

Dokument: SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0016-01

Indtrængningssikkerhed ved MIG-svejsning i aluminium

Grundliggende påvejseforsøg

SASAK
Projekt 3 - Svejsning

Carsten Jørn Rasmussen

FORCE Instituttet, april 2000

Sammenfatning

Ved svejsning i aluminium er det svære at opnå en tilstrækkelig indtrængning i forhold til svejsning i stål. Dette skyldes primært aluminiums gode evne til at bortlede varmeenergi fra svejsestedet. Risikoen for manglende indtrængning stiger med stigende godstykkelse.

Denne rapport beskriver resultaterne fra systematiske svejseforsøg på FORCE Institutet, hvor indtrængningen ved MIG-på svejsning på 12 tykke aluminiumsplader i legeringen AlMgSi1(6082) er undersøgt under forskellige svejseforhold.

Indtrængningen blev undersøgt for 5 forskellige kombinationer af svejsehastighed, strømstyrke og spænding ved svejsning med en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm. Resultaterne viste, at med stigende svejseparametre (svejsehastighed, strøm og spænding) med samme varmetilførsel blev der opnået en betydelig dybere, bredere og dermed mere sikker indtrængning.

Derudover blev indtrængningen ved svejsning med 100% argon sammenlignet med indtrængningen ved svejsning med 30% argon + 70% helium. Med begge gastyper blev der igen svejst med den samme varmetilførsel på 0,4 kJ/mm. Med 70% helium i gassen blev indtrængningen ikke dybere men tilgængelig bredere i forhold til svejsning med 100% argon. Med 70% helium i gassen blev overvulsten desuden lidt fladere, og hele svejsesømmen blev lidt bredere.

Endelig blev indtrængningen undersøgt for 2 forskellige trådtykkelser på hhv. 1,2 og 1,6 mm med samme varmetilførsel på 0,4 kJ/mm. Resultaterne viste, at indtrængningen var en anelse dybere og bredere med en 1,2 mm tråd i forhold til en tråd på 1,6 mm.

Det vurderes, at tendenserne mht. indtrængning fra på-svejs-forsøgene i denne undersøgelse kan overføres til alle andre fugetyper.

I forbindelse med yderligere undersøgelse af MIG svejsning af kantsømme samt svejsning med tandemteknikken er tendenserne for indtrængning ved på-svejsning blevet eftervist til også at gælde ved kantsømssvejsning– se SASAK-rapporterne: SASAK-RAP-SV-AKS-FI-(0016-00) , og -(0021-00)

Indhold

1	Introduktion.....	5
2	Formål	6
3	Svejsforsøg.....	7
4	Målinger på indtrængningsprofil.....	10
5	Svejseparametrenes indflydelse på indtrængning	11
5.1	Indtrængningsdybden D	11
5.2	Indtrængningsbredden B.....	12
5.3	Højde overvulst O	12
5.4	Udvendig sømbredde S	13
5.5	Risiko for bindingsfejl.....	14
5.6	Samlet vurdering af svejseparametrenes indflydelse på indtrængning	14
6	Heliums indflydelse på indtrængning	15
6.1	Indtrængningsdybden D	16
6.2	Indtrængningsbredden B.....	17
6.3	Højde overvulst O	18
6.4	Udvendig sømbredde S	19
6.5	Samlet vurdering af heliums indflydelse på indtrængning.....	19
7	Trådtykkelsens indflydelse på indtrængning.....	20
7.1	Indtrængningsdybden D	20
7.2	Indtrængningsbredden B.....	21
7.3	Højde overvulst O	22
7.4	Udvendig sømbredde S	23
7.5	Samlet vurdering af trådtykkelsens indflydelse på indtrængning	23
8	Heliums indflydelse på svejsedata	24

9	Konklusion.....	25
9.1	Svejseparametres indflydelse på indtrængning	25
9.2	Heliums indflydelse på indtrængning	25
9.3	Tråddykkelsens indflydelse på indtrængning.....	25

1 Introduktion

Ved svejsning i aluminium fordeler varmen sig hurtigere ud i det omkringliggende materiale i forhold til ved svejsning i stål. Svejseteknisk betyder denne forskel, at man i højere grad skal være opmærksom på bindingsfejl eller manglende indtrængning ved svejsning i aluminium.

I tabel 1.1 er de materialeparametre, der er afgørende for hvordan varmeudbredelsen forløber, vist for nogle typiske aluminiumslegeringer samt for konstruktionsstål.

Tabel 1.1: Materialeparametre, der er afgørende for varmeudbredelsen i et metal. Vist for 3 aluminiumslegeringer og konstruktionsstål,

Materiale	Varme- Ledningsevne [W/mK]	Varmefylde [J/kgK]	Massefylde [kg/m ³]
5083 (AlMg4,5Mn0,7)	130	903	2660
5754 (AlMg3)	140	903	2680
6082 (AlMgSi1)	180	897	2710
Konstruktionsstål	50	450	7850

Den hastighed hvormed varmeenergien fordeler sig i et metal, afhænger af en kompleks sammenhæng mellem ovennævnte materialeparametre, hvilket er behandlet mere indgående i delprojekt 2: Varmepåvirkning. Her skal det blot nævnes, at de typiske niveauer af ovennævnte materialeparametre for aluminium, betyder en hurtigere bortledning af varmen fra svejsestedet i forhold til stål.

Et vigtigt formål med denne undersøgelse har været, at undersøge hvilken betydning niveauer af svejsehastighed, spænding og strømstyrke har for indtrængningen ved svejsningen i aluminium, når der svejses med konstant varmetilførsel.

I praksis tilsættes helium ofte til beskyttelsesgassen, når der svejses i større godstykkelser med det formål at opnå en mere sikker og bedre indtrængning.

I denne undersøgelse er indtrængningsprofilen sammenlignet ved svejsning med 100% argon i forhold til svejsning med 30% argon + 70% Helium, når der svejses med samme varmetilførsel. Derved er heliums effekt på indtrængningsprofilen nærmere belyst.

Heliums ionisationsenergi er næsten dobbelt så stor som argons og samtidig er varmeledningsevnen i helium ca. 10 gange større end i argon. Det betyder i praksis, at ved

svejsning med helium i beskyttelsesgassen øges lysbuespændingen for samme strømstyrke i forhold til svejsning med ren argon.

Hvis den bedre indtrængning ved anvendelse af helium kun skyldes den øgede varmetilførsel pga. den øgede svejsestrøm, kunne man i princippet lige så vel anvende 100 % argon og øge varmetilførslen til samme niveau.

For at undersøge heliums sande indflydelse på indtrængningsprofilen, således at den øgede indtrængning ikke kun skyldes den øgede svejsestrøm, er varmetilførslen i alle svejseforsøgene holdt konstant på 0,4 kJ/mm ved at regulere strømstyrken ned ved svejsning med helium.

Endelig belyses betydningen af tilsatsmaterialets tykkelse for indtrængningen i denne undersøgelse ligeledes ved svejsning med en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm. Der er sammenlignet 2 diametre på hhv. 1,2 og 1,6 mm

Alle svejseforsøgene er blevet udført som MIG-svejsninger oven på 12 mm tykke forsøgspåler i legeringen 6082 (AlMgSi1).

I praksis vil svejsninger oven på plade naturligvis sjældent finde sted. Svejsninger oven på plade er i dette tilfælde valgt for at opnå simple reproducerbare svejseforsøg. Resultaterne, der viser noget om hvilken indflydelse svejsehastigheden, heliumgassen og trådtykkelsen har på indtrængningsprofilen ved MIG-svejsning, kan i princippet overføres til alle andre typer svejsefog. Tendenserne vil være de samme.

Tendenserne for indtrængning ved på-svejsning præsenteret i denne rapport er efterfølgende blevet eftervist til også at gælde ved kantsømssvejsning – se SASAK-rapporterne: SASAK-RAP-SV-AKS-FI-(0016-00) , og -(0021-00)

2 Formål

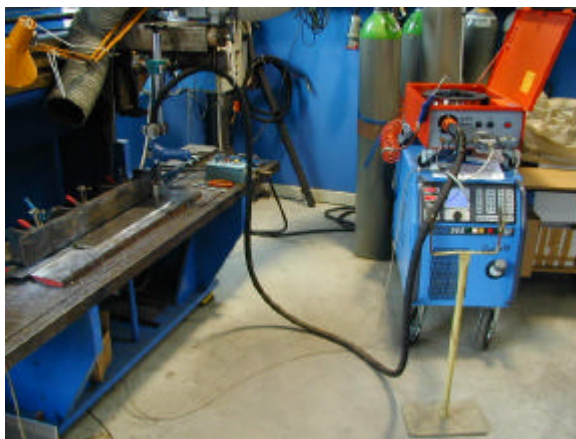
Formålet med denne forsøgsserie kan sammenfattes til følgende:

- At undersøge indflydelsen fra forskellige kombinationer af svejsehastighed, strøm og spænding på indtrængningsprofilen ved konstant varmetilførsel, dvs. nogenlunde konstant a-mål.
- At undersøge heliums indflydelse på indtrængningsprofilen.
- At undersøge trådtykkelsens indflydelse på indtrængningsprofilen.

3 Svejseforsøg

Gennem en systematisk forsøgsplan er der foretaget 14 svejseforsøg oven på 12 mm tykke AlMgSi1-aluminiumsplader med MIG-svejseteknikken. Forsøgsemnerne var 100 mm brede og 500 mm lange.

Forsøgsopstillingen kan ses på figur 3.1.



Figur 3.1, forsøgsopstilling

Der er anvendt et Cloos Quinto 503 svejseanlæg med brænderen monteret på en langsømsautomat som vist på figur 3.1.

Der er undersøgt 5 forskellige kombinationer af svejsehastighed, strømstyrke og spænding ved svejsning med en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm. Svejsehastigheden blevet varieret på 5 niveauer på hhv. 200, 400, 600, 800 og 1000 mm/min.

Med disse 5 sæt svejsedata blev følgende kombinationer af tråddiameter og beskyttelsesgasser undersøgt:

- 1,2 mm tyk tilsatstråd med beskyttelsesgassen 100% argon
- 1,2 mm tyk tilsatstråd med beskyttelsesgassen 30% argon + 70% helium.
- 1,6 mm tyk tilsatstråd med beskyttelsesgassen 100% argon

Dette giver forsøgsmatrixen vist i tabel 3.1.

Tabel 3.1: Forsøgsmatrix

Svejseshastighed [mm/min]	Gassammensætning og trådtykkelse		
	Gas = 100% Ar		Gas = 30% Ar + 70% He
	Tråddia. 1,2 mm	Tråddia. 1,6 mm	Tråddia. 1,2 mm
200	M1	M6	M11
400	M2	M7	M12
600	M3	M8	M13
800	M4	M9	M14
1000	M5	M10	M15

Det var ikke muligt at svejse med en 1,6 mm tråd med en svejseshastighed på 200 mm/min og med varmetilførslen 0,4 kJ/mm, og derfor er forsøget M6 ikke udført.

Varmetilførslen ved MIG-svejsning beregnes efter formlen:

$$Q = \frac{U * I * 0,8 * 60}{v * 1000} \quad , \text{ ligning 3.1}$$

Q = Varmetilførsel [kJ/mm]

U = Spænding [V]

I = Strømstyrke [A]

V = Svejseshastighed [mm/min]

For at opnå den konstante varmetilførsel på 0,4 kJ/mm med varierende svejseshastigheder mellem 200 og 1000 mm/min er strøm- og spændingsniveauet varieret nogenlunde som vist i tabel 3.2.

Under udførelsen af svejsforsøgene blev det tilstræbt at holde svejseshastigheden fast på niveauerne angivet i tabellen samt at holde varmetilførslen konstant på 0,4 kJ/mm. Afhængig af gassammensætning og trådtykkelse er det klart at strøm- og spændingsniveauerne afvigede lidt i forhold til tabel 3.2.

Tabel 3.2: Gennemsnitlige svejseparametre under svejseforsøgene. (Giver samme varmetilførsel på 0,4 kJ/mm)

Svejsehast.	Strøm	Spænding
[mm/min]	[A]	[V]
200	75	22
400	140	24
600	190	26
800	240	28
1000	275	30

Med de kombinationer af trådhastigheder og svejsehastigheder, der er anvendt under svejseforsøgene, ville det nedsmeltede materiale svare til et a-mål på mellem 4 og 5 mm i en kantsøm, hvilket er normal praksis ved svejsning i 12 mm tyk plade.

Det skal nævnes, at den lave svejsehastighed på 200 mm/min og den høje svejsehastighed på 1000 mm/min normalt ikke er anvendelige i en produktionssituation med anvendelse af en 1,2 mm tråd, og at de kun er taget med i undersøgelsen for at give et mere klart indtryk af svejseparametrenes indflydelse på indtrængningsprofilen.

De eksakte svejseparametre, der er anvendt under udførelsen af svejseforsøgene, er vist i bilag A

Forhold der har været konstante under alle svejseforsøgene:

Grundmateriale:	AlMgSi1Mn (6082)
Leveringstilstand:	T6
Dimension forsøgsemne:	12 x 100 x 500 mm
Kontakt dyseafstand:	15 mm
Brændervinkel:	15° stikkende
Gaskop-diameter:	16 mm
Gasflow:	18 l/min
Varmetilførsel:	0,4 kJ/mm

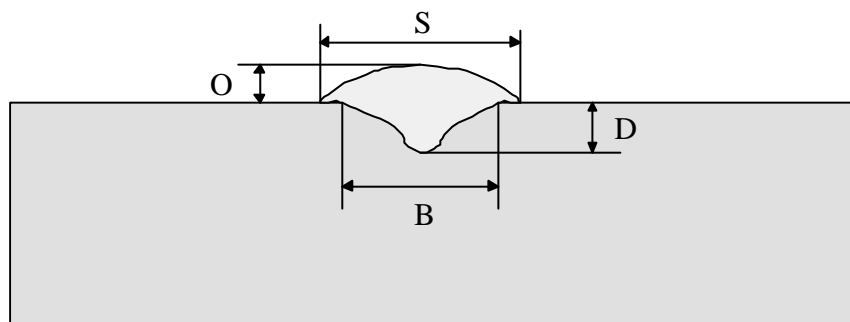
4 Målinger på indtrængningsprofil

Hver svejste prøveemne blev skåret op på midten, og der blev lavet et makroslib af svejsningen for bl.a. at kunne se indtrængningen.

I bilag B er der vist fotos af makroslib af svejsninger, der alle er svejst med en 1,2 mm AlMg5 tråd, og hvor indtrængningsprofilen kan sammenlignes for svejsning med 2 forskellige gastyper på hhv. 100% argon og 30% argon + 70% helium.

I bilag C er der vist fotos af makroslib af svejsninger, der alle er svejst med 100 % argon, hvor indtrængningsprofilen kan sammenlignes for svejsning med 2 forskellige tråddiameter på hhv. 1,2 mm og 1,6 mm begge i legeringen AlMg5.

På en profil projektor blev indtrængningsprofilen målt op ved at måle 4 forskellige steder på hver svejsning. Målestederne er vist på figur 4.1.



Figur 4.1: Målinger på indtrængningsprofil

D = Maksimal indtrængningsdybde

B = Bredde hvor der med sikkerhed er indtrængning

O = Højde på overvulst

S = Udvendig bredde af svejsesøm

Målingerne af indtrængningsprofilerne er vist i bilag A sammen med de respektive svejseparametre.

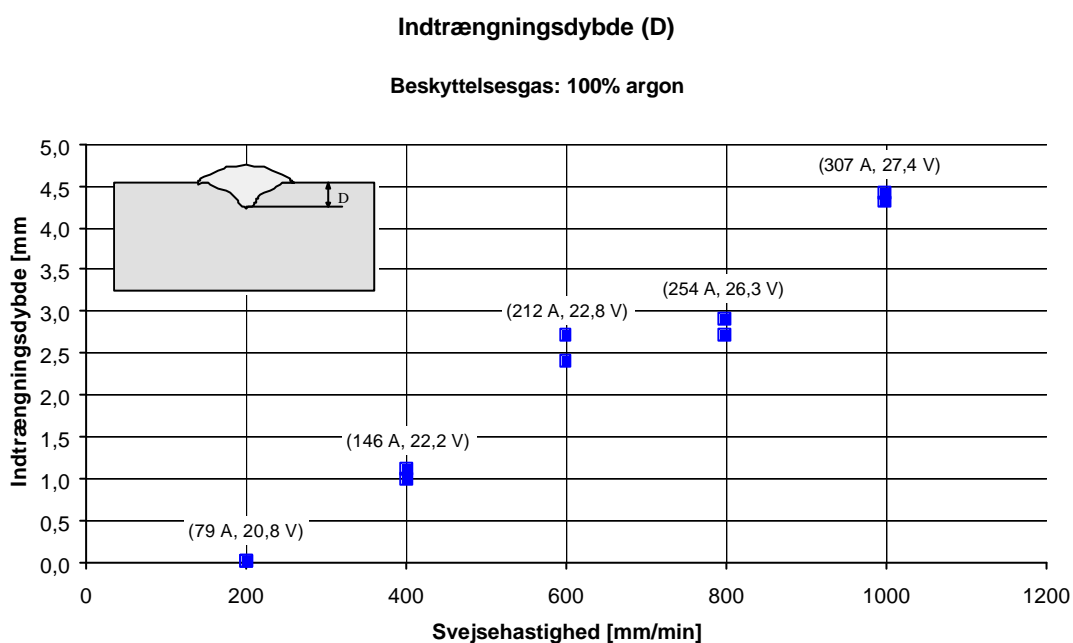
På udvalgte svejseforsøg blev der derudover foretaget hårdhedsmålinger for at undersøge hvor stor den varmpåvirkede zone blev under de forskellige svejseforhold.

5 Svejseparametrenes indflydelse på indtrængning

I dette afsnit ses der på hvilken indflydelse svejseparametrenes (svejsehastighed, strøm og spænding) indbyrdes forhold har på indtrængningsprofilen ved MIG-på-svejsning på en 12 mm plade i 6082-legering, når der svejses med en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm. Der er anvendt en 1,2 mm AlMg5 tråd og 100% argon.

5.1 Indtrængningsdybden D

På figur 5.1 er indtrængningsdybden D vist grafisk for varierende svejsehastighed men med konstant varmetilførsel = 0,4 kJ/mm. Strøm- og spændingsniveauerne, der er anvendt i hvert enkelt forsøg for at opnå den konstante varmetilførsel, er ligeledes vist på figuren.



Figur 5.1: Indtrængningsdybden D ved MIG-svejsning på en 12 mm tyk plade med 100% argon, 1,2 mm AlMg5 tråd og konstant varmetilførsel = 0,4 kJ/mm.

På figur 5.1 ses det, at svejseparametrenes indbyrdes forhold har en afgørende indflydelse på indtrængningsdybden ved svejsning med en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm.

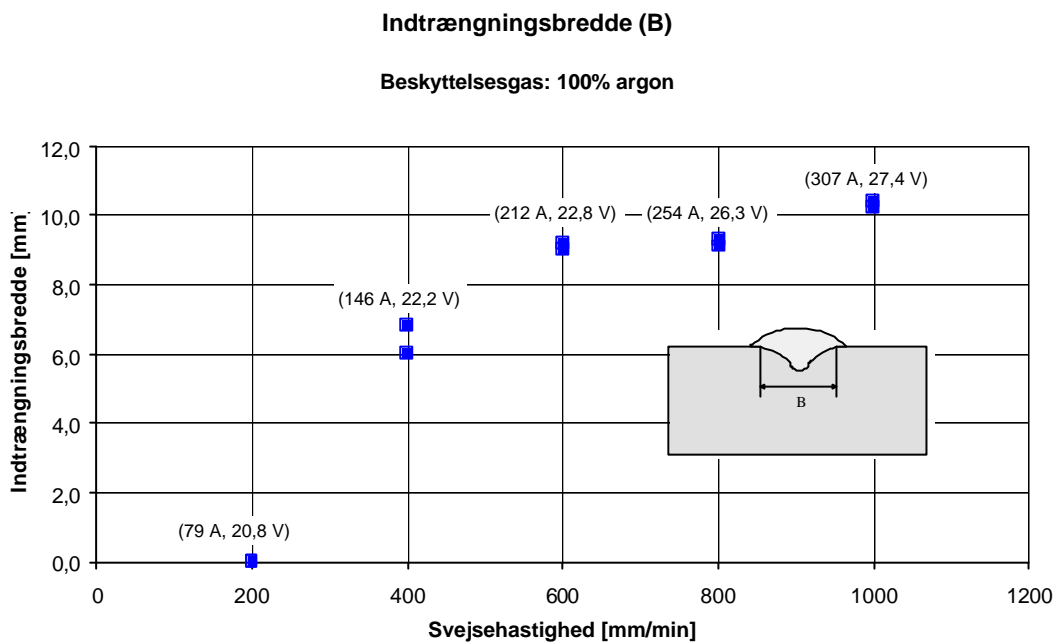
Af figuren ses det, at hvis der svejses med en hastighed på 200 mm/min med varmetilførslen 0,4 kJ/mm (strøm 79 A, spænding 20,8 V, a-mål ca. 5 mm), forekommer der stort set ingen indtrængning. I dette tilfælde ligger tilsatsmaterialet sig oven på pladen.

Hvis der i stedet svejses med en hastighed på 1000 m/min stadig med varmetilførslen 0,4 kJ/mm (strøm = 307 A, spænding = 27,4 V, a-mål ca. 4,5 mm) ligger indtrængningsdybden i nærheden af 4,5 mm.

Indtrængningsdybden stiger nogenlunde lineært med svejsehastigheden.

5.2 Indtrængningsbredde B

På figur 5.2 er indtrængningsbredden B vist grafisk for varierende svejseparametre.



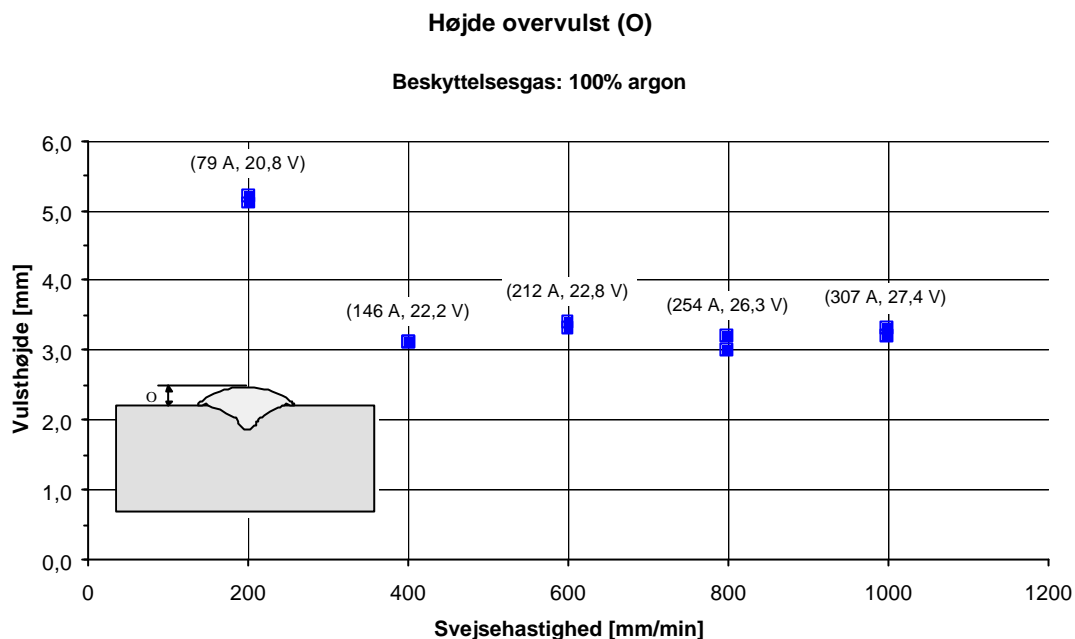
Figur 5.2: Indtrængningsbredden (B) ved MIG-svejsning på en 12 mm tyk plade med 100% argon, 1,2 mm AlMg5 tråd og konstant varmetilførsel = 0,4 kJ/mm.

Indtrængningsbredden er tilsvarende indtrængningsdybden i høj grad afhængig af svejsehastigheden, ved svejsning med en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm.

Fra en svejsehastighed på 600 mm/min og op efter stiger indtrængningsbredden dog kun i mindre grad.

5.3 Højde overvulst O

På figur 5.3 er højden af overvulsten O vist grafisk for varierende svejsehastighed

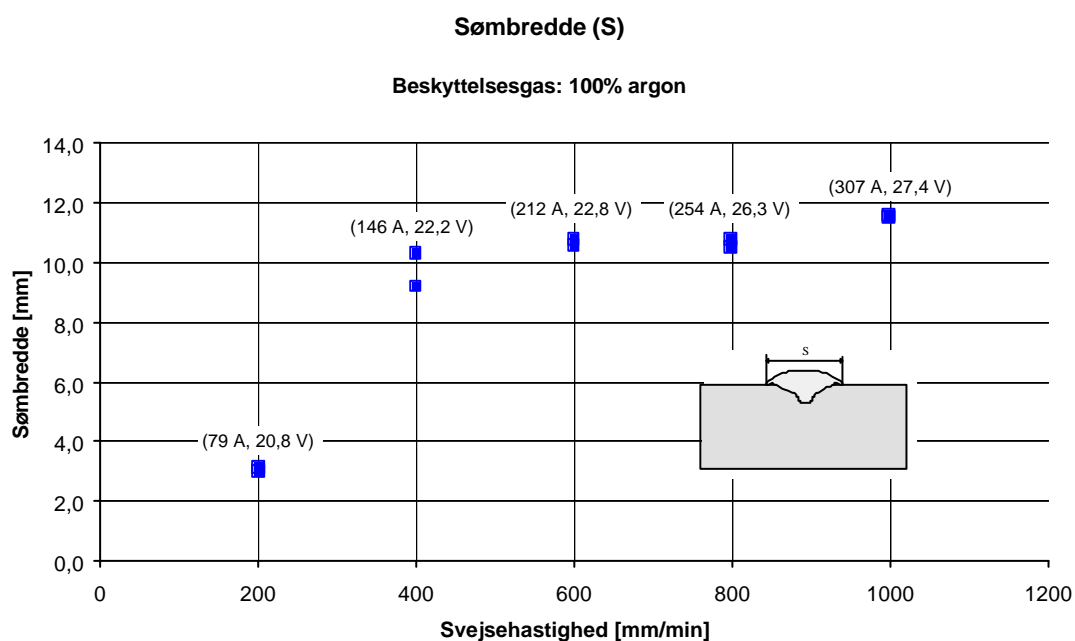


Figur 5.3: Højde af overvulst O ved MIG-svejsning på en 12 mm tyk plade med 100% argon, 1,2 mm AlMg5 tråd og konstant varmetilførsel = 0,4 kJ/mm.

På figur 5.3 ses det at overvulsten nogenlunde er konstant omkring 3 mm ved svejsning med en svejsehastighed fra 400 mm/min og op efter.

5.4 Udvendig sømbredde S

Der er ligeledes målt på den udvendige sømbredde S, og måleresultaterne er vist på figur 5.4.

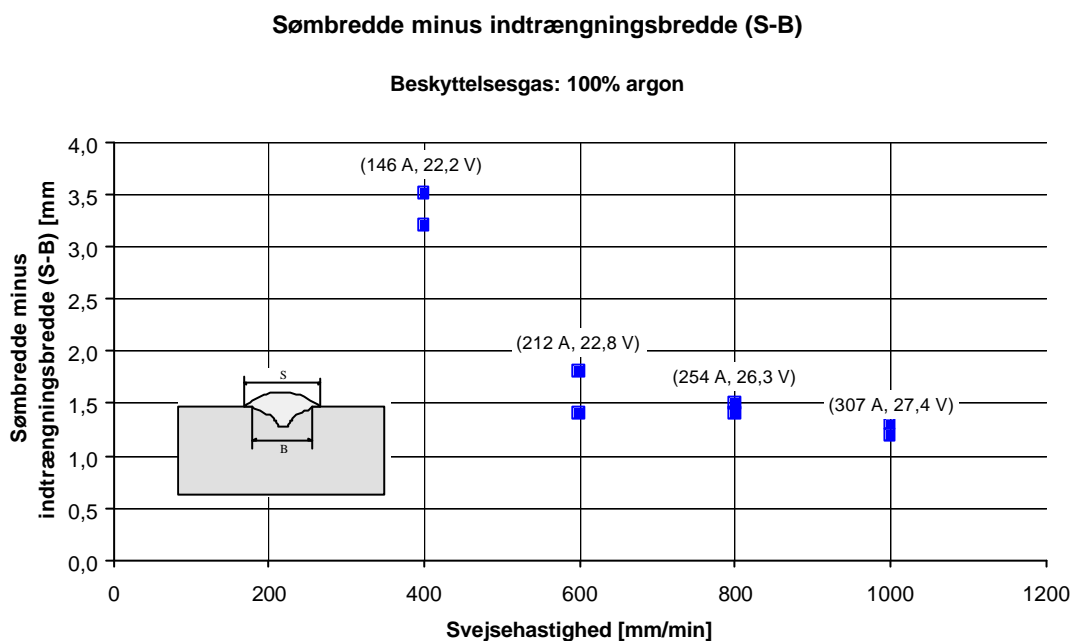


Figur 5.4: Udvendig sømbredde S ved MIG-svejsning på en 12 mm tyk plade med 100% argon, 1,2 mm AlMg5 tråd og konstant varmetilførsel = 0,4 kJ/mm.

Det ses af figur 5.4, at den udvendige sømbredde er svagt stigende, når der svejses med en svejsehastighed på 400 mm/min og opefter.

5.5 Risiko for bindingsfejl

Hvis man trækker indtrængningsbredden B fra den udvendige sømbredde får man en indikation af, hvordan risikoen for bindingsfejl vil være med stigende svejsehastighed.



Figur 5.5: Udvendig sømbredde S minus indtrængningsbredde B ved MIG-svejsning på en 12 mm tyk plade med 100% argon, 1,2 mm AlMg5 tråd og konstant varmetilførsel = 0,4 kJ/mm.

Det ses, at forskellen mellem sømbredde og indtrængningsbredde er faldende med stigende svejsehastighed. Risikoen for bindingsfejl er derfor faldende med stigende svejseparametre.

5.6 Samlet vurdering af svejseparametrenes indflydelse på indtrængning

Ved en samlet betragtning af måleresultaterne ses det, at niveauet af svejsehastighed, strøm og spænding har en afgørende indflydelse på indtrængningsprofilet på trods af, at der er svejst med en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm (svarer til et a-mål ca. 4,5 mm).

Med stigende svejseparametre (svejsehastighed, strøm og spænding) opnås en markant dybere, bredere og dermed mere sikker indtrængning.

Man skal være opmærksom på, at med stigende svejsehastighed er spændingen og især strømstyrken tilsvarende øget for at opnå den konstante varmetilførsel, der svarer til et a-mål i en kantsøm på ca. 4,5 mm.

Forklaringen på den mindre indtrængning, når der svejses med lave svejseparametre, er, at energien (varmen) der tilføres smeltebadet har mere tid til at diffundere ud i grundmaterialet, og det område der bliver opvarmet til en temperatur over aluminiums smeltetemperatur bliver derfor mindre. Dvs. indtrængningen bliver mindre.

Et andet forhold der har betydning for indtrængningen er, at når der svejses langsomt så ”træder” lysbuen mere oven i smeltebadet, og lysbuen kommer derfor ikke ned i samme grad og opsmelter grundmaterialet i forhold til, hvis der svejses med høj hastighed, hvor den kraftigere lysbue er placeret længere fremme i smeltebadet, og får mere fat i grundmaterialet.

Ved at øge svejseparametrene inklusiv svejsehastigheden opnås der udover en bedre indtrængning også en øget produktivitet i en produktionssituation, hvilket naturligvis er en fordel. Hvis der anvendes manuel svejsning kan det dog i visse tilfælde være problematisk at svejse med hastigheder i området 600-800 mm/min.

6 Heliums indflydelse på indtrængning

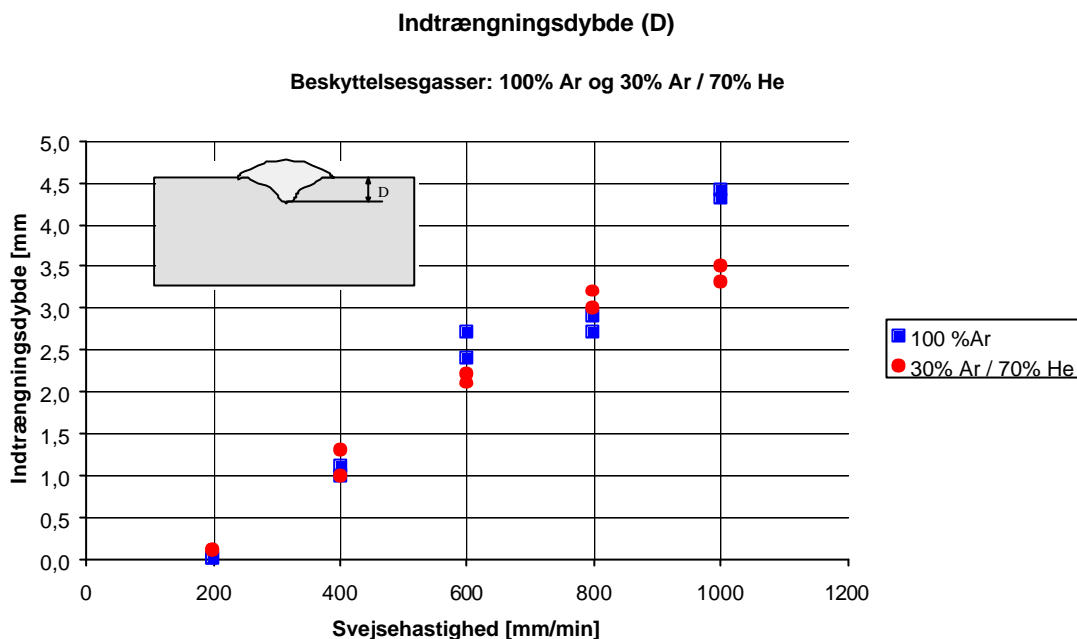
Ved påsvejsning på en 12 mm 6082 plade er indtrængningen ved svejsning med 100% argon sammenlignet med indtrængningen ved svejsning med 30% argon og 70% helium. Det skal her gentages, at ved svejsning med begge gastyper, da er strøm og spænding justeret så der opnås en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm.

Med helium i beskyttelsesgassen svejses der med lidt højere spænding, og strømstyrken og tråd hastigheden er derfor justeret lidt ned i forhold til svejsning med 100% argon, for at opnå den konstante varmetilførsel.

Ved svejsning med 70% helium svare den tilførte tilsatstråd til et a-mål i en kantsøm på gennemsnitlig 4,4 mm. Ved svejsning med 100% argon er det tilsvarende a-mål regnet ud til at være gennemsnitlig 4,8 mm.

6.1 Indtrængningsdybden D

På figur 6.1 er indtrængningsdybden D ved svejsning med dels 100% argon og dels 30% argon + 70% helium sammenlignet.

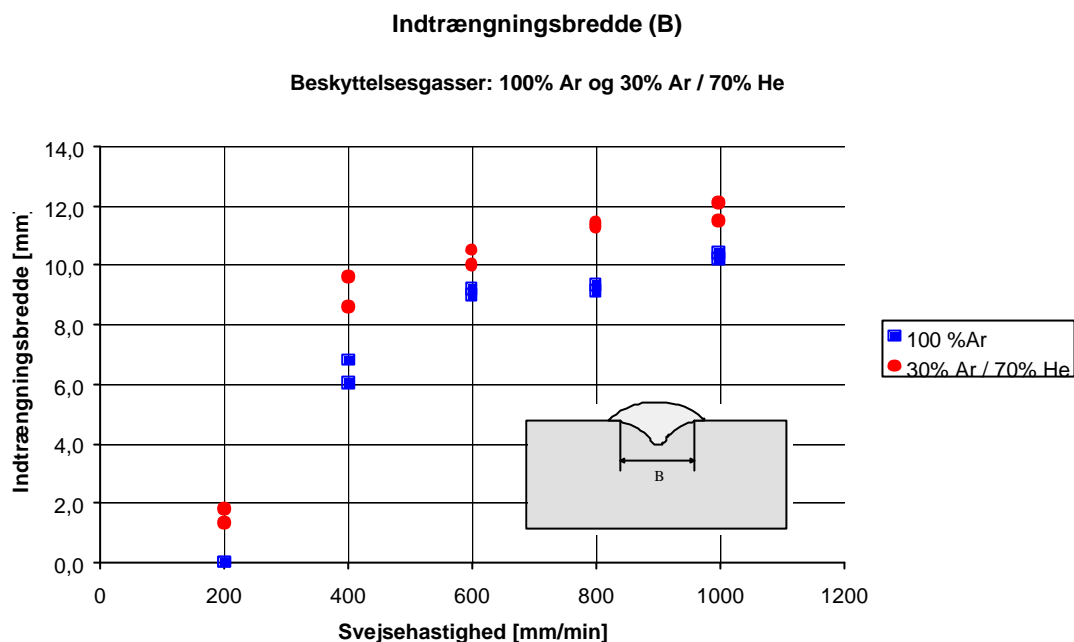


Figur 6.1: Indtrængningsdybden D ved MIG-svejsning på en 12 mm tyk plade med dels 100% argon og dels 30% argon + 70% helium, 1,2 mm AlMg5 tråd og konstant varmetilførsel = 0,4 kJ/mm.

Mht. gassammensætningen ses der ikke nogen umiddelbar forskel på indtrængningsdybden, når der svejses med 100% argon i forhold til 30% argon + 70% helium. Ved svejsning med 1000 mm/min forekommer der dog en lidt dybere argonfinger ved svejsning med 100% argon, hvilket giver en lidt dybere indtrængning, i forhold til svejsning med 30% argon + 70% helium.

6.2 Indtrængningsbredden B

På figur 6.2 er indtrængningsbredden B ved svejsning med dels 100% argon og dels 30% argon + 70% helium sammenlignet.



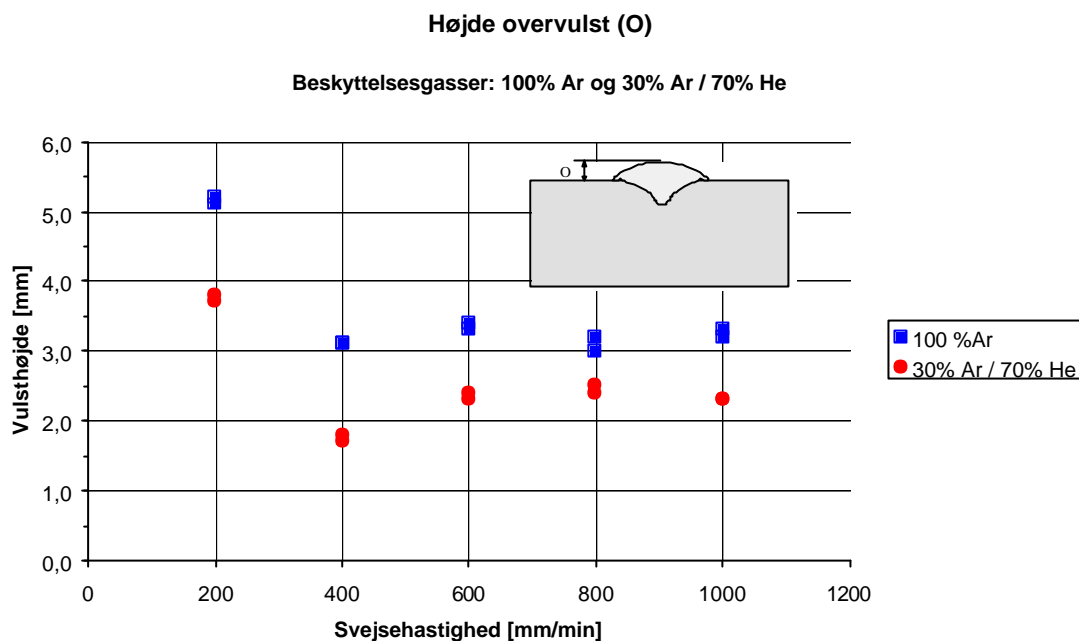
Figur 6.2: Indtrængningsbredden B ved MIG-svejsning på en 12 mm tyk plade med dels 100% argon og dels 30% argon + 70% helium, 1,2 mm AlMg5 tråd og konstant varmetilførsel = 0,4 kJ/mm.

Af figur 6.2 ses det, at der opnås den største indtrængning i bredden, når der svejses med 70% helium. Indtrængningsbredden er konsekvent ca. 2 +/- 1 mm bredere ved svejsning med 30% argon + 70% helium i forhold til svejsning med 100% argon.

Den bredere indtrængning ved svejsning med helium skyldes formentlig primært, at varmeledningsevnen i helium er 10 gange større end i argon.

6.3 Højde overvulst O

På figur 6.3 er højden af overvulsten O ved svejsning med dels 100% argon og dels 30% argon + 70% helium sammenlignet.

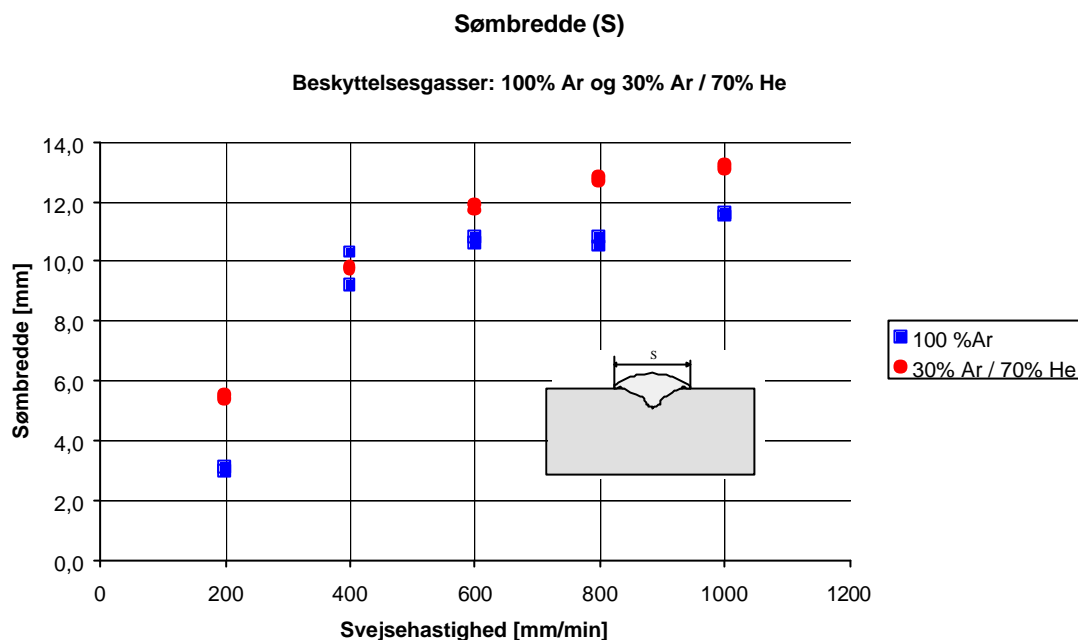


Figur 6.3: Højden af overvulsten O ved MIG-svejsning på en 12 mm tyk plade med dels 100% argon og dels 30% argon + 70% helium, 1,2 mm AlMg5 tråd og konstant varmetilførsel = 0,4 kJ/mm.

Højden af overvulsten er konsekvent ca. 1 mm mindre ved svejsning med 30% argon + 70% helium i forhold til svejsning med 100% argon. Det må derfor antages, at det er nemmere at opnå en fladere svejsning med 70% helium i gassen, og dermed en fladere overgang mellem svejsemetal og grundmateriale.

6.4 Udvendig sømbredde S

På figur 6.4 er den udvendige sømbredde af svejsningen ved svejsning med dels 100% argon og dels 30% argon + 70% helium sammenlignet.



Figur 6.4: Udvendige sømbredde S ved MIG-svejsning på en 12 mm tyk plade med dels 100% argon og dels 30% argon + 70% helium, 1,2 mm AlMg5 tråd og konstant varmetilførsel = 0,4 kJ/mm.

Af figur 6.4 ses at svejseømmen er lidt bredere ved svejsning med 70% helium i beskyttelsesgassen, hvilket hænger sammen med at den også bliver lidt fladere (se figur 6.3).

6.5 Samlet vurdering af heliums indflydelse på indtrængning

Tilsætning af 70% helium i beskyttelsesgassen har ingen umiddelbar indflydelse på indtrængningsdybden i de konkrete på-svejsforsøg i forhold til svejsning med 100% argon, når der svejses med samme varmetilførsel.

Derimod opnås der en bredere indtrængning ved svejsning med en blanding af 30% argon + 70% helium i forhold til svejsning med 100% argon. I de pågældende på-svejsforsøg er den øgede indtrængningsbredde (B) ca. 2 mm.

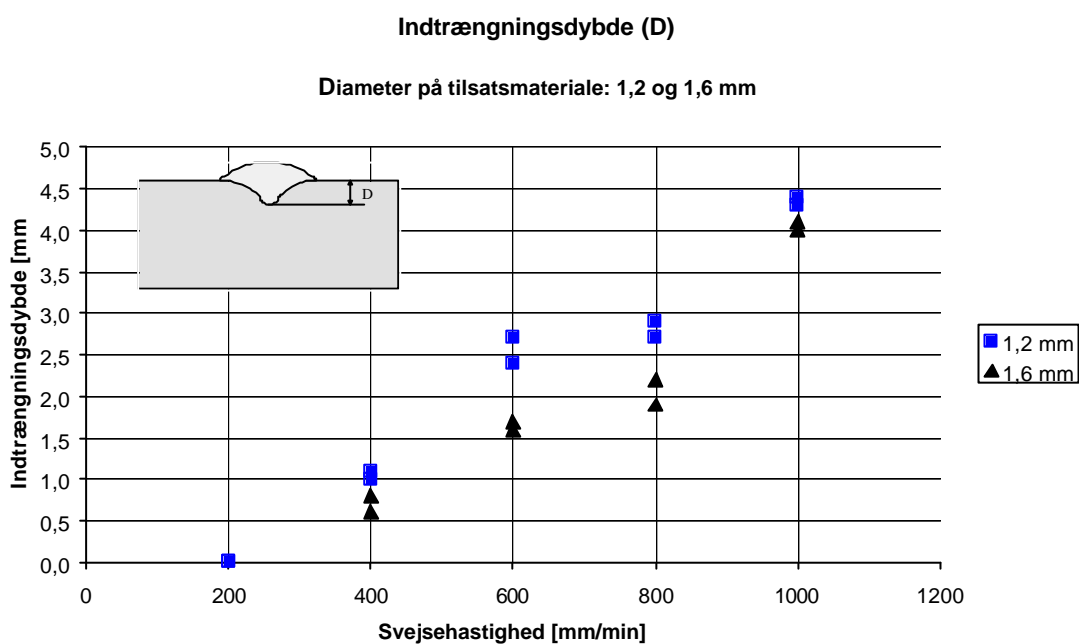
Med 70% helium i gassen bliver overvulsten lidt fladere og den udvendige bredde af svejseømmen (S) bliver lidt bredere i forhold til svejsning med 100% argon. Dette giver mulighed for at opnå en bedre (mere glat) overgang mellem svejsemetal og grundmetal.

7 Trådtykkelsens indflydelse på indtrængning

Trådtykkelsens indflydelse på indtrængningen ved påsvejsning på en 12 mm 6082 plade er behandlet i dette afsnit. Der er foretaget svejsforsøg med dels en 1,2 mm og dels en 1,6 mm tilsatstråd i legeringen AlMg5. I forsøgene behandlet i dette afsnit er der svejst med 100 % argon og med en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm. Det tilførte tilsatsmateriale i påsvejsforsøgene svarer til A-mål ved svejsning af kantsømme på ca. 4,5 mm.

7.1 Indtrængningsdybden D

På figur 7.1 er indtrængningsdybden D ved svejsning med dels en 1,2 mm og dels en 1,6 mm AlMg5-tråd sammenlignet.

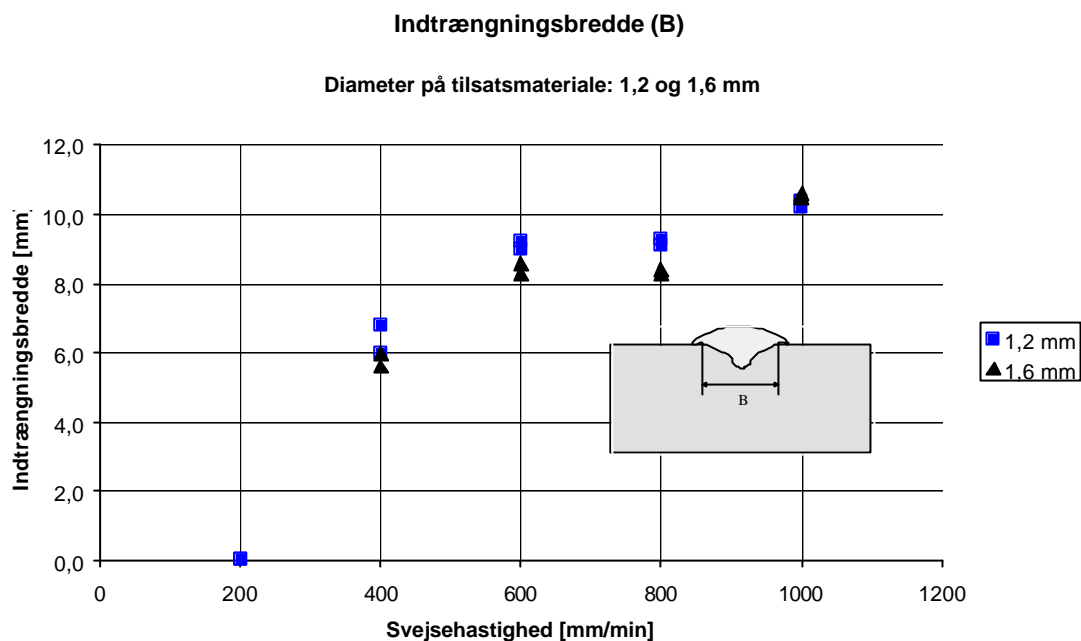


Figur 7.1: Indtrængningsdybden D ved MIG-svejsning på en 12 mm tyk plade med dels 1,2 mm og dels 1,6 mm AlMg5 tråd og konstant varmetilførsel = 0,4 kJ/mm.

Indtrængningsdybden er lidt mindre ved svejsning med en 1,6 mm tråd i forhold til svejsning med en 1,2 mm tråd, når der svejses med en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm.

7.2 Indtrængningsbredden B

På figur 7.2 kan trådtykkelsens indflydelse på indtrængningsbredden B ses.

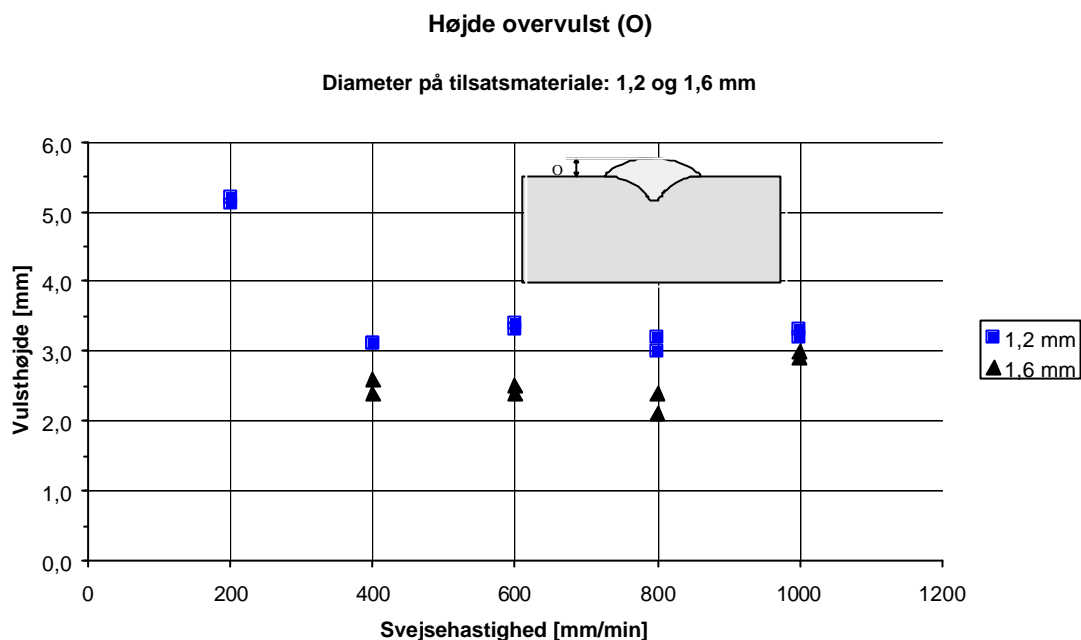


Figur 7.2: Indtrængningsbredden B ved MIG-svejsning på en 12 mm tyk plade med dels en 1,2 mm og dels en 1,6 mm AlMg5 tråd. Der er anvendt 100% argon og en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm.

Det ses af figur 7.2, at der er en tendens til at indtrængningen i bredden er lidt mindre ved svejsning med en 1,6 mm tråd i forhold til svejsning med en 1,2 mm tråd.

7.3 Højde overvulst O

På figur 7.3 er højden af overvulsten O ved svejsning med dels 100% argon og dels 30% argon + 70% helium sammenlignet.

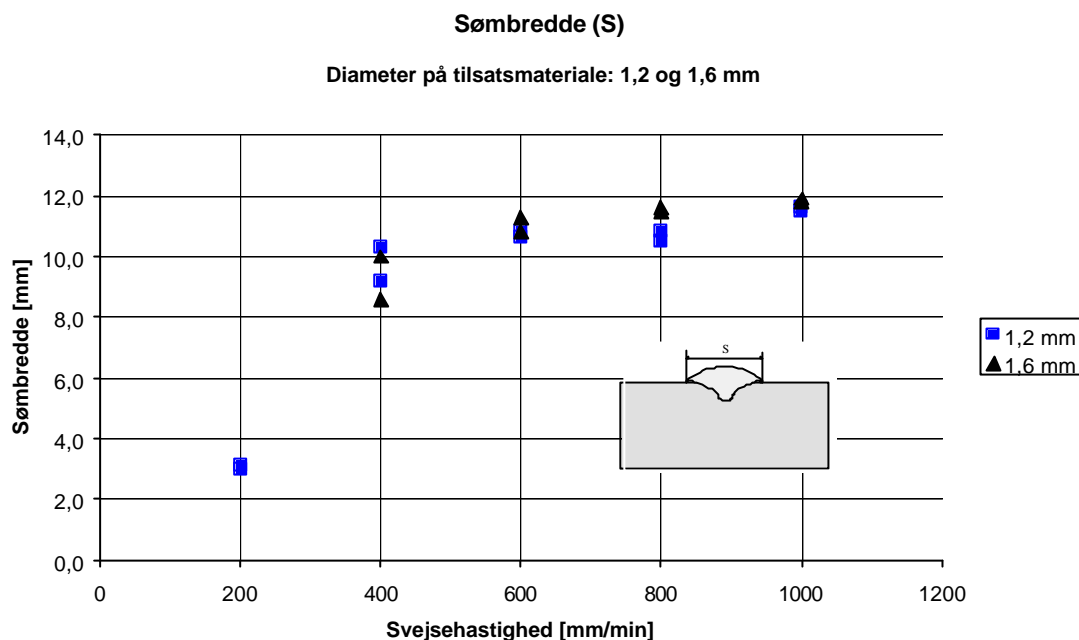


Figur 7.3: Højden af overvulsten O ved MIG-svejsning på en 12 mm tyk plade med dels en 1,2 mm og dels en 1,6 mm AlMg5 tråd. Der er anvendt 100% argon og en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm.

Højden af overvulsten er konsekvent ca. 0,5 - 1 mm mindre ved svejsning med en 1,6 mm tråd i forhold til svejsning med en 1,2 mm tråd.

7.4 Udvendig sømbredde S

På figur 7.4 er den udvendige sømbredde af svejsningen ved svejsning med dels en 1,2 og dels en 1,6 mm tilsatstråd sammenlignet



Figur 7.4: Udvendige sømbredde S ved svejsning med dels en 1,2 mm og dels en 1,6 mm AlMg5 tråd. Der er anvendt 100% argon og en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm.

Af figur 7.4 ses, at trådtykkelsen ikke har nogen betydelig indflydelse på den udvendige sømbredde S.

7.5 Samlet vurdering af trådtykkelsens indflydelse på indtrængning

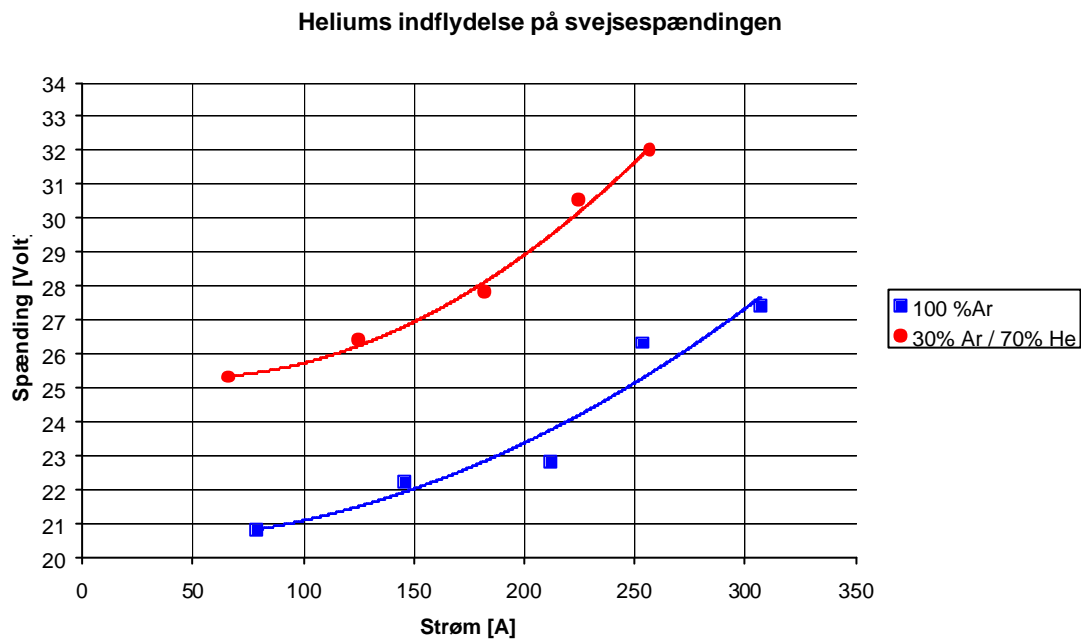
Når der MIG-svejses med en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm på en 12 mm tyk 6082 plade, er indtrængningen lidt bredere og lidt dybere ved svejsning med en 1,2 mm tråd i forhold til svejsning med en 1,6 mm tråd.

Overvulsten er lidt fladere med en 1,6 mm tråd. Den udvendige bredde af svejsesømmen S er derimod uafhængig af om der svejses med en 1,2 mm tråd eller en 1,6 mm tråd.

8 Heliums indflydelse på svejsedata

Varmeledningsevnen i helium er 10 gange større end i argon, og samtidig er ionisationsenergien ca. 25 ev for helium, mens den kun er ca. 16 ev for argon. Disse fysiske egenskaber betyder, at der skal svejdes med noget højere spænding ved svejsning med helium i forhold til svejsning med argon.

På figur 8.1 kan det ses, hvordan 70% helium i beskyttelsesgassen påvirker svejse-spændingen i forhold til svejsning med 100% argon.



Figur 8.1: Heliums indflydelse på svejse-spændingen ved på-svejsning på 12 mm 6082 plade med en 1,2 mm AlMg5 tråd og en konstant varmetilførsel på 0,4 kJ/mm.

På figur 8.1 ses det, at ved svejsning med en konstant varmetilførsel på ca. 0,4 kJ/mm, da er spændingen konsekvent omkring 5-6 volt større, når der svejdes med 70% helium i gassen i forhold til svejsning med 100 % ar-on. Forskellen på spændingen ved svejsning med de to gasser er svagt stigende med stigende svejseparametre.

9 Konklusion

I denne undersøgelse er der udført MIG-svejsninger oven på 12 mm AlMgSi-plader med det formål at undersøge svejseparametrene, heliums og trådtykkelsens indflydelse på indtrængningsprofilen.

9.1 Svejseparametres indflydelse på indtrængning

Der er undersøgt 5 forskellige kombinationer af svejsehastighed, strømstyrke og spænding ved svejsning med den samme varmetilførsel på 0,4 kJ/mm.

Resultaterne viste, at med stigende svejseparametre (svejsehastighed, strøm og spænding) men samme varmetilførsel (og dermed ca. samme a-mål på 4,5 mm), var det muligt at opnå en betydelig dybere, bredere og dermed mere sikker indtrængning.

9.2 Heliums indflydelse på indtrængning

Derudover blev indtrængningen ved svejsning med 100% argon sammenlignet med indtrængningen ved svejsning med 30% argon + 70% helium. Med begge gastyper blev der ligeledes svejst med den samme varmetilførsel på 0,4 kJ/mm.

Med 70% helium i gassen blev indtrængningen ikke dybere men tilgængelig bredere i forhold til svejsning med 100% argon. Med 70% helium i gassen blev overvulsten desuden lidt fladere, og hele svejsesømmen blev lidt bredere.

Med 70% helium i gassen steg svejse-spændingen med 5-6 volt i forhold til svejsning med 100% argon, pga. heliums højere varmeledningsevne og dens højere ionisationsenergi. I svejseforsøgene blev strømstyrken justeret ned for at opnå varmetilførslen på 4 kJ/mm.

9.3 Trådtykkelsens indflydelse på indtrængning

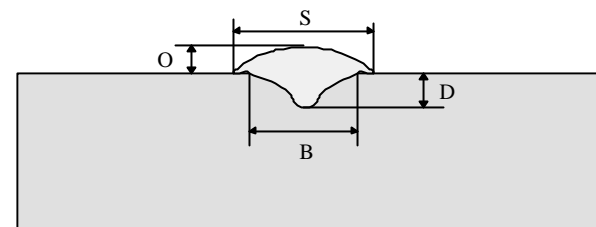
Endelig blev indtrængningen undersøgt for 2 forskellige trådtykkelser på hhv. 1,2 og 1,6 mm med samme varmetilførsel på 0,4 kJ/mm. Resultaterne viste, at indtrængningen var en anelse dybere og lidt bredere med en 1,2 mm tråd i forhold til en tråd på 1,6 mm. Overvulsten var fladest ved svejsning med 1,6 mm tråd.

Bilag A: MIG-på-svejsning, indtrængning

Konstante forhold/parametre:

Svejsedstyr: Cloos Quinto 503, langsømsautomat
 Svejsproces: MIG
 Svejsesøm: Påsvejsning
 Svejestilling = PA, ca. 15 grader stikkende
 Gasflow: 18 l/min

Grundmateriale: AlMgSi1Mn (6082)
 Leveringstilstand: T6
 Pladedimension: 12 x 200 x 500 mm
 Tilsatsmateriale: AlMg5
 Starttemperatur: Ca. 20°C



Varmetilførsel konstant: Ca. 0,4 kJ/mm

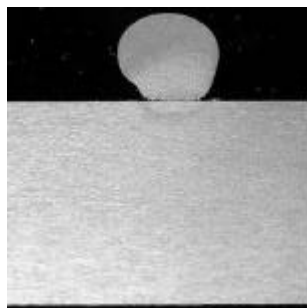
			Svejsparametre					Indtrængning			
Forsøg	Tråd-Dia. [mm]	Gastype	Svejs-hastighed [mm/min]	Spænding [V]	Strøms-t. [A]	Tråd-hastighed [m/min]	Varme-tilførsel [kJ/mm]	Indtræng.-Dybde (D) [mm]	Indtræng.-bredde (B) [mm]	Højde overvulst (O) [mm]	Søm-bredde (S) [mm]
m1a	1,2	100% Ar	200	20,8	79	4,8	0,39	0,0	0,0	5,1	3,1
m1b	1,2	100% Ar	200	20,8	79	4,8	0,39	0,0	0,0	5,2	3,0
m2a	1,2	100% Ar	400	22,2	146	8,5	0,39	1,0	6,8	3,1	10,3
m2b	1,2	100% Ar	400	22,2	146	8,5	0,39	1,1	6,0	3,1	9,2
m3a	1,2	100% Ar	600	22,8	212	13,4	0,39	2,4	9,0	3,3	10,8
m3b	1,2	100% Ar	600	22,8	212	13,4	0,39	2,7	9,2	3,4	10,6
m4a	1,2	100% Ar	800	26,3	254	15,1	0,40	2,7	9,3	3,2	10,8
m4b	1,2	100% Ar	800	26,3	254	15,1	0,40	2,9	9,1	3,0	10,5
m5a	1,2	100% Ar	1000	27,4	307	17,3	0,40	4,4	10,4	3,2	11,6
m5b	1,2	100% Ar	1000	27,4	307	17,3	0,40	4,3	10,2	3,3	11,5
m6a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
m6b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
m7a	1,6	100% Ar	400	22,7	151	4,4	0,41	0,8	6,0	2,4	10,0
m7b	1,6	100% Ar	400	22,7	151	4,4	0,41	0,6	5,6	2,6	8,6
m8a	1,6	100% Ar	600	24	202	6,5	0,39	1,7	8,6	2,4	11,3
m8b	1,6	100% Ar	600	24	202	6,5	0,39	1,6	8,3	2,5	10,8
m9a	1,6	100% Ar	800	25,9	250	8,2	0,39	2,2	8,4	2,1	11,5
m9b	1,6	100% Ar	800	25,9	250	8,2	0,39	1,9	8,3	2,4	11,6
m10a	1,6	100% Ar	1000	26,9	306	10,3	0,40	4,0	10,5	2,9	11,8
m10b	1,6	100% Ar	1000	26,9	306	10,3	0,40	4,1	10,6	3,0	11,9
m11a	1,2	30% Ar/70% He	200	25,3	66	3,8	0,40	0,1	1,8	3,7	5,5
m11b	1,2	30% Ar/70% He	200	25,3	66	3,8	0,40	0,1	1,3	3,8	5,4
m12a	1,2	30% Ar/70% He	400	26,4	125	6,0	0,40	1,0	9,6	1,8	9,8
m12b	1,2	30% Ar/70% He	400	26,4	125	6,0	0,40	1,3	8,6	1,7	9,7
m13a	1,2	30% Ar/70% He	600	27,8	182	10,9	0,40	2,1	10,5	2,3	11,9
m13b	1,2	30% Ar/70% He	600	27,8	182	10,9	0,40	2,2	10,0	2,4	11,7
m14a	1,2	30% Ar/70% He	800	30,5	225	14,4	0,41	3,0	11,3	2,5	12,7
m14b	1,2	30% Ar/70% He	800	30,5	225	14,4	0,41	3,2	11,4	2,4	12,8
m15a	1,2	30% Ar/70% He	1000	32	257	16,3	0,39	3,5	12,1	2,3	13,1
m15b	1,2	30% Ar/70% He	1000	32	257	16,3	0,39	3,3	11,5	2,3	13,2

Bilag B: Makroslib af MIG-påvejsninger på 12 mm 6082. (100% argon sammenlignet med 30% Argon + 70% helium)

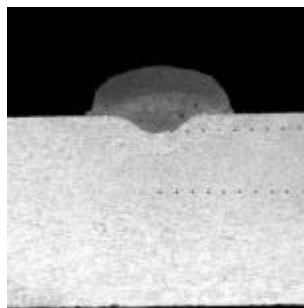
NB: Varmetilførslen i alle forsøg = 0,4 kJ/mm +/- 0,01 kJ/mm

Gas: 100% Ar

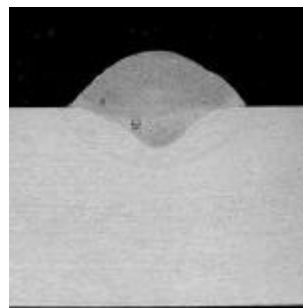
Tråd: 1,2 mm AlMg5



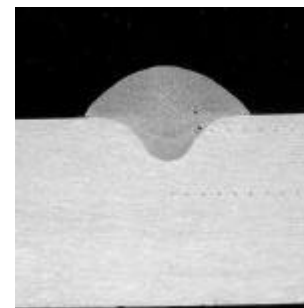
Forsøg: M1
v = 200 mm/min
U = 20,8 V
I = 79 A



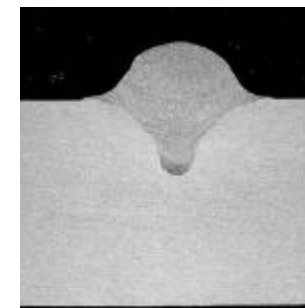
Forsøg: M2
v = 400 mm/min
U = 22,2 V
I = 146 A



Forsøg: M3
v = 600 mm/min
U = 22,8 V
I = 212 A



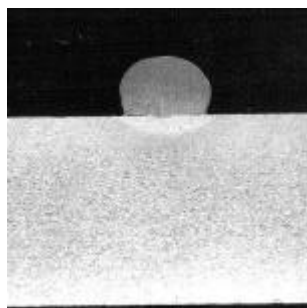
Forsøg: M4
v = 800 mm/min
U = 26,3 V
I = 254 A



Forsøg: M5
v = 1000 mm/min
U = 27,4 V
I = 307 A

Gas: 30% Ar + 70% He

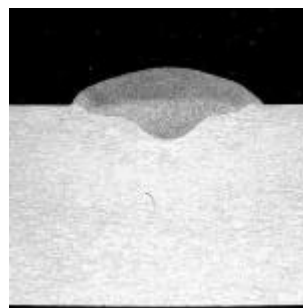
Tråd: 1,2 mm AlMg5



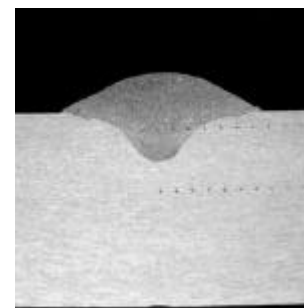
Forsøg: M11
v = 200 mm/min
U = 25,3 V
I = 66 A



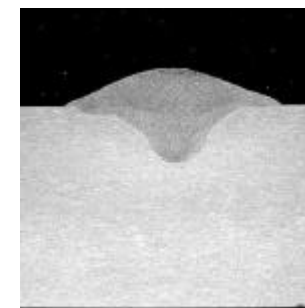
Forsøg: M12
v = 400 mm/min
U = 26,4 V
I = 125 A



Forsøg: M13
v = 600 mm/min
U = 27,8 V
I = 182 A



Forsøg: M14
v = 800 mm/min
U = 30,5 V
I = 225 A



Forsøg: M15
v = 1000 mm/min
U = 32,0 V
I = 257 A

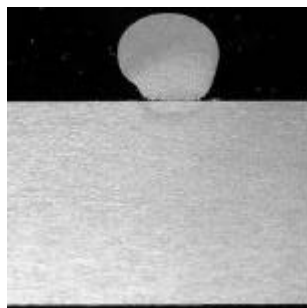
Bilag C: Makroslib af MIG-påvejsninger på 12 mm 6082.

(1,2 mm tråd sammenlignet med 1,6 mm tråd)

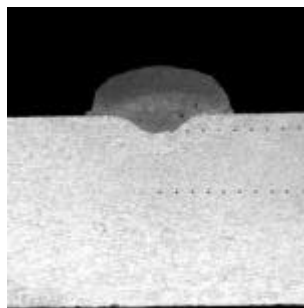
NB: Varmetilførslen i alle forsøg = 0,4 kJ/mm +/- 0,01 kJ/mm

Gas: 100% Ar

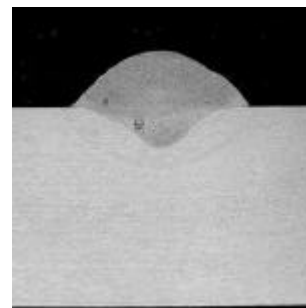
Tråd: 1,2 mm AlMg5



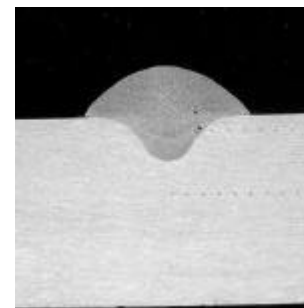
Forsøg: M1
v = 200 mm/min
U = 20,8 V
I = 79 A



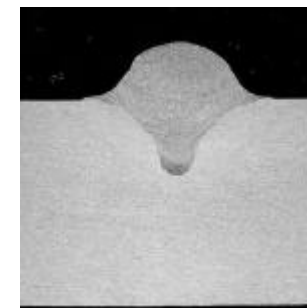
Forsøg: M2
v = 400 mm/min
U = 22,2 V
I = 146 A



Forsøg: M3
v = 600 mm/min
U = 22,8 V
I = 212 A



Forsøg: M4
v = 800 mm/min
U = 26,3 V
I = 254 A

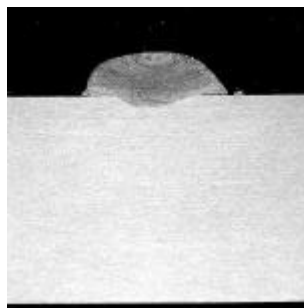


Forsøg: M5
v = 1000 mm/min
U = 27,4 V
I = 307 A

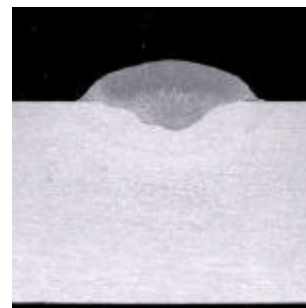
Gas: 100% Ar

Tråd: 1,6 mm AlMg5

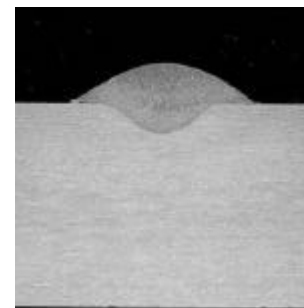
Ikke muligt med
200 mm/min !



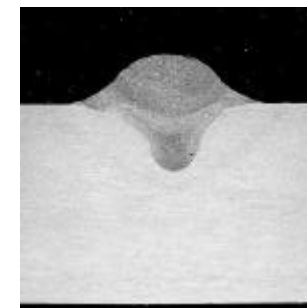
Forsøg: M11
v = 200 mm/min
U = -
I = -



Forsøg: M12
v = 400 mm/min
U = 22,7 V
I = 151 A



Forsøg: M13
v = 600 mm/min
U = 24,0 V
I = 202 A



Forsøg: M14
v = 800 mm/min
U = 25,9 V
I = 250 A

Forsøg: M15
v = 1000 mm/min
U = 26,9 V
I = 306 A