

Dokument: SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0021-01

Indtrængningssikkerhed ved MIG-svejsning af kantsømme i aluminium - tandem

SASAK
Projekt 3 - Svejsning

Carsten Jørn Rasmussen

FORCE Instituttet, april 2000

Sammenfatning

I denne undersøgelse er mulighederne for at opnå en sikker indtrængning ved tandem-MIG-svejsning undersøgt gennem praktiske svejsforsøg af kantsømme på 8 mm tykke T-profiler.

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

Der er generelt benyttet samme fremgangsmåde som i en tidligere undersøgelse af indtrængningen ved enkeltråds MIG-svejsning. Den tidligere undersøgelse med enkeltråd MIG-svejsning er beskrevet i rapporten SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0017-00, ”Indtrængningssikkerhed ved MIG-svejsning af kantsømme i aluminium - enkeltråd”.

Mht. indtrængningen kan resultaterne ved tandem-svejsning i denne undersøgelse generelt sammenlignes med resultaterne fra de tidligere forsøg med svejsning med enkeltråd.

Dvs. at ved at øge svejseparametrene (svejsehastighed, strøm og spænding) ved svejsning af det samme reelle a-mål på 4,5 mm, da vil det være muligt at øge indtrængningen betydeligt både i dybden og i bredden, og dermed opnå en god og sikker indtrængning.

Ved tandem-svejsning med 30% argon + 70% helium var tolerancen på svejsehastigheden ca. 1000 – 1800 mm/min.

Indtrængningen blev lidt bredere, og der var en tendens til lidt mere jævn overgang mellem svejsemetal og grundmaterialet ved tandemsvejsning med 30% argon + 70% helium i forhold til 100% argon.

Ved anvendelse af højere svejseparametre (svejsehastigheder mellem ca. 1200 og 1800 mm/min) var det tilgængeligt muligt at opnå en god og sikker indtrængning med 100 % argon.

Ved tandem-svejsning af den konkrete svejseopgave, blev der observeret en stigning af svejsspændingen på ca. 2 volt, når beskyttelsesgassen blev skiftet fra 100% argon til 30% argon + 70% helium

Tandemsvejsning og traditionel MIG-svejsning med én tråd er desuden sammenlignet ved svejsning af den konkrete svejseopgave.

Varmetilførslen ved tandemsvejsning var generelt ved alle forsøg omkring 0,3 kJ/mm, mens der i de tidligere tilsvarende forsøg med MIG-svejsning med enkeltråd blev svejst med varmetilførsler i området 0,4 – 0,5 kJ/mm.

Det forventes derfor, at den varmepåvirkede zone vil være mindre ved tandemsvejsning i forhold til svejsning med enkeltråd.

Med opnåelse af samme svejsekvalitet er det ved tandemsvejsning muligt at øge svejsehastigheden til det dobbelte eller endda det tre-dobbelte af hvad der er muligt med traditionel MIG-svejsning med enkeltråd.

Indhold

1	Introduktion.....	5
2	Svejseforsøg.....	6
3	Resultater fra tandemsvejsninger	7
3.1	Svejsning med 100% argon.....	9
3.2	Svejsning med 30% argon + 70% helium	10
3.3	Sammenligning af 100% argon og 30% argon + 70% helium	10
3.4	Svejseparametrenes indflydelse på indtrængning	10
4	Heliums indflydelse på spænding	11
5	Sammenligning af MIG-enkeltråd og MIG-tandem	11
5.1	100% argon	12
5.2	30% argon + 70% helium.....	14
5.3	Generelt	17
6	Konklusion.....	18
6.1	Tandem-svejsning	18
6.2	Sammenligning af tandem- og enkeltrådssvejsning.....	18

1 Introduktion

I denne undersøgelse er indtrængningen ved tandem-MIG-svejsning undersøgt gennem praktiske svejsforsøg af kantsømme på 8 mm T-profiler.

Tandem-svejsning er en forholdsvis ny svejseteknik, hvor der tilføres to tilsatstråde fra to svejsemaskiner ned til samme smeltebad med en indbyrdes afstand på 5-10 mm via en såkaldt tandem-brænder med to isolerede kontaktdyser. Der benyttes typisk pulssvejsning, hvor pulserne til de to kontaktdyser er synkroniseret, således at dyserne skiftevis modtager en puls. Ved at synkronisere pulserne til de to kontaktdyser/tråde opnås en meget stabil proces.

Tandemsvejsning er i øvrigt kun anvendelig sammen med automatiseret svejsning, pga. den store brænder og de forholdsvis høje svejsehastigheder.



Figur 1.1: Brænder til Tandemsvejsning

Tandemsvejsning er beskrevet nærmere i SASAK-rapporten: ”To-tråds MIG-svejsning i aluminium”, der har løbenummeret: SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0011-00.

Indtrængning ved tandem-svejsning er undersøgt med samme fremgangsmåde som i en tidligere undersøgelse af indtrængningen ved enkeltråds MIG-svejsning. Den tidligere undersøgelse med enkeltråd MIG-svejsning er beskrevet i rapporten ”Indtrængningssikkerhed ved MIG-svejsning i aluminium – grundliggende påsvejsforsøg”, der har løbenummeret: SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0016-00.

Ved de tidligere svejsforsøg med enkeltråd havde niveauet af svejseparametrene ved svejsning af samme a-mål afgørende indflydelse på indtrængningsprofilen. 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 bl.a., at undersøge mulighederne for at opnå en sikker indtrængning med tandemsvejsning af kantsømme i 8 mm T-profiler, og derudover at sammenligne disse muligheder med resultaterne fra MIG-svejsning med enkeltråd.

Baggrunden for undersøgelsen er, at der ved svejsning i aluminium kan være en øget risiko for bindingsfejl eller manglende indtrængning, pga. aluminiums gode varmeledningsegenskaber.

Ved svejsning af aluminium med traditionel MIG-svejsning med enkeltråd tilsættes helium ofte til beskyttelsesgasen, når der svejdes i større godstykkelser med det formål at opnå en mere sikker og bedre indtrængning.

2 Svejseforsøg

Alle svejseforsøgene i denne undersøgelse er blevet udført som tandem-svejsninger af stående kantsømme med et konstant nominelt a-mål på 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.

Der er anvendt et Time-Twin Fronius svejseanlæg med brænderen monteret på en Motomanrobot i en gantry. Forsøgsopstillingen er vist på figur 2.1.

Der er undersøgt 6 forskellige kombinationer af svejsehastighed, strømstyrke og spænding ved svejsning med et konstant nominelt a-mål på 5 mm. Svejsehastigheden blevet varieret på 6 niveauer på hhv. 800, 1000, 1200, 1600, 1800 og 2000 mm/min.

Ved svejsning med to tråde er der en teoretisk sammenhæng mellem a-mål, svejsehastighed og trådhastighed som vist i ligning 2.1.



Figur 2.1: Forsøgsopstilling til tandem-svejsning.

$$(v_{tråd1} + v_{tråd2}) \cdot A_{tråd} = v_{svejs} \cdot (Amål)^2 \quad \text{Ligning 2.1}$$

Hvor,

$v_{tråd1}$ = Trådhastighed af forreste tråd

$v_{tråd2}$ = Trådhastighed af bageste tråd

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

v_{svejs} = Svejsehastighed

Med ovennævnte svejsehastigheder kan trådhastighederne på de to 1,2 mm massive tråde 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 skulle således i alt udføres 12 svejsforsøg efter forsøgsmatrixen vist i tabel 2.1.

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

Svejsehast. [mm/min]	Trådhast. 1 [m/min]	Trådhast. 2 [m/min]	Gassammensætning	
			100% Ar	30% Ar + 70% He
800	8,8	8,8	DK1	DK6
1000	11,1	11,1	DK4	DK7
1200	13,3	13,3	DK2	DK8
1600	17,7	17,7	DK3	DK9
1800	19,9	19,9	DK5	DK10
2000	22,1	22,1	DK12	DK11

De eksakte svejseparametre er vist i bilag A

Forhold der har været konstante under alle svejsforsøgene:

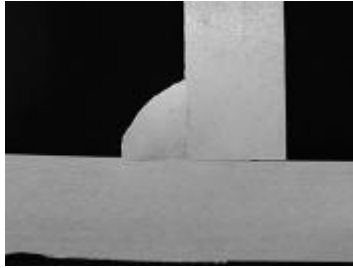
Grundmateriale:	AlMg4,5Mn (5083)
Leveringstilstand:	H116 (svarer nogenlunde til H24)
Kontakt dyseafstand:	20 mm
Brændervinkel:	5° stikkende
Gasflow:	18 l/min
Nominelt A-mål:	5 mm

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 fra tandemsvejsninger

På næste side kan indtrængningen fra tandem-svejsninger ses på fotos af makroslib. 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.

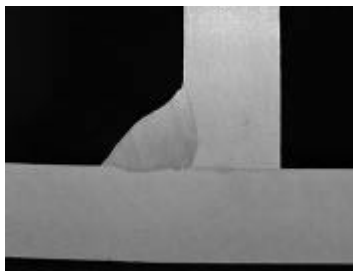
Gas: 100% Ar



Forsøg: DK1

v = 800 mm/min

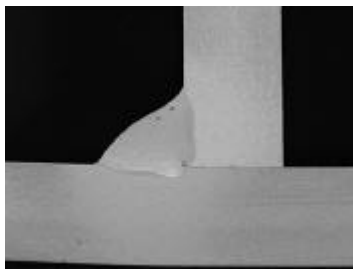
U1 = 18,2 V
U2 = 17,9 V
I1 = 124 A
I2 = 129 A



Forsøg: DK4

v = 1000 mm/min

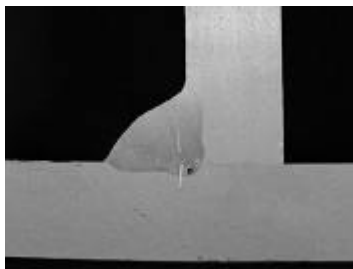
U1 = 18,8 V
U2 = 21,0 V
I1 = 162 A
I2 = 164 A



Forsøg: DK2

v = 1200 mm/min

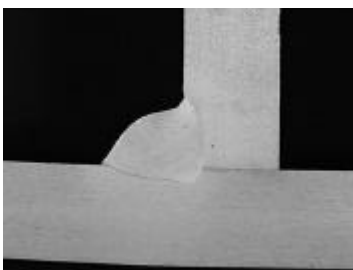
U1 = 19,0 V
U2 = 20,0 V
I1 = 190 A
I2 = 190 A



Forsøg: DK3

v = 1600 mm/min

U1 = 19,3 V
U2 = 20,5 V
I1 = 239 A
I2 = 238 A



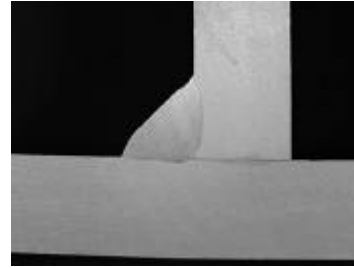
Forsøg: DK5

v = 1800 mm/min

U1 = 20,6 V
U2 = 20,5 V
I1 = 269 A
I2 = 265 A

Forsøg: DK12

Gas: 30% Ar+70% He



Forsøg: DK6

v = 800 mm/min

U1 = 16,5 V
U2 = 23,4 V
I1 = 124 A
I2 = 121 A



Forsøg: DK7

v = 1000 mm/min

U1 = 18,0 V
U2 = 23,3 V
I1 = 157 A
I2 = 144 A



Forsøg: DK8

v = 1200 mm/min

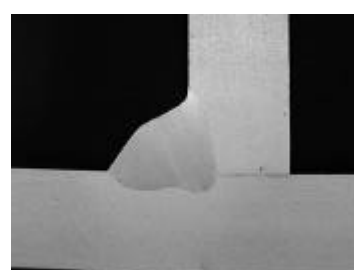
U1 = 22,3 V
U2 = 24,1 V
I1 = 187 A
I2 = 185 A



Forsøg: DK9

v = 1600 mm/min

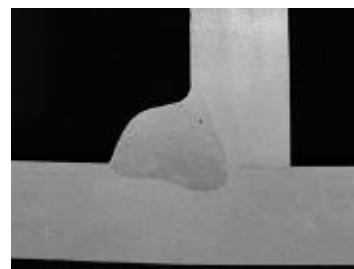
U1 = 20,2 V
U2 = 24,5 V
I1 = 231 A
I2 = 221 A



Forsøg: DK10

v = 1800 mm/min

U1 = 19,5 V
U2 = 24,0 V
I1 = 261 A
I2 = 242 A



Forsøg: DK11

v = 2000 mm/min

U1 = 20,4 V
U2 = 23,7 V
I1 = 287 A
I2 = 287 A

Svejsforsøget DK12 er ikke vist på side 8, da det ikke var muligt at opnå en tilstrækkelig stabil svejseproces med den foreskrevne svejsehastighed på 2000 mm/min og en trådhastighed på ca. 22 m/min.

På makroslibene vist på side 8 er de ydre a-mål i alle 11 svejsforsøg målt til reelt at være mellem 4,2 og 4,6 mm. Det er en kombination af flere forhold, der er årsag til, at de reelle a-mål er noget mindre end de beregnede 5 mm. De væsentligste årsager til det mindre a-mål er bl.a., at svejsesømmene ikke er fuldstændig ligebenede trekantede, men derimod lidt overhængede (konvekse). Desuden var trådens tværsnit lidt mindre end den foreskrevne på 1,2 mm, og derudover vil der altid være lidt svind ved dråbeovergangen.

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.

Forsøg DK1: Ved svejsning med 800 mm/min er der gennemgående bindings- og rodfejl. Svejsningen er desuden meget konveks.

Forsøg DK4: Ved svejsning med 1000 mm/min er der en mindre tendens til bindingsfejl, og der ses en gennemgående rodfejl.

Forsøg DK2: Ved svejsning med 1200 mm/min er der ligeledes tendens til en mindre rodfejl, men ellers er der en god indtrængning i siderne.

Forsøg DK3: Ved svejsning med 1600 mm/min opnås en fin sikker indtrængning.

Forsøg DK5: Ved svejsning med 1800 mm/min er der en fin sikker indtrængning men tendens til sidekærv.

Forsøg DK12: Det var ikke muligt at opnå en stabil svejsning med 2000 mm/min.

Grænsen for hvornår der forekommer bindingsfejl ved svejsning med 100 % argon ligger således et sted omkring 1000 mm/min. Grænsen for rodfejl ligger omkring 1200 mm/min.

For at undgå manglende indtrængning i den konkrete svejsesituation bør svejsehastigheden således være mindst 1200 mm/min, når der anvendes 100% argon.

Ved svejsning med 100% argon er der i øvrigt i alle 5 forsøg tendens til konvekse (overhængede) svejsesømme, hvor konveksiteten generelt er let stigende med stigende svejseparametre.

3.2 Svejsning med 30% argon + 70% helium

På makroslibene vist til højre på side 8 er der svejst med 30% argon + 70% helium.

Forsøg DK6: Ved svejsning med 800 mm/min er der en gennemgående rodfejl.

Forsøg DK7: Ved svejsning med 1000 mm/min er der tendens til en mindre rodfejl, men ellers god indtrængning i siderne.

Forsøg DK8: Ved svejsning med 1200 mm/min er der en sikker indtrængning.

Forsøg DK9: Ved svejsning med 1600 mm/min er der ligeledes en sikker indtrængning.

Forsøg DK10: Ved svejsning med 1800 mm/min opnås en meget sikker indtrængning, men svejsesømmen bliver mere konveks.

Forsøg DK11: Ved svejsning med 2000 mm/min er der en særdeles sikker indtrængning, men svejsesømmen bliver meget konveks, hvilket bl.a. betyder et mindre a-mål.

Ved svejsning med 30% Argon + 70% helium er der således i den konkrete svejsesituation gode muligheder for at opnå en sikker indtrængning med svejsehastigheder på 1200 mm/min og derover.

Som ved svejsning med 100% argon er der i alle 6 svejsforsøg med 30% Argon + 70% helium tendens til konvekse (overhvalvede) svejsesømme. Konveksiteten er generelt svagt stigende med stigende svejsparametre.

3.3 Sammenligning af 100% argon og 30% argon + 70% helium

Med 70% helium i gassen er der specielt ved de lavere svejsehastigheder på 800 – 1000 mm/min bedre muligheder for at opnå en mere sikker indtrængning i siderne, og dermed er der mindre risiko for kritiske bindingsfejl i forhold til svejsning med 100% argon.

Mht. til indtrængning i dybden (rodfejl) er der ligeledes en svag tendens til en lidt dybere indtrængning med 70% helium i gassen, men slet ikke i samme grad som i bredden.

Ved svejsning med 30% Argon + 70% helium er svejsesømmene generelt en anelse mindre konvekse (overhvalvede), ligesom overgangen mellem svejsemetal og grundmateriale er en anelse mere jævn i forhold til svejsning med 100% argon.

3.4 Svejsparametrenes indflydelse på indtrængning

Som det ses af makroslibene på side 8, er indtrængningsprofilen ved tandem-svejsning med de to undersøgte gastyper i særdeleshed afhængig af svejsparametrene, ved svejsning af et fast reelt a-mål på ca. 4,5 mm.

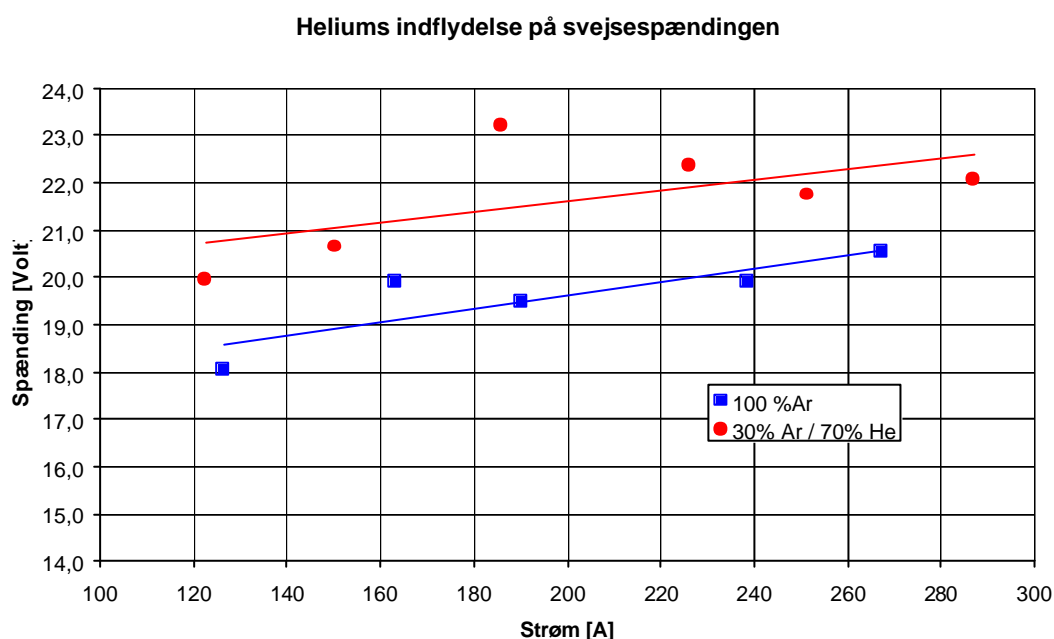
Med stigende svejseparametre (svejsehastighed, strøm og spænding) for samme a-mål, bliver indtrængningen både dybere og bredere.

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 højere 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 og opsmelte et større område.

4 Heliums indflydelse på spænding

På figur 4.1 ses heliums indflydelse på svejse-spændingen i forhold til strømstyrken.



Figur 4.1: Heliums indflydelse på forholdet mellem svejse-spænding og strømstyrke ved tandem-svejsning med to 1,2 mm AlMg5 tråd.

På figur 4.1 ses, at ved at skifte gastype fra 100% argon til 30% argon + 70% helium så stiger spændingen ca. 10% (2 volt) for samme strømstyrke.

5 Sammenligning af MIG-enkeltråd og MIG-tandem

I en tidligere undersøgelse er der foretaget MIG-enkeltråds svejsning af nøjagtig samme svejseopgave, dvs. en kantsøm med et reelt a-mål på ca. 4,5 mm i en godstykkelse på 8 mm.

I dette afsnit er ovennævnte forsøgsresultater fra MIG-enkeltråds svejsforsøgene sammenlignet med tandemsvejsforsøgene.

5.1 100% argon

På næste side kan indtrængningen ved MIG-svejsning med dels enkeltråd og dels tandem sammenlignes ved svejsning med beskyttelsesgassen 100% argon. Svejsforsøgene vist til venstre er svejst med traditionel MIG-svejsning med enkelt tråd, og svejsforsøgene vist til højre er svejst med MIG-tandem

Bemærk at på de sammenlignede par af fotos er svejsehastigheden det dobbelte ved tandemsvejsning i forhold til svejsning med enkelt tråd.

Ved en sammenligning af indtrængningen ved enkeltråds- og tandemsvejsning med 100% argon er der med begge teknikker de samme tendenser til bindingsfejl og rodfejl afhængig af svejsehastigheden, men hvor svejsehastigheden ved tandemsvejsning er dobbelt så høj.

Med enkeltrådssvejsning er der gennemgående bindingsfejl og rodfejl ved en svejsehastighed på 400 mm/min (forsøg K1), mens det tilsvarende gør sig gældende ved tandemsvejsning med en svejsehastighed på 800 mm/min (forsøg DK1).

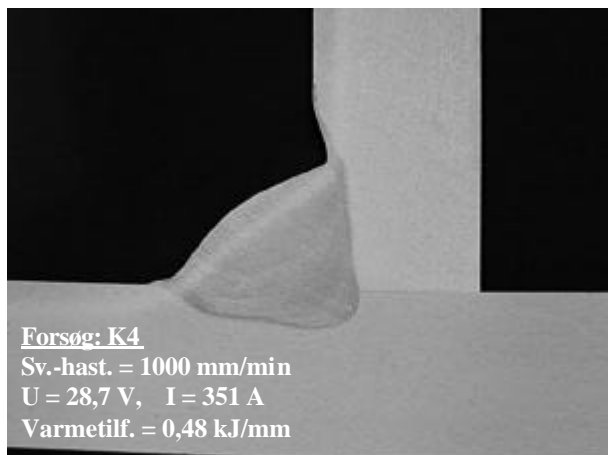
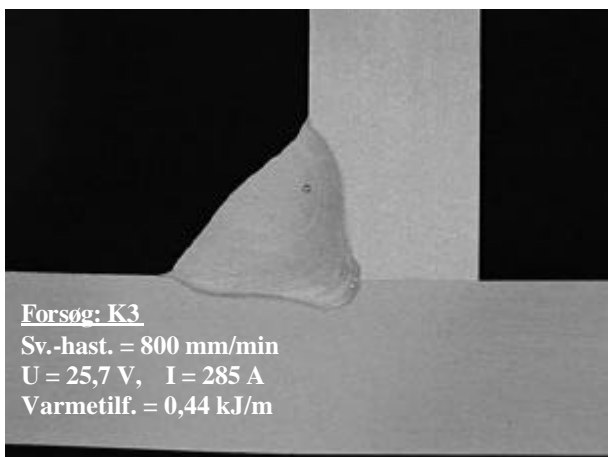
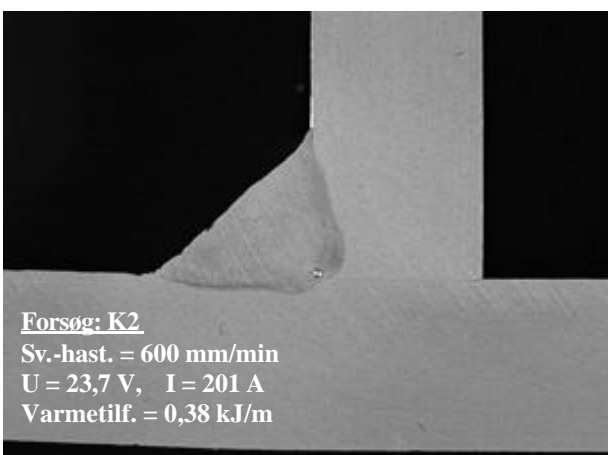
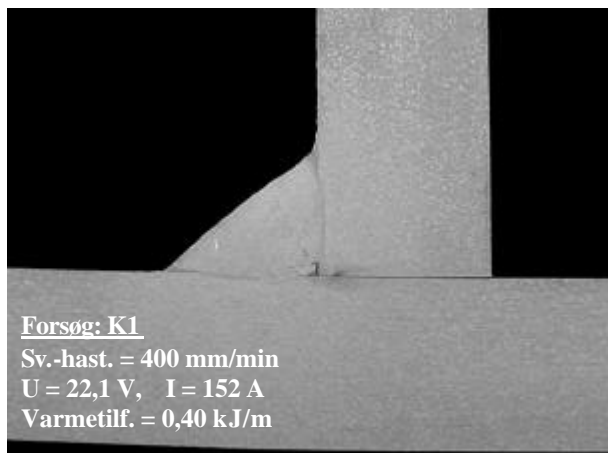
Ved enkeltrådssvejsning med en svejsehastighed på 600 mm/min (forsøg K2) er der ikke bindingsfejl i siderne men derimod en tendens til en mindre gennemgående rodfejl. Det samme gør sig gældende ved tandemsvejsning med en svejsehastighed på 1200 mm/min (forsøg DK2).

Med enkeltrådssvejsning er der først en god sikker indtrængning, når svejsehastigheden er oppe på 800 mm/min (forsøg K3), hvilket ved tandemsvejsning opnås med en svejsehastighed på 1600 mm/min (forsøg DK3).

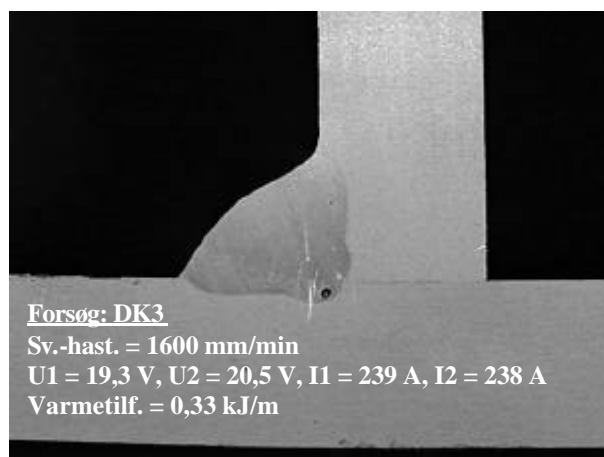
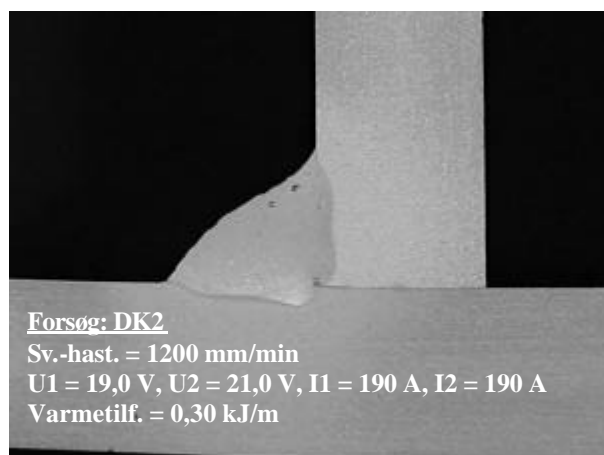
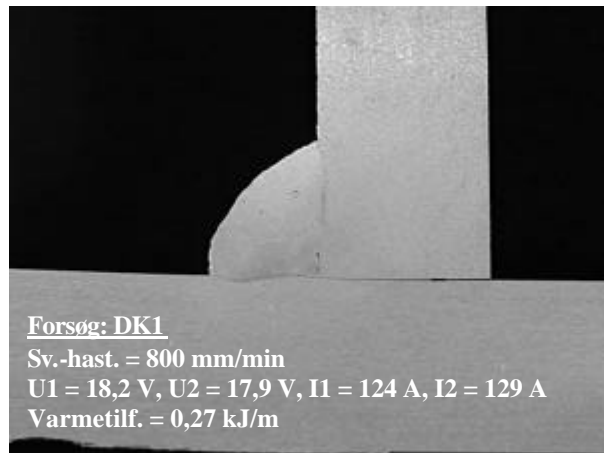
Generelt er der en tendens til lidt mere konvekse (overhævede) svejsesømme ved tandemsvejsning i forhold til svejsning med enkeltråd.

Derimod er varmetilførslen væsentlig mindre ved svejsning med tandem i forhold til svejsning med enkeltråd. Det forventes derfor, at den varmepåvirkede zone vil blive mindre ved svejsning med tandem. På sammenlignelige svejsforsøg udført med dels enkeltråds- og dels tandemsvejsning vil den varmepåvirkede zone blive undersøgt gennem hårdhedsprøver, hvilket vil blive beskrevet i en kommende rapport under projekt varmepåvirkning.

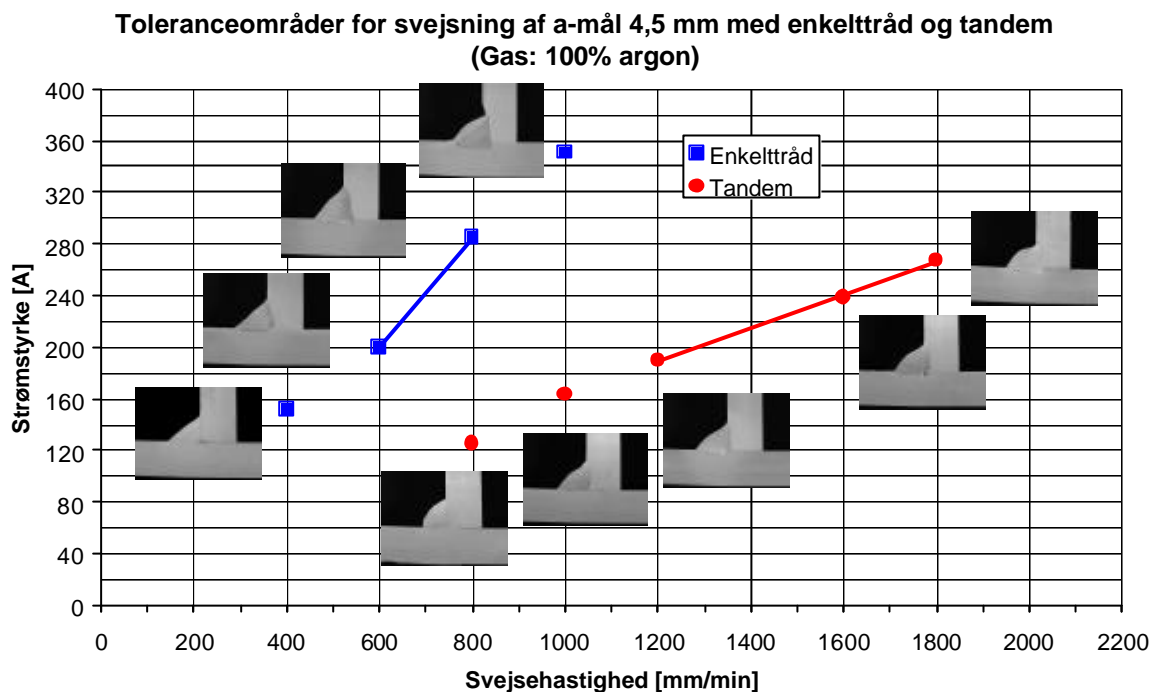
Enkeltråd (100% Argon)



Tandem (100% Argon)



På figur 5.1 kan tolerancer for svejsehastigheden og strømstyrken sammenlignes mellem enkeltråds- og tandemsvejsning med 100% argon. Tolerancerne angiver de områder, hvor der opnås en god sikker indtrængning uden sidekærv. Figur 5.1 er forstørret i bilag B.



Figur 5.1: Tolerancer for svejsehastighed og strømstyrke ved svejsning med 100% argon med dels traditionel enkeltråds- og dels tandemsvejsning. Der er svejst stående kantsømme med et reelt a-mål på ca. 4,5 mm på 8 mm T-profiler.

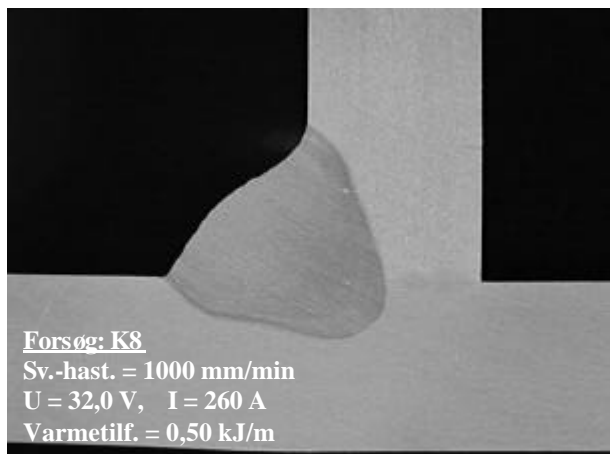
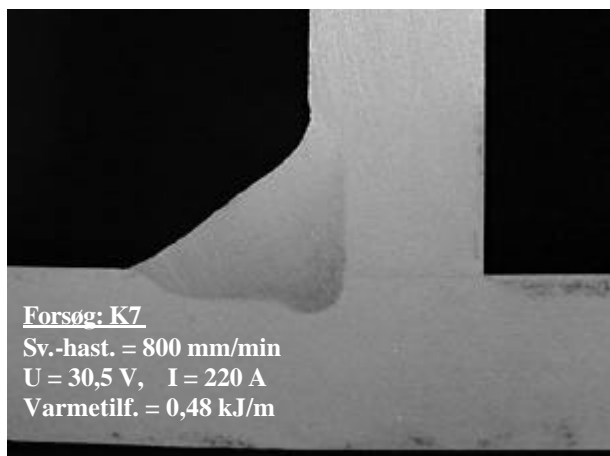
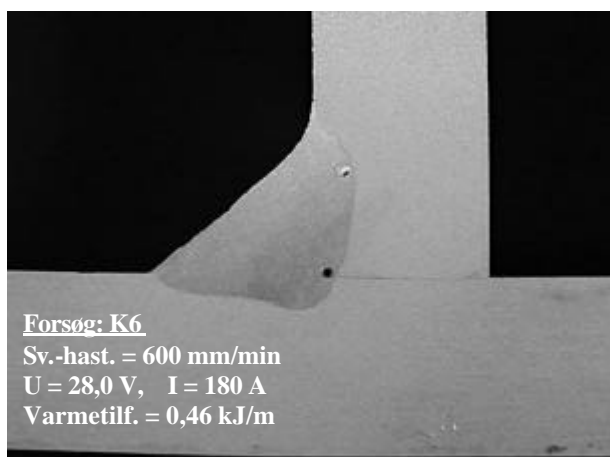
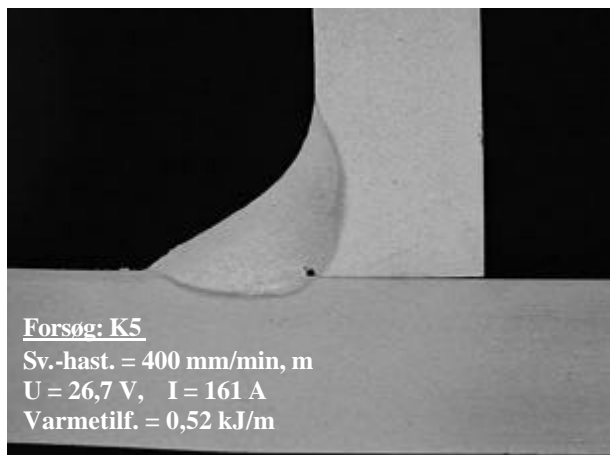
Af tolerancerne vist på figur 5.1 ses det tydeligt, at der kan svejses afgørende hurtigere med tandemsvejsning i forhold til svejsning med traditionel MIG-svejsning med én tråd. For den konkrete svejseopgave vil svejsehastigheden med enkeltrådsvejsning ligge inden for et område på ca. 600-800 mm/min, mens svejsehastigheden med tandemsvejsning vil ligge inden for et område på ca. 1200-1800. Med 100% argon er det således muligt at svejse op mod tre gange så hurtigt med tandem-teknikken i forhold til svejsning med traditionel MIG-svejsning med én tråd.

Tolerancen på strømstyrken er i samme område (ca. 200-280 A) for begge svejseteknikker

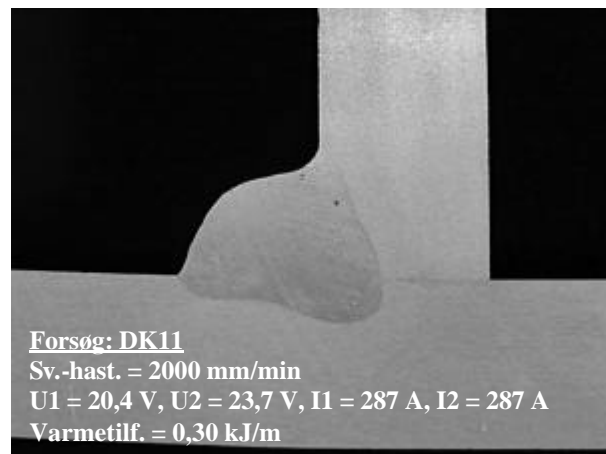
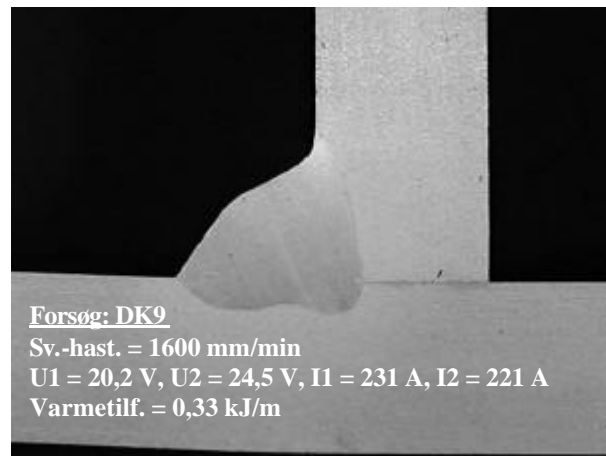
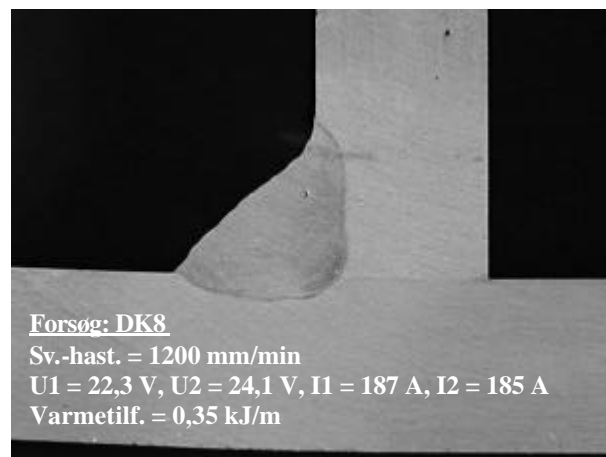
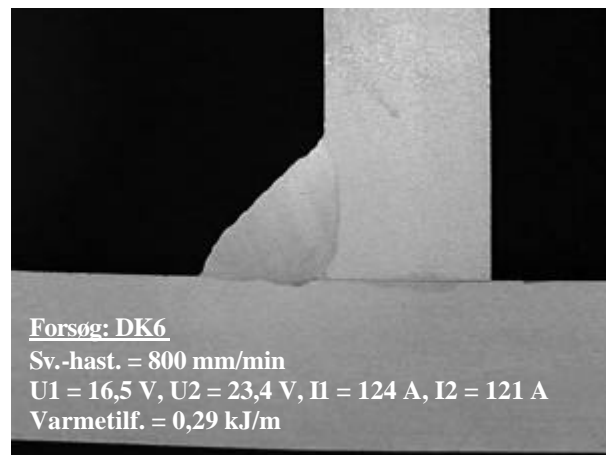
5.2 30% argon + 70% helium

På næste side er indtrængningen ved enkeltråds- og tandemsvejsning sammenlignet ved svejsning med beskyttelsesgassen 30% argon + 70% helium. Svejseforsøgene vist til venstre er svejst med traditionel MIG-svejsning med enkelt tråd og svejseforsøgene vist til højre er svejst med MIG-tandem.

Enkeltråd (30% Ar+70% He)



Tandem (30% Ar+70% He)



Ved en sammenligning af indtrængningen ved enkeltråds- og tandemsvejsning med 30% argon + 70% helium er der de samme tendenser til en øget indtrængning med stigende svejseparametre, men hvor svejsehastigheden er det dobbelte med tandem-teknikken. Det skal bemærkes, at det reelle a-mål i alle de viste svejsninger er ca. 4,5 mm.

Ved svejsning med enkeltråd med en lav svejsehastighed på 400 mm/min (forsøg K5), er der noget bedre muligheder for at opnå en sikker indtrængning i siderne i forhold til tandemsvejsning med en svejsehastighed på 800 mm/min (forsøg DK6). Indtrængningen ved tandemsvejsning med 800 mm/min er i det hele taget mindre god, og overgangen til grundmaterialet er dårlig. Der ses desuden en mindre gennemgående rodfejl ved svejsning med både enkeltråds- og tandemsvejsning med svejsehastigheder på hhv. 400 og 800 mm/min.

Derimod er der ved enkeltrådsvejsning med en svejsehastighed på 600 mm/min (forsøg K6) gode muligheder for at opnå en sikker indtrængning, mens det samme gør sig gældende ved tandemsvejsning med en svejsehastighed på 1200 mm/min (forsøg DK8).

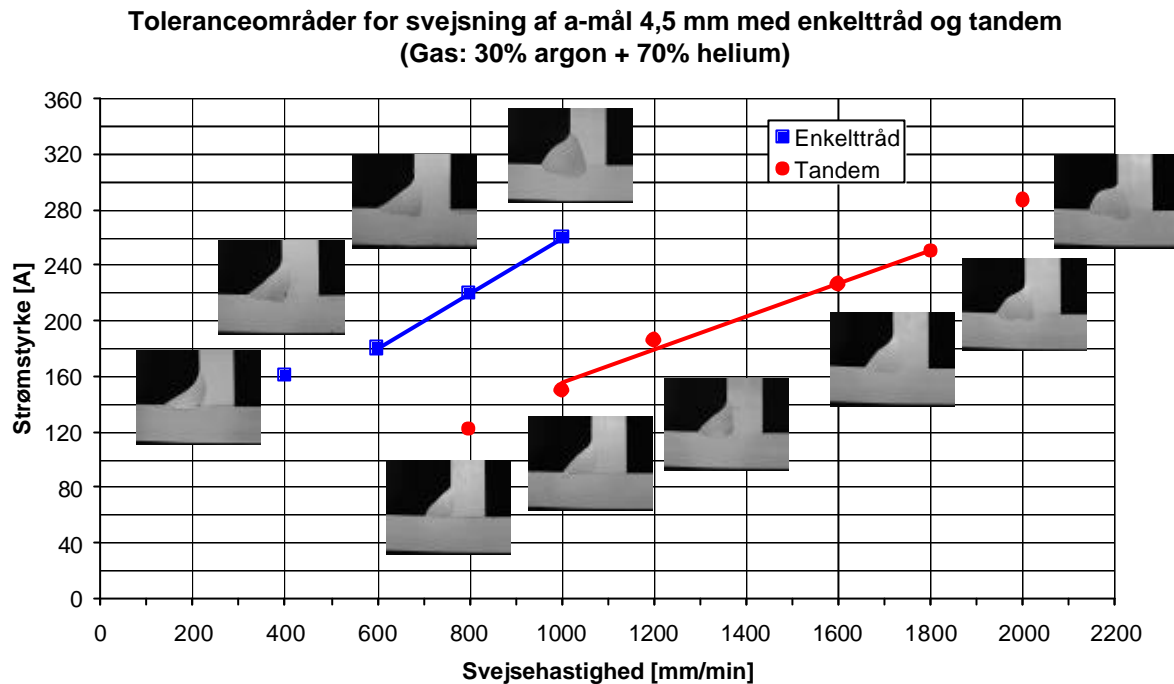
Ved svejsehastigheder på 800 mm/min med enkeltråd (forsøg K7) samt 1600 mm/min med tandem (forsøg DK9), opnås en særdeles god og sikker indtrængningen. Ved tandem-svejsning med en svejsehastighed på 1600 mm/min bliver svejseømmen lidt konveks.

Ved svejsehastigheder på 1000 mm/min med enkeltråd (forsøg K8) samt 2000 mm/min med tandem (forsøg DK11), opnås en særdeles god og sikker indtrængningen. Ved enkeltrådsvejsning med 1000 mm/min er svejseømmen lidt konveks, mens svejseømmen ved tandem-svejsning med 2000 mm/min er meget konveks.

På figur 5.2 kan tolerancer for svejsehastigheden og strømstyrken sammenlignes mellem enkeltråds- og tandemsvejsning med 30% argon + 70% helium. De to kurver angiver de områder, hvor der opnås en god sikker indtrængning og hvor svejsekvaliteten mht. sidekærv og overvulst er vurderet til at være acceptable.

For den konkrete svejseopgave vil svejsehastigheden med enkeltrådsvejsning ligge inden for et område på ca. 600-1000 mm/min, mens svejsehastigheden med tandemsvejsning vil ligge inden for et område på ca. 1000-1800.

Tolerancen på strømstyrken ligger nogenlunde i samme område (ca. 160-260 A) for begge svejseteknikker, dog med tendens til lidt større strømstyrker ved enkeltrådsvejsning.



Figur 5.2: Tolerancer for svejsehastighed og strømstyrke ved svejsning med 30% argon + 70% helium med dels traditionel enkeltråds- og dels tandemsvejsning. Der er svejst stående kantsømme med et reelt a-mål på ca. 4,5 mm på 8 mm T-profiler. (Figur 5.2 kan ses i forstørret udgave i bilag B)

5.3 Generelt

Generelt er der en tendens til lidt mere konvekse (overhvalvede) svejssømme ved tandemsvejsning i forhold til svejsning med enkeltråd.

Derimod er varmetilførslen væsentlig mindre ved svejsning med tandem i forhold til svejsning med enkeltråd. Det forventes derfor, at den varmepåvirkede zone vil blive mindre ved svejsning med tandem. På sammenlignelige svejseforsøg udført med dels enkeltråds- og dels tandemsvejsning vil den varmepåvirkede zone blive undersøgt gennem hårdhedsprøver, hvilket vil blive beskrevet i en sekundær rapport under projekt varmepåvirkning.

I grove træk opnås den samme svejsekvalitet med tandemsvejsning i forhold til traditionel MIG-svejsning med enkeltråd.

I den konkrete svejseopgave er den klart største fordel ved tandem-teknikken, at svejsehastigheden er det dobbelte eller endda det tredobbelte af, hvad der er muligt med traditionel MIG-svejsning med én tråd.

6 Konklusion

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

Desuden er resultaterne ved tandemsvejsning af den konkrete svejseopgave sammenlignet med resultaterne fra en tidligere tilsvarende undersøgelse af traditionel MIG-svejsning med én tråd.

6.1 Tandem-svejsning

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

Med 30% argon + 70% helium er tolerancen for svejseshastigheden i den konkrete svejseopgave ca. i området 1000 – 1800 mm/min. Med en svejseshastighed på 2000 mm/min er indtrængningen særdeles god og sikker, men konveksiteten (overhvelvingen) af svejseømmene vil i de fleste tilfælde formentlig ikke kunne accepteres.

Med 100% argon ligger det tilsvarende toleranceområde indenfor ca. 1200 – 1800 mm/min.

Ved en samlet betragtning er der generelt en lidt bedre indtrængning i siderne med 30% argon + 70% helium i forhold til svejsning med 100% argon. Der er ligeledes tendenser til lidt mindre konvekse (overhvelvede) svejseømme ligesom overgangen fra svejsemetallet til gundmaterialet er lidt mere jævn med 70% helium i beskyttelsesgassen.

Det skal dog bemærkes, at med 100% argon er det indenfor et forholdsvis stort toleranceområde stadig muligt at opnå en god og sikker svejse kvalitet.

6.2 Sammenligning af tandem- og enkelttrådsvejsning

Ved tandemsvejsning med 100% argon af den konkrete svejseopgave er tolerancen på svejseshastigheden ca. 1200 - 1800 mm/min. Med enkelttrådsvejsning med 100% argon er den samme tolerance ca. 600 – 800 mm/min.

Ved tandemsvejsning med gastypen 30% argon + 70% helium er tolerancen på svejseshastigheden ca. 1000 - 1800 mm/min og den tilsvarende tolerance med enkelttrådsvejsning er ca. 600 – 1000 mm/min.

For begge gastyper kan svejsehastigheden således øges til det dobbelte eller endda det tredobbelte ved at skifte fra traditionel MIG-svejsning med én tråd til tandem svejsning med to tråde.

Desuden var varmetilførslen ved tandemsvejsning generelt ved alle forsøg omkring 0,3 kJ/mm, mens der i de tidligere tilsvarende forsøg med MIG-svejsning med enkeltråd blev svejst med varmetilførsler i området 0,4 – 0,5 kJ/mm.

Det forventes derfor, at den varmpåvirkede zone vil være mindre ved tandemsvejsning i forhold til svejsning med enkeltråd. Dette undersøges gennem hårdhedsmålinger og beskrives i en kommende rapport under projekt: "Varmepåvirkning".

Bilag A: Svejseparametre under svejsforsøg med tandem-MIG-svejsning

Konstante forhold/parametre:

Svejseudstyr: Fronius Time-twin på Motoman robot

Svejseproces: Tandem MIG

Svejsesøm: Kantsøm

Svejsestilling = PB, ca. 5 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: 2 tråde af 1,2 mm AlMg5

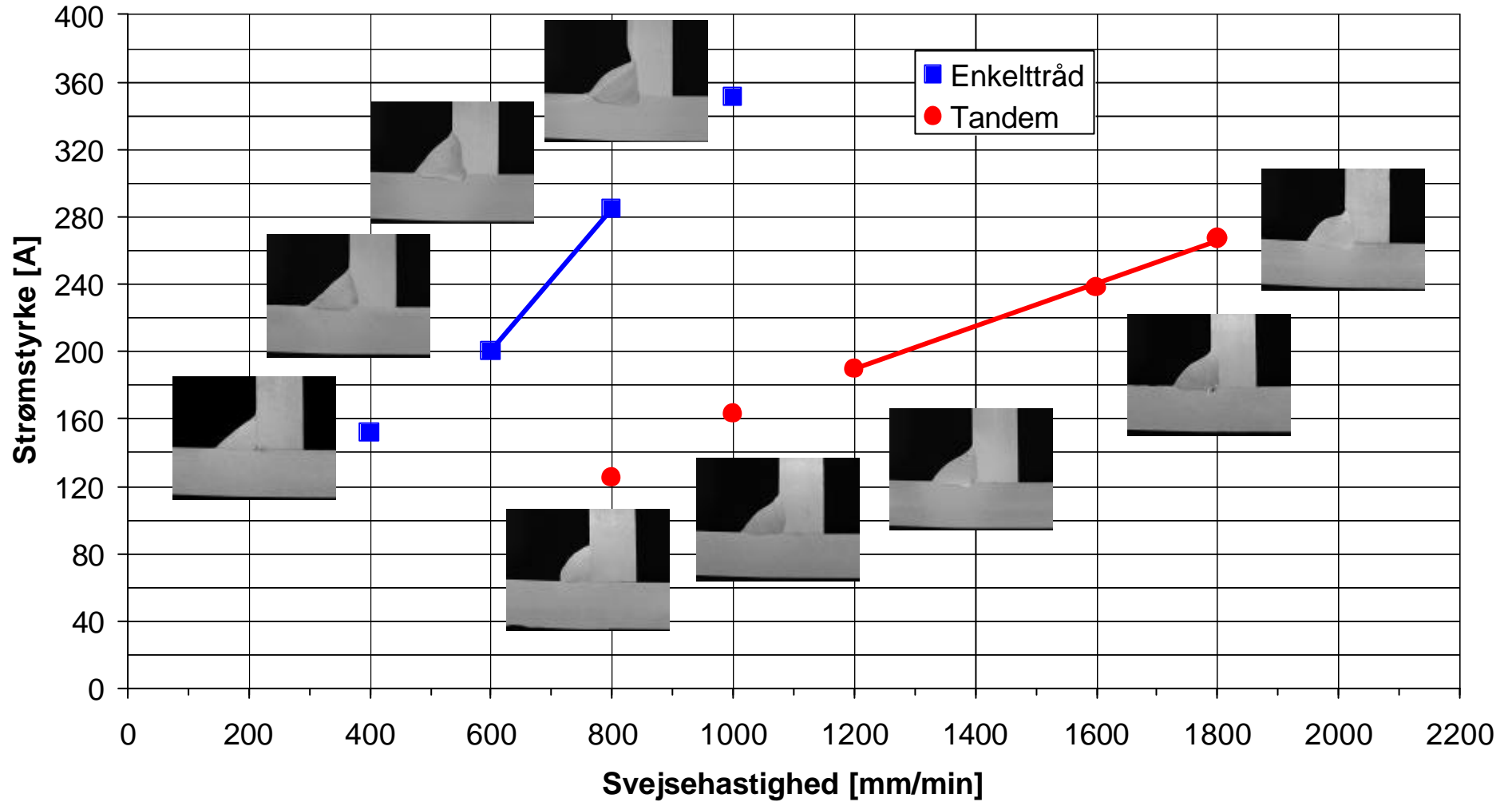
Gasflow: 18 l/min

Konstant reelt A-mål ca. = 4,5 mm

			Svejseparametre								
Forsøg	Tråd-Dia. [mm]	Gastype	Forreste tråd			Bageste tråd				Samlet varme- tilførsel [kJ/mm]	
			Svejse- hastighed [mm/min]	Spænding [V]	Strømst. [A]	Tråd- hastighed [m/min]	Svejse- hastighed [mm/min]	Spænding [V]	Strømst. [A]		Tråd- hastighed [m/min]
DK1	1,2	100% Ar	800	18,2	124	8,8	800	17,9	129	8,8	0,27
DK4	1,2	100% Ar	1000	18,8	162	12,2	1000	21	164	10,0	0,31
DK2	1,2	100% Ar	1200	19	190	13,3	1200	20	190	13,3	0,30
DK3	1,2	100% Ar	1600	19,3	239	17,7	1600	20,5	238	17,7	0,33
DK5	1,2	100% Ar	1800	20,6	269	19,3	1800	20,5	265	20,5	0,29
DK6	1,2	30% Ar+70% He	800	16,5	124	9,4	800	23,4	121	8,2	0,29
DK7	1,2	30% Ar+70% He	1000	18	157	12,1	1000	23,3	144	10,1	0,30
DK8	1,2	30% Ar+70% He	1200	22,3	187	14,0	1200	24,1	185	12,6	0,35
DK9	1,2	30% Ar+70% He	1600	20,2	231	18,5	1600	24,5	221	16,9	0,33
DK10	1,2	30% Ar+70% He	1800	19,5	261	20,4	1800	24	242	19,4	0,34
DK11	1,2	30% Ar+70% He	2000	20,4	287	22,0	2000	23,7	287	22,0	0,30

Bilag B: Figur 5.1

Tolerancer ved kantsømssvejsning (a-mål 4,5) med enkeltråd og tandem
(Gas: 100% argon)



Bilag B: Figur 5.2

Tolerancer ved kantsømsvejsning (a-mål 4,5) med enkeltråd og tandem
(Gas: 30% argon + 70% helium)

