

Dokument: SASAK-RAP-SV-AKS-00017-01

# **Indtrængningssikkerhed ved MIG- svejsning af kantsømme i aluminium - Enkeltråd**

SASAK  
Projekt 3 - Svejsning

Carsten Jørn Rasmussen

FORCE Instituttet, april 2000

## Sammenfatning

Denne undersøgelse behandler indtrængningen af kantsømme i 8 mm aluminium ved MIG-svejsning med enkeltråd.

Indtrængningen er blevet undersøgt for 4 forskellige kombinationer af svejsehastighed, strømstyrke og spænding ved svejsning med et konstant a-mål på 5 mm. Desuden er gastyperne 100% argon og 30% argon + 70% helium sammenlignet mht. til deres betydning for indtrængningen.

Resultaterne viser, at med stigende svejseparametre (svejsehastighed, strøm og spænding) for samme a-mål bliver der opnået en betydelig dybere, bredere og dermed mere sikker indtrængning.

Med 70% helium i gassen blev indtrængningen ikke dybere, men tilgængelig generelt bredere i forhold til svejsning med 100% argon.

Særligt ved svejsning med lave svejseparametre (svejsehastigheder mindre end ca. 400-600 mm/min), var det i den konkrete svejseopgave en fordel med 70% helium i gassen, for at undgå bindingsfejl.

Ved anvendelse af højere svejseparametre (svejsehastigheder over ca. 600-800 mm/min) var det tilgængelig muligt at opnå en god og sikker indtrængning med 100 % argon.

Grænsen for hvor hurtig en manuel svejser kan svejse kan som en grov tommelfingerregel sættes til 500 mm/min. For den konkrete svejseopgave ville det således være en fordel med tilsætning af 70% helium i gassen, mens det ved automatiseret svejsning med højere svejsehastigheder er muligt at opnå en god og sikker indtrængning med 100 % argon.

Ved svejsning af kantsømme i godstykkelsen 8 mm med et a-mål på 4,5 mm, blev der generelt observeret en stigning af svejse-spændingen på ca. 15% (4-6 volt), når der blev skiftet beskyttelsesgas fra 100% argon til 30% argon + 70% helium.

## Indhold

1	Introduktion.....	4
2	Svejseforsøg.....	4
3	Resultater.....	6
3.1	Svejsning med 100% argon.....	6
3.2	Svejsning med 30% argon + 70% helium .....	8
3.3	Svejseparametrenes indflydelse på indtrængning .....	8
4	Heliums indflydelse på svejsedata .....	9
5	Konklusion.....	10

## 1 Introduktion

Med udgangspunkt i resultaterne af MIG-svejsforsøgene oven på plade beskrevet i rapporten: ”Indtrængning ved MIG-på-svejsning i aluminium”, er der i denne rapport beskrevet resultater fra en lignende undersøgelse af indtrængningen ved kantsømssvejsning i 8 mm aluminium.

Ved de tidligere på-svejsforsøg havde niveauet af svejseparametrene ved svejsning med samme varmetilførsel afgørende indflydelse på indtrængningsprofilet. Jo højere svejseparametre jo større indtrængning. Desuden betød svejsning med 70% helium en ikke dybere men bredere indtrængning i forhold til svejsning med 100% argon.

Formålet med denne undersøgelse er, at eftervise at resultaterne fra på-svejsforsøgene på 12 mm aluminium kan overføres til kantsømssvejsning i 8 mm kantsømme – se SASAK rapport: SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0016-00.

Baggrunden for undersøgelsen er, at der ved svejsning i aluminium er forholdsvis stor risiko for bindingsfejl eller manglende indtrængning, pga. aluminiums gode varmeledningsegenskaber.

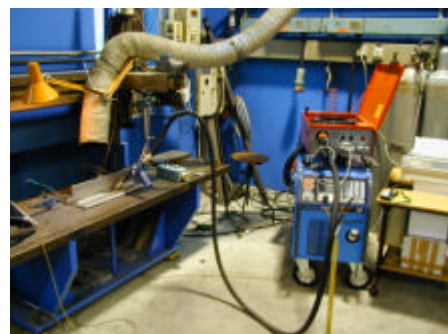
I praksis tilsættes helium ofte til beskyttelsesgassen, når der svejdes i større godstykkelser med det formål at opnå en mere sikker og bedre indtrængning.

## 2 Svejsforsøg

Alle svejsforsøgene i denne undersøgelse er blevet udført som MIG-svejsninger af kantsømme med et konstant nominelt a-mål 5 mm på 8 mm tykke T-profiler i aluminiumslegeringen 5083 (AlMg4,5Mn). T-profilerne var 100 mm brede, 100 mm høje og 500 mm lange.

Forsøgsopstillingen kan ses på figur 2.1.

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



**Figur 2.1: Forsøgsopstilling**

Der er undersøgt 4 forskellige kombinationer af svejsehastighed, strømstyrke og spænding ved svejsning med et konstant nominelt a-mål på 5 mm. Svejsehastigheden blevet varieret på 4 niveauer på hhv. 400, 600, 800 og 1000 mm/min.

Teoretisk er der en direkte sammenhæng mellem a-mål, svejsehastighed og trådhastighed der er vist i ligning 2.1.

$$v_{tråd} \cdot A_{tråd} = v_{svejs} \cdot (Amål)^2 \quad \text{Ligning 2.1}$$

Hvor,

$v_{tråd}$  = Trådhastighed

$A_{tråd}$  = Tværsnitsareal af tråd ( $\pi \cdot r^2$ )

$v_{svejs}$  = Svejsehastighed

Med ovennævnte svejsehastigheder kan trådhastigheden for en 1,2 mm massiv tråd beregnes så der opnås et konstant nominelt a-mål på 5 mm. Se tabel 2.1.

Svejsforsøgene blev udført med dels 100% argon og dels 30% argon + 70% helium, og der blev således i alt udført 8 svejsforsøg efter forsøgsmatrixen vist i tabel 2.1.

**Tabel 2.1: Forsøgsmatrix (konstant nominelt a-mål på 5 mm)**

Svejsehastighed [mm/min]	Trådhastighed [m/min]	Gassammensætning	
		100% Ar	30% Ar + 70% He
400	8,8	K1	K5
600	13,3	K2	K6
800	17,7	K3	K7
1000	22,1	K4	K8

De eksakte svejseparametre er vist i bilag A

**Forhold der har været konstante under alle svejsforsøgene:**

Grundmateriale: AlMg4,5Mn (5083)  
 Leveringstilstand: H116 (svarer nogenlunde til H24)  
 Kontaktdyseafstand: 15 mm  
 Brændervinkel: 15° stikkende  
 Gaskop-diameter: 16 mm  
 Gasflow: 18 l/min  
 Nominelt A-mål: 5 mm

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

### **3 Resultater**

På næste side kan indtrængningen ses på fotos af makroslib fra alle 8 svejsforsøg. Svejsforsøgene vist til venstre er svejst med 100% argon, og svejsforsøgene til højre er svejst med 30% argon + 70% helium. Svejsforsøgene er opstillet med stigende svejseparametre nedefter.

På makroslibene er de ydre a-mål i alle 8 svejsforsøg målt til reelt at være tæt på 4,5 mm. Det er en kombination af flere forhold, der er årsag til, at de reelle a-mål er ca. 0,5 mm mindre end de beregnede 5 mm. De væsentligste årsager er, at svejseømmene ikke er fuldstændig ligebenede trekanter, og at der altid vil være lidt svind ved dråbeovergangen. Desuden var trådens tværsnit lidt mindre end den foreskrevne på 1,2 mm.

#### **3.1 Svejsning med 100% argon**

I de forsøg, hvor der er svejst med 100 % argon (venstre fotos), ses det, at niveauet af svejseparametrene er meget afgørende for svejsekvaliteten. Med en svejsehastighed på 400 mm/min (forsøg K1) er der en gennemgående bindingsfejl. Med en svejsehastighed på 600 mm/min (forsøg K2) er der ikke bindingsfejl, men der ses en mindre rodfejl, der er gennemgående. Ved svejsning med 800 mm/min (forsøg K3) er der en fin sikker indtrængning. Forsøget med 1000 mm/min (K4) resulterede i en gennemgående sidekærv, og den høje strømstyrke på 351 A er i øvrigt i overkanten af, hvad en 1,2 mm tilsatstråd kan klare.

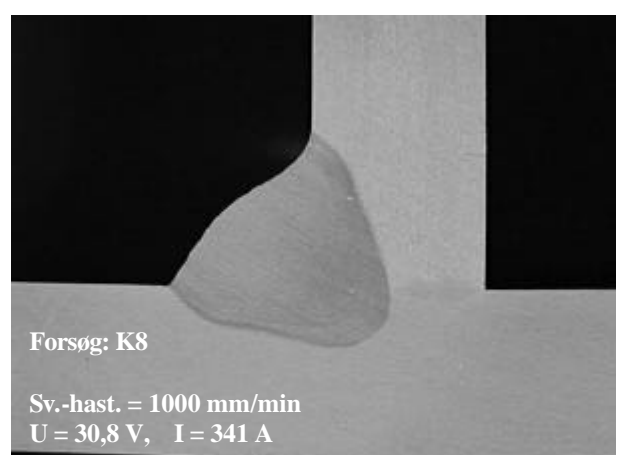
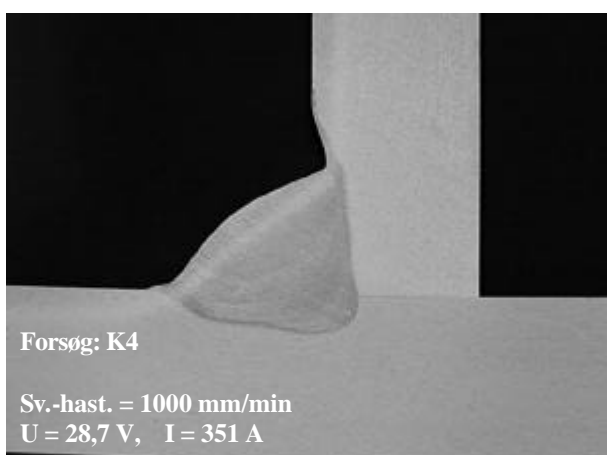
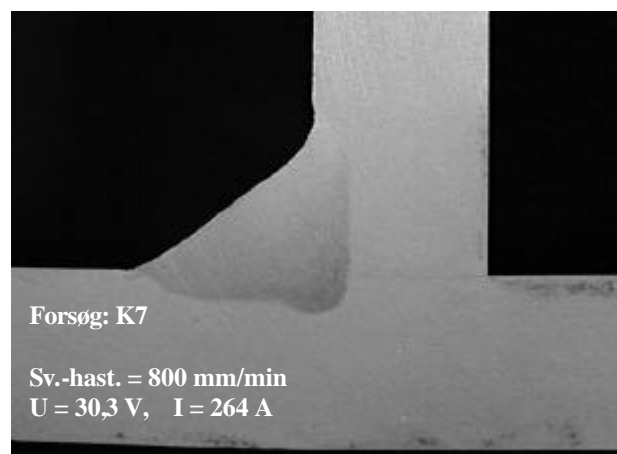
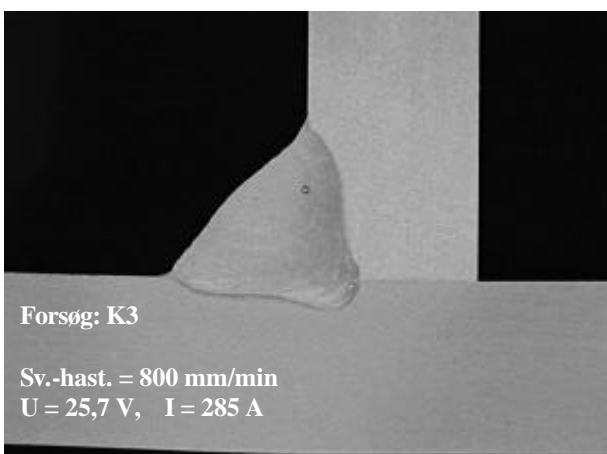
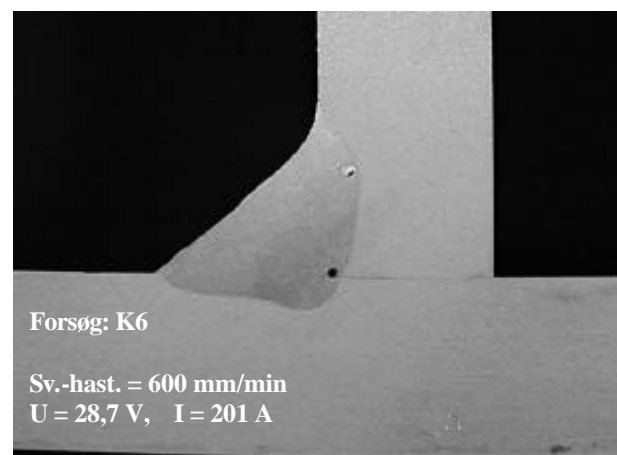
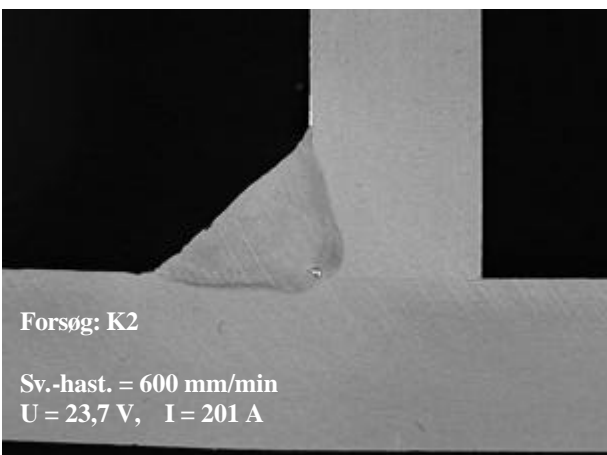
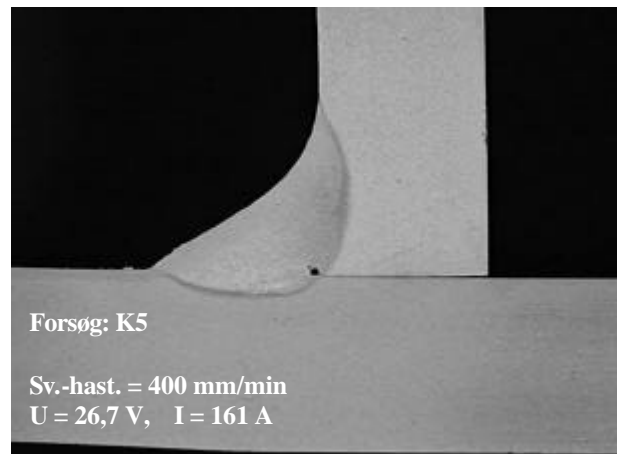
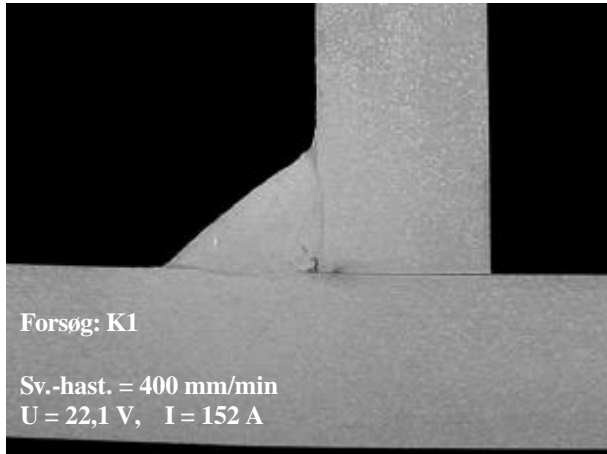
Grænsen for hvornår der forekommer bindingsfejl ved svejsning med 100 % argon ligger således et sted mellem 400 og 600 mm/min. Grænsen for rodfejl ligger et sted mellem 600 og 800 mm/min.

Ved manuel svejsning er der en grænse for, hvor hurtigt der kan svejses, hvilket afhænger af de specifikke svejsforhold herunder adkomstforhold, svejselængde mm. Som en grov tommelfingerregel sættes grænsen under tiden til mellem 400 og 500 mm/min.

For den konkrete svejseopgave i denne undersøgelse ville det derfor med anvendelse af 100 % argon være kritisk at udføre svejsningen ved håndsvejsning pga. af risikoen for kritiske bindingsfejl ved lavere svejsehastigheder.

**Gas: 100% Ar**

**Gas: 30% Ar+70% He**



Ved automatiseret svejsning med svejsehastigheder på omkring 800 mm/min er der derimod gode muligheder for at opnå en god sikker indtrængning ved anvendelse af 100% argon.

Ved svejsning med 100% argon er der i øvrigt i alle 4 forsøg tendens til konvekse (overhævede) svejsesømme, hvor konveksiteten er svagt stigende med stigende svejseparametre.

### **3.2 Svejsning med 30% argon + 70% helium**

På makroslibene til højre er svejseforsøgene med 30% argon + 70% helium vist. Ved svejsning med en hastighed på 400 mm/min (K5) er der en god indtrængning i siderne, men der ses en mindre rodfejl, der er gennemgående. Ved svejsning med 600 mm/min (K6) er der ligeledes en god indtrængning i siderne, men der ses også en mindre rodfejl, der er gennemgående. Ved svejsning med 800 mm/min (K7) er der en god sikker indtrængning uden rodfejl. Det gælder ligeledes ved en svejsehastighed på 1000 mm/min (K8), hvor indtrængningen er særdeles god.

Ved svejsning af den konkrete svejseopgave med 70% helium i gassen er der mindre risiko for bindingsfejl ved lavere svejsehastigheder på 400 – 600 mm/min i forhold til svejsning med 100% argon.

Muligheden for svejsning med lavere svejsehastigheder med 70% helium i beskyttelsesgassen uden bindingsfejl øger mulighederne for manuel svejsning.

Tilsætning af 70% helium i beskyttelsesgassen har dog tilsyneladende kun ringe (eller ingen) indflydelse på indtrængningen i dybden, og dermed er risikoen for gennemgående rodfejl tilsyneladende uændret i forhold til svejsning med 100 % argon.

Ved svejsning med 70% helium i beskyttelsesgassen ses der generelt en god jævn overgang mellem svejsemetal og grundmetal. Kun ved svejsning med 1000 mm/min (K8) er svejsesømmen en anelse konveks.

### **3.3 Svejseparametrenes indflydelse på indtrængning**

Som det ses af makroslibene på side 7, vil der for begge gastyper med stigende svejseparametre (svejsehastighed, strøm og spænding) opnås en markant dybere, bredere og dermed mere sikker indtrængning.

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.

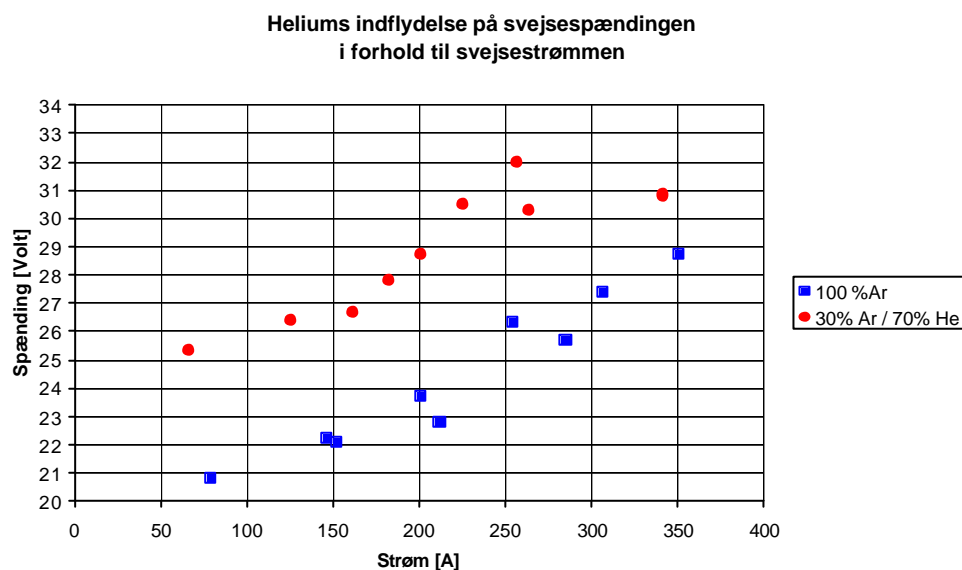
Hvis der derimod svejses med høje svejseparametre, så vil den kraftigere lysbue (høj strøm og spænding) være placeret længere fremme i smeltebadet, hvor den i højere grad vil "grave" sig ned i grundmaterialet.

I en produktionssituation vil man ved at øge svejseparametrene inklusiv svejsehastigheden udover at opnå en bedre indtrængning også opnå en øget produktivitet, hvilket naturligvis er en fordel.

## 4 Heliums indflydelse på svejseparametre

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 svejses med noget højere spænding ved svejsning med helium i forhold til svejsning med argon.

På figur 4.1 ses heliums indflydelse på svejseparametrene i forhold til strømstyrken.



**Figur 4.1: Heliums indflydelse på forholdet mellem svejseparametre og strømstyrke ved svejsning med en 1,2 mm AlMg5 tråd.**

Svejseparametrene anvendt i den tidligere undersøgelse, hvor der blev foretaget på-svejsninger på 12 mm tykke plader, indgår ligeledes i figur 4.1.

På figur 4.1 ses, at ved at skifte gastype fra 100% argon til 30% argon + 70% helium så stiger spændingen generelt med ca. 15% (4–6 volt) for samme strømstyrke.

## 5 Konklusion

I denne undersøgelse er der udført MIG-svejsninger af kantsømme med reelle a-mål 4,5 mm på 8 mm tykke T-profiler i legeringen AlMg4,5Mn med det formål at undersøge svejseparametrene og heliums indflydelse på indtrængningsprofilet.

Med stigende svejseparametre (svejsehastighed, strøm og spænding) ved svejsning af samme reelle a-mål på 4,5 mm, stiger indtrængningen markant. Dette gælder ved svejsning med begge de to undersøgte gastyper: 100% argon og 30% argon + 70% helium.

Grænsen for en svejsekvalitet helt uden indtrængningsfejl ligger ved svejsning med begge gastyper et sted mellem 600 og 800 mm/min.

Med 70% helium i gassen er der betydelig mindre risiko for kritiske bindingsfejl ved svejsning med lavere svejsehastigheder (400 og 600 mm/min).

Ved manuel svejsning, hvor der typisk svejses med hastigheder mindre end 400-600 mm/min, er det således i den pågældende svejsesituation en fordel at svejse med 70% helium i gassen for at undgå kritiske bindingsfejl. Der vil med disse lave svejsehastigheder dog stadig være risiko for en mindre gennemgående rodfejl.

Derimod er der gode muligheder for at opnå en god og sikker indtrængning ved svejsning med både 100% argon og 30% argon + 70% helium, når svejsehastigheden øges til omkring 800 mm/min. Denne forholdsvis høje svejsehastighed kræver imidlertid normalt anvendelse af automatiseret svejsning.

Ved at skifte gastype fra 100% argon til 30% argon + 70% helium så steg svejse-spændingen generelt med ca. 15% (4-6 volt) i den konkrete svejseopgave.

Det skal her bemærkes, at en gasblanding af argon og helium er væsentlig dyre (3-4 gange) i forhold til 100% argon.

Generelt kan alle tendenserne mht. indtrængning ved på-svejsforsøgene på 12 mm plade fra den tidligere undersøgelse sammenlignes med tendenserne mht. indtrængningen ved kantsømssvejsninger på 8 mm T-profiler i denne undersøgelse.

## Bilag A: Svejseforsøg med MIG-enkeltråd.

Svejseudstyr: Cloos Quinto 503, langsømsautomat

Svejseproces: MIG-spray

Svejsesøm: Kantsøm

Svejestilling = PB, ca. 15 grader stikkende

Grundmateriale: AlMg4,5Mn (5083) med leveringstilstand H116

Dimension af T-profil: Bredde=100 mm, højde = 100 mm, længde = 500 mm, tykkelse = 8 mm

Tilsatsmateriale: AlMg5

Gasflow: 18 l/min

Starttemperatur: Ca. 20°C

Konstant reelt A-mål ca. = 4,5 mm

			Svejseparametre				
Forsøg	Tråd-Dia. [mm]	Gastype	Svejse-hastighed [mm/min]	Spænding [V]	Strømsst. [A]	Tråd-hastighed [m/min]	Varme-tilførsel [kJ/mm]
K1	1,2	100% Ar	400	22,1	152	8,8	0,40
K2	1,2	100% Ar	600	23,7	201	13,3	0,38
K3	1,2	100% Ar	800	25,7	285	17,7	0,44
K4	1,2	100% Ar	1000	28,7	351	22,1	0,48
K5	1,2	30% Ar/70% He	400	26,7	161	8,8	0,52
K6	1,2	30% Ar/70% He	600	28,7	201	13,3	0,46
K7	1,2	30% Ar/70% He	800	30,3	264	17,7	0,48
K8	1,2	30 %Ar/70% He	1000	30,8	341	22,1	0,50