

Dokument: SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0019-01

Nd-YAG laser svejsning i aluminium.

SASAK
Projekt 3 - Svejsning

Michael Myrup Andersen
Thomas Aaboe Jensen

FORCE Instituttet, maj 2000

Sammenfatning.

Formålet med denne undersøgelse var at opstille nogle retningslinier med tilhørende svejsedata, for anvendelse af fiberoptisk YAG-lasersvejsning i aluminium.

Forsøgene blev udført som stumpsømme med fuld gennemsvajsning, hvilket må anses som den vanskeligste svejsegeometri for højenergi-processerne. Samlinger som kantsømme, overlap og stumpsømme uden gennemsvajsning er langt mere tolerante, sammenlignet med nærværende forsøgsprogram.

Det anvendte laserudstyr havde en maksimal effekt på 4 kW, forsøgene viste at dette er en absolut minimumseffekt for at opnå fuld gennemsvajsning i 8 mm materiale.

Forsøgene resulterede i opstillingen af et svejsbart område for 2 udvalgte legeringer AA5083 og AA6082 ved autogen svejsning i varierende dimensioner, desuden blev det påvist at AA5083 har en større toleranceboks end AA6082.

For at optimere svejsningens geometri, blev det forsøgt at svejse med tilsatsmateriale, det var dog ikke muligt at opnå bedre resultater end ved autogen svejsning.

YAG-lasersvejsning kan i en række tilfælde med fordel kombineres med andre processer. Det største potentiale vil oftest ligge i en kombination med MIG-svejsning. Rapporten SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0032 beskriver erfaringer med hybrid YAG-laser + MIG svejsning af aluminium.

I forbindelse med overvejelser omkring indførelse af YAG-lasersvejsning henvises også til rapporten SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0025 "Økonomiske beslutningsværktøjer ved valg af svejse- og produktionsproces".

Indhold:

1	Indroduktion	4
2	Formål.....	5
3	Forsøgsopstilling.....	6
4	Svejsforsøg.....	7
4.1	Svejsning af 2mm AA6082 og AA5083.....	8
4.2	Svejsning af 5mm AA5083 og AA6082.....	11
4.3	Svejsning af 5mm AA5083 og AA6082 med tilsats.....	15
4.4	Svejsning af 8mm AA5083.....	18
5	Resultater og diskussion.....	19
5.1	AA5083.....	19
5.2	AA6082.....	20
5.3	Svejsfejl.....	21
6	Konklusion.....	23
7	Litteraturliste.....	24

1 Introduktion

Aluminium benyttes i vid udstrækning som konstruktionsmateriale pga. sin relativ høje styrke sammenlignet med den lave egenvægt, desuden har flere legeringer en god korrosionsbestandighed og er lette at bearbejde. Derfor er perspektiverne store hvis høj-effekt YAG-lasersvejsning kan åbne op for nye muligheder inden for anvendelsen af aluminium.

I de senere år har udviklingen inden for YAG-laser udstyr bevæget sig mod kraftigere systemer, derfor kan der nu opnås højere lasereffekter end tidligere. De stadig højere effekter betyder at YAG-laseren kan blive et seriøst alternativ til de traditionelle svejseprocesser og CO₂-laseren, desuden har YAG-laseren en række andre fordele, der giver bredere perspektiver for svejsning af aluminium i større dimensioner.

- Bølgelængden af laserlyset for YAG-lasere (1064 nm) er fordelagtigt ved aluminiums-svejsning (pga. refleksionsforholdene) sammenlignet med CO₂-laserens bølgelængde (10060 nm).
- Laserstrålen kan fremføres gennem fiberoptik, hvilket giver processen en øget fleksibilitet ved automation.
- højenergi proces, som betyder dybe og smalle svejsninger med lav varmetilførsel og deraf en smal varmepåvirket zone (HAZ), hvilket resulterer i mindre deformationer.
- Forholdsvis høje svejsehastigheder og mulighed for ensidige svejsninger i relativt store dimensioner.

Man skal dog ikke lade sig forblinde af processens mange fordele, for de traditionelle problemer ved svejsning i aluminium forefindes stadigvæk, eksempelvis kan nævnes:

- Poredannelse.
- Revnedannelse.
- Problemer med aluminiums store affinitet til oxygen og det deraf fremkommende oxidlag.
- Lasersvejsning tolererer kun meget små variationer, hvilket kræver en god tilpasning af emner og fuger.
- Nedsynkning af svejsningen, aluminium har en begrænset evne til at bære smelten pga. en lav overfladespænding.

2 Formål

At undersøge potentialet for YAG-lasersvejsning af aluminium i større dimensioner, gennem praktiske svejsforsøg og evaluering af disse.

Der skal findes svejsbare områder med brugbare svejseparametere og opstilles tolerancebokse der kan belyse følgende:

- sammenhængen mellem parametre (primært lasereffekt / svejsehastighed) og svejse-kvaliteten ved autogen lasersvejsning i forskellige aluminiumslegeringer og varierende dimensioner.
- introduktion af tilsatsmateriale og indvirkningen på svejsekvaliteten og lasereffekten.

Målet er at give retningslinier herunder vejledende data, for indførelse af robotiseret fiberoptisk YAG-lasersvejsning til aluminiumskonstruktioner.

3 Forsøgsopstilling

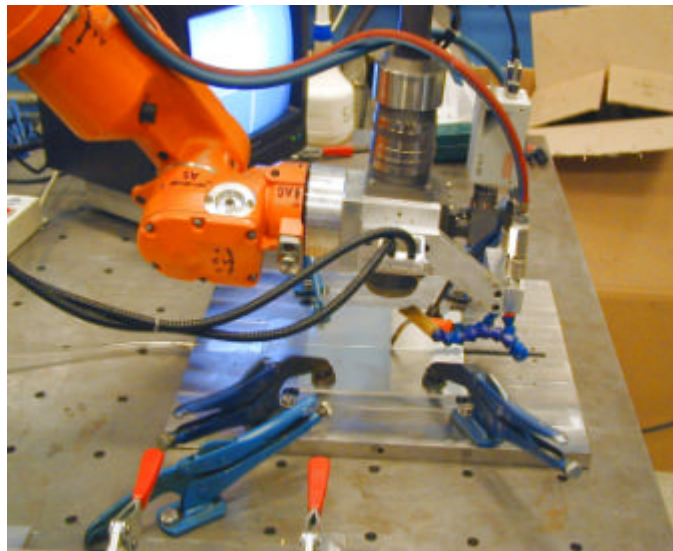
Forsøgene er udført som stumpsømme, med fuld gennemsvajsning. Det anvendte materiale er i alle tilfælde plader med længden 200mm og bredden 100mm i følgende typer:

AA6082 (AlSiMgMn) leveringstilstand T6 og dimensionen 2mm, 5mm.

AA5083 (AlMg4,5MnO,7) leveringstilstand H116 og dimensionerne 2mm, 5mm og 8mm.

Tilsatmateriale: AlSi5 0,8mm og 1,2mm.

For at sikre en god fugetilpasning og sammenlignelige resultater, blev alle plader fræset på kanten og derefter affedet med triclorethylen, kanterne blev ikke mekanisk bearbejdet umiddelbart inden svejsningen, idet tidligere forsøg har påvist at dette ingen effekt har. Til svejsforsøgene er der anvendt en 4 kW Nd-YAG laser af typen HAAS HL 4006D kombineret med en robot af typen KUKA IR 364/10.0. Til svejsning med tilsatstråd, blev der benyttet en Migatronik KT3 trådboks. Laserudstyret kan skifte effektniveau momentant, hvilket muliggør svejsning med flere forskellige effekter i samme svejsesekvens. På udvalgte parametersæt laves referencesvejsninger i hele pladens længde. Figur 3.1 viser den anvendte forsøgsopstilling.

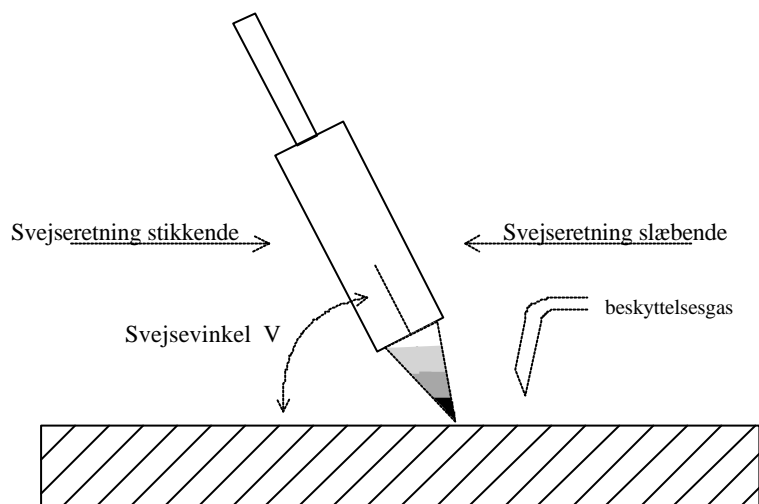


Figur 3.1, Forsøgsopstilling.

Hvor intet andet er nævnt blev følgende parametre holdt konstante under alle forsøg:

Laser-mode: Kontinuerlig stråle (CW).
Beskyttelsesgas: Helium (20 l/min).
Baggas: Argon (10 l/min).

Svejseretning og vinkel defineres i forsøgene ud fra følgende skitse:



4 Svejseforsøg

Der blev udført følgende forsøgsrække:

Dimension	AA5083	AA6082
2 mm	Autogen	Autogen
5 mm	Autogen & med trådtilførsel	Autogen & med trådtilførsel
8 mm	Autogen	-----

Svejsningerne bedømmes visuelt ud fra nævnte krav.

- fuld gennemsvejsning.
- ingen revner.
- ingen umiddelbare geometriske svejsefejl.

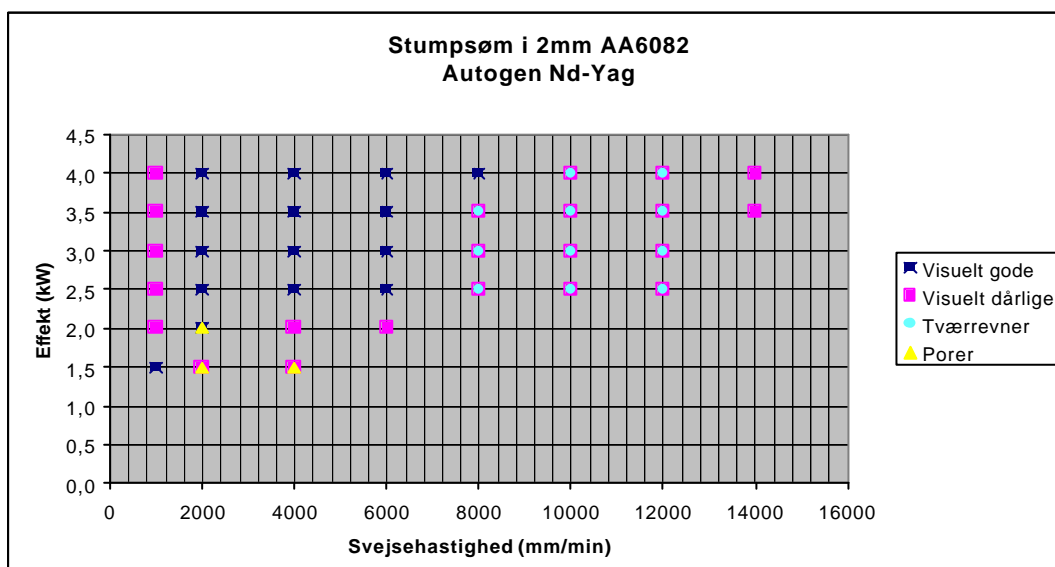
Denne vurdering giver et område hvor svejsning tilsyneladende er muligt. Svejsningerne i dette område udtages til røntgenundersøgelse for porer, med henblik på yderligere indsnævring. Er det svejsbare område stort udvælges der svejsninger i tolerance-boksens periferi-områder til makroundersøgelse, ved mindre svejsbare områder udvælges alle prøver.

Makroundersøgelsen foretages med henblik på yderligere vurdering af kvaliteten og svejsegeometrien, som sammenholdt med røntgenundersøgelsen vurderes ud fra kravene i **EN ISO 13919-2** "Welding, Electron and laser beam welded joints, Guidance on quality levels for imperfections. Part 2: Aluminium and its weldable alloys" standarden omhandler retningslinier til bedømmelse af elektronstråle- og lasersvejsninger i aluminium og dens legeringer.

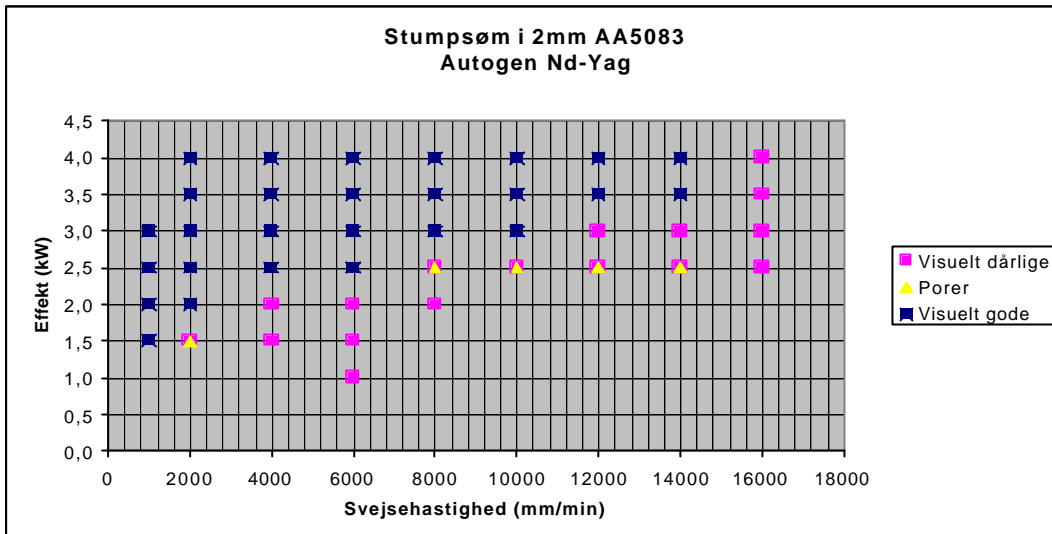
4.1 Svejsning af 2mm AA6082 og AA5083.

Ved indledende forsøg fastsættes fokusafstanden til – 1,0mm, dvs. fokuspunktet ligger i centrum af pladens tykkelse.

Der svejses under en vinkel på 80 grader (stikkende) med en fokuslinse der har en brændvidde på 100mm. Lasereffekten og svejsehastighed varieres. Figur 4.1 og 4.2 viser vurderingen af de udførte svejsninger, hvor de blå punkter repræsenterer de visuelt gode svejsninger og de røde punkter repræsenterer de visuelt dårlige svejsninger, desuden er områderne for poredannelse (gul trekant) og revnedannelse (blå cirkel) markeret.



Figur 4.1 Vurdering af svejsninger i 2mm AA6082.



Figur 4.2 Vurdering af svejsninger i 2mm AA5083.

Nedenstående tabel viser hvilke prøver i det visuelt godkendte område der er udtaget til makroundersøgelse.

AA5083	AA6082
4 kW, 14000 mm/min	4 kW, 8000 mm/min
3 kW, 6000 mm/min	3 kW, 4000 mm/min
4 kW, 2000 mm/min	4 kW, 2000 mm/min
1,5 kW, 1000 mm/min	2 kW, 2000 mm/min

Tabel 4.1 Prøver udtaget til makroundersøgelse.

Figur 4.3 og 4.4 viser et eksempel på makroslib for henholdsvis 2mm AA6082 og AA5083 øvrige slib kan ses på bilag nr.1.

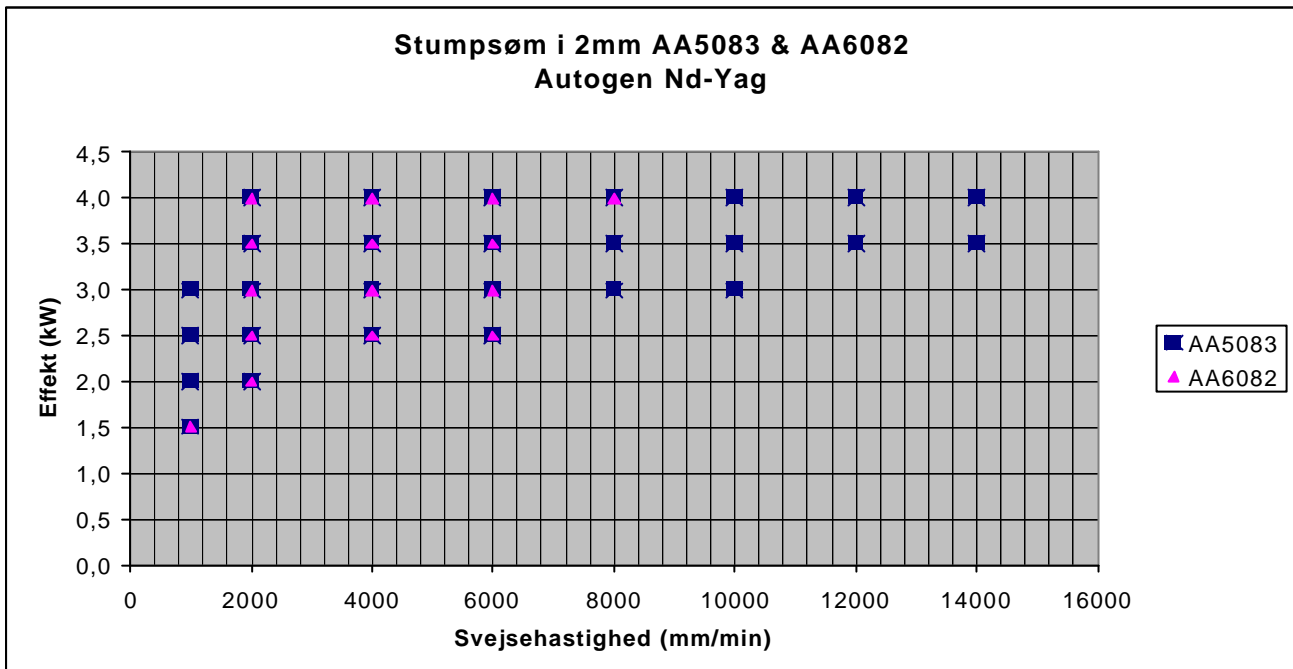


Figur 4.3
2mm AA6082 (4 kW 8000 mm/min)



Figur 4.4
2mm AA5083 (4 kW 14000 mm/min)

Tager man de visuelt godkendte svejsninger uden revner og porer for de 2 legeringer AA5083 og AA6082, som blev vist i figur 4.1 og 4.2 og sammenholder disse, opnås en sammenligning af det svejsbare område for de 2 legeringer. Disse parametersæt hvor svejsning er mulig vises i nedenstående figur nr. 4.5

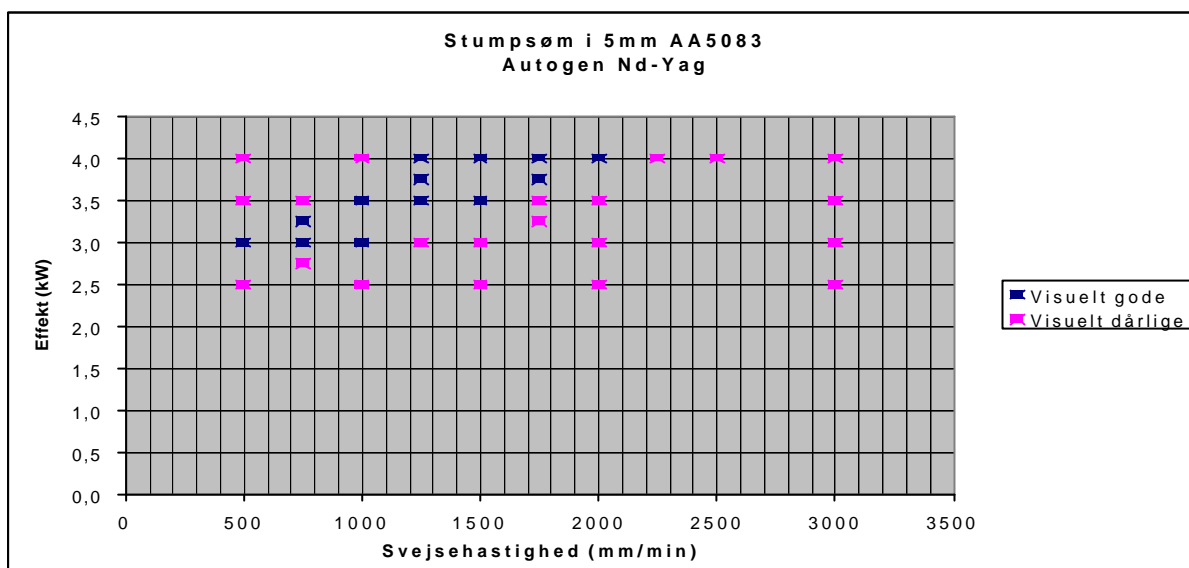


Figur 4.5 Svejsbart område 2mm AA5083 kontra AA6082.

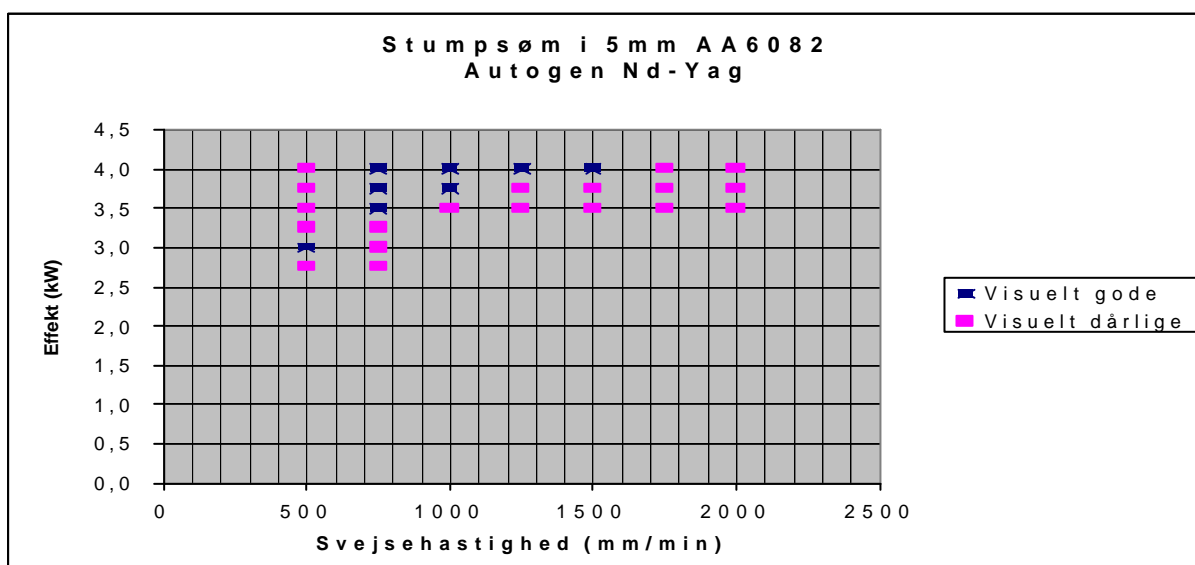
Figur 4.5 viser at det svejsbare område overlapper og er større for legeringen AA5083 end for AA6082, desuden bemærkes det at AA5083 kan svejdes med markant højere hastigheder og dermed mindre heatinput, hvilket er en fordel fordi en mindre varmetilførsel vil give mindre deformationer og spændinger i svejsningen.

4.2 Svejning af 5mm AA5083 og AA6082.

Der anvendes en fokuslinse med en brændvidde på 200mm, fokusafstanden på – 1,0mm bibeholdes og der svejses under en vinkel på 80 grader (stikkende). Svejsningerne bedømmes visuelt og resultatet vises på figur 4.6 og 4.7, hvor de blå punkter er visuelt godkendte svejsninger og de røde punkter er visuelt dårlige svejsninger.



Figur 4.6 Visuel vurdering af svejsninger i 5mm AA5083.



Figur 4.7 Visuel vurdering af svejsninger i 5mm AA6082.

Der udføres røntgenkontrol på de svejsninger der er dømt ”visuelt gode” og antallet af porer vurderes. Svejsprøver hvor pore-indholdet kan godkendes efter EN ISO 13919-2 udtages til makroslib og yderligere vurdering. Svejsningerne bedømmes på:

- Antallet af porer og deres størrelse.
 - Svejsningens geometri, herunder gennemsvajsningen, det skal i den forbindelse bemærkes at standarden i visse tilfælde tillader ufuldstændig gennemsvajsning, dette er dog ved praktisk svejsning meget svært at kontrollere, derfor er det i denne undersøgelse besluttet at kræve fuldstændig gennemsvajsning. Desuden
- vurderes svejsningerne med hensyn til overvulst, undervulst, sidekærv og kantforsætning.

EN ISO 13919-2 opererer med 3 kvalitets-niveauer:

Kvalitet: B (stringent)
 Kvalitet: C (intermediate)
 Kvalitet: D (moderate)

Resultaterne af disse undersøgelser for henholdsvis AA5083 og AA6082 kan ses på figur 4.10 og 4.11. Nedenstående tabel 4.2 giver en oversigt over de parametersæt der er vurderet visuelt gode og derfor udtaget til makroundersøgelse.

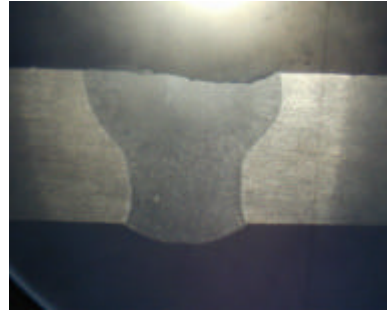
AA5083	AA6082
3,5 kW, 1000 mm/min	4,0 kW, 1000 mm/min
4,0 kW, 1000 mm/min	3,5 kW, 750 mm/min
3,0 kW, 500 mm/min	3,75 kW, 750 mm/min
4,0 kW, 1500 mm/min	4,0 kW, 750 mm/min
3,25 kW, 750 mm/min	4,0 kW, 1250 mm/min
3,75 kW, 1250 mm/min	3,0 kW, 500 mm/min
4,0 kW, 1250 mm/min	-----

Tabel 4.2 Prøver udtaget til makroundersøgelse.

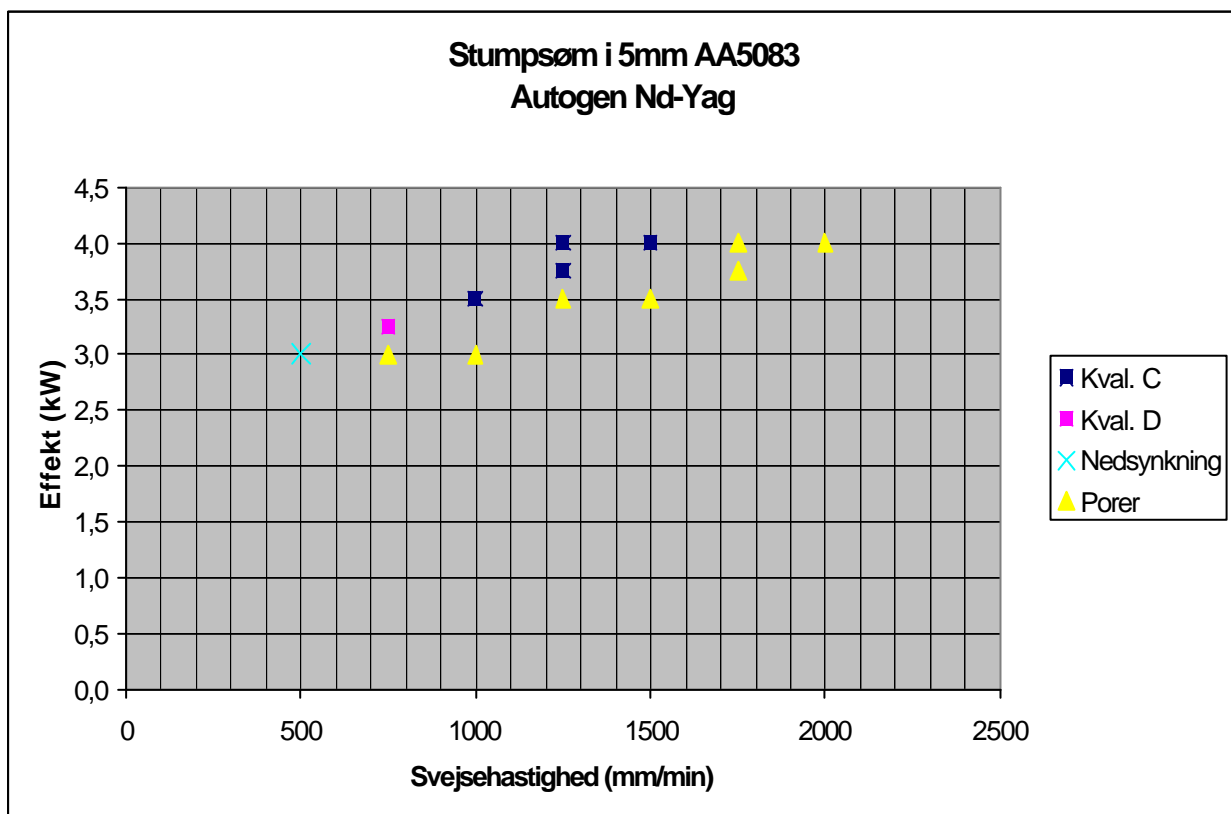
Figur 4.8 og 4.9 viser et eksempel på makroslib for henholdsvis 5mm AA5083 og AA6082, de øvrige slib kan alle ses på bilag nr. 2.



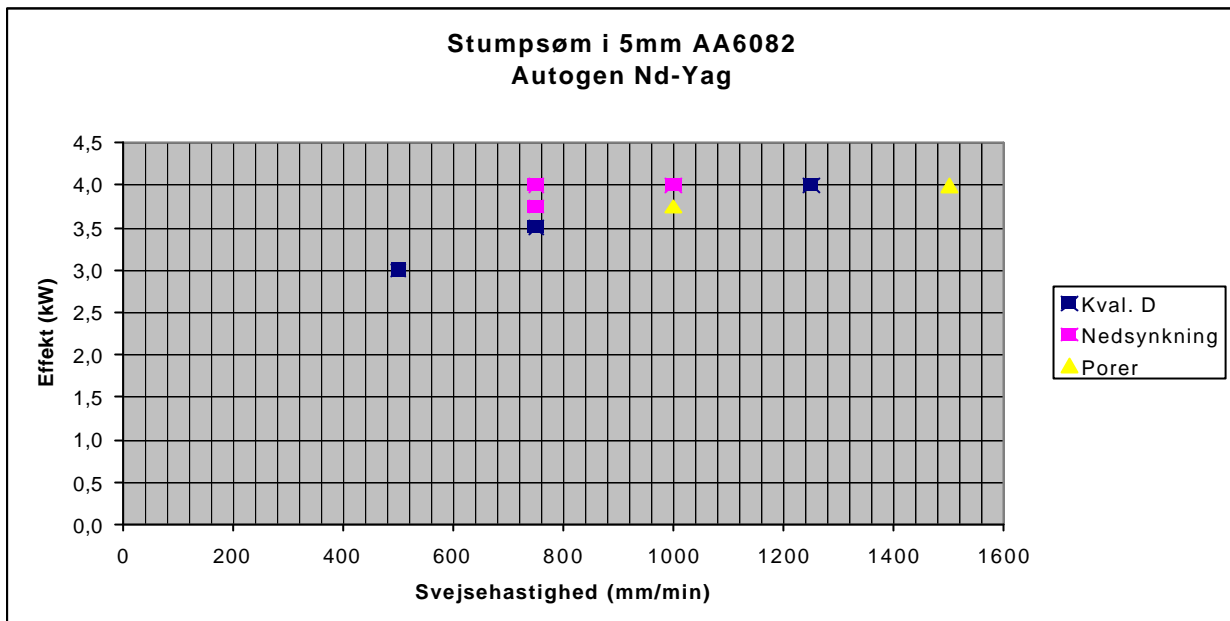
Figur 4.8
5mm AA5083 (3,75 kW 1250 mm/min)



Figur 4.9
5mm AA6082 (3,0 kW 500 mm/min)

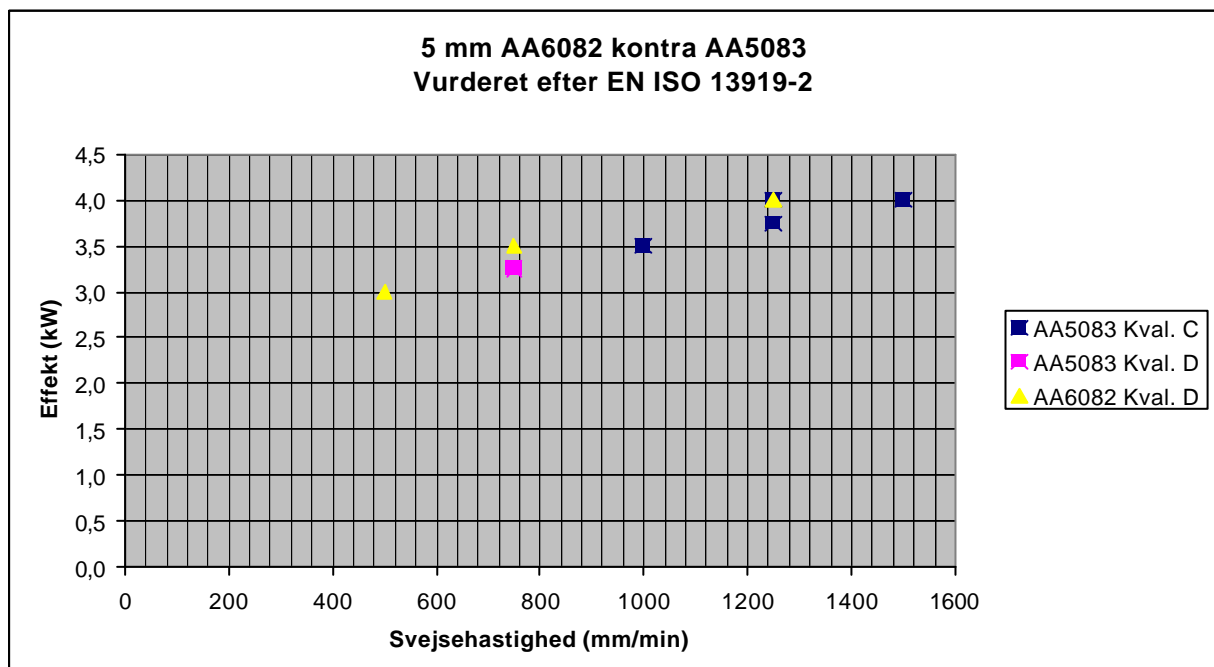


Figur 4.10 Vurdering efter EN ISO 13919-2.



Figur 4.11 Vurdering efter EN ISO 13919-2.

Sammenholder man resultaterne fra figur 4.10 og 4.11 for henholdsvis 5mm AA5083 og AA6082 fremkommer nedenstående billede, der viser svejsningernes kvalitet vurderet efter EN ISO 13919-2.



Figur 4.12 Svejsbart område i 5mm AA5083 kontra AA6082.

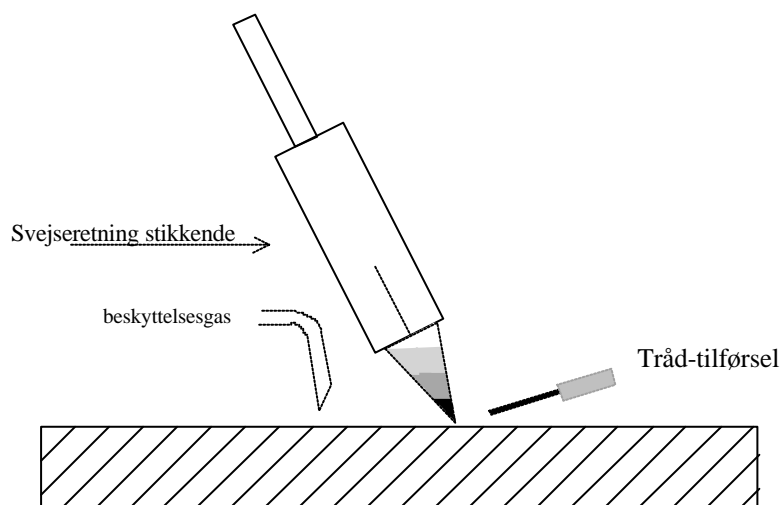
Figur 4.12 viser at det ved den samme dimension, kræver markant højere varmetilførsel at svejse AA6082 sammenlignet med AA5083, der kan være forskellige grunde til dette:

- Forskellen i varmeledningsevnen som er 130 W/mK for AA5083 og 180 W/mK for AA6082.
- Forskellen i reflektionsforholdet pga. af legeringselementer, AA6082 har en højere reflektionskonstant end AA5083.

Forsøgene viser også at det er vanskeligt at opnå en balance med fuld gennembrændning uden der fremkommer nedsynkning af smeltebadet. Nedsynkningen fremkommer fordi aluminiums-smelten er meget letflydende og har en lav overfladespænding. Det formodedes at denne problemstilling ville kunne løses i næste forsøgsrække ved svejsning med tilsatsmateriale.

4.3 Svejsning af 5mm AA5083 og AA6082 med tilsats.

Ved svejsning med tilsatsmateriale tilføres tråden forfra mod smeltebadet, under en vinkel på 15 grader.



Der laves indledende forsøg for at fastlægge udgangspunktet for forsøgene.

Trådboksen er begrænset af en maksimal trådhastighed på 5000 mm/min. Ved brug af 0,8mm tilsatstråd viser det sig hurtigt at det ikke er muligt at opnå en tilfredsstillende overvulst på svejsningen, dette skyldes sandsynligvis at der ikke kan tilføres den nødvendige mængde tilsatsmateriale.

Alle yderligere forsøg udføres med 1,2mm AlSi5 tilsatstråd. Der udføres forsøg med trådhastigheden sat til 1, 2 og 4 gange svejsehastigheden, igen begrænses svejsehastigheden af trådboksens

maksimal hastighed, derfor fastlægges en forsøgsrække med nedenstående parametre, dette giver en fornuftig screening af området. Bemærk alle parameter-kombinationer udføres dvs. i alt 27 svejsforsøg for hver legering.

AA5083.

Effekt: 3,5 – 3,75 – 4,0 kW
Svejseshastighed: 1000 – 1500 – 2000 mm/min
Trådshastighed: 3000 – 4000 – 5000 mm/min

AA6082.

Effekt: 3,5 – 3,75 – 4,0 kW
Svejseshastighed: 750 – 1000 – 1500 mm/min
Trådshastighed: 3000 – 4000 – 5000 mm/min

Det var i praksis ikke muligt at opnå en bedre svejsning med tilsatstråd end ved autogen svejsning. Der ses en tendens til at tråden trykker igennem smeltebadet og giver svejsningen en ustabil og uacceptabel rodside med store lokale nedsynkninger. Det var ikke muligt ved disse forsøg, at finde et område mellem delvis gennembrændning og nedsynkning, nedenstående billeder illustrerer problemet.

Bemærk at for hvert sæt billeder holdes 2 parametre konstante og den sidste varieres med 1 step, i henhold til forsøgsrækken.

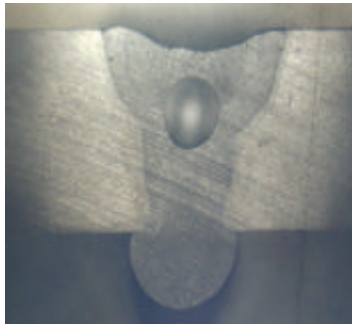


3,5 kW, 1500 mm/min
trådshastighed 3000 mm/min



3,75 kW, 1500 mm/min
trådshastighed 3000 mm/min

Figur 4.14 Makroslib af 5 mm AA5083 med 250 W forskel i effekt.

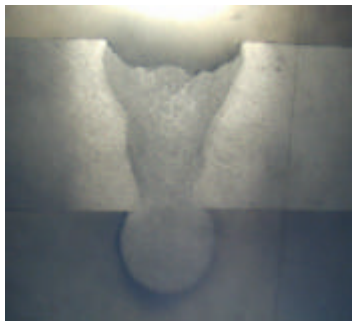


3,5 kW, 1000 mm/min
trådshastighed 3000 mm/min



3,5 kW, 1000 mm/min
trådshastighed 4000 mm/min

Figur 4.15 Makroslib af 5 mm AA5083 med 1000 mm/min forskel i trådshastighed.



3,75 kW, 1500 mm/min
trådshastighed 3000 mm/min



3,75 kW, 2000 mm/min
trådshastighed 3000 mm/min

Figur 4.16 Makroslib af 5 mm AA5083 med 500 mm/min forskel i svejsehastighed.

Som de foregående billeder viser er det meget problematisk at finde et område mellem uacceptabel nedsynkning og manglende gennemsvæjsning. Den valgte forsøgsrække resulterer dog kun i en screening af parameterne, derfor kan det ikke afvises at der findes et område hvor svejsningen vil forløbe tilfredsstillende, men det kan med sikkerhed siges at dette område vil være snævert og at selve processen har små tolerancer.

4.4 Svejsning af 8mm AA5083.

Der laves indledende forsøg efter følgende forsøgsmatrix, svejsningen udføres under en vinkel på 80 grader stikkende.

AA5083

Effekt	Svejschastighed (mm/min)				
	200	400	600	800	1000
3,0 kW	200	400	600	800	1000
3,5 kW	200	400	600	800	1000
4,0 kW	200	400	600	800	1000

De indledende forsøg resulterer alle i manglende gennembrændning. Forsøgsvis ændres svejsevinklen til 80 grader slæbende, hvilket giver svejsninger med delvis gennembrændning.

Dette indikerer at svejsevinklen har stor betydning for resultatet. Vinklen ændres nu til 90 grader dvs. svejsningen udføres lodret ned på emnet. Dette er dog en teknik der må anvendes med varsomhed, idet en manglende indkobling (key-hole dannelse) vil resultere i en tilbagereflektion af lyset op mod optikken og fiberenden.

Svejsning under 90 grader giver et forsøgsemne med fuld gennembrændning ved 4,0 kW og 400 mm/min, forsøgene viser samtidigt at det ikke er muligt at reducere hastigheden yderligere, ved en svejschastighed på 200 mm/min får man en ustabil svejsning og det ses tydeligt at varmeudbredelsen gennem emnet begynder at spille en rolle for resultatet.

Det var ikke muligt reproducere disse svejsninger med det samme resultat, hvilket viser at man befinder sig i et absolut grænseområde, med hensyn til udstyrets ydeevne og fuld gennemsvæjsning i 8 mm materiale.

Forsøgene viste desuden at gasdysens placering og dennes diameter er af vital betydning for processen, selv små ændringer af dette har stor indflydelse på resultatet, andre forsøg har vist at en mindre gasdyse kan give fuld gennembrændning ved højere hastigheder.

Figur 4.15 viser et eksempel på de udførte forsøg.



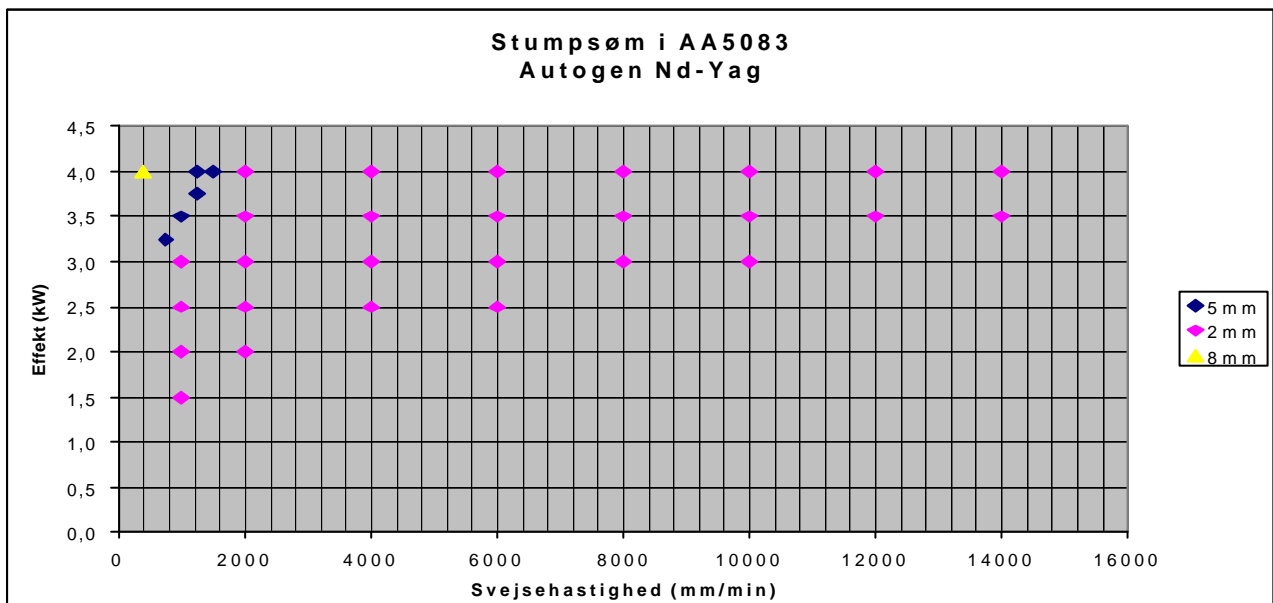
Figur 4.15 svejsning af 8mm AA5083 (4,0 kW, 400 mm/min)

5 Resultater og diskussion.

Dette afsnit vil give en kort gennemgang af de opnåede resultater og en diskussion af de observationer som er gjort under svejseforsøgene og evalueringen af disse.

5.1 AA5083.

Aluminiumslegeringen AA5083 blev svejst autogent i dimensionerne 2, 5 og 8mm. 5mm blev desuden svejst med tilsatsmateriale. Sammenfatter man de autogene svejsninger, kan der grafisk opstilles en toleranceboks som vist på nedenstående figur 5.1



Figur 5.1 Svejsbare områder for AA5083 i forskellige dimensioner.

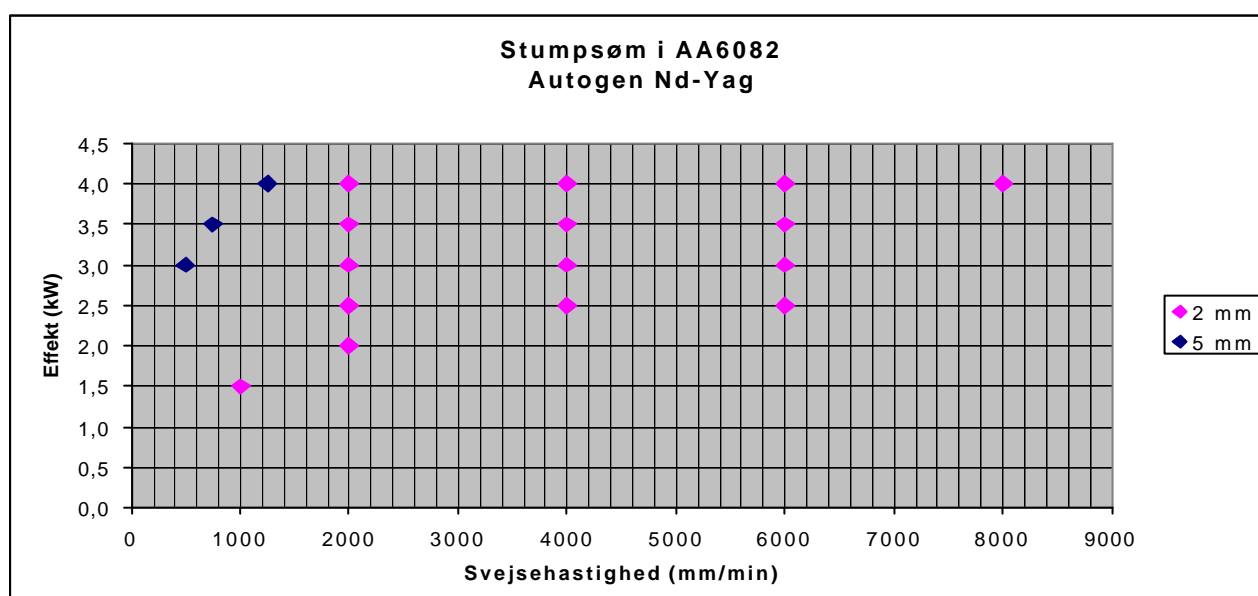
Figuren giver en klart billede af den kraftige indsnævring af det svejsbare områder der finder sted ved svejsning i større dimensioner. Bemærk bla.

- 2 mm svejsbart op til 14000 mm/min.
- 5 mm svejsbart op til 1500 mm/min.
- 8 mm svejsbart ved 400 mm/min (dog ikke stabilt).

Svejsning med tilsatsmateriale blev udført i dimensionen 5 mm, det var dog ikke muligt at opnå et bedre resultat end ved autogen svejsning.

5.2 AA6082.

Legeringen AA6082 blev svejst autogent i dimensionerne 2 og 5mm, det blev vurderet unødvendigt at forsøge svejsning i 8mm eftersom denne legering kræver højere varmetilførsel end AA5083, hvor det var meget svært at opnå fuld gennemsvajsning. Der blev også udført svejseprøver i 5 mm AA6082 med tilsatsmateriale, men resultatet blev ikke tilfredsstillende sammenlignet med de autogene svejsninger. Nedenstående figur 5.2 viser en grafisk opstilling af de autogene svejsninger i 2 og 5mm materiale.



Figur 5.2 Svejsbare områder for AA6082 i 2 og 5mm materiale.

Også i denne legering sker der en radikal indsnævring af det svejsbare område ved større dimensioner.

- 2 mm svejsbart op til 8000 mm/min.
- 5 mm svejsbart op til 1250 mm/min.

Hvis man sammenligner det svejsbare område for de 2 nævnte legeringer i samme dimension, ser man at AA5083 kan svejses i et større område end AA6082, desuden kræver AA5083 et mindre heat-input end AA6082.

5.3 Svejsfejl.

Under evalueringen af svejsningerne observeres diverse svejsfejl som ofte fremkommer ved svejsning af aluminium, dette afsnit giver en kort gennemgang af disse og deres baggrund.

Poredannelse.

Poredannelse er almindeligt forekommende ved svejsning i aluminium. Røntgenundersøgelser af de udførte svejsninger viste et stort poreindhold flere steder både i og uden for det svejsbare område, dette kan skyldes flere forskellige mekanismer der kan udløse porer i svejsningen.

- Pga. en høj energiintensitet kan legeringselementer med et højt damptryk eksempelvis Mg forgasse og blive fanget i svejsningen under størkning.
- Gasindeslutninger kan også stamme fra beskyttelsesgas der tilføres ned i svejsningen, eller presses ned i smelten af en ustabil plasmadannelse.
- Aluminium kan i flydende tilstand opløse ca. 20 gange mere brint end i størknet tilstand, derfor kan porerne være gasindeslutninger af brint der ikke kan nå at slippe ud af smelten under størkningen, brinten stammer hovedsageligt aluminiums oxidlag.

De udførte svejsninger viste tendens til at indeholde mange store eller slet ingen porer, der var meget få grænsetilfælde med enkelte porer. Generelt set var der en tendens til et større poreindhold i legeringen AA5083 end i AA6082, dette kan evt. henføres til det højere magnesium indhold i denne legering.

Der blev observeret et stort indhold af porer i svejsningerne udført med tilsatsmateriale. Denne betragtning gøres dog på et noget usikkert grundlag, da det ikke lykkedes at opnå et tilfredsstillende resultat, blev disse forsøg ikke blev fuldt evalueret.

Revnedannelse.

Der blev kun observeret få revner, det var i legeringen AA6082 og kun ved svejsning af 2 mm materialet. De fundne revner var tværrevner der fremkom ved meget høje svejseshastigheder og i et område hvor svejsningerne alligevel var dømt visuelt dårlige. Det antages at alle fundne revner var varmerevner (størkningsrevner).

Revnerne lå på tværs og støder op til den varmpåvirkede zone, de fremkommer pga. de spændinger der fremkommer under afkøling af smelten, hvor der sker en tværkrympning.

Uacceptabel svejsegeometri.

Den største fejkilde ved de udførte forsøg var uden tvivl selve svejsningens geometri. Pga. aluminiums lave overfladespænding og smeltens gode flydeevne har svejsningen svært ved at "holde" på smelten, det betyder i praksis at man meget nemt får en alvorlig nedsynkning af smelten. Selv ganske små parameter-ændringer kan have stor indflydelse på nedsynkningen. Den anvendte standard tillader dog en vis nedsynkning og undervulst, men i praksis er det umuligt at opnå den nødvendige stabilitet, som kræves for at styre processen i det snævre område mellem fuld gennemsvajsning og uacceptabel nedsynkning. Sammenholder man de to legeringer ses den største tendens til nedsynkning ved svejsning af AA6082.

6 Konklusion.

Der er udført praktiske svejseforsøg, autogent og med tilsatsmateriale, i 2 forskellige aluminiumslegeringer:

AA6082 (AlSiMgMn) leveringstilstand T6 og dimensionen 2mm, 5mm.

AA5083 (AlMg4,5MnO,7) leveringstilstand H116 og dimensionerne 2mm, 5mm og 8mm.

Tilsatsmateriale: AlSi5 0,8mm og 1,2mm.

Alle svejsninger er udført som stumpsømme med fuld gennemsvajsning. Indledningsvis er forsøgene evalueret visuelt, derefter røntgenundersøgt for porer og revner, svejsningerne i 5 mm materialet er desuden bedømt efter EN ISO 13919-2. Det var ikke muligt at opnå bedre kvalitet end niveau C (intermediate).

Undersøgelsen har påvist følgende svejsbare område for de 2 valgte legeringer:

AA5083:

- 2 mm svejsbart op til 14000 mm/min.
- 5 mm svejsbart op til 1500 mm/min.
- 8 mm svejsbart ved 400 mm/min (dog ikke stabilt).

AA6082:

- 2 mm svejsbart op til 8000 mm/min.
- 5 mm svejsbart op til 1250 mm/min.

Der observeres en forskel i svejsbarhed mellem de 2 legeringer, idet AA5083 er mindre kritisk over for parameter-ændringer og dermed kan svejses i et større område end AA6082.

Desuden ses det at der forekommer en kraftig indsnævring af det svejsbare område ved stigende materialetykkelse.

I 5 mm materialet blev der forsøgt svejsning med tilsatstråd. Ved en screening af et udvalgt område lykkedes det ikke at opnå bedre resultater end ved autogen svejsning. Det kan dog ikke afvises at dette vil være muligt, ved en mere tilbundsående undersøgelse.

Der fremkom en del porer i visse parameterområder, desuden blev der set enkelte tilfælde af tværrevner i AA6082 (2 mm), den hyppigst fremkommende svejsefejl var uacceptabel nedsvækning af svejsningen og tendensen var størst hos legeringen AA6082.

7 Litteraturliste.

- [1] Jensen T. A.
”Nd-YAG Lasersvejsning af aluminiumslegeringer”
Force Rapport 97.24, 1997

- [2] Nielsen S. E.
”Højeffekt lasersvejsning af aluminiumlegeringer, en orienterende undersøgelse”
Force Rapport 97.23, 1997

- [3] tekn. dr. Istvan Sàrady
”Svetsning av aluminium med Nd:YAG laser”
Svetsen Årg 55 nr. 5, 1996

- [4] J A Ga - ORZA
”Welding of aluminium alloys with high-power Nd:YAG lasers”
Welding International 1999 13 (4) 282-284

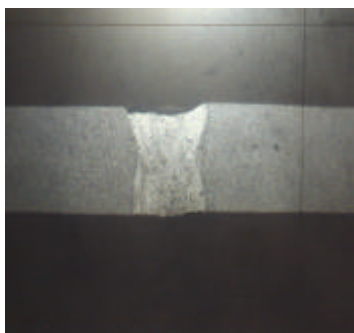
Bilag 1: Makroslib af 2 mm AA5083 og AA6082.



AA5083 (4 kW 14000 mm/min)



AA5083 (3 kW 6000 mm/min)



AA5083 (4 kW 2000 mm/min)



AA5083 1,5 kW 1000 mm/min)



AA6082 (4 kW 8000 mm/min)



AA6082 (3 kW 4000 mm/min)



AA6082 (4 kW 2000 mm/min)



AA6082 (2 kW 2000 mm/min)

Bilag 2: Makroslib af 5 mm AA5083 og AA6082.



AA5083 (3,5 kW 1000 mm/min)



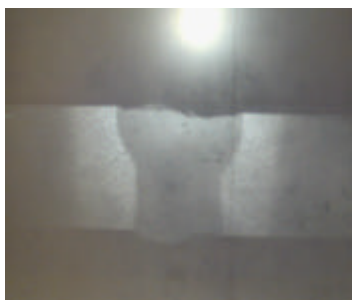
AA5083 (4,0 kW 1500 mm/min)



AA5083 (3,25 kW 750 mm/min)



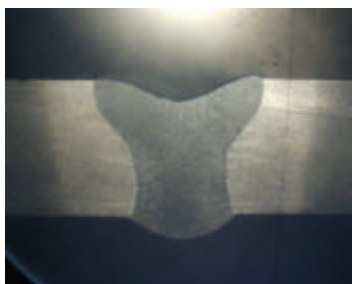
AA5083 (3,75 kW 1250 mm/min)



AA5083 (4,0 kW 1250 mm/min)



AA6082 (4,0 kW 1000 mm/min)



AA6082 (3,5 kW 750 mm/min)



AA6082 (3,75 kW 750 mm/min)



AA6082 (4,0 kW 750 mm/min)



AA6082 (4,0 kW 1250 mm/min)



AA6082 (3,0 kW 500 mm/min)