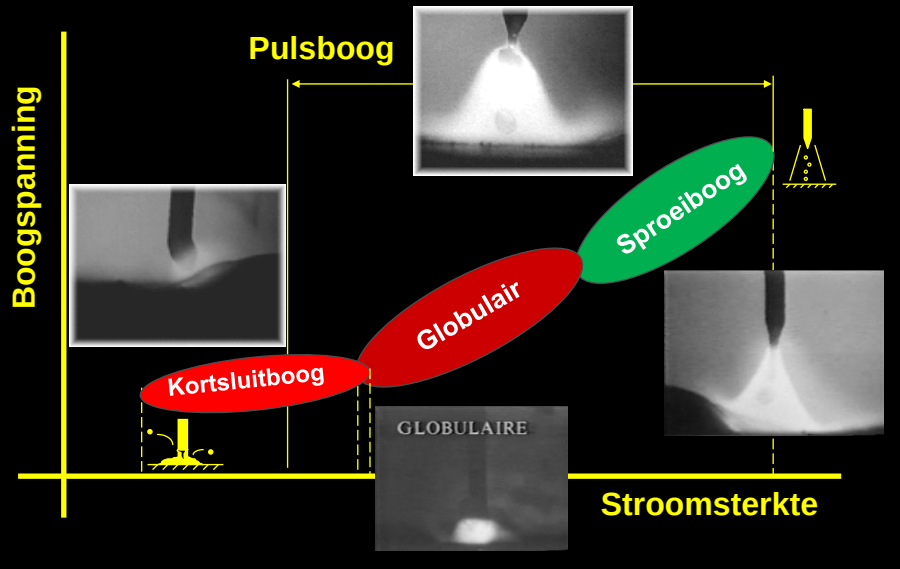


Samenvatting

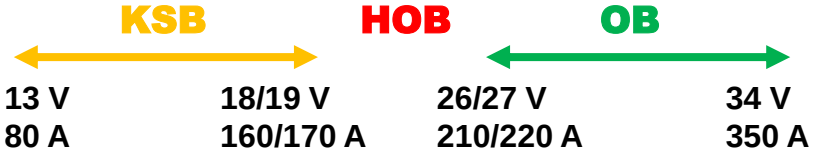
Druppelovergang bij MIG/MAG-lassen:

- Herken de booggebieden met de daarbij behorende lasparameters
- Herken de boog via beeld en geluid
- Zie volgende sheets als indicatie

Druppelovergang MIG/MAG-lassen



Visueel hulpmiddel voor massieve en metaalpoeder gevulde draden



- De rutiel gevulde draden kennen geen of nauwelijks half open boog
- **Essentie:**

  Iedere lasser maar ook iedere IWS-er, IWT-er, en IWE-er moet het leren kennen en vooral herkennen

Voor- en nadelen van constante stroom bij het MIG/MAG-lassen

	Voordeel	Nadeel
Kortsluit-boog	▪ positie lassen ▪ warmte-inbreng ▪ geringe materiaaldikte	▪ beperkte neersmelt ▪ bindingsfouten ▪ ruwe las ▪ spatverlies
Sproei-boog	▪ hoge neersmelt ▪ spatarm ▪ geen bindingsfouten ▪ dun vloeibaar lasbad ▪ glad lasuiterlijk	▪ niet in positie ▪ moeilijk beheersbaar ▪ niet geschikt voor dunne plaat

Materiaaltransport

Parameter	Kortsluitboog	Globulaire boog	Sproeiboog
Stroomsterkte	laag	laag	hoog
Boogspanning	laag	hoger	hoog
Warmte-inbreng	klein	klein	groot
Druppelgrootte [1)]	1 – 2x draaddia.	ca. 3x draaddia.	< draaddiameter
Aantal kortsluitingen	hoog	laag	geen
Aantal druppels per	20 – 80 / sec [1)]	< 10 / sec [1)]	80 – 200 / sec [1)]
Inbranding	klein	klein	groot
Neersmeltsnelh.	0,8 – 2 kg/h	< 1 kg/h	3 – 6 kg/h
Vorm van de las	smal	bol (convex)	breed

[1)] In geval van kortsluitboog wordt met de druppelgrootte bedoeld de grootte van de zich vormende druppel voordat kortsluiting optreedt en met het “aantal” het aantal kortsluitingen

Pulsboog

- De pulserende boog is een open boog op vooraf ingestelde tijdstippen
- Warmte:
  - Heter dan kortsluitboog en
  - Kouder dan de openboog
- Toepassingsgebied:
  - Staal
  - Roestvast staal
  - Aluminium
  - Koperlegeringen
  - Nikkel en nikkellegeringen

  } alle materialen

Toepassingen massieve draad

- Het toepassingsgebied voor de ongelegeerde massieve draden is met name in het dunne plaatsegment van 1 tot 3 mm plaatdikte, blank, bekleed of met coating
- Uiteraard is het toepassingsgebied groter:
  - Ongelegeerd
  - Laaggelegeerd
  - Hooggelegeerd
  - Nikkel en nikkelbasis legeringen

Gevulde draden pulserend lassen!

Operationele lasbaarheid (1G/3G)

- Rutiel ⇨ ⇩ in 3G en gelijk in 1G t.o.v. continue lasstroom
- Metaal ⇨ ⇧
- Basisch ⇨ 1G ⇧:uitstekend voor grond- en vullagen

  3G ⇩: voor grondlaag voorkeur continue lasstroom

Pulserend lassen in 3Gu

- Alle draden een
  - stabielere boog
  - stabielere druppelovergang
- Alle draden
  - afgesmolten druppels < in diam. (SB)
  - en een geconcentreerdere boog
- Beschermgas
  - 85/15 is mogelijk
  - 80/20 ⇨ 20% CO_2 te hoog
  - 100% CO_2 niet meer mogelijk
  - **Het beste menggas: 90/5/5**
- Naadvorm V40°
  - pulserend en continue goed mogelijk (v.o. 3- 4mm)

Pulserend gevulde draad lassen!

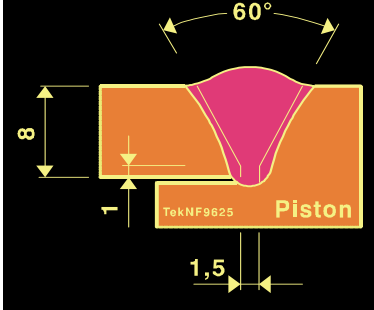
- Draden die speciaal **onder CO_2** moeten worden gelast, kunnen **niet pulserend** verlast worden
- **Basische en metaalpoeder gevulde** draden, die onder menggas verlast kunnen worden, **lenen zich voor het lassen met pulserende stroom**
- Voor **rutielgevulde draden** is het toepassen, gezien de lage overgangsstroomsterkte voor sproeiboog, van **pulserende stroom overbodig**

Pulserend gevulde draad lassen!

- Het lassen van grondlagen met pulserende stroom levert goede resultaten op, maar wordt vooral **voor basische draad door de lasser als onprettig ervaren**
- De **inbranding neemt** met pulserende stroom in vergelijking met kortsluitbogen (bij gemiddeld dezelfde stroom) **aanzienlijk toe**
- Voor vullagen is de **neersmelt bij pulserend** lassen in de verticaal opgaande positie **~15% hoger dan met continue stroom**

Pulserend lassen met metaal-poeder gevulde draad

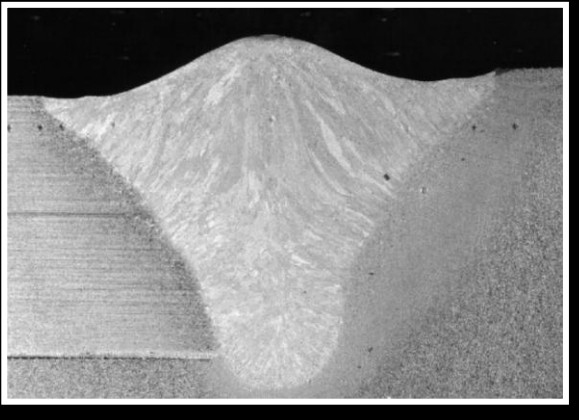
- Lasparameters:
  - 250 - 260 A
  - 26 V
  - 320 mm/min
  - 91Ar + 8CO_2 + 1O_2



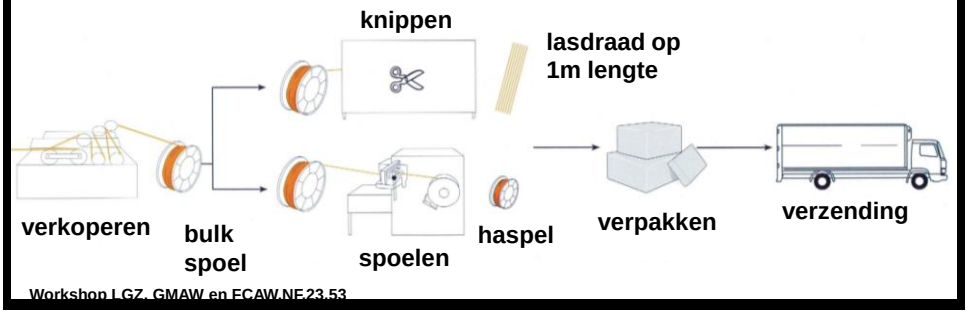
Pulserend vullen in één laag in PA

MC gevulde draad: 46 3, ø 1,2 mm

Pijp S355J0, ø 120 mm



Productie van massieve draad



Productie van massieve draad

MIG-apparatuur

- voorbewerkingslijnen
- natte treklijnen
- wikkelmachines
- drummachines

EN-ISO 14341-A (2008)

Classificatie van massieve draden en deposits voor MIG/MAG-lassen van ongelegeerd en fijn korrelig staal

G 46 4 M G3Si1

Z = geen eisen
A = +20°C
0 = 0°C
2 = -20°C
3 = -30°C
4 = -40°C
5 = -50°C
6 = -60°C
7 = -70°C
8 = -80°C
9 = -90°C
10 = -100°C

→ Chemische samen-stelling draad

→ type beschermgas

→ min. kerftaaiheid van. 47 Joule bij

→ min. rekgrens [N/mm²]

→ massieve draad voor MIG/MAG-lasproces

symbool	Si	Mn	Ni	M0
G0	elke overeen te komen samenstelling			
G2Si	0,50-0,80	0,90-1,30	0,15	0,15
G3Si1	0,70-1,00	1,30-1,60	0,15	0,15
G4Si1	0,80-1,20	1,60-1,90	0,15	0,15
G3Si2	1,00-1,30	1,30-1,60	0,15	0,15
			Al	Ti + Zr
G2Ti	0,40-0,80	0,90-1,40	0,05-0,20	0,05-0,25
G3Ni1	0,50-0,90	1,00-1,60	0,80-1,50	0,15
G3Ni2	0,40-0,80	0,80-1,40	2,10-2,70	0,15
G2Mo	0,30-0,70	0,90-1,30	0,15	0,40-0,60
G4Mo	0,50-0,80	1,70-2,10	0,15	0,40-0,60
				Al
G2Al	0,30-0,50	0,90-1,30	0,15	0,35-0,75

all grades: C 0.06-0.14 except G2Al: 0.08-0.14
all grades: S & P 0.025 / Cr 0.15 / V 0.03 / Cu total 0.35
single values are max.

Op basis van EN-ISO 14175
M = M2 menggassen (zonder helium)
C = 100% CO_2
A = M13 menggassen (Ar + 0.5 < O_2 < 3)

symbool	rekgrens	vastheid	rek (A_5)
35	> 355	440-570	> 22%
38	> 380	470-600	> 20%
42	> 420	500-640	> 20%
46	> 460	530-680	> 20%
50	> 500	560-720	> 18%

NF - 2010-10

Lassen dun materiaal, 1 – 3 mm

Proces / Materiaal	Punt-lassen	MIG/MAG-lassen		TIG-Lassen
		Kortsluit	Puls	
Staal Onbekleed	++	++	+	+
Staal Verzinkt	+	+	0	-
Staal Gealuminiseerd	+	++	+	0
Staal Organisch bekleed	0	-	-	-
RVS	++	++	++	++
Aluminium	+	-	++	++

Uitvoering MIG/MAG, 1 – 3 mm

VARIANT		KORTSLUIT		PULS	
PLAAT		Verzinkt	Gealu-mineerd	Verzinkt	Gealu-mineerd
Draad	Gas				
2Si / 3Si1 (SG1 / SG2)	85/15	++	+	-	-
	CO_2	+	-	-	-
	90/5/5	+	+	+	+
4Si1 (SG3)	85/15	+	++	-	-
	CO_2	+	-	-	-
	90/5/5	+	+	+	+

Uitvoering MIG/MAG kortsluitboog in 1 -3 mm staal

- Voorkomen poreusheid bij verzinkt staal
- Menggas 85/15 $\geq$ 15 l/min (bij 16 mm gascup)
  100% CO_2 $\geq$ 9 l/min (bij 16 mm gascup)
- Bij 2Si/3Si1 (SG1/SG2) draad menggas gebruiken met $\geq$ 10% CO_2
  Bij 4Si1 (SG3) draad menggas met $\geq$ 5% CO_2

Belangrijke regels voor MAG-lassen van CrNi-staalsoorten

Bij het lassen moet op het volgende worden gelet:

- Kleine lasbaden ➡ snel lassen;
- Stel de stroomsterkte ca. 30% lager in dan voor ongelegeerde draden;
- Stekend lassen met een toortshoek van 10º tot 5º;
- Houd het de stick-out van de draad zo kort mogelijk;
- Bij de vullagen, tussen de lagen slijpen indien noodzakelijk;
- Lengte draadgeleider zo kort mogelijk;
- Gebruik een 4-rols draadaanvoer systeem;
- Gebruik een teflon draadgeleider;
- Gebruik menggassen met een laag oxidatiepotentiaal (O_2 en/of CO_2);
- Pulsbooglassen biedt voordelen voor dun plaatwerk, ongelijk-soortige verbindingen en het lassen van slijtvaste lagen door een regelbaar warmtebeheer (opmenging)

Samenvatting boogtypen

- **Kortsluitboog**
  - Lage boogenergie door gebruik van lage boogspanning en lage stroom.
  - Uitermate geschikt voor het lassen van dunne plaat en het maken van een doorlassing
  - Nu vele varianten mogelijk met moderne stroombronnen
- **Half open boog** (globulair)
  - Wordt in de praktijk vrijwel niet toegepast
- **Open boog** (sproeibooglassen genoemd)
  - Grote boogenergie door gebruik van hoge boogspanning en hoge stroom

GMAW pulserend lassen

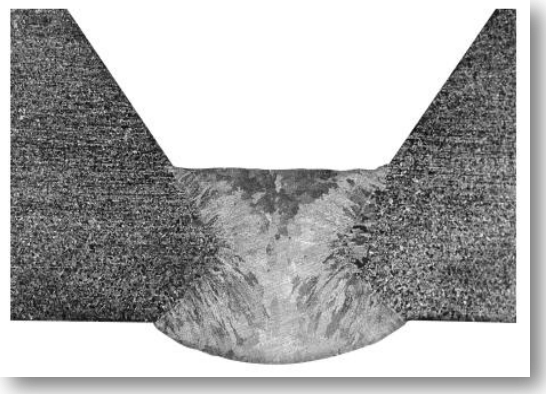
- De druppelovergang door de boog is zonder kortsluitingen zoals bij de sproeiboog
- Een sproeiboog vereist een hoge stroomsterkte; dit is niet bij elke toepassing mogelijk
- Geprogrammeerd pulserend lassen geeft een fijne druppelovergang bij een optimale frequentie
  - Een spatvrije druppelovergang
  - Niet geschikt voor doorlassen in openstaande naden!!

Moderne stroombronnen

- Moderne inverter stroombronnen zijn digitaal en synergisch
  - voor elk materiaal en dikte
  - beschermgassamenstelling
  - laspositie, etc.

  } optimale instelling beschikbaar
- Programma's voor instellingen veelal op te halen via internet
- Meerdere draadaanvoerunits aan te sluiten en geschikt voor het lassen met beklede elektroden
- Keuze van digitale stroombron en haar mogelijkheden wordt steeds meer bepaald door het uit te voeren werk

Doorlassingen met STT®



Voordelen

- Grondlaag dikte
- Grote dikte voorkomt het doorbranden bij de volgende laag

Bedankt voor uw aandacht