

Voortgangsverslag Collectief Onderzoeksproject Innolas
(IWT 060859)

“Kwaliteits- en productiviteitsverhoging door aanwending
van innovatieve booglasvarianten”

Lasproeven op dunne plaat

1	Inleiding	3
1.1	Lasbeproeving	3
2	Resultaten.....	4
2.1	Lasproeven	4
2.2	Macroscopisch onderzoek	7
2.2.1	DC01	7
2.2.2	S700MC	11
2.2.3	AISI304.....	16
2.2.4	AISI430Ti	19
2.3	Hardheidsmetingen.....	23
2.4	Trek en buigproeven.....	26
2.4.1	DC01 (2 mm)	26
2.4.2	S700MC (4 mm)	26
2.4.3	AISI304 (4 mm).....	27
2.4.4	AISI430Ti (0,7 mm)	28
2.5	Resultatentabel	29
3	Samenvatting en conclusies	30
	BIJLAGE 1: Parameters van de lassen op dunne plaat.....	31

1 Inleiding

Werkpakket 2 betrof het onderzoek naar moderne booglasvarianten voor het lassen van dunne plaat (hieronder werd verstaan in dikte minder dan 6 mm). Hiervoor werd een viertal staalsoorten uitgekozen, van verschillende diktes. De stalen geselecteerd in samenspraak met de gebruikersgroep waren:

DC01 dieptrekstaal van 2 mm dikte
S700MC microgelegeerd hoogsterktestaal (HSLA) van 4 mm dik
AISI430Ti ferritisch roestvaststaal van 0.7 mm dik
AISI304 austenitisch roestvaststaal van 4 mm dik (Daarnaast werden nog enkele experimenten gedaan met A-TIG in AISI304 van 6 mm en van 8.5 mm dikte).

Daarnaast werd een selectie gemaakt uit de beschikbare processen waarbij de volgende werden onderzocht voor het lassen van de bovenstaande stalen:-

Conventioneel MAG
Gepulseerd MAG
Conventioneel TIG
Activated flux TIG (A-TIG)
CMT (Fronius)
SPMAG (Valk Welding)
Hyper Dip Pulse (Valk Welding)
ColdArc (EWM)
Cold Process (Cloos)
TopTIG (Air Liquide Welding)
Aristo Superpuls (ESAB)

Niet alle proces-staal combinaties werden onderzocht; geschikte combinaties werden gekozen in samenspraak met de fabrikanten van de lasapparatuur. In sommige gevallen werd een proces-staal combinatie niet bekeken, bijvoorbeeld wanneer de dikte van het staal buiten het bereik van het proces lag. Een groot deel van de lassen werd uitgevoerd door de fabrikant van de apparatuur, daarbij ter zijde gestaan door medewerkers van het BIL en/of OCAS.

1.1 Lasbeproeving

De tot stand gebrachte lassen werden vervolgens beproefd volgens de eisen gesteld in EN ISO 15614 – 1 (“Beschrijven en goedkeuren van lasmethoden voor metalen – Lasmethodebeproeving”, Deel 1: Boog- en autogeen lassen van staal en booglassen van nikkel en nikkellegeringen.”). Deze beproeving bestaat uit:-

Visueel onderzoek (100%)
Radiografisch onderzoek (100%)
Oppervlaktescheuronderzoek (100%)

Macroscopisch onderzoek
Normaal en tegenbruigproeven
Trekproeven

Al de proefstukken voldeden voor het visueel en radiografisch onderzoek aan de eisen gesteld in EN ISO 5817 voor kwaliteit B (uitgezonderd bovenmatige lasdikte, bovenmatige convexiteit, bovenmatige keelhoogte en bovenmatige doorlassing, hiervoor geldt niveau C).

Voor het oppervlaktescheuronderzoek van AISI304 werd geopteerd voor penetrant onderzoek, voor het oppervalktescheuronderzoek van DC01, S700MC en AISI430Ti werd geopteerd voor magnetisch onderzoek. De proefstukken werden gequoteerd volgens EN12062. Er werd een kwaliteit B-vooropgesteld (cfr. EN ISO 59817) wat overeenstemt met aanvaardingsniveau 2X (cfr. EN 1289 voor penetrant onderzoek en EN 1291 voor magnetisch onderzoek). Al de beproefde werkstukken voldeden aan deze eisen.

De resultaten van het macroscopisch onderzoek zijn te vinden in de volgende paragraaf. De proefstukken werden telkens verslepen, ingebed en gepolijst. Vervolgens werden de proefstukken geëts met een geschikt etsmiddel en gecontroleerd volgens EN ISO 5817 kwaliteit B (of C voor de hierboven vermeldde uitzonderingen). De resultaten van dit macroscopisch onderzoek staan beschreven in de paragraaf 2.2.

Voor elke gelaste combinatie werden transversale trekproeven uitgevoerd. Hierbij moest er minimaal de opgegeven treksterkte van het basismateriaal gehaald worden, onafhankelijk de locatie van de breuk. De resultaten van deze beproevingen zijn terug te vinden in paragraaf 2.4.

Van elke gelaste combinatie werden normaal en tegenbuigproeven uitgevoerd, waarbij de proefstukken volgens EN ISO 15614-1 geen enkele scheur > 3 mm mogen vertonen. De resultaten van deze beproevingen zijn terug te vinden in paragraaf 2.4.

2 Resultaten

2.1 Lasproeven

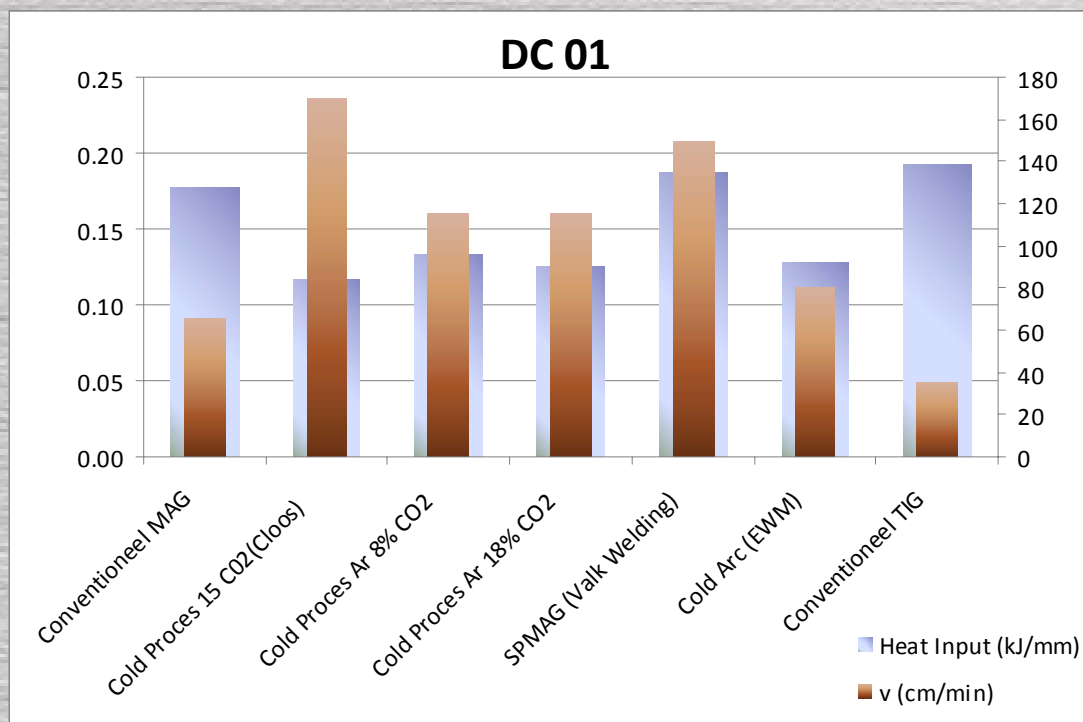
Tijdens de lasproeven werden spanning en stroom geregistreerd door een parameterregistratietoestel. De voortloopsnelheid werd steeds ingesteld op de robot of de loopkat. Deze parameters werden tenslotte verwerkt tot het bekomen van de heat input (cfr. Formule 1). Hierbij dient echter te worden opgemerkt dat er voor de efficiëntiefactor k in alle gevallen 1 is genomen, en er dus gekeken is naar de beschikbare energie.

$$Heat - input = k \times \frac{I \times U}{v} \quad [1]$$

In de grafieken hieronder wordt per materiaal de voortloopsnelheid alsook de heat-input uitgezet voor elke gebruikte innovatieve lasvariant.

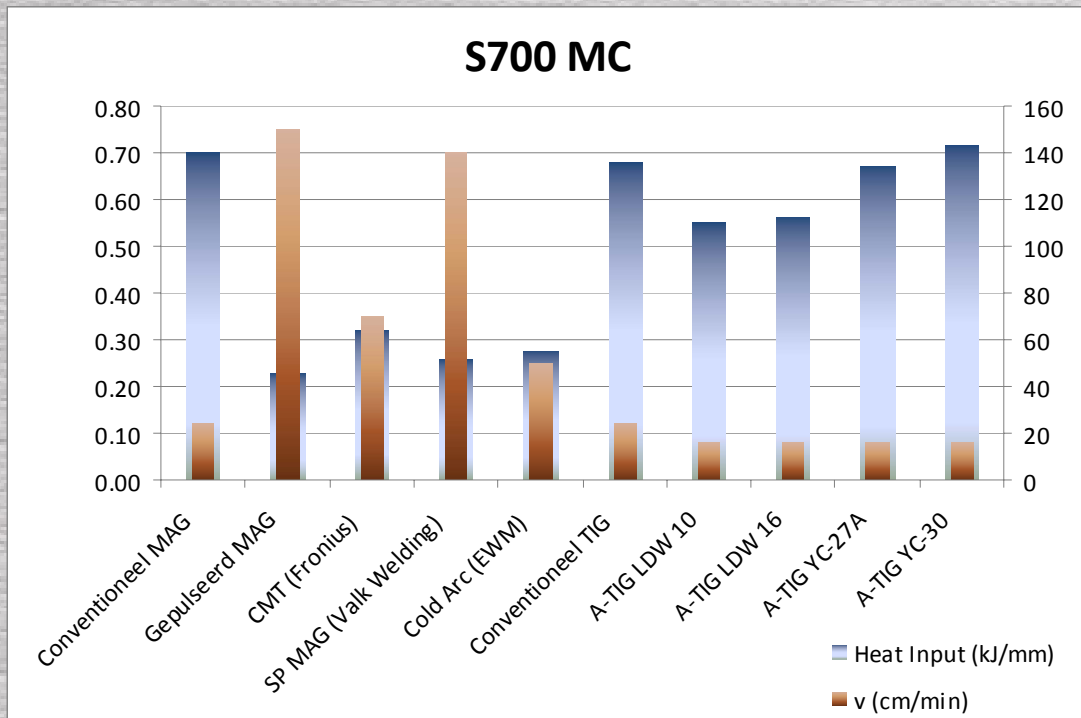
Er werden ook nog proeven uitgevoerd met het TOPTIG-proces (Air Liquide Welding). Uit de uitgevoerde preliminaire proeven is gebleken dat deze procesvariant momenteel nog niet volledig op punt staat voor stompe lasnaden. Daarnaast werden proeven uitgevoerd met het Aristo Superpuls proces. De voortloopsnelheid van de beschikbare lastractor lag te laag om met deze stroombron te lassen. De proeven werden niet meer hervat met een snellere robot of lastractor.

De opgemeten resultaten van de lasparameters staan weergegeven in BIJLAGE 1: Parameters van de lassen op dunne plaat. Uit de resultaten zoals hieronder grafisch weergegeven blijkt dat in de meeste hier geteste gevallen de snelheidswinst of de vermindering in warmte-inbreng van de nieuwe varianten vergelijkbaar is met de winst die te behalen valt met het omschakelen van conventioneel naar gepulseerd MIG/MAG. In het geval van het 4 mm dikke S700MC presteert SP MAG (Valk Welding) vergelijkbaar; in het geval van het 0.7 mm dikke AISI 430Ti is het

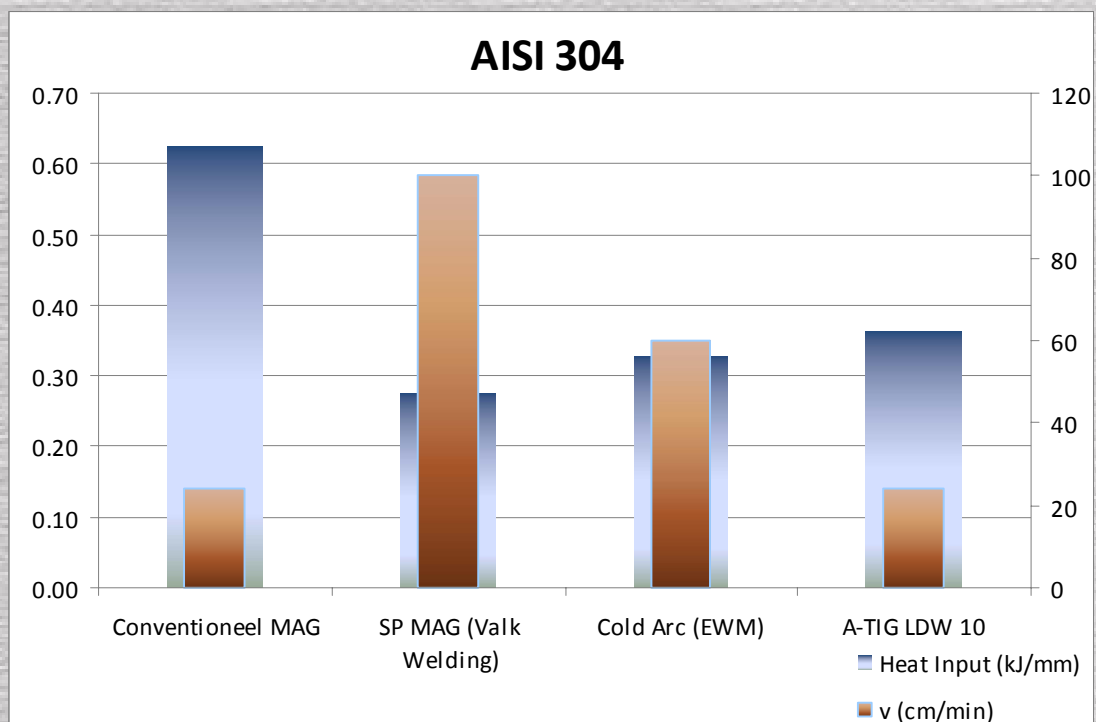


Cold Process (Cloos). Daarnaast werd het A-TIG uitgebreid getest op het 4 mm dikke S700 materiaal, maar zonder duidelijk effect op warmte-inbreng of voortloopsnelheid.

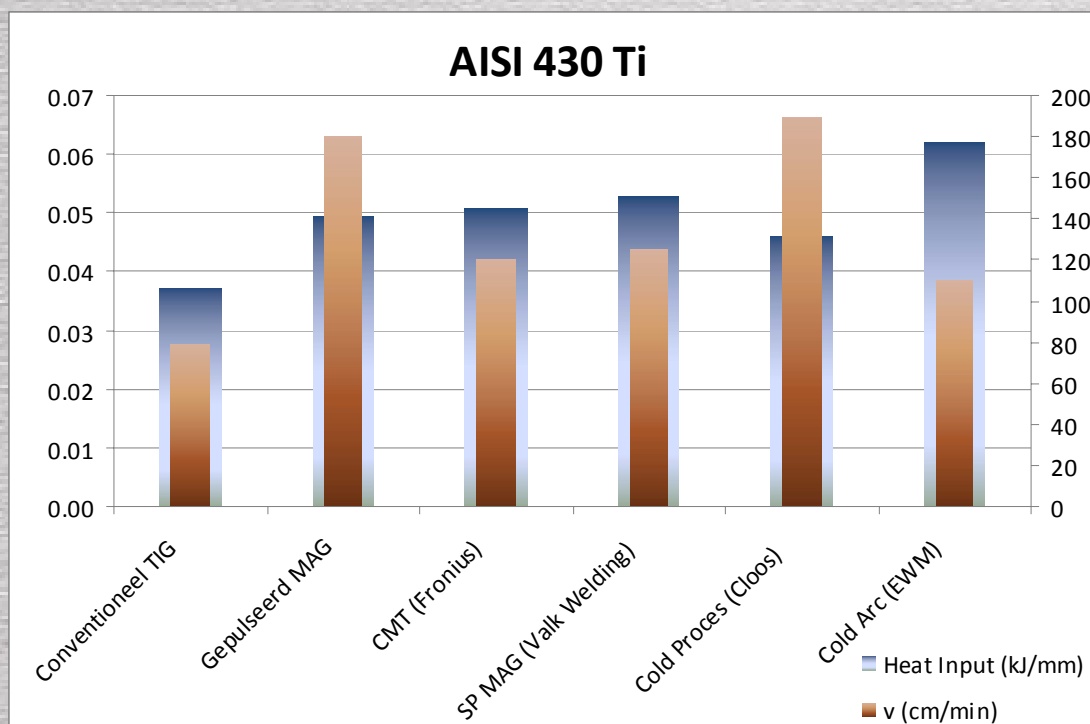
Grafiek 1: Voortloopsnelheid en heat-input – DC01



Grafiek 2: Voortloopsnelheid en heat-input – S700MC



Grafiek 3: Voortloopsnelheid en heat-input – AISI 304



Grafiek 4: Voortloopsnelheid en heat-input – AISI 430Ti

2.2 Macroscopisch onderzoek

2.2.1 DC01

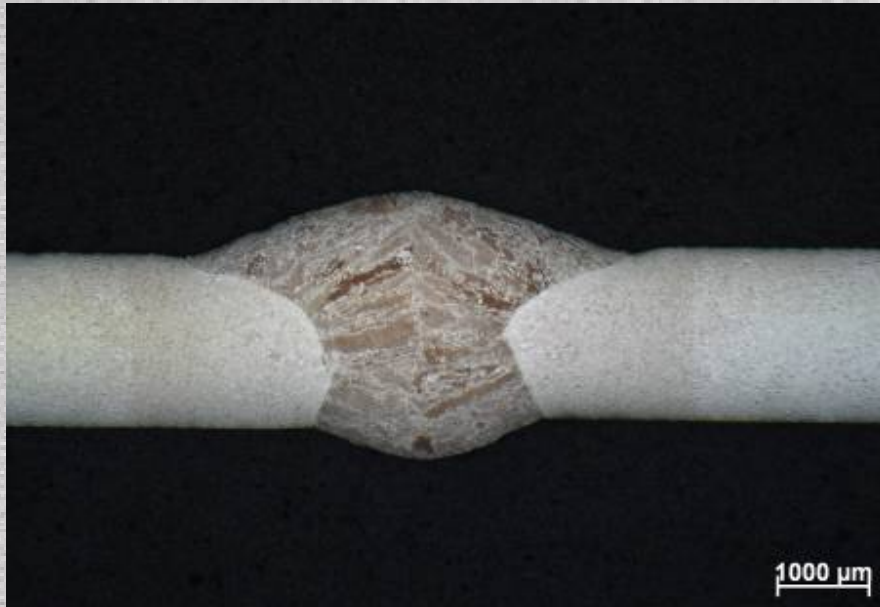
De resultaten van het macroscopisch onderzoek van dit materiaal worden hieronder visueel weergegeven in functie van de gebruikte innovatieve procesvariant (en soms het gebruikte lasgas). Als etsmiddel werd er voor dit materiaal Nital 2% aangewend. Vooral bij ColdArc (EWM) en SP MAG (Valk Welding) werd een behoorlijke overdikte waargenomen. Dit was bij Cold Process (Cloos) minder, alhoewel nog steeds aanzienlijk. SP MAG (Valk Welding) gaf daarnaast een zeer brede lasbreedte aan de bovenzijde.



Figuur 1: DC01 (2 mm) - Conventioneel MAG



Figuur 2: DC01 (2 mm) - Cold Process (Cloos) Ar-15% CO₂



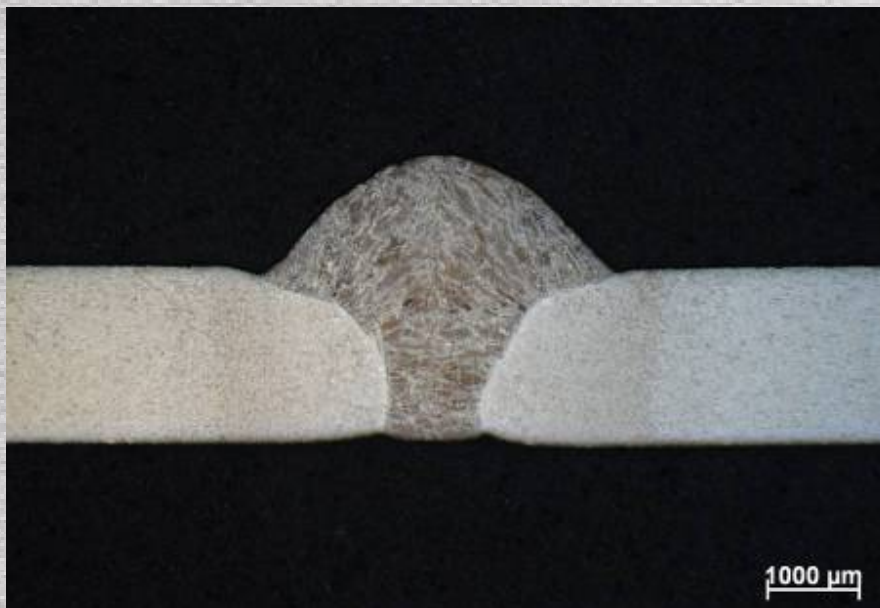
Figuur 3: DC01 (2 mm) - Cold Process (Cloos) Ar-6% CO₂



Figuur 4: DC01 (2 mm) - Cold Process (Cloos) Ar-18% CO₂



Figuur 5: DC01 (2 mm) - SPMAG (Valk Welding)



Figuur 6: DC01 (2 mm) - Cold Arc (EWM)



Figuur 7: DC01 (2 mm) - Conventioneel TIG

2.2.2 S700MC

De resultaten van het macroscopisch onderzoek van dit materiaal worden hieronder visueel weergegeven in functie van de gebruikte innovatieve procesvariant. Als etsmiddel werd er voor dit materiaal Nital 2% aangewend. Veel van de processen geven ondanks de materiaaldikte van 4 mm een aanzienlijke overdikte te zien (gepuleerd MAG, CMT (Fronius), SP MAG (Valk Welding) en ColdArc (EWM)).



Figuur 8: S700MC (4 mm) - Conventioneel MAG (Afgekeurd wegens bindingsfout)



Figuur 9: S700MC (4 mm) - Gepulseerd MAG



Figuur 10: S700MC (4 mm) - CMT (Fronius) (Afgekeurd wegens bindingsfout)



Figuur 11: S700MC (4 mm) - SPMAG (Valk welding)



Figuur 12: S700MC (4 mm) - Cold Arc (EWM)



Figuur 13: S700MC (4 mm) - Conventioneel TIG



Figuur 14: S700MC (4 mm) - A-TIG LDW10 (Liburdi)



Figuur 15: S700MC (4 mm) - A-TIG LDW 16 (Liburdi)



Figuur 16: S700MC (4 mm) - A-TIG YC27A



Figuur 17: S700MC (4 mm) - A-TIG YC30

2.2.3 AISI304

De resultaten van het macroscopisch onderzoek van dit materiaal worden hieronder visueel weergegeven in functie van de gebruikte innovatieve procesvariant. Als etsmiddel werd er voor dit materiaal Glyceregia aangewend. Wederom is het voornaamste probleem bij veel van de processen de overdikte van de las (SP MAG (Valk Welding) en ColdArc (EWM)). (N.B. Voor het evalueren van A-TIG werden ook diktes van 6 mm en 8.5 mm gelast.)



Figuur 18: AISI304 (4 mm) - Conventioneel MAG



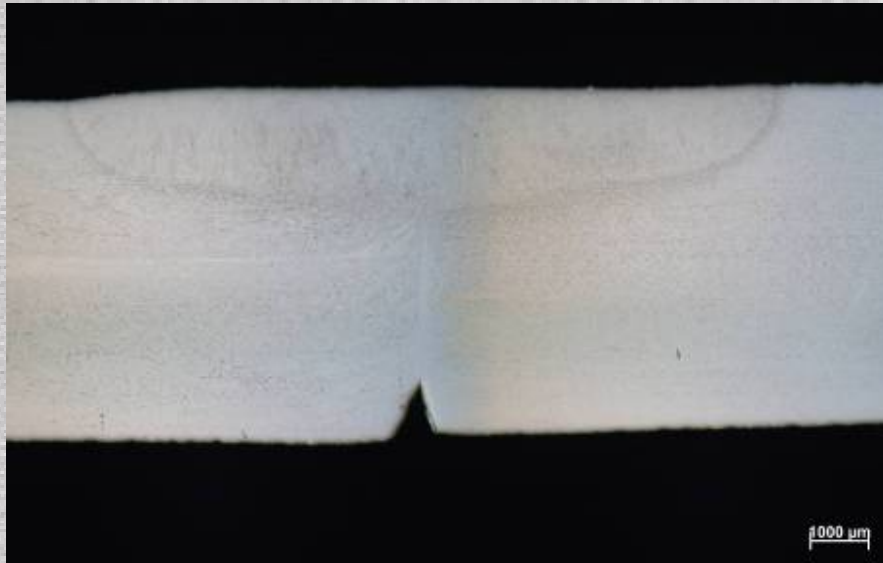
Figuur 19: AISI 304 (4 mm) - SPMAG (Valk Welding)



Figuur 20: AISI 304 (4 mm) - Cold Arc (EWM)



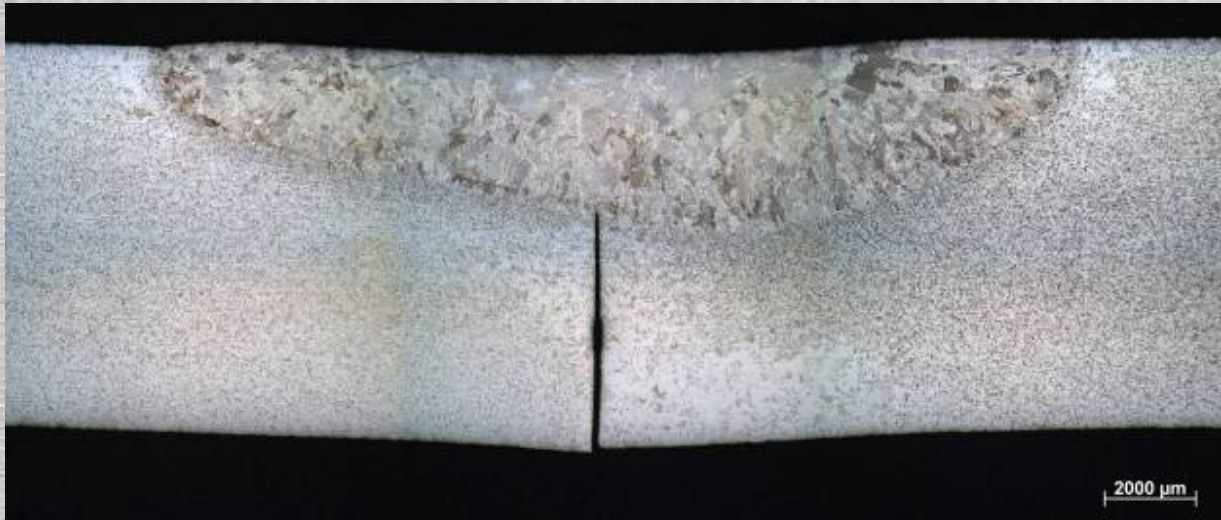
Figuur 21: AISI 304 (4 mm) - A-TIG LDW10 (Liburdi)



Figuur 221: AISI304 (6 mm) - Conventioneel TIG



Figuur 23: AISI304 (6 mm) - A-TIG LDW10



Figuur 24: AISI304 (8.5 mm) - Conventioneel TIG



Figuur 25: AISI304 (8.5 mm) - A-TIG LDW10

2.2.4 AISI430Ti

De resultaten van het macroscopisch onderzoek van dit materiaal worden hieronder visueel weergegeven in functie van de gebruikte innovatieve procesvariant. Als etsmiddel werd er voor dit materiaal Vilella's aangewend. De overdikte van alle op MIG-gebaseerde (vooral gepulseerd MIG, CMT (Fronius) en SP MAG (Valk Welding) processen mag voor deze dikte (0.7 mm) geen verbazing wekken.



Figuur 26: AISI430 (0,7 mm) - Conventioneel TIG



Figuur 27: AISI430 (0,7 mm) - Gepulseerd MAG



Figuur 28: AISI430 (0,7 mm) - CMT (Fronius)



Figuur 29: AISI430 (0,7 mm) - SPMAG (Valk welding)



Figuur 30: AISI430 (0,7 mm) - Cold process (Cloos)

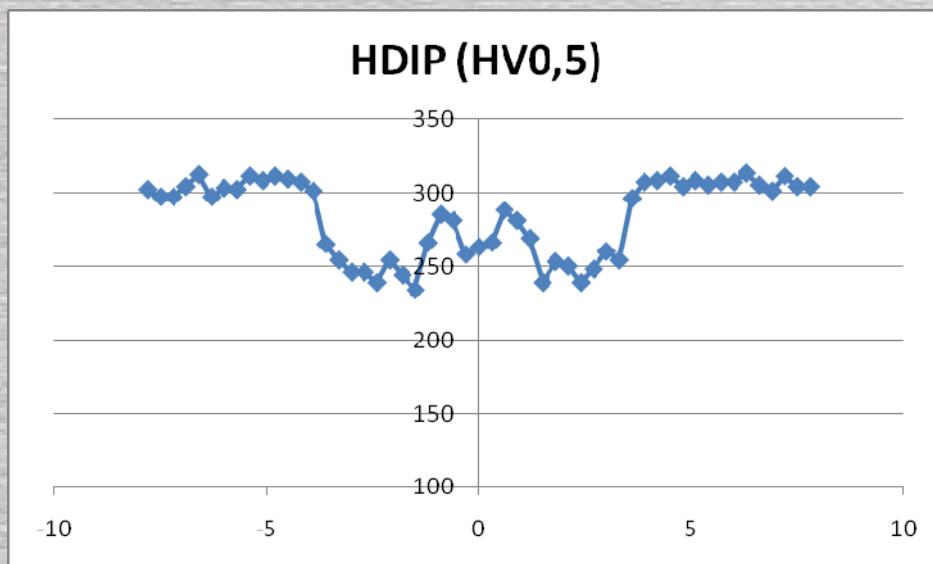


Figuur 31: AISI430 (0,7 mm) – Cold Arc (EWM)

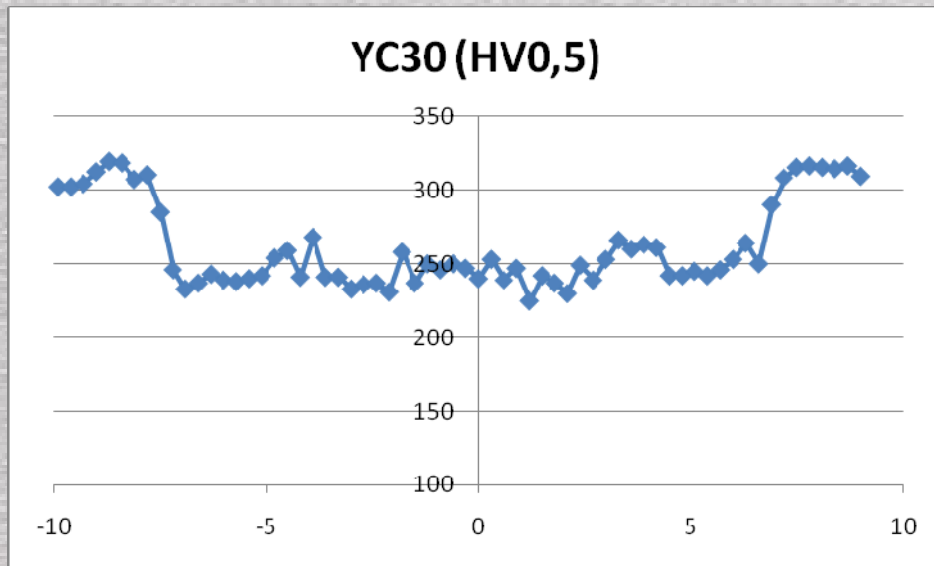
2.3 Hardheidsmetingen

De geselecteerde materialen vereisen geen hardheidsmetingen voor stompe naden volgens EN ISO 15614-1. Toch zijn er echter hardheidsmetingen uitgevoerd om een mogelijke verklaring te geven voor de slechte waarden voor de transversale treksterkte van de lassen in S700MC (cfr. paragraaf 2.4.4). De hardheidsmetingen laten duidelijk een verzachting zien in de warmtebeïnvloede zone van de las, wat een verzwakking kan teweegbrengen.

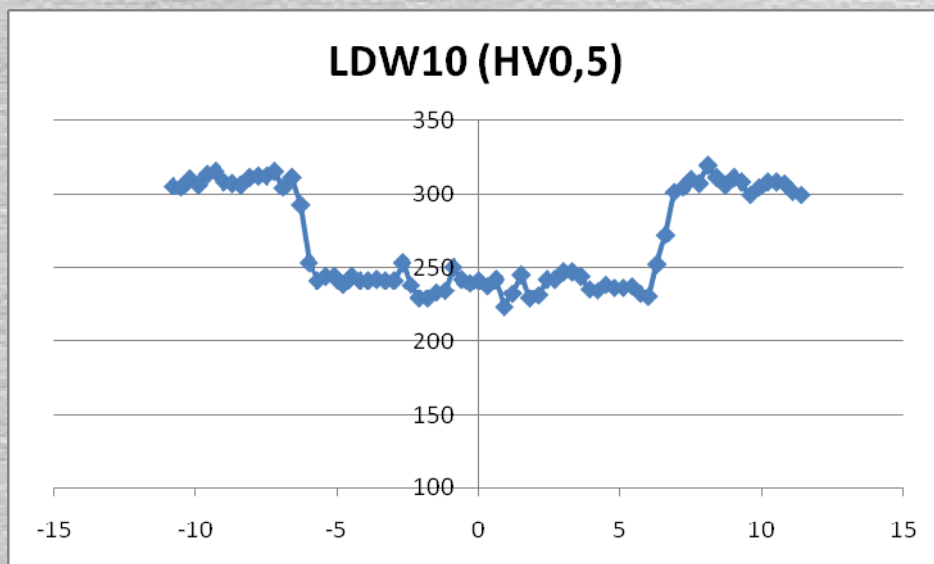
De hardheidsprofielen van het Hyper Dip Pulse en gepulseerd MAG proces vertonen een beperkte daling in hardheid in het lasmetaal, wat verklaard kan worden door het gebruikte toevoegmateriaal. Dit effect is niet zichtbaar bij de hardheidsprofielen van de A-TIG lassen met YC30 en LDW 10, aangezien deze zonder toevoegmateriaal gelast worden.



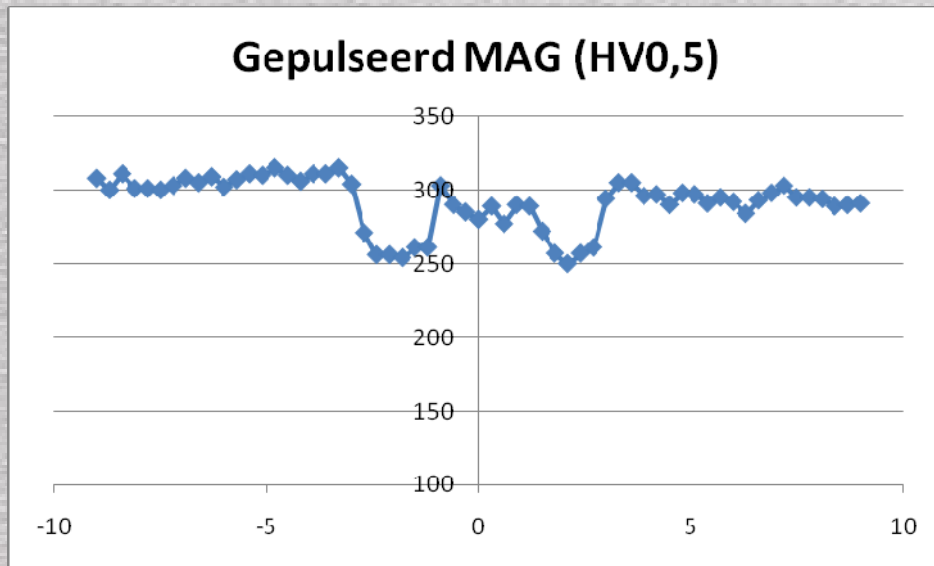
Figuur 32: Hardheidsmeting S700MC – Hyper Dip Pulse (Valk welding)



Figuur 33: Hardheidsmeting S700MC - YC30



Figuur 34: Hardheidsmeting S700MC - LDW 10



Figuur 35: Hardheidsmeting S700MC - Gepulseerd MAG

2.4 Trek en buigproeven

2.4.1 DC01 (2 mm)

R_m DC01 270 N/mm²

Proces	Trekproef 1		Trekproef 2		Trekproeven	Buigproef	
	R _m (N/mm ²)	Locatie Breuk	R _m (N/mm ²)	Locatie Breuk		Root bend	Face bend
Conventioneel MAG	326	BM	330	BM	OK	OK	OK
Cold Proces Ar 15% CO ₂ (Cloos)	315	BM	318	BM	OK	OK	OK
Cold Proces Ar 6% CO ₂ (Cloos)	321	BM	318	BM	OK	OK	OK
Cold Proces Ar 18% CO ₂ (Cloos)	329	BM	318	BM	OK	OK	OK
SPMAG (Valk Welding)	329	BM	333	BM	OK	OK	OK
Cold Arc (EWM)	314	BM	319	BM	OK	OK	OK
Conventioneel TIG	329	BM	334	BM	OK	OK	OK

2.4.2 S700MC (4 mm)

R_m S700MC 750 N/mm²

Proces	Trekproef 1		Trekproef 2		Trekproeven	Buigproef	
	R _m (N/mm ²)	Locatie Breuk	R _m (N/mm ²)	Locatie Breuk		Root bend	Face bend
Conventioneel MAG	744	Las	610	Las	NOK	OK	NOK
Gepulseerd MAG	800	Las	815	Las	OK	OK	OK
CMT (FRONIUS)	556	Las	769	Las	NOK	OK	OK
Hyper Dip Pulse (Valk Welding)	750	Las	774	Las	OK	OK	OK
Cold Arc (EWM)	777	Las	742	Las	NOK	OK	OK

Conventioneel TIG	670	Las	702	Las	NOK	OK	OK
A-TIG LDW10 (Liburdi)	685	Las	657	Las	NOK	OK	OK
A-TIG LDW16 (Liburdi)	657	Las	694	Las	NOK	OK	OK
A-TIG YC27A	684	Las	666	Las	NOK	OK	OK
A-TIG YC30	661	Las	681	Las	NOK	OK	OK

2.4.3 AISI304 (4 mm)

R_m AISI304 500 N/mm²

Proces	Trekproef 1		Trekproef 2		Trekproeven	Buigproef	
	R_m (N/mm ²)	Locatie Breuk	R_m (N/mm ²)	Locatie Breuk	OK/NOK	Root bend	Face bend
Conventioneel MAG	567	Las	592	Las	OK	OK	OK
Hyper Dip Pulse (Valk Welding)	592	Las	584	Las	OK	NOK	OK
Cold Arc (EWM)	588	Las	571	Las	OK	OK	OK
A-TIG LDW10 (Liburdi)	587	Las	600	Las	OK	OK	OK

2.4.4 AISI430Ti (0,7 mm)

R_m AISI430Ti 400 N/mm²

Proces	Trekproef 1		Trekproef 2		Trekproeven	Buigproef	
	R _m (N/mm ²)	Locatie Breuk	R _m (N/mm ²)	Locatie Breuk	OK/NOK	Root bend	Face bend
Conventioneel TIG	461	BM	439	BM	OK	OK	OK
Gepulseerd MAG	429	BM	460	BM	OK	OK	OK
CMT (Fronius)	462	BM	473	BM	OK	OK	OK
SPMAG (Valk Welding)	459	BM	444	BM	OK	OK	OK
Cold Proces (Cloos)	450	BM	448	BM	OK	OK	OK
Cold Arc (EWM)	459	Las	466	BM	OK	OK	OK

2.5 Resultatentabel

Materiaal	Proces	Macroscopie	Mechanische beproeving	
			Trekproeven	Buigproeven
DC01 (2 mm)	Conventioneel MAG	OK	OK	OK
	Cold Process Ar 15% CO ₂ (Cloos)	OK	OK	OK
	Cold Process Ar 6% CO ₂ (Cloos)	OK	OK	OK
	Cold Process Ar 18% CO ₂ (Cloos)	OK	OK	OK
	SP MAG (Valk Welding)	OK	OK	OK
	Cold Arc (EWM)	OK	OK	OK
	Conventioneel TIG	OK	OK	OK
S700MC (4 mm)	Conventioneel MAG	NOK	NOK*	NOK (face)
	Gepulseerd MAG	OK	OK	OK
	CMT (Fronius)	NOK	NOK*	OK
	Hyper Dip Pulse (Valk Welding)	OK	OK	OK
	Cold Arc (EWM)	OK	NOK	OK
	Conventioneel TIG	OK	NOK	OK
	A-TIG LDW10	OK	NOK	OK
	A-TIG LDW16	OK	NOK	OK
	A-TIG YC27A	OK	NOK	OK
AISI304 (4 mm)	A-TIG YC30	OK	NOK	OK
	Conventioneel MAG	OK	OK	OK
	Hyper Dip Pulse (Valk Welding)	OK	OK	NOK (root)
	Cold Arc (EWM)	OK	OK	OK
AISI304 (6 mm)	A-TIG LDW10	OK	OK	OK
	Conventioneel TIG	NOK	niet uitgevoerd	
AISI304 (8,5mm)	A-TIG LDW10	OK	niet uitgevoerd	OK
	Conventioneel TIG	NOK	niet uitgevoerd	
AISI430Ti (0,7 mm)	A-TIG LDW10	OK	niet uitgevoerd	OK
	Gepulseerd MAG	OK	OK	OK
	CMT (Fronius)	OK	OK	OK
	Cold Process (Cloos)	OK	OK	OK
	SP MAG (Valk Welding)	OK	OK	OK
	Cold Arc (EWM)	OK	OK	OK

* Vermoedelijk het gevolg van bindingsfouten

3 Samenvatting en conclusies

In Werkpakket 2 zijn twee koolstofstalen (DC01 en S700MC) en twee roestvaste stalen (AISI 304 en AISI 430Ti) in het diktebereik van 0.7 mm tot 4 mm gelast met verschillende moderne booglasvarianten. Voor het grootste gedeelte zijn de experimenten uitgevoerd bij (vertegenwoordigers van) fabrikanten van de desbetreffende processen, en vergeleken met conventioneel en gepulseerd MIG/MAG en conventioneel TIG, uitgevoerd door het BIL en/of OCAS.

De tot stand gebrachte lassen werden vervolgens beproefd volgens de eisen gesteld in EN ISO 15614 – 1. Daarnaast werd voor oppervlaktescheuronderzoek van AISI304 geopteerd voor penetrant onderzoek, en voor DC01, S700MC en AISI430Ti voor magnetisch onderzoek. Al de beproefde werkstukken voldeden aan de gestelde eisen. Daarnaast werden doorsnedes genomen die werden gecontroleerd volgens EN ISO 5817.

Mechanische beproeven vond plaats middels transversale trekproeven en normaal en tegenbuigproeven uitgevoerd, waarbij de proefstukken volgens EN ISO 15614-1 geen enkele scheur > 3 mm mogen vertonen.

Naar aanleiding van het uitgevoerde werk kunnen geen eenduidige conclusies getrokken worden omtrent de algemene geschiktheid van de verschillende nieuwe booglasvarianten voor verschillende materialen en diktes. Het verdient daarom aanbeveling bij interesse een vergelijk te doen, en specifieke lastesten te laten uitvoeren die aansluiten bij de specifieke interesse van de klant (dat kan zijn reductie in warmte-inbreng, toegenomen productiviteit, beter lasuiterlijk, etcetera). Het viel echter op dat het in de meeste gevallen – zelfs voor de fabrikanten of hun vertegenwoordigers – niet eenvoudig was ideale lassen te leggen die voldeden aan alle mogelijke eisen. Tevens lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat op grond van het werk in dit werkpakket uitgevoerd in veel gevallen de prestatie van de nieuwe booglasvarianten wat betreft lasuiterlijk (overdikte in het bijzonder), voortloopsnelheid en warmte-inbreng niet significant beter is dan die van gepulseerd MIG/MAG.

BIJLAGE 1: Parameters van de lassen op dunne plaat

Proces	I (A)	U (V)	v (cm/min)	η	Heat Input (kJ/mm)
Conventioneel MAG	128	19	66	0.8	0.18
Cold Process 15 CO ₂ (Cloos)	179	23.1	170	0.8	0.12
Cold Process Ar 8% CO ₂	147	21.8	115	0.8	0.13
Cold Process Ar 18% CO ₂	140	21.4	115	0.8	0.13
SPMAG (Valk Welding)	219	26.8	150	0.8	0.19
Cold Arc (EWM)	130	16.4	80	0.8	0.13
Conventioneel TIG	170	11	35	0.6	0.19

Tabel 1: Parameters DC01

Proces	I (A)	U (V)	v (cm/min)	η	Heat Input (kJ/mm)
Conventioneel MAG	181	19.3	24	0.8	0.70
Gepulseerd MAG	254	28.4	150	0.8	0.23
CMT (Fronius)	209	22.5	70	0.8	0.32
SP MAG (Valk Welding)	264	28.7	140	0.8	0.26
Cold Arc (EWM)	173	16.6	50	0.8	0.28
Conventioneel TIG	260	17.4	24	0.6	0.68
A-TIG LDW 10	181	13.5	16	0.6	0.55
A-TIG LDW 16	180	13.9	16	0.6	0.56
A-TIG YC-27A	206	14.5	16	0.6	0.67
A-TIG YC-30	220	14.5	16	0.6	0.72

Tabel 2: Parameters S700MC

Proces	I (A)	U (V)	v (cm/min)	η	Heat Input (kJ/mm)
Conventioneel MAG	133	23.5	24	0.8	0.63
SP MAG (Valk Welding)	235	24.4	100	0.8	0.28
Cold Arc (EWM)	200	20.5	60	0.8	0.33
A-TIG LDW 10	182	13.3	24	0.6	0.36

Tabel 3: Parameters AISI304L

Proces	I (A)	U (V)	v (cm/min)	η	Heat Input (kJ/mm)
Conventioneel TIG	81	10.1	79	0.6	0.04
Gepulseerd MAG	93	19.9	180	0.8	0.05
CMT (Fronius)	73	17.4	120	0.8	0.05
SP MAG (Valk Welding)	92	14.9	125	0.8	0.05
Cold Process (Cloos)	100	18.3	190	0.8	0.05
Cold Arc (EWM)	95	15	110	0.8	0.06

Tabel 4: Parameters AISI 430Ti