

Dokument: SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0026-02

# **Fugetolerancer ved tandem og enkeltråd MIG-svejsning af kantsømme i aluminium**

SASAK  
Projekt 3 - Svejsning

Carsten Jørn Rasmussen  
og  
Steen Ussing

FORCE Instituttet, juni 2001

## Sammenfatning

Denne rapport beskriver nogle undersøgelser foretaget på FORCE Institutet med henblik på afdækning af sikkerheden for effektivt sømtværsnit ved varierende spalte med MIG enkeltråd og tandem (dobbeltråd) ved svejsning af kantsømme.

Undersøgelser af indtrængningsforhold er særligt relevante for kantsømme, da man i praksis sjældent har mulighed for at eftervise, at man har opnået det ønskede svejsetværsnit. Dette skyldes, at den eneste praktisk anvendelige NDT-metode under normale forhold er penetrantprøvning, altså en kontrol af svejseoverfladen for revner o.l.

Ved stumpsømme har man ikke den samme problematik omkring indtrængningsprofiler, og man har i øvrigt også mulighed for at verificere, at der er opnået fuld gennembrænding visuelt, og man kan kontrollere svejseømmens kvalitet (bindingsfejl m.v.) ved hjælp af NDT.

Med tandemteknikken kunne der svejses i fugespalter op til ca. 2,0 – 2,5 mm med opnåelse af konstant effektivt a-mål og uden sidekærv.

Med almindelig enkeltråd svejsning kunne der kun svejses i fugespalter op til ca. 1,0 – 1,5 mm med opnåelse af konstant effektivt a-mål og uden sidekærv.

Med tandemteknikken var der således de største muligheder for at opnå et konstant effektivt a-mål ved kantsømssvejsning med varierende fugespalte i forhold til ved almindelig enkeltråd svejsning.

De to, ovennævnte forhold - sikkerhed for tilstrækkeligt sømtværsnit og sikkerhed mod sidekærv - er ikke mindst interessant i forbindelse med mekaniseret og robotiseret svejsning, hvor man det er en stor fordel at kunne fastlåse et sæt svejseparametre, som kan anvendes uanset spaltevariationer inden for bestemte grænser.

Undersøgelserne er foretaget af kantsømme, men konklusionerne vil gælde både kantsømme og overlapsømme i tilsvarende godstykkelseskombinationer.

For yderligere oplysninger om tandem MIG-svejsning i aluminium henvises til rapporten: SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0027-00, samt til SASAK-håndbogens kapitel 3.7 "MIG".

## Indhold

1	Introduktion.....	4
2	Svejsforsøg.....	4
3	Enkeltråd MIG-svejsning.....	5
3.1	Resultater.....	5
4	Tandem MIG-svejsning.....	8
4.1	Resultater.....	8
5	Sammenligning af enkeltråd og tandem MIG-svejsning .....	11
6	Konklusion.....	12

## 1 Introduktion

Denne rapport omhandler en undersøgelse af, hvor følsom MIG-processen er overfor varierende fugetolerancer ved kantsømssvejsning. Der er udført forsøg med MIG enkeltrådssvejsning og tandemsvejsning. Ligeledes er beskyttelsesgassen varieret mellem ren argon og 30% argon + 70% helium.

Undersøgelsen har haft følgende formål:

- At undersøge mulighederne for svejsning af kantsømme med varierende fugespalte med dels traditionel MIG-svejsning og dels tandemsvejsning.
- At undersøge mulighederne for svejsning af kantsømme med varierende fugespalte med gassammensætningerne argon og argon/helium.

## 2 Svejseforsøg

Forsøgsemnerne bestod af 8 mm tykke T-profiler 6082 med varierende fugespalter. Spalterne blev opnået ved at fræse spor i kropspladen som vist på figur 2.1.



**Figur 2.1** Forsøgsemne med 3 forskellige udfræsninger på kropspladen og således 3 forskellige størrelser fugespalte.

Der blev fræset spor i kropspladerne i dybder på 0,5; 1,0; ...2,5 og 3,0 mm med tre dybder af 100 mm's længde på hvert emne.

Forsøgsemnerne var 100 mm brede, 100 mm høje og 500 mm lange.

Der blev benyttet to forskellige forsøgsopstillinger til hhv. traditionel MIG-svejsning og tandem MIG-svejsning

Der blev udført svejseforsøg efter forsøgsmatrixen vist i tabel 2.1

Fugespalte [mm]	Traditionel MIG-svejsning		Tandemsvejsning	
	100 % Ar	30/70 % Ar/He	100 % Ar	30/70 % Ar/He
0,0	X	X		
0,5	X	X	X	X
1,0	X	X	X	X
1,5	X	X	X	X
2,0	X	X	X	X
2,5	X	X	X	X
3,0	X	X	X	X

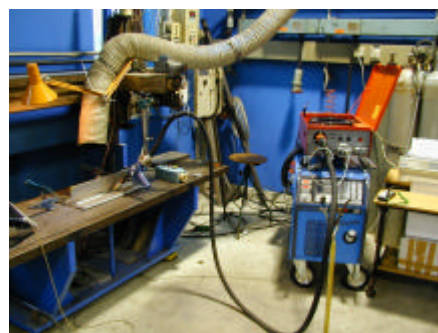
Tabel 2.1 Forsøgsmatrix

### 3 Enkeltråd MIG-svejsning

Til svejseforsøgene med traditionel MIG-svejsning blev der anvendt et Cloos Quinto 503 svejseanlæg med brænderen monteret på en langsømsautomat - se figur 3.1.

Andre svejseforhold, der har været konstante under alle svejseforsøg med almindelig enkeltråd MIG-svejsning, er listet nedenfor:

Grundmateriale:	AlMgSi1Mn (6082)
Leveringstilstand:	T6
Dimension forsøgsemne:	T-profil - 8 mm tyk, 100 mm bred, 100 mm høj og 500 mm lang
Kontakt dyseafstand:	15 mm
Brændervinkel:	15° stikkende



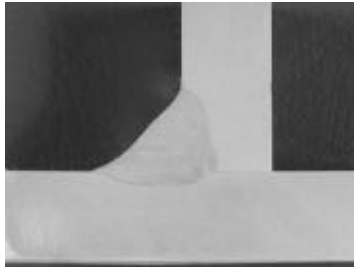
Figur 3.1 Forsøgsopstilling til enkeltråd MIG-svejsning

#### 3.1 Resultater

Hver svejste prøveemne blev skåret op på midten, og der blev lavet et makroslib af svejsningen.

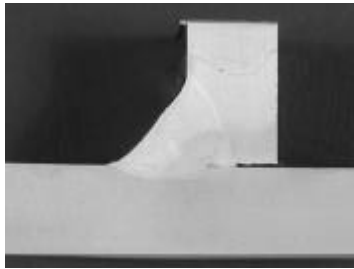
På de følgende sider er der vist fotos af indtrængningsprofilet for alle svejseforsøgene foretaget med enkeltråds MIG-svejsning. Fotos til venstre viser svejsninger, hvor der er svejst med en beskyttelsesgas bestående af ren argon, og ved fotos til højre er der svejst med en gasblanding bestående af 30% argon + 70% helium.

**Gas: 100% Ar**



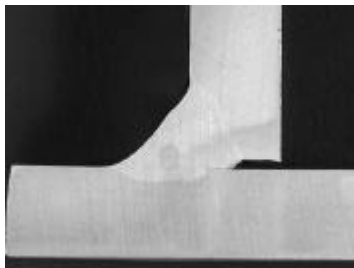
**Forsøg: K 9A**

Spalte = 0,0 mm



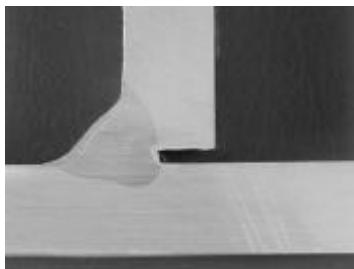
**Forsøg: K 9B**

Spalte = 0,5 mm



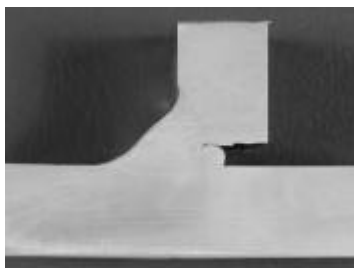
**Forsøg: K 9C**

Spalte = 1,0 mm



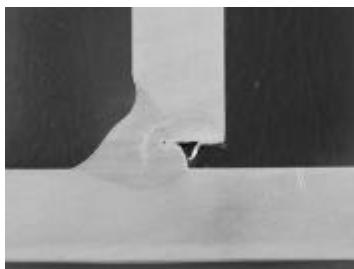
**Forsøg: K 10B**

Spalte = 1,5 mm



**Forsøg: K 10C**

Spalte = 2,0 mm



**Forsøg: K 11B**

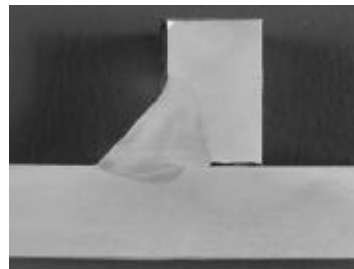
Spalte = 2,5 mm

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



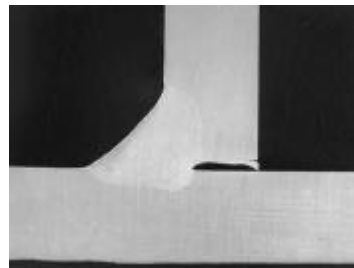
**Forsøg: K 12A**

Spalte = 0,0 mm



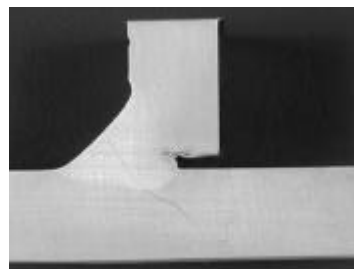
**Forsøg: K 12B**

Spalte = 0,5 mm



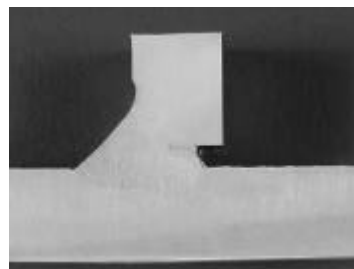
**Forsøg: K 12C**

Spalte = 1,0 mm



**Forsøg: K 13B**

Spalte = 1,5 mm



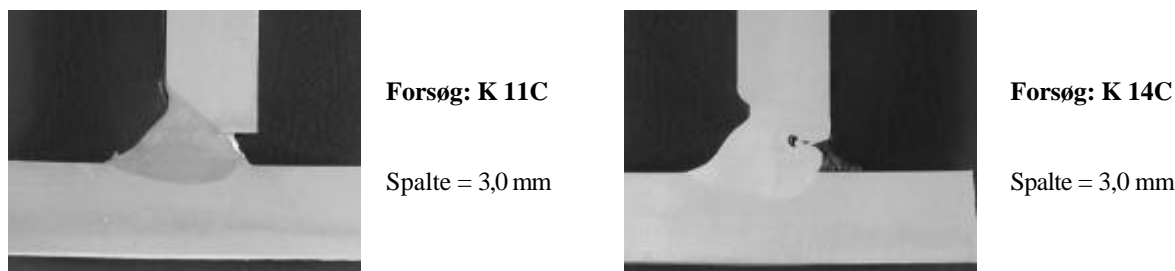
**Forsøg: K 13C**

Spalte = 2,0 mm



**Forsøg: K 14B**

Spalte = 2,5 mm



**Figur 3.2** Ovenstående slib viser enkelttråd MIG-svejsning i 8 mm 6082 med varierende spalte, slib til venstre er svejst med ren argon og slib til højre er svejst med 30% argon + 70% helium. Der er svejst med 700 mm/min, ca. 255 A og 27,5 V.

Ved svejsning med ren argon (venstre fotos) opnås en fin indtrængning ved svejsning af kantsømme med fugespalter op til 1,5 mm. Ved en fugespalte på 2 mm er der tendens til sidekærv i toppen af kantsømmen. Ved fugespalter på 2,5 og 3 mm er sidekærven større.

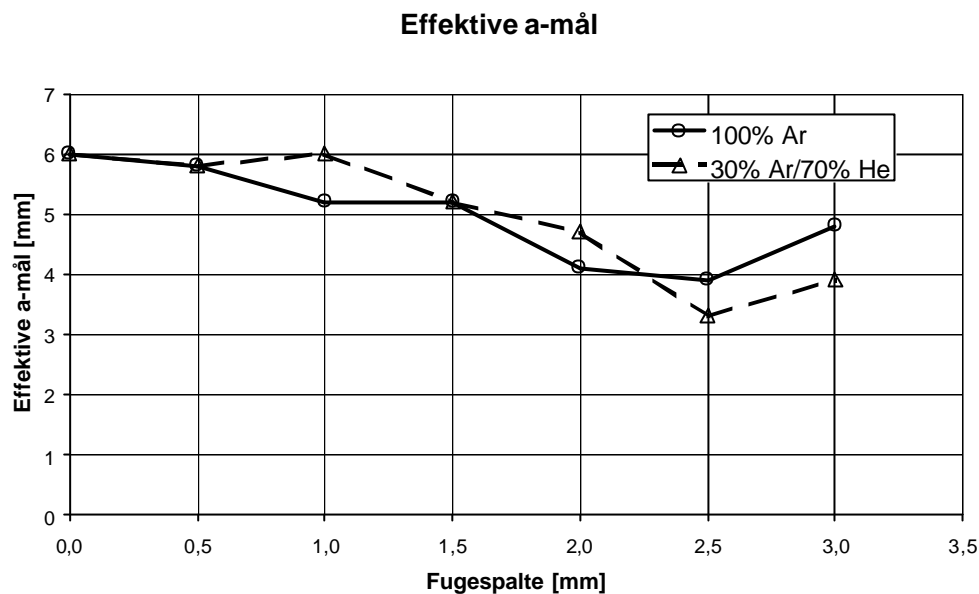
Ved svejsning med 30% argon + 70% helium (højre fotos) er der allerede ved 1 mm spalte begyndende tendens til sidekærv i toppen af kantsømmen. Størrelsen af sidekærv stiger med stigende spalte.

Årsagen til at der dannes sidekærv ved større fugespalter er, at der er mindre grundmateriale omkring svejsesømmen, som den tilførte varmeenergi kan diffundere ud i. Tendensen til sidekærv er størst ved svejsning med gasblandingen 30% argon + 70% helium, hvilket skyldes dels en større varmetilførsel og dels en bredere indtrængning med helium i gassen. Ved at justere svejseparametrene ned kunne man formentlig reducere tendensen til sidekærv, og derved øge mulighederne for at svejse kantsømme med større fugespalter. Med en nedjustering af svejseparametrene skal man dog være opmærksom på en øget risiko for manglende indtrængning ved små fugespalter.

Figur 3.2 viser det effektive a-mål som funktion af fugespalte.

Figuren viser at det effektive a-mål falder med stigende fugespalte for begge typer beskyttelsesgas. Der er dog tendens til, at det effektive a-mål stiger, når fugespalten stiger fra 2,5 til 3 mm. Med så store fugespalter forekommer der dog uacceptabel store sidekærv.

Tendensen til sidekærv i de konkrete svejseforsøg med almindelig enkelttråd MIG-svejsning kunne formentlig have været reduceret ved at reducere varmetilførslen.



**Figur 3.3 Effektive a-mål som funktion af fugespalten ved MIG-svejsning**

## 4 Tandem MIG-svejsning

Til tandem MIG-svejsforsøgene blev der anvendt et Fronius Twin Wire svejseanlæg med brænderen monteret på en Motoman robot - se figur 5.1.

Svejsforhold, der har været konstante under alle svejsforsøg med tandem-svejsning, er listet nedenfor:

Grundmateriale:	AlMgSi1Mn (6082)
Leveringstilstand:	T6
Dimension forsøgsemne:	T-profil - 8 mm tyk, 100 mm bred, 100 mm høj og 500 mm lang
Kontaktdyseafstand:	15 mm
Brændervinkel:	15° stikkende

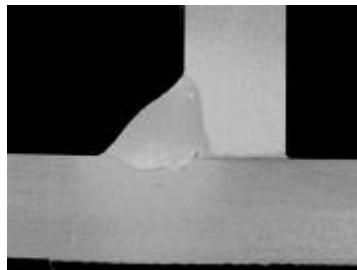


**Figur 4.1 Forsøgsopstilling til tandem MIG-svejsning**

### 4.1 Resultater

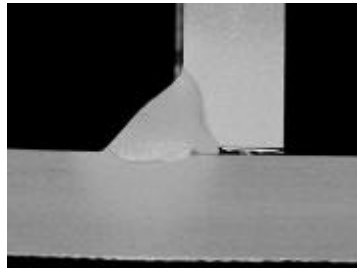
Hver svejste prøveemne blev skåret op på midten, og der blev lavet et makroslib af svejsningen. På næste side er der vist fotos af indtrængningsprofilen for alle svejsforsøgene foretaget med traditionel enkelttråds MIG-svejsning. Fotos til venstre viser svejsninger, hvor der er svejst med en beskyttelsesgas bestående af ren argon, og ved fotos til højre er der svejst med en gasblanding bestående af 30% argon + 70% helium.

**Gas: 100% Ar**



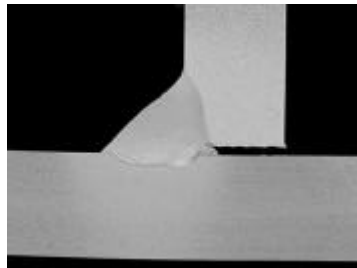
**Forsøg: DK 12A**

Spalte = 0,5 mm



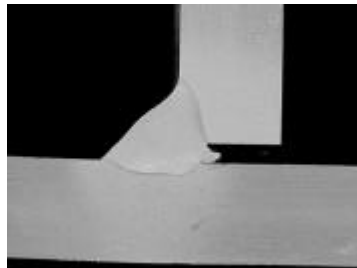
**Forsøg: DK 12B**

Spalte = 1,0 mm



**Forsøg: DK 12C**

Spalte = 1,5 mm



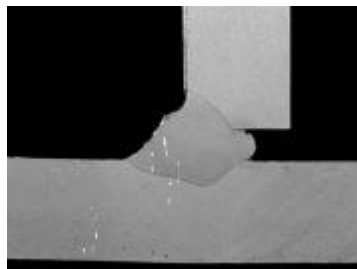
**Forsøg: DK 13B**

Spalte = 2,0 mm



**Forsøg: DK 13C**

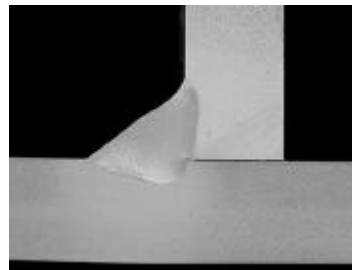
Spalte = 2,5 mm



**Forsøg: DK 14B**

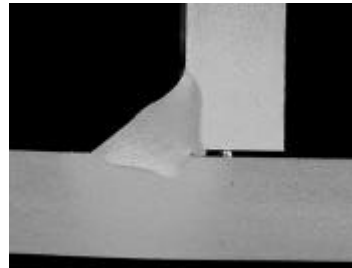
Spalte = 3,0 mm

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



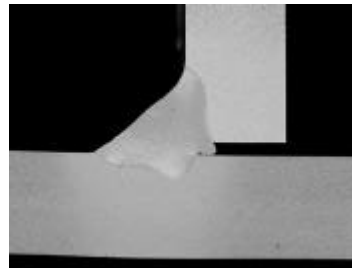
**Forsøg: DK 15A**

Spalte = 0,5 mm



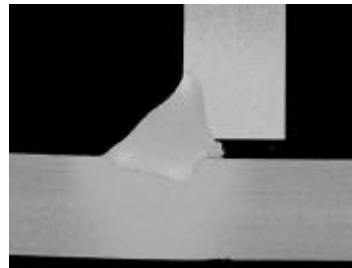
**Forsøg: DK 15B**

Spalte = 1,0 mm



**Forsøg: DK8 15C**

Spalte = 1,5 mm



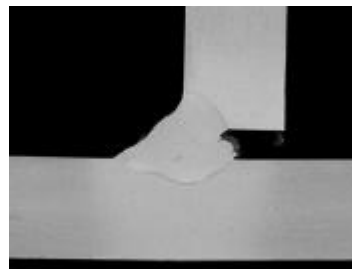
**Forsøg: DK 16B**

Spalte = 2,0 mm



**Forsøg: DK 16C**

Spalte = 2,5 mm



**Forsøg: DK 17B**

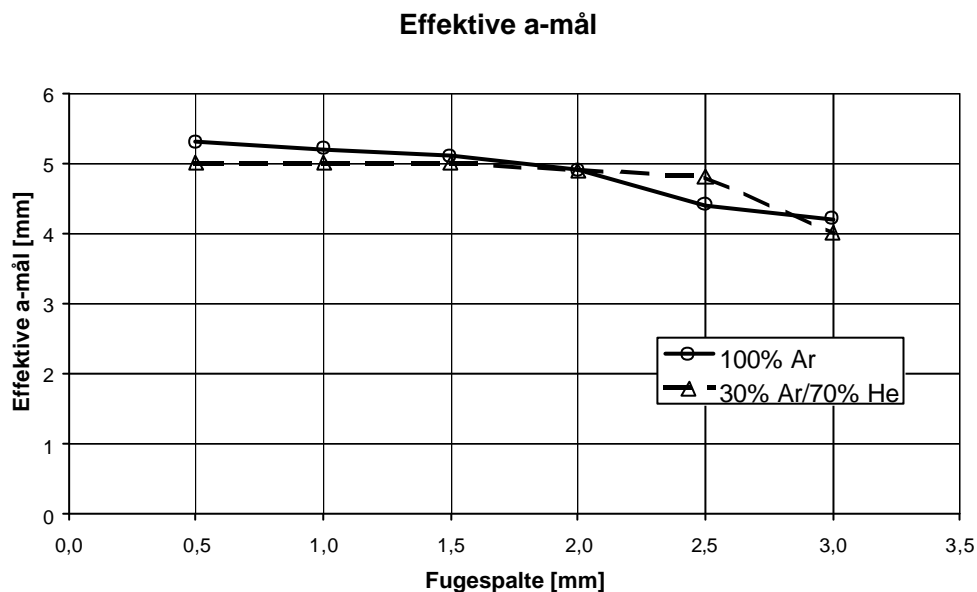
Spalte = 3,0 mm

**Figur 4.2** Ovenstående slib viser tandem MIG-svejsning i 8 mm 6082 med varierende spalte, slib til venstre er svejst med ren argon og slib til højre er svejst med 30% argon + 70% helium. Der er svejst med 1400 mm/min, ca. 210 A og 21 V.

Ved tandemsvejsning med ren argon (venstre fotos) opnås en fin indtrængning ved svejsning af kantsømme med fugespalter helt op til 2,5 mm. Ved en fugespalte på 3 mm er der tendens til sidekærv i toppen af kantsømmen.

Ved tandemsvejsning med 30% argon + 70% helium (højre fotos) er der ved 2,5 og 3 mm spalte tendens til sidekærv i toppen af kantsømmen. Ved disse store fugespalter synker svejsemetallet regelmæssigt med et varierende a-mål som resultat.

Figur 4.2 viser det effektive a-mål som funktion af fugespalte.



**Figur 4.3** Effektive a-mål som funktion af fugespalten ved tandemsvejsning.

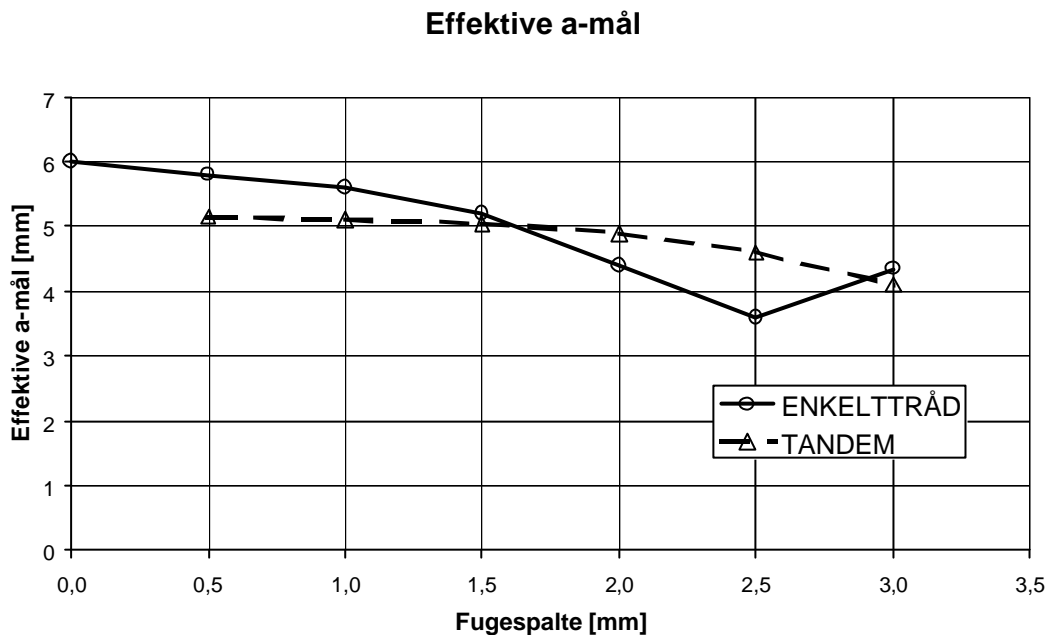
Med begge beskyttelsesgasser er det effektive a-mål nogenlunde konstant ved tandemsvejsning af fugespalter op til 2 mm. Ved spalter over 2 mm falder det effektive a-mål lidt.

Resultaterne viser, at der ved tandemsvejsning af kantsømme i det konkrete tilfælde kan opnås et konstant effektivt a-mål på ca. 5 mm med konstante svejseparametre selvom fugespalten variere fra 0 og op til ca. 2,0 mm. Svejsekvaliteten forbliver tilfredsstillende i disse tilfælde. Beskyttelsesgassens sammensætning er i dette tilfælde mindre afgørende.

## 5 Sammenligning af enkeltråd og tandem MIG-svejsning

Indtrængningen i siderne var god i alle svejsforsøg både med enkeltråd og tandem MIG-svejsning.

Figur 5.1 viser det effektive a-mål med stigende fugespalte ved dels enkeltråd og dels tandem MIG-svejsning. Kurven for hver svejseteknik repræsenterer et gennemsnit af effektive a-mål for de to anvendte typer beskyttelsesgas.



**Figur 5.1 Effektive a-mål ved dels enkeltråds og dels tandem MIG-svejsning. (Hver kurve er et gennemsnit af svejsninger med de 2 forskellige beskyttelsesgasser.)**

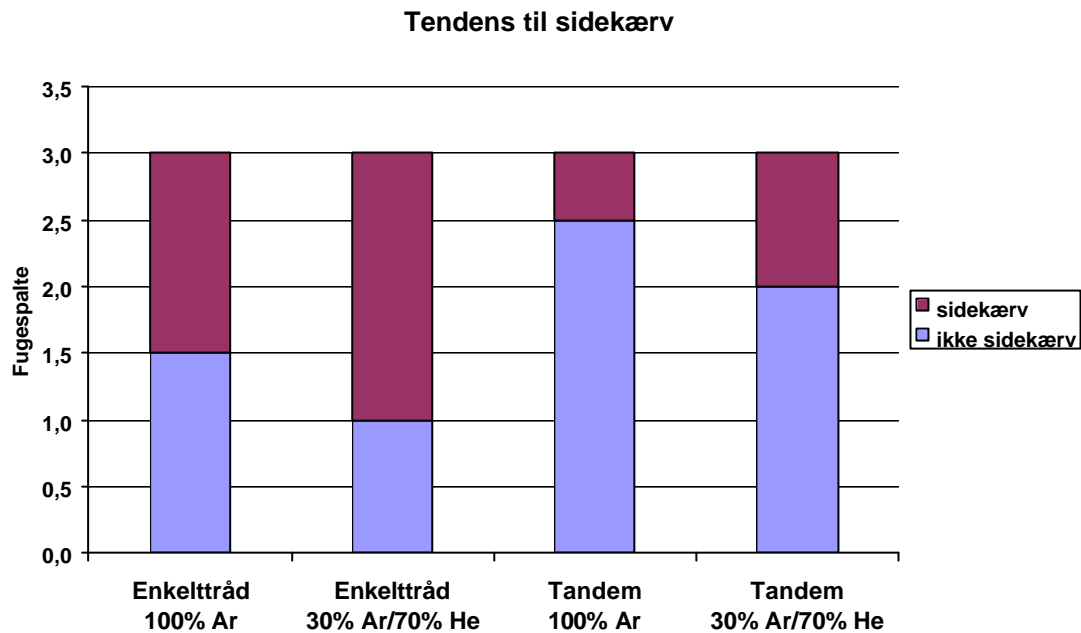
For begge svejseteknikker falder det effektive a-mål med stigende fugespalte.

Ved sammeligning af de 2 kurver på figur 5.1 ses det at tandemsvejsning lidt overraskende holder et mere stabilt a-mål med stigende fugespalte i forhold til almindelig enkeltrådssvejsning.

Ved fugespalter mindre end 1,5 mm er det effektive a-mål størst ved enkeltråds svejsning, hvilket skyldes, at tråd hastigheden var noget større ved enkeltråds-svejsning i forhold til ved tandem-svejsning. En anden væsentlig forskel mellem svejseteknikkerne var, at der ved enkeltråds MIG-svejsning blev svejst med en gennemsnitlig varmetilførsel på 0,48 kJ/mm, mens varmetilførslen ved tandem svejsning kun var 0,31 kJ/mm. Varmetilførslen kunne godt have været lidt mindre ved enkeltråds-svejsning, men som det er konstateret ved tidligere

sammenligninger af enkeltråds- og tandem-svejsning, er det ikke usædvanligt at varmetilførslen er lavest ved tandem-svejsning.

Figur 5.2 viser ved hvilke fugespalter, der blev konstateret sidekærv afhængig af svejseteknik og beskyttelsesgas.



**Figur 5.2 Konstatation af sidekærv afhængig af fugespalte**

Også med hensyn til tendenser til sidekærv viste tandemsvejsning at være den bedste svejseteknik. Det skal dog igen nævnes at varmetilførslen var noget større ved enkeltråd svejsning, hvilket formentlig har øget tendensen til sidekærv.

Af figur 5.2 kan det ligeledes konstateres, at der for begge svejseteknikker er størst tendens til sidekærv med anvendelse af blandgassen 30% argon + 70% helium.

## 6 Konklusion

Gennem praktiske svejseforsøg er det undersøgt, hvor følsom MIG-processen er overfor varierende fugetolerancer ved kantsømssvejsning af T-profiler med tykkelsen 8 mm. Der er udført forsøg med enkeltråd og tandem MIG-svejsning samt med beskyttelsesgasserne ren argon og 30% argon + 70% helium.

Med tandemteknikken kunne der svejses i fugespalter op til ca. 2,0 – 2,5 mm med opnåelse af konstant effektivt a-mål og uden sidekærv.

Med almindelig enkelttråd svejsning kunne der kun svejses i fugespalter op til ca. 1,0 – 1,5 mm med opnåelse af konstant effektivt a-mål og uden sidekærv.

Med tandemteknikken var der således de største muligheder for at opnå et konstant effektivt a-mål ved kantsømssvejsning med varierende fugespalte i forhold til ved almindelig enkelttråd svejsning.

Dertil skal det nævnes, at varmetilførslen var noget større ved forsøgene med enkelttråd svejsning (0,48 kJ/mm) i forhold til ved tandem svejsforsøgene (0,31 kJ/mm). Tidligere opnåede erfaringer i SASAK har dog vist, at denne forskel i varmetilførslen mellem de to svejseteknikker ikke er usædvanlig.

Mht. beskyttelsesgasserne var der lidt større tendens til sidekærv med 70% helium i gassen i forhold til med ren argon. Ellers havde gastypen kun mindre indflydelse på svejsekvaliteten i de konkrete svejsforsøg.

Til orientering har tidligere opnået erfaringer i SASAK dog vist, at det med lavere svejseparametre, især lavere svejsehastighed og strømstyrke, er fordelagtigt med helium i gassen til at opnå en tilstrækkelig indtrængning.