

Dokument: SASAK-RAP-KV-AKS-MIG-0007-00

Kvalitetskriterier for svejsning

SASAK
Projekt 6 - Kvalitetskriterier

Bent Jensen, Migatronic
Hans Knudsen, FORCE Institutet

Maj 2001

SVEJSNING

- 1) Kvalitetsstyring og kontrol
 - 1.1) Kvalitetsstyring generelt
 - 1.2) Svejskvalitet iflg. EN 30042
 - 1.3) Acceptkriterier / reparation
 - 1.4) Kontrolmetoder
 - 1.5) Produktionsmæssige konsekvenser
 - 1.6) Konsekvenser for reparation / udbedring
 - 1.7) Dokumenterede gode råd om design
- 2) Krav til produktionsfaciliteter
 - 2.1) Udstyr
 - 2.2) Fugeforberedelse
 - 2.3) Forvarmning
 - 2.4) Hæftning
 - 2.5) Adkomstforhold, arbejdsforhold
- 3) Normer og standarder
- 4) Økonomiske konsekvenser
- 5) Uddannelse

Henvisninger

SVEJSNING

1) Kvalitetsstyring og kontrol

1.1) Kvalitetsstyring generelt

De generelle standarder for kvalitetsstyringssystemer :

- ISO 9001 Krav ved udvikling, konstruktion, produktion, installation og service
- ISO 9002 Krav ved produktion, installation og service.

kan anvendes af virksomheder, der udvikler, konstruerer og fremstiller aluminiumskonstruktioner. Der findes desuden ISO 9003, der kun omhandler slutinspektion og –prøvning, men denne standard må anses for at være utilstrækkelig, når svejsning er en væsentlig proces, der kræver inspektion under udførelsen. Den kommende revision af standarden ISO 9001:2000 vil uden problemer kunne erstatte ISO 9001 og ISO 9002.

Som nævnt er disse overordnede kvalitetsstandarder generelle, og når de anvendes, er det nødvendigt for virksomhederne, der fremstiller svejste aluminiumskonstruktioner, at overføre alle de specielle forhold der vedrører svejsning til procedure og instruktioner. Bruges de europæiske standarder for kvalitetskrav til svejsning er dette arbejde allerede gjort.

- EN 729-1 Kvalitetskrav for svejsning, del 1: Retningslinier for udvælgelse og brug.
- EN 729-2 Kvalitetskrav for svejsning, del 2 : Fuldstændige kvalitetskrav.
- EN 729-3 Kvalitetskrav for svejsning, del 3 : Standard kvalitetskrav.
- EN 729-4 Kvalitetskrav for svejsning, del 4 : Elementære kvalitetskrav.

EN 729-standarderne kan bruges direkte, men omfatter så kun kvalitetskrav for svejseværkstedet. Hvis man ønsker, at beskrivelsen af kvalitetsstyringssystemet skal omfatte alle virksomhedens aktiviteter, kan man kombinere EN 729 med enten ISO 9001 eller ISO 9002.

Anvendes disse rammer ved udarbejdelsen af kvalitetshåndbogen er meget af arbejdet gjort på forhånd, og den største opgave for virksomheden består i at overføre sin know-how om svejsning af aluminiumskonstruktioner til procedurer og instruktioner.

Ved udarbejdelsen af procedurer og instruktioner er det vigtigt, at man kun udarbejder nødvendige antal procedurer og instruktioner. Ofte ses, at der går inflation i mængden af procedurer og instruktioner og som hovedregel kan man sige, at hvis manglen på en bestemt procedure/instruktion har negativ indflydelse på produktets kvalitet, så skal der være en procedure/instruktion. For en virksomhed, der fremstiller svejste aluminiumskonstruktioner bør der være procedurer/instruktioner for flg. områder :

- Kontrakt- og konstruktionsgennemgang
- Underleverandører ad svejsearbejde, inspektion(NDT) og varmebehandling
- Svejsere og svejsekoordinatorer
- Personale til inspektion(NDT).
- Vedligehold af svejseudstyr.
- Liste over svejseudstyr.
- Produktionsstyring af svejseprocessen.
- Svejsespecifikationer(WPS'er) og svejseprocedurer(WPAR'er)
- Tilsatsmaterialer til svejsning.
- Opbevaring af grundmaterialer.
- Varmebehandling efter svejsning.
- Inspektion før, under og efter svejsning.(inklusive acceptkriterier)
- Afvigelser og korrigerende handlinger.
- Kalibrering.
- Identifikation og sporbarhed.
- Kvalitetsdokumentation.

NDT : Non Destructive Test

WPS : Welding Procedure Specification

WPAR : Welding Procedure Approval Record

Denne række emner svarer stort set til indholdet af EN 729-2, og ved udarbejdelsen af procedurer og instruktioner kan der udover denne standard, søges yderligere oplysninger i EN 1011-4 :

”Retningslinier for svejsning af metalliske materialer Del 4 Lysbuesvejsning af aluminium og aluminiumlegeringer”.

Hvis en virksomhed også foretager udvikling og konstruktion bør der som minimum være procedurer/instruktioner for udførelse og check af beregninger.

1.2) Svejskvalitet iflg. EN 30042 Vejledning om kvalitetsniveauer for svejsefejl

Den europæiske standard DS/EN 30042 og må betragtes som det væsentligste dokument for svejsekvalitet for de 3 mest benyttede svejseprocesser til aluminium :

- 131* MIG-svejsning
- 141* TIG-svejsning
- 15* Plasmasvejsning

*) Procesnumre iflg. DS/ISO 4063 Svejsning, hårdlodning, lodning og svejselodning af metaller
Nomenklatur for processer og referencenumre for angivelse på tegninger.

DS/EN 30042 klassificerer 3 kvalitetsniveauer for svejsefejl :

- B : Skærpet
- C : Mellemliggende
- D : Moderat

Kvalitetsniveauet vil normalt være specificeret i overordnede normer og standarder. Som en tommelfingerregel kan niveau C betragtes som svarende til det gamle og lidt upræcise begreb ”god håndværksmæssig kvalitet”. EN 30042 er den oftest anvendte standard for kvalitetsniveauer, og der refereres generelt til denne fra andre europæiske standarder. Dog indeholder Eurocode 9 Part 2 om udmattelsespåvirkede konstruktioner i tillæg til EN 30042, niveau B, en tabel med strengere krav. Der anvendes også ikke-europæiske standarder og forskellige specifikationer fra industri, militær, og klassifikationsselskaber.

DNV's generelle krav i High Speed and Light Craft er for aluminium noget mere lempelige end EN 30042.

Som et eksempel på teoretiske og praktiske acceptkriterier afhængig af belastningsniveau kan der henvises til DS 419 for aluminiumskonstruktioner. I den nye forslag til standard fra 1999 defineres 3 sømklasser i tabel V 6.5.2 afhængig af styrkereduktionsfaktor, og går man ind i tabel V 8.3.2 ses indirekte, at højere styrkereduktionsfaktor medfører mere inspektion. Med andre ord, jo mere man udnytter materialet, desto større omkostninger er der til inspektion og til forventede reparationer. Til gengæld kan belønningen så være færre materialeomkostninger, hvis det går godt.

Sammenligner man EN 30042 med den tilsvarende standard for stål, EN 25817, er der ikke den store forskel. Generelt tillades lidt større fejl i standarden for aluminium, men det har været diskuteret i forskellige kredse, om ikke acceptstandarden for aluminium er for streng i forhold til det nødvendige niveau, og hvad der er praktisk opnåeligt ved svejsning af aluminium.

En fejltype som kraterrevner er ofte forekommende ved svejsning af aluminium, og det er undersøgt i SASAK-projektet, om kravet til kraterrevner er for strengt.[3] EN 30042 tillader ikke kraterrevner for kvalitetsniveau C.

Det viste sig ved forsøgene, at kraterrevner ikke har så stor indflydelse på årsagen til kollaps af en svejsesamling. Kraterrevner vil normalt befinde sig midt i svejsesømmen, og er ikke så farlige som fejl, der befinder sig i overgangen mellem grundmateriale og svejsning.

Disse undersøgelser om reduktion af acceptkriterier er ganske fornuftige set ud fra et praktisk synspunkt, men når der refereres til gældende standarder som EN 30042, kan lempelser principielt ikke accepteres. Det må også forventes, at der vil gå lang tid, inden resultaterne fra undersøgelserne i SASAK-projektet eventuelt skulle blive optaget i en ny revision af EN 30042.

Derfor behøver man ikke automatisk at gå efter kravene i EN 30042. Ved et ethvert projektarbejde kan man prøve at aftale et reduceret acceptniveau med bygherre og eventuelle myndigheder, og henvise til de relevante rapporter fra SASAK-projektet.

Fejltyperne i EN 30042 kan også ses i sammenhæng med de påvirkninger en aluminiumskonstruktion er udsat for og de ønskede overfladeegenskaber. Det har ført til udarbejdelsen[6] af et skema med vægtning af fejltypens indflydelse på egenskaberne. Skemaet er anbragt, som bilag 1 i denne rapport. Den enkelte fejltype kan vurderes i sammenhæng med kvalitetskriteriet eller omvendt, afhængig af om skemaet læses lodret eller vandret. Overordnet ses, at udmattelse er den mest kritiske påvirkning. Derefter følger krav til overflade-finish, og det er generelt også de ømme punkter for anvendelsen af aluminium til konstruktioner. Skemaet vil derfor også være relevant at anvende, hvis man som ovenfor nævnt vil reducere acceptniveauet.

Vedr. udmattelsepåvirkede konstruktioner, kan der være strengere krav til acceptniveauet, se afsnit 1.7 i denne rapport.

1.3) Acceptkriterier / reparation

1.3.1) Reparation generelt

Ved reparation er anvendes generelt den oprindelige WPS til opsvejsning og kvalitetskriterierne vil være de samme som de oprindelige krav. Dog skal flg. overvejes :

- Skal kunde eller myndighed underrettes ved reparationer?
- Hvor mange gange må der repareres ved slibning og genopsvejsning?
- Bør der foretages NDT-undersøgelse i forbindelse med reparationen, feks. PT af slebne/bearbejdede overflader inden svejsning?

Antallet af reparationer i forbindelse med svejsning giver ofte anledning til diskussioner. Som udgangspunkt kan henvises til Eurocode 9 ENV 1999-1-1, hvor det ikke er tilladt at reparere den samme fejl mere end 2 gange, hvorefter yderligere forsøg skal godkendes af den ansvarlige tekniker. Dette er også almindeligt accepteret princip for svejsninger i stål.

For netop at skabe grundlag for sådanne vurderinger, er der i SASAK-projektet undersøgt, hvilken indflydelse gentagne reparationer havde på udmattelsesstyrken i svejse sømmen og HAZ, og er omtalt i afsnit 1.6 i denne rapport.

Acceptkriterierne i EN 30042 beskriver 24 indre og ydre fejltypen i svejsninger, og for at undgå dem, er det vigtigt at kende sammenhængen mellem fejl og procesdata. Herunder er der udarbejdet en tabel, der for hver enkelt fejltypen angiver den eventuelle årsag til fejlen, og hvordan den forebygges. Tabellen er delvis baseret på en tilsvarende tabel i EN 1011-4, og de opnåede resultater i SASAK-projektet. Efter hver fejltypen er angivet nr. iflg. EN 30042 og et 3- eller 4-cifret referencenummer for fejltypen iflg. EN ISO 6520-1 Klassifikation af geometriske fejl i metalliske materialer – Del 1: Smelte-svejsning.

1-2) REVNER (100) VARMEREVNER / KRATERREVNER(104)[3]

Hovedårsag	Forholdsregler
Dårlig størkningsprofil af smeltebadet.	Vælg et mere tilsatsmateriale med bedre svejselighed. Afslut svejsestrengen på udløbsplade eller brug slope down funktion. Hvis man ikke råder over slope down funktion føres lysbuen tilbage i den størknende svejse søm, og efterføder denne.[4,5] Afslibning af afslutningskrater.[4]
Indre spændinger.	Anvend svejserækkefølge, der reducerer spændinger og deformationer.
Opsmeltning i HAZ-korngrænserne af svejsninger med lavt smeltepunkt.	Reduktion af varmetilførsel og interpass-temperatur. Brug 1-strengssvejsning. Reduktion af svejse spændinger. Vælg et passende tilsatsmateriale, f.eks. fra 4xxx serien.

3-7) PORER (lineær porøsitet 2014, poresamling 2013)

Hovedårsag	Forholdsregler
------------	----------------

Forurennet tilsatstråd, fugt på tilsatsmateriale.	Rensning af tilsatsmateriale. Opbevaring i rent lagerrum med temperatur over dugpunktet.
Forurennet søm område, fugt på fugeflader	Rensning og tørring af fugeflader. Evt. anvendes forvarme. Grundmateriale skal mindst have samme temperatur som omgivelserne.
For højt hydrogenindhold i grundmateriale, beskyttelsesgasser og/eller tilsatsmateriale.	Kontakt leverandør.
Gasser kan ikke nå at undslippe smeltebadet.	Varmetilførsel øges og eventuelt anvendes forvarme eller en anden sømform.
Uegnede svejsestillinger som side-ind, under-op og faldende.	Brug fortrinsvis hvor det er muligt oven-ned, stående kantsøm og stigende.
Uren beskyttelsesgas på grund af læk i slanger fra vandkølesystem eller til beskyttelsesgassen.	Lækage elimineres.
Uren beskyttelsesgas på grund af fugtindtrængning gennem slanger. Dårlig slangekvalitet.	Brug beskyttelsesgasser i overensstemmelse med EN 439 Beskyttelsesgasser for lysbuesvejsning. Anvend bedre slangekvalitet. Anvend kortest mulige slanger. Anvend flekslange forstærket med metalnet. Udskift defekte slanger.
Turbulens i gasflow på grund af for høj eller lav hastighed.	Optimer flowhastighed og undgå træk.
Lysbuespænding for stor.	Lysbuespænding optimeres.(reduceres)
Pistolhældning for lille.	Brug korrekt pistolhældning.

8) OXIDINDESLUTNINGER (303)

Hovedårsag	Forholdsregler
------------	----------------

Oxyddannelse i lysbuen eller smeltebadet ved indtrængning af ilt(oxygen) på grund af afbrudt eller utilstrækkelig gasflow.	Forhindres ligesom porer. Optimer gasflow og undgå træk.
Utilstrækkelig rensning af fugeoverflade og/eller allerede svejste strege.	Rensning af svejsestedet.
Iltoverskud ved forvarmning med gasbrænder.	Indstilling af gasbrænder forbedres.
Ukorrekt føring af TIG-tilsatstråd.	Tilsatstråd holdes inde i beskyttelsesgassen.

9-10) INDESLUTNINGER METALLISKE(304) WOLFRAM(3041) KOBBER(3042)

Hovedårsag	Forholdsregler
Wolframindeslutninger ved TIG- eller Plasma-svejsning på grund af for høj svejsestrøm på wolfram-elektroden eller wolframelektroden stikkes ned i smeltebadet.	Tilpas svejsestrømmen til den aktuelle type og diameter af wolframelektroden, og undlad kontakt mellem wolframelektrode og smeltebad.
Kobberindeslutninger ved MIG-svejsning kan opstå ved overhedning eller nedsmeltning af kontaktdyse.	Vælg svejsepistol og kontaktdyse, der passer til svejsestrømmen. Brug kortere lysbuelængde.
Kobberindeslutninger ved MIG-svejsning kan også stamme fra kobberbacking.	Udskift kobberbacking med rustfrit stål, keramik eller aluminium.

11-12) BINDINGSFEJL(401), MANGELFULD INDTRÆNGNING (402)

Hovedårsag	Forholdsregler
For ringe varmetilførsel ved MIG-svejsning.	Varmetilførslen øges. Større svejse-spænding og strømstyrke og mindre svejsehastighed.
Uhensigtsmæssigt valg af svejseparametre ved krav til konstant varmetilførsel.(f.eks. kantsøm)	Svejse-spænding og strømstyrke øges sammen med svejsehastigheden.[20,21]

14) SIDEKÆRV (5011)

Hovedårsag	Forholdsregler
------------	----------------

For stort luftgab ved MIG-svejsning af kantsømme.[12]	Reduktion af luftgab ved kantsømme.
For stor varmetilførsel.	Reduktion af varmetilførsel. Hvis der anvendes argon/helium blandinger, kan der evt. skiftes til ren argon.[12] Det bør sikres, at indtrængningen stadig er tilstrækkelig.

15) OVERVULST (502)

Hovedårsag	Forholdsregler
For lav svejse-spænding ved MIG-svejsning.	Øgning af svejse-spænding, eller skift fra argon som beskyttelsesgas til argon/helium blandinger.[20]

De omgivende produktionsfaciliteter har også betydning for kvaliteten af svejste aluminiums-konstruktioner, og kravene til disse er behandlet i afsnit 2 i denne rapport.

1.3.2) Rengøring før svejsning [6]

Grundmaterialer

Rengøring inden svejsning kan være meget omfattende, hvis alle kendte forholdsregler skal følges. Herunder er der defineret 3 klasser for rengøring af grundmaterialer, hvoraf sammenhæng mellem omfanget af rengøring og konsekvenserne ved svejsning fremgår:

- I Gammel oxidhinde fjernet fuldstændig ved skærende bearbejdning
 - Fræsning + affedtning
 - Roterende stålbørste
- II Gammel oxidhinde fjernes, men overflade børstes ren + affedtning.
- III Løs oxid børstes af.

Konsekvenserne af denne klasseinddeling vil være :

Stumpsømme Ved TIG- og MIG-svejsning kan opnås porefrie svejsninger ved klasse I – III. Ujævn sømovergang mellem svejse-søm og grundmateriale kan forventes.

Kantsømme Ved TIG- og MIG-svejsning vil der være reduceret svejsehastighed ved klasse II og III, ujævn sømovergang ved klasse II og meget ujævn sømovergang ved klasse III.

Tilsatsmaterialer

Normalt er rengøring af tilsatsmaterialer ikke nødvendigt, idet disse ligger i beskyttede forpakninger. Dog skal der iagttages visse forholdsregler, når først tilsatsmateriale er taget i brug.

For MIG-svejsning gælder det, at trådspolen, når den er i brug, er monteret fedtfrit og beskyttet således at støv, slibegnist m.m. ikke kan komme i nærheden og forurene tråden. Efter brug skal trådspolen igen pakkes ind i beskyttelsesboksen og opbevares tørt og varmt. Det kan være en fordel at tråden, under brug, passerer igennem et rensfilt før tråden løber ud igennem trådlineren. Derved fjernes evt. snavs, afskallet men endnu ikke fjernet oxid fra tilsatstråden, således at lineren ikke forurenes og tilstoppes, med fremføringsproblemer til følge.

For TIG-svejsning gælder det at tilsatstråden, så vidt det er muligt, opbevares i originalforpakningen således at støv, snavs m.m. ikke kan komme i direkte kontakt med tilsatstråden. Endvidere sikrer denne opbevarelsesform imod sammenblanding af forskellige legeringstyper, og derved en ændring af de mekaniske egenskaber i svejsesømmen.. Tilsatstråden skal efter brug helst opbevares tørt og varmt i lufttæt beholder, således at yderligere og unødvendig oxideksponering finder sted.

1.3.3) Tilladte deformationer og retning

Ved svejsning vil der opstå deformationer som krympning, vinkelknæk og buler. Acceptkriterier for deformationer er normalt ikke omtalt i standarder, og vil fremgå af de aktuelle projektspecifikationer eller virksomhedens egne kvalitetskrav. Standarder for beholdere har dog krav til rundhed.

Konsekvenserne ved for store deformationer vil enten være retning eller reparation.

Retning bør udføres efter procedure/instruktion godkendt af egen virksomhed og kunde, da retning med eksempelvis varmebrænder er kritisk for aluminiumskonstruktioner.[7]

Reparation kan foretages ved udskæring af den deformede del, og indsvejsning af nye materialer. Der bør ligeledes udarbejdes en specifik procedure/instruktion for denne type reparation med angivelse af svejserækkefølge.

For at undgå for store deformationer kan der iagttages en række forholdsregler. Det er muligt, at beregne både krympninger og vinkelknæk iflg. en formelsamling udarbejdet i SASAK- projektet.[8]

Man kan så på forhånd tage højde for de forventede deformationer. Af formelsamlingen ses det, at

vinkelknækket ved kantsømme kan reduceres ved at anvende færre strenge med større tværsnits-areal.

Hvis man vil reducere tværkrympningen gøres dette med flere strenge med mindre tværsnits-areal. Generelt skal man reducere tværsnitsarealet mest muligt, hvor det kan accepteres, idet selv små reduktioner af f.eks. a-målet formindsker deformationerne væsentligt.[10]

Vinkelknæk og buler kan minimeres ved en passende svejserækkefølge. Hvis det er muligt vil det være en fordel at udføre det meste af svejsearbejdet på en gang, således at varmen kun tilføres en gang.[9] Ellers kan man benytte de forholdsregler, der gælder for svejsning af stål.

Hvis en rumlig aluminiumskonstruktion svejses fra centrum ud mod de frie kanter opnår man en delvis spændingsfri konstruktion, og hvis man gør det modsatte, kan deformationer reduceres. Når man vil undgå deformationer følges den sidste metode.

- Start udefra
- Hæft/svejs afstivende elementer først(Fig. 1.3.1)
- Svejs stumpsømme før kantsømme
- Brug pilgrimssvejsning(Fig. 1.3.2)
- Anvend strengopbygning i blokke ved stumpsømme(Fig. 1.3.3)
- Brug afbrudt svejsning af kantsømme, hvor det kan tillades.

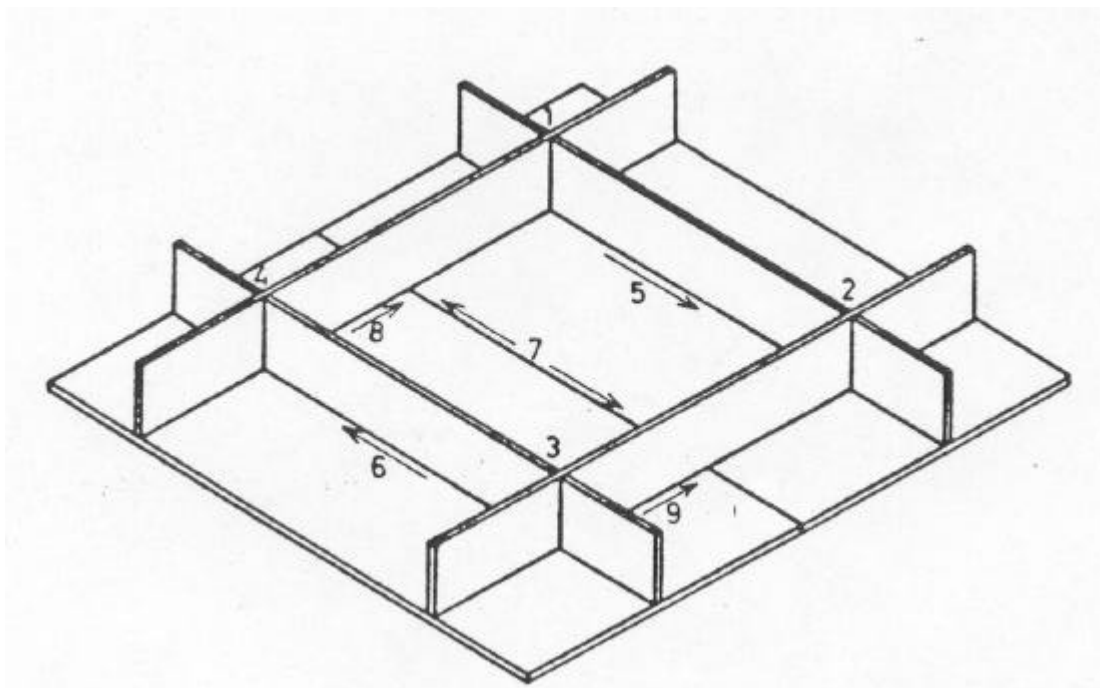


Fig. 1.3.1 Generel rækkefølge for panelsektion

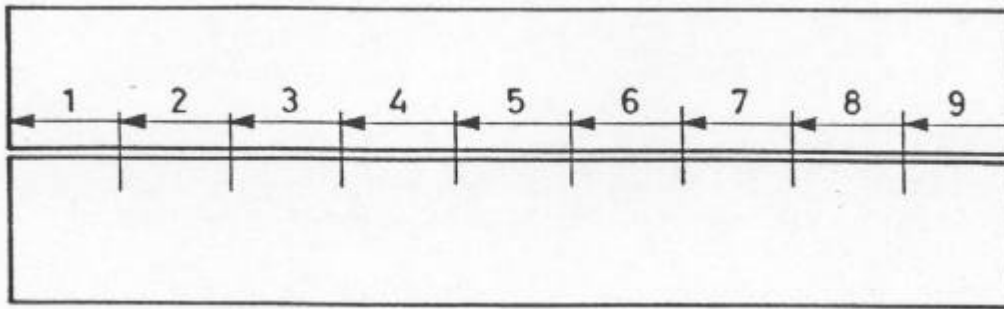


Fig 1.3.2 Princippet for pilgrimssvejsning

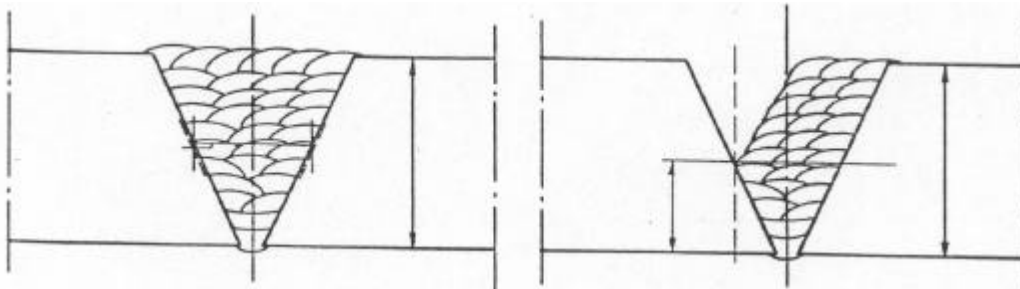


Fig. 1.3.3 Traditionel strengopbygning, og opdelt i blokke, således at tværkrympning i øverste halvdel kun vil komme fra den manglende svejsning.

1.4) Kontrolmetoder

Kontrol eller inspektion kan udføres med en række forskellige ikke-destruktive metoder af svejse- sømme. I NDE-ståbien[11] er der beskrevet 38 forskellige metoder, hvoraf de fleste kan anvendes for aluminium. Blandt de mindst almindelig metoder kan nævnes :

Metode	Fork.	Princip	Sammenligning med stål
• Visuel inspektion	VT	Visuel bedømmelse	Ingen forskel
• Radiografi	RT	Gennemstråling	Større godstykkelser ved Al.
• Ultralyd	UT	Gennemstråling	Ingen større forskel
• Penetrant	PT	Kun overfladefejl	Ingen forskel.
• Hvirvelstrøm	ET	Stor indtrængning	Særdeles velegnet til Al.

Når konstruktioner udføres iflg. standarder, vil kravet til inspektion fremgå af disse. Eksempelvis fastlægger DS 419 omfanget og kvalitetsniveauet af inspektion i de 3 sømklasser iflg. tabel V 8.3.2.

DS 419 foreskriver ikke nogle bestemte undersøgelsesmetoder, men henviser til hensigtsmæssige kontrolmetoder. Det vil i praksis sige visuel bedømmelse af alle typer svejse sømme, penetrant af kantsømme og ultralyd eller radiografi af stumpsømme afhængig af godstykkelse.

Som overordnet NDT-standard henviser DS 419 til EN 12062 Non-destructive examination of welds – General rules for metallic materials. Fra EN 12062 henvises så videre til standarder for udførelsen af NDT og sammenhængen mellem EN 30042 og de øvrige metoders acceptkriterier.

NDT bør udføres iflg. dokumenterede procedurer/instruktioner for de enkelte metoder. For visuel undersøgelse kan der henvises til DS/EN 970 Ikke-destruktiv prøvning af smeltesvejsninger. Visuel undersøgelse. DS/EN 970 kan stort set bruges direkte som en procedure/instruktion for den visuelle inspektion. Udover at beskrive fremgangsmåder er der også et glimrende bilag med gennemgang af måleinstrumenter med figurer, anvendelsesområde og nøjagtighed.

NDT-metodernes egnethed i relation til de enkelte fejltypen er angivet i sidste søjle i bilag 1, der er omtalt i afsnit 1.2 i denne rapport.

1.5) Produktionsmæssige konsekvenser

Sammenlignes aluminiumskonstruktioner med stålkonstruktioner, vil der være en række produktionsmæssige konsekvenser for en virksomhed, der vil begynde at bruge aluminium i værkstedet. Disse forhold er beskrevet herunder i afsnit med referencer til denne rapport.

UDSTYR/VÆRKSTED

- Investering i nye svejsemaskiner og udstyr til skæring.(afsnit 4)
- Værksteder med fremstilling af aluminiumskonstruktioner skal fysisk adskilles fra sort produktion.

SVEJSERE

- Kvalificering af certificering af svejsere tager længere tid, og der er større dumpeprocenter.
- Der kan være behov for at svejsere udfører en specifik arbejdsprøve, når adkomstforholdene er dårlige og/eller konstruktionsdetaljerne er komplicerede.(afsnit 5)
- Det vil ofte være nødvendigt at rengøre både grundmaterialer og svejsetilsatsmaterialer.(afsnit 1.3.2 og 2.1)

OPMÆRKNING

- Der skal bruges blød tuschpen / speedmarker for at undgå ridser, der kan reducere udmattelsesstyrken og give anledning til korrosion.

SKÆRING / BEARBEJDNING / FORMNING

- Plasma-skærebord skal være ”tørt”, da vandbaseret skærebord for plasma kan medføre optagelse af hydrogen og dermed give risiko for porer.
- Anvendes der stålunderlag ved skæring skal gennembrænding undgås for ikke at aluminium skal kontamineres med stål.
- Ved mekanisk bearbejdning skal benyttes rene og oliefrie smøremidler, evt. på metylbasis, som giver god køling og smøreevne, og som fordamper med intet eller kun lidt rensbehov efter svejsning.
- Fugekanter bør sand-/glasblæses eller slibes før samling, da indeslutninger kan forårsage dårlig svejsekvalitet.
- Værktøjer skal have afrundede kanter og passende krumningsradius, da ridser og skarpe kanter reducerer udmattelsesstyrken.

SVEJSNING

- Ved MIG-svejsning er der større risiko for reparationer ved start og stop og generelt er denne svejseproces svær at styre for svejseren, da toleranceområderne for udførelsen er mere snævre.
- Kvalifikation af svejseprocesser ved procedureprøvning kan være mere tidskrævende, da trækprøver kan have for ringe styrke, og ved hærdbare legeringer kan der oftere forekomme revner.(afsnit 4)
- Reparation af svejsesømme er mere kritiske og kræver yderst velkvalificerede smede og svejsere.(afsnit 1.3)

SAMLING

- Konstruktioner eller delelementer skal være tilpassede for samling for at undgå alt for store spændingskoncentrationer, idet dårlig tilpasning er ødelæggende for udmattelsesstyrken, og kan resultere i reparationer.

HÅNDTERING OG LAGRING

- Aluminium skal opbevares tørt, da længere tids lagring i fugtigt klima forringer svejsningernes kvalitet.
- Ved lagring og transport i virksomheden skal det sikres ved passende metoder, at der ikke forekommer afsmitning fra ståloverflader, såsom stålreoler, gafler på trucks, bukkemaskiner, valser, sakse, skærebord.
- Da aluminium har mindre styrke end stål skal udvises større forsigtighed ved løft af plader, og delkonstruktioner skal afstives bedre ved transport.
- Aluminium er et blødere og mere sårbart materiale og skal håndteres mere varsomt end stål. Ved udmattelsepåvirkede konstruktioner er det især vigtigt at undgå kærvedannende fejl, som ridser og skærespor, og det gælder både under håndtering og selve svejsearbejdet.(afsnit 1.6)

1.6) Konsekvenser for reparation / udbedring

Ved reparation er det vigtigt at kende materialet, dvs. legeringen. Det er underforstået, at forskellige legeringer bruges ved forskellige opgaver. Ved ikke trykbærende anlæg kan en ”billig” legering bruges,

medens der ved f.eks. tryktanke er strenge krav om en specifik legeringskvalitet. Der er i en anden rapport vist et detaljeret skema til brug for valg af korrekt tilsatsmateriale i.f.t. specifikt grundmateriale.[27]

Desuden er der i EN 1011-4 i tabel B.2 et tilsvarende skema.

Hvis en reparation skal udføres 100% korrekt på en ukendt legering, og udføres således at styrketabet i HAZ begrænses mest muligt, kan det blive nødvendigt at lave en bore-/fileprøve til kemisk analyse, for derved at få oplysninger om legeringselementerne. Dette giver dog ikke nogen oplysning om legeringens oprindelige tilstand. Materialerne kan godt blandes, men man skal kende de korrekte forudsætninger. Da enhver intens varmpåvirkning forringer materialet, bør der også fokuseres på hvor mange gange et område har været opvarmet til flydning. Dette skal gøres for at undgå at komme i det dilemma, hvor svejsningen er udført til fejlfri tilstand af højeste kvalitet, men styrken i HAZ er reduceret til betænkelig nærhed af nul styrke.

Det har været undersøgt i SASAK-projektet, hvilken indflydelse gentagne reparationer af svejse-sømme har på udmattelsesstyrken.[13,14] De opnåede resultater var i starten ikke entydige, men det viser sig at udmattelsesstyrken ikke ændrer sig væsentlig ved gentagne reparationer og der af følgende varmpåvirkninger. Faktisk viste det sig at antallet af reparationer var uden betydning, og altså langt over de 2 gange, som anbefales af DS 419. Men forudsætningen for at det går godt, er at reparationen kvalitetsmæssigt bliver udført efter de oprindelige acceptkriterier. Det vil normalt være svært at opnå, og især hvor der er dårlige adkomstforhold. Man bør derfor vurdere om reparationen kan gennemføres efter de gældende acceptkriterier. Hvis der er stor risiko for bindingsfejl og geometriske overfladefejl, som ridser og slibespor, kan det være en fordel at undlade reparation, og referere til fitness for purpose-begrebet.[22]

Behovet for reparation kan skyldes især to ting: et, at svejsning ikke var udført til tilstrækkelig og nødvendig kvalitet og to, at den nødvendige strukturelle styrke ikke var til stede.

For at afhjælpe problemet er det derfor nødvendigt at afdække hvorfor fejlen opstod og hvorledes man så kan afhjælpe problemet.

Gør man sig ikke disse overvejelser kan man i princippet blive ved med at reparere på samme sted, idet de styrkemæssige forhold i så fald ikke forbedres, men i overvejende grad forringes gennem et "svagt led" og ved gentagende svejsning i samme reparation.

En konstruktion kan gøres udmattelsesmæssigt bedre på to måder; enten ved at gøre konstruktionen så stiv at en "deformation" ikke kan opstå eller ved at gøre konstruktionen så fleksibel at alle dele forskydes lige meget, dvs. ingen relativ forskydning.

En nødvendig reparation, p.g.a. dårlig udførelse/kvalitet kan skyldes dårligt materiale/tilpasning, manglende eller ringe beherskelse af svejseprocessen, dårlige adkomstforhold eller design, og kan afhjælpes gennem f.eks. uddannelse, omdesign eller øget kvalitetsikring/-kontrol.

Generelt kan man sige, at der ved reparation udvises om muligt endnu større omhu ved udførelsen, da selve varmprocessen pga. den efterfølgende krympning kan udvikle revner.

1.7) Dokumenterede gode råd om design

Definitionsmæssigt kan design opfattes på mange måder. I forbindelse med fremstilling af aluminiumskonstruktioner vil det være en kombination af beregninger og konstruktiv udformning, som sikrer at konstruktionen kan holde til de forventede påvirkninger, og at udformningen sikrer, at der er adgang til virksomhedens udstyr og svejsere/smede. Det sidste fremgår af SASAK-rapporten[15] om konstruktionsdetaljer. Her er vist med skitser eksempler på gode og dårlige svejse-detiljer, og vil være glimrende at anvende i konstruktionsfasen.

Beregninger udføres generelt efter de overordnede standarder som eksempelvis Eurocode 9 ENV 1999-1-1. Når den anvendes, sikres det at der også tages forbehold for den lavere styrke, der optræder i HAZ, ved at bruge de tabellerede værdier for HAZ-reduktionsfaktoren, der er afhængig af materialetype og varmebehandling. Her skal man bemærke, at reduktionen iflg. konstruktions-standarder ikke svarer til reduktionsfaktorerne i EN 288-4 for svejseprocedurer, og man kan altså ikke regne med, at hvis trækprøverne er i orden iflg. EN 288-4, at svejsemetoden så også umiddelbart kan bruges iflg. Eurocoden.

Den generelle anvendelse af designreglerne for aluminium set i forhold til stål er beskrevet i en SASAK-rapport[18] og designregler i en anden[15], hvor der gives 7 hensigtsmæssige regler for konstruktionsdetaljer :

- Undgå hot spots / spændingskoncentrationer.[16,17]
- Undgå 3-akset spændingstilstand.
- Placer udkap på steder, hvor de gør mindst skade.
- Undgå om muligt at svejse på tværs af hovedspændingsretningen.
- Placer svejsningene således at den forringede styrke i HAZ har mindst indflydelse.
- Brug stumpsømme i stedet for kantsømme, hvor det er muligt.
- Ved krydsninger skal elementer med de højeste spændingsniveauer være gennemgående.

Når en aluminiumskonstruktion er udmattelsespåvirket, er der grund til at være meget påpasselig med sine beregninger, da aluminium har en relativt lavere udmattelsesstyrke end stål set i forhold til trækstyrken, så jo mere man udnytter spændingsvidden, jo større krav stilles til udførelsen.

Detaljekategorien vælges iflg. Eurocode 9 Part 2 om udmattelsespåvirkede konstruktioner, hvor afsnittet vedr. valg af detaljekategori er anvendt i en SASAK-rapport.[19] Her kan man nemt skaffe sig et overblik over effekten af de forskellige kategorier, idet en mere følsom detalje giver en lavere udmattelseskurve, og dermed lavere antal påvirkninger for samme spændingsvidde. Man skal samtidig være opmærksom på at det generelle acceptniveau ved udmattelsespåvirkede konstruktioner er B iflg. EN 30042 for detaljekategorier op til og med 20. Ved højere detaljekategorier er acceptniveauet strengere end niveau B, og der henvises til tabel D.2 i Eurocode 9 Part 2.

Der stilles desuden strengere krav til udførelse og inspektion, når en konstruktion er udmattelses-påvirket. I Eurocode 9 henvises til annek D, der indeholder en række skærpede krav. Virksomhedens kvalitetsstyringssystem følge bestemmelserne i EN 729-2, og der krav til udførelse af produktionsprøvning.

2) Krav til produktionsfaciliteter

Klargøring af arbejdsplads

Der gælder visse generelle regler for klargøring af arbejdspladsen. Disse regler afviger i det væsentlige ikke fra de der stilles til arbejdspladser for normalt stål, idet forudsætningen er så ren og ryddelig en arbejdsplads som muligt.

Adgangsveje og håndteringsområde bør være udformet således, at materialet ikke lider overlast og skade under transport, håndtering eller bearbejdning i det hele taget.

2.1) Udstyr

Som nævnt indledningsvis er der i EN 729 serien formelle krav beskrivelse og vedligeholdelse af det produktionsudstyr der anvendes til fremstillingen.

Uanset hvilket materiale der arbejdes med, er disse krav af stor betydning, men specielt for aluminium er det ubetinget vigtigt, at disse regler efterleves.

Aluminium er særdeles følsom overfor forurenende elementer såsom f.eks. kontaminering med kulstofholdige elementer idet disse vil virke som korrosions anvisere.

Det er derfor særdeles vigtigt at svejseudstyr såsom kabler, svejseskærm, handsker, pistol, håndværktøj m.m. holdes rene, således at svejsefuger og grundmateriale ikke forurenes under svejsningen.

Som nævnt tidligere er virksomhederne traditionelt gennemsyret af rutiner fra arbejdet med stål, og i nogen grad med rustfast stål, hvorfor især håndværktøj og transportmateriel er designet til disse materialer.

Virksomheder der alene arbejder med rustfast stål, og som også ønsker at arbejde med aluminium har ikke store problemer med at omstille produktionen, idet der i det store og hele gælder de samme regler med hensyn til behandling og håndtering af de to materialer.

Anderledes forholder det sig med stål og aluminium, idet dette kræver to separate afdelinger med værktøj og håndteringsudstyr beregnet til stål og et andet beregnet til aluminium. Typisk vil meget af det udstyr der anvendes være udformet i rustfast stål eller aluminium for at undgå kontaminering. Der kan dog også anvendes ståludstyr, men i så fald kræver det beskyttelseskapper af et ikke jernholdigt materiale, såsom f.eks. gummi, kunststof, plastic m.m..

Ved større pladekonstruktioner sker det ofte, at svejseren må gå på pladerne og ofte trække kabler og udstyr hen over dem. Gulvet skal derfor være rent og ryddeligt således at svejseren ikke trækker snavs og andre urenheder fra gulvet hen over pladerne

Uvidenhed gør dog ofte, at selv om disse mere synlige tiltag overholdes, og den fysiske adskillelse også er udført, så kan tankeløshed eller skødesløshed med håndværktøj alligevel resultere i en eller anden form for

kontaminering. Dette opdages ikke nødvendigvis før et korrosionsudbrud på et eller andet tidspunkt opstår.

Det er derfor vigtigt, at operatører, der arbejder med aluminium, gennem deres uddannelse eller anden oplæring har fået et indgående kendskab til disse ting. Ligeledes er det også vigtigt at virksomheden gennem deres kvalitetshåndbog tydeligt har gjort opmærksom på konsekvenserne af denne handling, samt hvilke forholdsregler man skal tage.

Med udstyr tænkes ikke alene på håndværktøj men også på f.eks. svejseudstyret, som, for at kunne efterleve kravene til verifikation af bl.a. svejseprocedurer, skal have kalibrerede måleinstrumenter.

I rapporterne om MIG og TIG svejsning samt krav til disse udstyr, er der mere udførligt gjort rede for hvilken indflydelse fejl i udstyr eller dårligt vedligeholdelse genererer af mulige fejlkilder, hvorfor der her blot vil blive refereret til disse rapporter.[4,5,23,24,25,26]

2.2) Fugeforberedelse

I forlængelse af ovenstående, kan vigtigheden af forberedelse ikke understreges nok.

Korrekt forberedelse er alfa og omega for opnåelse af et ordentligt kvalitetsniveau, og fugeforberedelse er et af disse elementer.

Fugeforberedelse ved svejsning af aluminium er beskrevet fyldestgørende i en anden SASAK-rapport[1], og der vil i denne rapport ikke være en særskilt beskrivelse, men alene en henvisning til denne rapport.

Endvidere kan henvises til EN ISO 9692-3 Fugeforberedelse – Del 3 MIG- og TIG svejsning af aluminium og dets legeringer, som bl.a. indeholder en generel guideline for fugeforberedelse.

2.3) Forvarmning

Normalt er forvarmning og efterfølgende varmebehandling ikke påkrævet ved svejsning i aluminium, men opstår behovet alligevel, er der mange hensyn at tage. Desuagtet kan der dog opstå behov for en lettere forvarmning for at fjerne kondenserede vanddampe, eller for at sikre en passende varmetilførsel og dermed en minimeret risiko for varmerevner i tykke materialer.

Ovennævnte forholdsregler gælder også for mellemstrengstemperaturer, hvor risikoen for interkrystallinske fejl er tilstede. Afhængig af legeringsart er anbefalede temperatur mellem 80 og 150 °C normalt.

Det er værd at erindre, at de fleste aluminiumlegeringer får deres styrke fra h.h.v. efterfølgende varmebehandling eller gennem mekanisk behandling under fremstillingsprocessen.

Konstruktøren udnytter disse muligheder og udarbejder regler for tilladeligt heat-input.

Det er derfor vigtigt, at såvel konstruktør som operatør er opmærksom på muligheden af at ødelægge materialets mekaniske egenskaber gennem forkert varmebehandling, evt. gennem fastholdelse af høj temperatur gennem længere tid.

Evt. varmebehandling bør derfor verificeres samtidig med udarbejdelse af specifik svejseprocedure for den konkrete svejsning.

Anvendes forvarmning af grundmaterialet der imod til fjernelse af fugt eller anden forurening, forud for især MIG-svejsning, bør man derfor være opmærksom på at en temperatur på ca. 65°C normalt er tilstrækkelig og ufarlig for materialet.

Man skal også være opmærksom på, at eftersom aluminium ikke skifter farve under opvarmningsprocessen, må man anvende termometer eller anden måleindikator såsom f.eks. termokridt. Undgå at måle direkte på svejsezonen med termokridt, idet markeringerne kan virke som poreindikatorer ved oversvejsning.

Forvarmning bør derfor være af så kort varighed som muligt, og udøves på en sådan måde at ingen enkelt lokationer kan bliver overopvarmet.

Oftest anvendes forvarmning ved store godstykkelser for at fremme indtrængningen, eller ved samlingen af forskellig godstykke, for at sikre en bedre indtrængningskontrol.

Desuden anvendes forvarmning også ved reparationsarbejde på støbegods, for at hindre/reducere revnetilbøjeligheden.

I 5xxx serien er det værd at bemærke, at legeringer med over 3% magnesium ikke bør komme over 120°C i forvarmetemperatur, idet dette kan øge risikoen for spændingskorrosion. Visse anvisninger anbefaler endog ikke at overstige 65°C ved holdetider på omkring 30 min..

Det er ofte set, at forvarmning er brugt som compensation for en svejsemaskines manglende ydeevne i.f.t. materialetykkelsen. Dette må på det stærkeste frarådes.

Materialetykkelse og maskinkapacitet bør være dimensioneret i overensstemmelse med hinanden, for at sikre den bedste svejsekvalitet.

Korrekt svejseprocedure resulterer i bedre svejsekvalitet, minimum ødelæggelse af mekaniske egenskaber samt økonomisk besparelse.

I EN 1011-4 er der i afsnit 17 en overordnet og generel anvisning af brug og nødvendighed for forvarmning. Mere konkret fremgår det af værdierne i tabel 1 i standarden, som er oversat i nedenstående tabel.

GRUNDMATERIALE	Forvarmningstemperatur	Mellemstrengstemperatur
	°C max	°C max
Ikke-varmebehandlede legeringer		
1xxx		
3xxx	120 ^a	120 ^a
5xxx		
AlSi støbt		
AlMg støbt		

Varmebehandlede legeringer		
6xxx AlSiMg støbt AlSiCu støbt	120 ^a	100
7xxx	100 ^a	80
<p>a) Forlænget varmebehandling kan medføre delvis anløbning i deformationshærdede legeringer og overmodning i varmebehandlede legeringer.</p> <p>NOTE 1. Temperaturerne i denne tabel er vejledende. De kan ændres iflg. krav fra specifikationer, og skal generelt anføres på svejseprocedurespecifikationerne, WPS'er.</p> <p>NOTE 2. For legeringer i materialegruppe 22.4(5xxx) med >3,5%Mg og i materialegruppe 23.2(7xxx) kan der dannes faser, der er tilbøjelige til afskalnings- eller spændingskorrosion under visse servicebetingelser.</p>		

Tabel 1 : Anbefalede maksimale forvarmnings- og mellemstrengstemperaturer for aluminium.

I EN 1011-4, afsnit 18 anvises der en overordnet guideline for kontrol af mellemstrengstemperatur, som bør udføres af følgende årsager:

- For at undgå reduktion i mekaniske egenskaber p.g.a. overophedning
- For at minimere blødgøring i HAZ
- For at minimere omfanget af HAZ sejringer p.g.a. overældning

Det anbefales at initialtemperaturen, for hver streng, ikke overstiger anbefalingerne i tabel 1.

I de tilfælde, hvor forvarme og/eller mellemstrengs temperatur er påkrævet, kan EN 1011-4 også anvendes som guideline. Afsnit 19 beskriver kort kravene til målemetoderne samt anviser hvilke metoder der evt. kan anvendes, såsom kontakt pyrometer, Termo-farvestifter og dokumenteret som beskrevet i proceduren.. For mellemstrengstemperaturen gælder det, at denne skal måles så tæt på svejseområdet som muligt.

2.4) Hæftning

Det gælder for aluminium som for øvrige materialer, at hæftninger indgår i svejsningen på samme konditioner som selve svejsningen, og er derfor en integreret del af svejseproceduren.

Langt de fleste fejl opstår fordi det ikke er samme svejser der ophæfter og som så efterfølgende står for selve fuldsvejsningen.

Typisk opfatter man hæftningen som et hjælpeværktøj, som enten slibes væk før svejsning eller oversvejses. Ved større konstruktionsarbejder eller montageopgaver ser man ofte, at emnerne er præfabrikerede/ophæftede og forberedt for montagesvejsning

Principielt kan man derfor sige, at de største krav stilles til hæfteren, idet svejseren skal kunne stole på, at hæftningen er udført til ønsket kvalitet.

En af de største fejlkilder ved aluminiumssvejsning, og især ved MIG-svejsning, er de såkaldte start-/stopfejl såsom kraterporer, kraterrevner, manglende opfyldning samt bindingsfejl.

Disse fejltypen optræder med langt større hyppighed i hæftninger, idet hæftninger stort set udelukkende består af start og stoprutiner.

Det gælder for aluminium som for øvrige materialer, at hæftninger indgår i svejsningen på samme konditioner som selve svejsningen, og er derfor en integreret del af svejseproceduren.

Langt de fleste fejl opstår, fordi det ikke er samme svejser der hæfter og som så efterfølgende står for selve, er beskrevet i en anden SASAK-rapport[4,5], hvorfor der ikke i denne rapport ikke er udfærdiget et selvstændigt kapitel.

2.5) Adkomstforhold, arbejdsforhold

”Rummeligheden” er ofte lille i aluminiums design. Dette skyldes at aluminium har mindre stivhed end stål og derfor skal afstives mere. Da aluminium af mange betegnes som et ”high-tech” produkt skal slutproduktet også signalere ”high-technitet”, som f.eks. et meget strømlinet design. Vægt besparelse i.f.t. stål gør at et transportmiddel kan skyde en højere fart end hvis det var bygget af stål. Dette faktum skal designet signalere.

Ved svejsning i aluminium benyttes som oftest MIG- eller TIG-svejsning. For store konstruktioner vedkommende, er det som oftest næsten kun MIG-svejsning. Dette betyder at man, som ved stål, ikke blot kan ”bøje elektroden” for at opnå en bedre ”tilgængelighed”. En håndregel ved MIG-svejsning er at svejseudstyret skal kunne komme ind mod fugen i en 45°vinkel til svejsestedet, og endvidere skal man kunne få hovedet næsten helt frem til svejsningen. Dette skulle sikre at der er rimelige pladsforhold, til at udføre svejsningen på.[9]

Et andet aspekt, som er af væsentlig betydning, når talen går på adkomst- og arbejdsforhold er sundheds- og sikkerheds aspektet.

I denne forbindelse er her primært tænkt på røg- og strålingsudviklingen, og her er især dannelsen af Ozon et væsentligt parameter, der skal tages højde for.

Ozon (O₃) dannes gennem alle svejseprocesser med åben lysbue. Dannelsen sker gennem en foto-kemisk proces, beroende på omfanget og intensiteten af lysbuestrålingen. Parametre som legeringselementer, beskyttelsesgas samt lysbuelængde har også stor effekt på mængden af ozon.

Ser man isoleret på processerne MIG-Puls og TIG svejsningen, så dannes der mindst ozon ved TIG-processen. Når man ser på ozonproblematikken, anskues den typisk ud fra følgende kriterier:

- Dannelse af ozon
- Kortids virkning af ozon
- Ventilation og luftskifte under svejsning af aluminium

Ser man på dannelsen af ozon bør følgende iagttages:

- O₃ er en ustabil form for Oxygen
- Dannelsen sker gennem en fotokemisk reaktion på oxygen under indflydelse af lysbuens UV-stråling
- Ved TIG-svejsning dannes der mindre ozon end ved MIG-Puls processen
- Tilsatsmaterialets legeringskomposition, som bruges ved MIG-Puls svejsning, har stor indflydelse på koncentrationen af ozon. Primært fordi lysbuen overføres gennem tilsatstråden.
- Øgning i lysbuelængde og mængden af beskyttelsesgas forøger koncentrationen af ozon.
- Koncentrationen af ozon, dannet ved plasma skæring afhænger af materialetype, og en mulig afhjælpningsmetode er at skære i vandbad.

Ser man på korttidseffekten af ozon-påvirkninger bør følgende iagttages:

Afhængig af varighed og position af ozontilstedeværelsen, anbefales det af udføre målinger for at definere korrekt udstyr til fjernelse af dampe, gasser og støv, produceret gennem svejseprocessen. Retningsgivende værdier for korttids-effekt af ozonkoncentration kan udledes af nedenstående :

- >0,05 ppm Duftgrænse
- >1,0 ppm Hovedpine og kvalmesymptomer efter 30 minutter
- >1,5 ppm Irritation af øjne og stemmebånd, reduceret lungefunktion efter få timer
- 1,5-2 ppm Forværring af lungefunktion, ozonsmag, udpræget kvalme
- 5-9 ppm Mulighed for lungeødem

Maksimal koncentration på arbejdsplads er normalt 0,1 ppm eller 0,2 mg/m³

Det anbefales derfor, at der ved svejsning i aluminium altid anvendes friskluftsmaske, udsugningsanlæg eller anden alternativ måde at fjerne forureningen på. Det er dog værd at huske på, at fjernelse af røgudviklingen giver grobund for større koncentration af ozon, idet røg virker som et filter for UV-strålingen.

Enhver sundhedsrisiko i.f.m ozon, kan dog nemt og sikkert elimineres, gennem valg af de rette svejseparametre og gennem tilstrækkelig lufttilførsel og ventilation. Hvis man som udgangspunkt holder ozonkoncentrationen under 0,1 ppm, er der normalt ingen problemer overhovedet.

Krav til ventilation og luftfornyelse under svejsning af aluminium :

Korttids	Langtids
----------	----------

MIG-svejsning	lokal	T	A
MIG-svejsning	ikke lokal	F	T
TIG- og plasmasvejsning	lokal	F	T
TIG- og plasmasvejsning	ikke lokal	F	F

F = Fri og naturlig ventilation

T = Forceret ventilation (Teknisk- eller mekanisk ventilation)

A = Fjernelse af elementer i åndedrætszonen som kan skade helbredet.

3) Normer og standarder

Ved svejsning af aluminiumskonstruktioner vil der oftest blive foreskrevet standarder og specifikationer, således at der kan henvises til et grundlag for konstruktion, udførelse og anvendelse. Dette sikrer, at virksomheder, der fremstiller aluminiumskonstruktioner, teknisk og juridisk vil stå langt stærkere, hvis der forekommer fejl og haverier. Tages der udgangspunkt i de overordnede standarder og normer for aluminiumskonstruktioner vil der i disse være henvisninger til alle øvrige standarder, der vedrører aluminium. Det gælder kvalitetsstyring, materialer, kvalifikation af svejseprocesser og personale, acceptkriterier og inspektion. Herunder er omtalt de primære standarder, der kan bruges ved svejsning af aluminium.

- DS 419 Norm for aluminiumskonstruktioner
- Eurocode 9 Design of aluminium structures
Part 1-1 General rules and rules for buildings
Part 1-2: General rules – Structural fire design
Part 2 Structures susceptible to fatigue
- BS 8118 Structural use of aluminium
- ANSI/AWS D1.2 Structural Welding Code - Aluminium

Alle 4 omhandler den strukturelle anvendelse af aluminium og svarer nogenlunde til hinanden. Det må på sigt forventes Eurocode 9 erstatter den danske norm DS 419 og den britiske BS 8118. Den amerikanske ANSI/AWS D1.2 vil fortsat være gældende.

(ANSI : American National Standards Institute, AWS : American Welding Society)

Når man bruger disse standarder må man gøre sig klart, at grundlaget for beregning og konstruktion hænger sammen med kravene til udførelse og inspektion. Man kan ikke beregne en konstruktion iflg. f.eks.

DS 419, og så undlade certificering af svejsere og inspektion med NDT-metoder. Forudsætningerne for beregningerne er netop at de foreskrevne retningslinier følges og de anførte acceptkriterier overholdes.

De generelle krav til lysbuesvejsning af aluminium fremgår af EN 1011 standarderne :

Svejsning Retningslinier for svejsning af metalliske materialer

EN 1011-1	Del 1 : Generel vejledning for lysbuesvejsning.
EN 1011-4	Del 4 : Lysbuesvejsning af aluminium og aluminiumlegeringer.

Her omtales de relevante forhold for svejsning af aluminiumskonstruktioner, og EN 1011-4 har som omtalt i afsnit 1.3.1 og 2.3 glimrende tabeller, der beskriver typiske fejl, og giver forslag til fejl-retning, samt tabeller for forvarme og valg af tilsatsmaterialer. Fra DS 419 er der netop henvisning til EN 1011.

For certificering af svejsere og svejseopstillere er der 2 europæiske standarder :

Godkendelsesprøvning af svejsere Smeltesvejsning

EN 287-2 + A1	Del 2: Aluminium og aluminiumlegeringer.(ISO 9606-2, prEN ISO 9606-2)
---------------	---

Godkendelsesprøvning af svejsepersonale til smeltesvejsning og opstillere til modstandssvejsning.

EN 1418	Fuldt mekaniseret og automatisk svejsning af metalliske materialer. (ISO 14732)
---------	---

Ved kvalifikation af svejseprocedurer findes der en række gældende europæiske standarder for lysbuesvejsning af aluminium, og der standarder på vej for andre svejseprocesser. De er er anført som forslag til standard, prEN :

Specifikation og godkendelse af svejseprocedurer for metalliske materialer.

EN 288-4 + A1	Del 4 : Svejseprocedureprøvning for lysbuesvejsning af aluminium og aluminiumlegeringer. (ISO 9956-4, prEN ISO 15614-2)
EN 288-5	Del 5 : Godkendelse ved brug af godkendte tilsatsmaterialer til lysbuesvejsning.(ISO 9956-5 , prEN ISO 15610)
EN 288-6	Del 6 : Godkendelse i forbindelse med tidligere erfaring. (ISO 9956-6, prEN ISO 15611)
EN 288-7	Del 7 : Godkendelse ved en standardsvejseprocedure for lysbuesvejsning.(ISO 9956-7, prEN ISO 15612)
EN 288-8	Del 8 : Godkendelse af en præproduktionsprøve.(ISO 9956-8, prEN ISO 15613)
prEN ISO 15614-4	Part 4 : Færdigsvejsning af støbt aluminium.

- prEN ISO 15609-3 WPS'er til elektronstrålesvejsning.
prEN ISO 15609-4 WPS'er til lasersvejsning
prEN ISO 15614-7 Svejseprocedureprøvning for elektronstråle- og lasersvejsning

Acceptkriterier er fastlagt iflg.:

- EN ISO 13919-2 Svejsning. Elektronstråle- og lasersvejsning af svejsesømme.
Vejledning vedr. kvalitetsniveauer for svejsefejl.
Del 2 : Aluminium og dets svejselige legeringer.
EN 30042 Lysbuesvejste samlinger i aluminium og dets svejsbare legeringer. Vejledning om kvalitetsniveauer for svejsefejl.
(ISO 10042, prEN ISO 10042)

Kvalitetsstyring er som tidligere nævnt beskrevet i EN 729 standarderne og herunder er de tilsvarende ISO-numre også angivet :

Kvalitetskrav for svejsning. Smeltesvejsning af metalliske materialer.

- EN 729-1 Del 1 : Retningslinier for udvælgelse og anvendelse. (ISO 3834-1)
EN 729-2 Del 2 : Fuldstændige kvalitetskrav.(ISO 3834-2)
EN 729-3 Del 3 : Standard kvalitetskrav.(ISO 3834-3)
EN 729-4 Del 4 : Elementære kvalitetskrav.(ISO 3834-4)

Fra EN 729-2 og EN 729-3 refereres der til standarden for svejsekoordination :

- EN 719 Svejsekoordination Opgaver og ansvarsforhold.(ISO 14731)

I EN 719 er oplistet alle de aktiviteter, der skal styres af svejsekoordinatorerne i en virksomhed, og i anneks A er henvist til de relevante EWF-uddannelserne, der er omtalt i afsnit 5. Uddannelse.
(EWF : European Welding Federation)

DS/EN 12062 Ikke-destruktiv prøvning af svejsning Generelle regler for metalliske materialer

Denne standard beskriver de enkelte NDT-metoder. og hvor de kan anvendes med hensyn til materialetype og dimensioner. Fra denne standard henvises til en række andre NDT-standarder, og herunder er gengivet de væsentligste :

- DS/EN 473 Kvalifikation og certificering af ikke-destruktiv prøvningspersonel,
Generelle principper
DS/EN 571-1 Ikke-destruktiv prøvning – Penetrantprøvning, Del 1 : Generelle principper
DS/EN 970 Ikke-destruktiv prøvning af smeltesvejsninger. Visuel undersøgelse

Ikke-destruktiv prøvning af svejsninger :

- DS/EN 1289 Penetrantprøvning af svejsninger. Acceptniveauer
- DS/EN 1435 Radiografisk prøvning af svejste samlinger
- DS/EN 1712 Ultralydprøvning af svejste samlinger. Acceptniveauer
- DS/EN 1713 Ultralydprøvning. Karakterisering af indikationer i svejsninger
- DS/EN 1714 Ultralydprøvning af svejste samlinger
- DS/EN 12517 Radiografisk prøvning af svejste samlinger. Acceptniveauer

I de nævnte standarder er generelt henvisninger til andre standarder, og det er bl.a. for flg. områder, hvor de enkelte standarder ikke er nævnt i denne rapport :

- Prøvning med destruktive metoder.
- Tilsatsmaterialer
- Fugeforberedelse
- Materialer

For fremstilling af beholdere af aluminium findes der endnu ikke EN-standarder.

Der kan i stedet bruges :

- DS 458 DIF's norm for trykbærende anlæg.
- PD 5500:2000 Specification for Unfired fusion welded pressure vessels (tidl. BS-standard)
- Dbv : Druckbehälterverordnung
- VbF : Verordnung über Brennbare Flüssigkeiten
- HP0 : Herstellung und Prüfung von Druckbehältern Allgemeine Grundsätze für Auslegung und damit verbundene Prüfung
- ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section VIII Division 1
(ASME : American Society of Mechanical Engineers)

Dbv og VbF er tyske foreskrifter, der anvendes for bl.a. tanke på køretøjer af Bilcon A/S, mens HP0 er mere generel, og har været anvendt i Europa i lang tid for trykbeholdere af aluminium, og i den seneste udgave af HP0 refereres indirekte til de velkendte EN 287-2 og EN 288-4 med visse tilføjelser.

Den amerikanske ASME VIII refererer videre til flg. ASME-standarder :

- Section II, part B : Ikke-jern metaller (materialespecifikationer)
- Section II, part C : Tilsatsmaterialer
- Section II, part D : Egenskaber (her angives tilladelige spændinger for Al)
- Section IX : Kvalifikation af svejsning og lodning

Vedrørende materialer findes desuden ”Annual book of ASTM standards XX_{year} Volume 02.02 Aluminium and Magnesium Alloys.

(ASTM : American Society for Testing and Materials)

Blandt de forskellige classeselskaber har Det Norske Veritas ”Rules” disse regler for aluminiumkonstruktioner :

- Tentative Rules for Classification of High Speed and Light Craft
- Rules for Classification of Ships - Newbuildings

4) Økonomiske konsekvenser

Problematikken ved fremstilling af svejste aluminiumskonstruktioner svarer på en række områder til stålkonstruktioner, men på for nogle punkter er der væsentlige forskelle. For det første er materiale- prisen højere på aluminium, og det medfører at udover anskaffelsen er omkostningerne ved reparationer og brok er noget større. Desuden bruges der også aluminiumemner ved certificering af svejsere og kvalifikation af svejseprocedurer, og tilsatsmaterialerne er også dyrere. Disse ekstra omkostningerne kan forudses og beregnes, men det må påregnes, at uddannelse og certificering af svejsere også er mere kostbar. Ved MIG-svejsning ses almindeligvis, at der dumper flere svejsere ved certificeringen bl.a. på grund af porer og bindingsfejl end ved tilsvarende prøver i stål. Der kan ikke gives nøgletal, men hvor måske 10% dumper ved stål er det ikke ualmindeligt at 50% går ned ved aluminium. Når der er problemer med bøjepøverne kan det somme tider være en fordel at vente 3-4 uger efter svejsningen med at lave bøjepøverne, således at emnerne når at modne ved stuetemperatur.

Kvalifikation af svejseprocedurer i aluminium medføre også øgede omkostninger i forhold til stål.

Her kan der være problemer med for lav styrke i HAZ, og i hærdbare aluminiumslegeringer ses ofte revner. Alt sammen forhold der medfører omprøvning og dermed øgede omkostninger.

Lagring af grundmaterialer er også mere kostbar, idet lagring bør foregå indendørs og pladerne skal helst opbevares stående med tilstrækkelig luftspalte for at sikre ventilation. [1]

Fugeforberedelse er også dyrere, da aluminium ikke kan flammeskæres på samme måde som stål. Der er langt større kapacitet hos underleverandører af traditionelt skærearbejde, så alt andet andet lige vil også udgiften her være højere.[1]

Som et sidste punkt kan nævnes at svejsemaskiner for TIG- og MIG-svejsning er dyrere, og der stilles større krav til udstyr, f.eks. push-pull og slope-down funktion.[2]

5) Uddannelse

Generelt

Træning og uddannelse bør i en fremstillingsvirksomhed omfatte personale i konstruktionsafd., svejsere, smede, maskinarbejdere, værkførere og svejsekoordinatorer og inspektionspersonale.

Ved skift fra stål til aluminium vil det være rimeligt at gennemføre aluminiumsspecifikke kurser for disse personalegrupper, idet grunduddannelserne er mest fokuseret på stål. Sådanne kurser bør omfatte :

- Materialekendskab, metallurgi, fysiske og mekaniske egenskaber, legeringer, korrosion.
- Designmæssige krav til konstruktion
- Fremstillingsprocesser for aluminium, skæring, bukning, smedning, bearbejdning, svejsning, limning og mekanisk sammenføjning.
- Kendskab til potentielle fejl samt procedure for at undgå disse, herunder vurdering af svejsningers kvalitet, udbedring og reparation af svejsefejl
- Overfladebehandling.
- Opbevaring og håndtering af materialer

Uddannelse af svejsepersonale

Det løber som en rød tråd gennem hele projektet, at det at arbejde med aluminium lider under, at branchen generelt tænker almindelig sort stål og rustfast stål. Kun de virksomheder, der professionelt har implementeret eller specialiseret sig til arbejde med aluminium, har formået at omstille sig det faktum, at aluminium kræver en hel speciel behandling.

Disse virksomheder har også erkendt, at større indsigt i og viden om aluminium, og især svejsning deraf, kræver uddannelse af de involverede medarbejdere.

Nu er ordet uddannelse vanskeligt at definere, idet det kan dække over mange forskellige indgangsvinkler, spændende lige fra den simple overlevering af et brugbart fif, til den mest sofistikerede specialistuddannelse.

Fælles for dem alle er, at de tager sigte på at bibringe modtageren større indsigt i og viden om, hvorledes dette materiale skal behandles.

Det er da derfor også vigtigt at få slået fast, at ikke alene er nok at uddanne de der rent fysisk arbejder med aluminium, herunder bl.a. svejsning, men at det så sandelig også er vigtigt at samtlige, som på den ene eller anden måde er involveret i processen fra ordreafgivelse over design til slutprodukt, har forståelse for de specielle regler der gælder for omgang med aluminium, og allerhelst at de alle har den samme viden om vigtige faser i onstruktionsflowet.

Hvis kvalitetsstyringssystemet, som det beskrives i EN 729-serien, skal overholdes, så er det i denne norm klart defineret efter hvilke normer der skal certificeres/uddannes efter.

Det danske uddannelsessystem tager bredt sigte på at dække industriens krav, og der findes mange muligheder for at supplere allerede erhvervet uddannelse med specialkurser indenfor ement aluminium.

Det danske uddannelsessystem er i generel forstand organiseret gennem :

Lov om arbejdsmarkedsuddannelse ved lovebkendelse 737 af 4 Dec. 1988

§1. Arbejdsmarkedsuddannelserne har til formål:

- 1) at give specialarbejdere og faglærte arbejdere m.fl. en erhvervmæssig uddannelse, der vedligeholder, udbygger og forbedrer erhvervskvalifikationerne i overensstemmelse med den teknologiske udvikling og arbejdsmarkedets behov, eller**
- 2) at afhjælpe omstillings-og tilpasningsproblemer på arbejdsmarkedet i øvrigt ved arbejdsmarkeds begrundede uddannelsesforanstaltninger.**

Arbejdsmarkedsuddannelserne har derfor primært til opgave at opgradere arbejdsstyrken med faglige kvalifikationer såsom bl.a. svejsning.

En meget stor del af de danske svejsere har da også fået deres egentlige svejsemæssige uddannelse på de respektive AMU-Centre, enten i form af deciderede kursusforløb eller som skræddersyede moduler, tilpasset den enkelte virksomhed.

I disse uddannelsesforløb er der desuden mulighed for at erhverve svejsecertifikat, et såkaldt svejsepas, igennem skolecertificerings ordningen.

Lov om erhversuddannelser ved Undervisnings- og forskningsministeriets lovbekendtgørelse nr. 668 af 29 Juli 1992.

§1. Undervisnings- og forskningsministeren tilrettelægger et samordnet system af erhversuddannelser med henblik på den private og den offentlige sektors forskellige beskæftigelsesområder.

Til forskel fra arbejdsmarkedsuddannelserne, så beskæftiger erhvervsskolerne sig med den deciderede erhversuddannelse, bl.a. i form af lærlingeuddannelse.

De faglærte får derigennem et større materiale-mæssig kendskab til aluminium end specialarbejderen, og har bl.a. mulighed for at specialisere sig til aluminiums kleinsmed.

Dette er et nyt tiltag, der ikke findes på samtlige erhvervsskoler, og måske skyldes dette faktum at der ikke er så mange endnu, som har benyttet sig af denne mulighed.

Den typiske faglærte smed, der beskæftiger sig med aluminium, er derfor en ordinært uddannet smed, der enten er opkvalificeret rent svejseteknisk på et AMU-center eller på erhversskolernes efteruddannelsesprogram, der på det svejsemæssige område er analogt med arbejdsmarkedsuddannelsernes.

De tekniske skoler kan dog også tilbyde tekniske uddannelser, hvorved yderligere et led i produktionsflowet kan få specialuddannelse om bl.a. aluminium, idet teknikerne og værktøjerne typisk får deres uddannelse gennem de tekniske uddannelser.

Såvel arbejdsmarkeds- som erhvervsuddannelserne beskæftiger sig meget med de fysiske færdigheder, og den enkelte operatør får derigennem et klart billede af de forhold der skal tages i betragtning, ved arbejde med aluminium.

Der er begge steder mulighed for at afslutte kurserne med certifikatprøver, enten gennem den såkaldte svejsepasordning, hvor der udstedes et skolecertifikat for en given proces og gyldighedsområde, eller gennem en decideret værkstedscertificering, hvor det er en virksomhedsaktuel svejseprocedure der certificeres efter.

Fælles for begge certificeringer er, at de skal vedligeholdes for at bevare deres gyldighed, enten gennem kontinuert arbejde med svejsning til kontrol eller gennem en recertificering.

Reglerne for personcertificeringen og godkendelse af svejseprocedurerne er at finde i normerne EN 287 og EN 288, som vil blive omtalt i en anden rapport.

Lov om erhvervsmæssig efteruddannelse.

I efteruddannelsesloven åbnes der mulighed for at bl.a. GTS-institutterne kan afvikle specialkurser rettet imod aluminium.

Her er især FORCE Instituttet aktive med specialkurser i metallurgi for stål, rustfast stål samt aluminium.

Kurserne retter sig især imod teknikere, ingeniører og konstruktører, som har behov for eksakt viden om det enkelte metals egenskaber.

Lov om videregående uddannelser.

Ingeniørhøjskolerne og de tekniske læreranstalter tager sig af ingeniøruddannelserne, som kan suppleres med ekstra speciale som Svejseingeniør.

Ingeniørerne får derved en grundlæggende teoretisk og metalurgisk viden om aluminium, som konstruktionsmateriale, og er deres uddannelse yderligere suppleret med svejseingeniørdelen er yderligere bibragt en svejseteknisk dimension.

Udenfor det formelle danske uddannelsessystem findes der også etablerede og anerkendte uddannelser, specielt rettet imod svejseteknologi og de følgejob af kvalitet- og kontrolmæssig art.

EFW (European Welding Federation) er en privat organisation, som på tværs af landegrænserne har udviklet og anerkender en fælles uddannelsesmodel indenfor svejseteknologi. Uddannelsesmodellen er en overbygning ovenpå allerede erhvervet uddannelse.

Uddannelsen ligger i flere niveauer:

- EW (European Welder)
- EWP (European Welding Practitioner)
- EWS (European Welding Specialist)
- EWT (European Welding Technologist)
- EWI (European Welding Engineer)

Disse uddannelser kan erhverves på FORCE Institutet, som er akkrediteret til at varetage disse uddannelser i Danmark.

I de 3 sidste efteruddannelser er hovedvægten lagt på stål, og aluminium behandles på lige fod med de andre metaller. Det er ikke et "skal" krav at koordineringspersonale skal have en af disse uddannelser, og passende praktisk erfaring er også tilstrækkeligt.

AWS (American Welding Society) er den amerikanske pendant til EWF, blot med den forskel, at den har eksisteret længere og derfor kan udbyde en større uddannelsespakke. Uddannelsen er bygget over det amerikanske ASME normkompleks, men med en tiltagende internationalisering og gensidig anerkendelse af hinandens regelværk, er der en meget stor grad af overlap i de to uddannelsessystemer. Desuden har IIW, International Institute of Welding, indledt et samarbejde med EWF, således at der på længere sigt kun vil være en international organisation.

Certificering af svejsere og arbejdsprøver

Svejsere, der udfører svejsearbejde på aluminiumskonstruktioner iflg. DS 419, skal være kvalificerede, og i standarden henvises til EN 287-2 og EN 1418, men det er ikke et "skal" krav.

Til gengæld skal svejserne være kvalificeret efter tilsvarende krav, hvilket i praksis vil sige certificering iflg. EN 287-2 og EN 1418.

Udover certificeringen bør virksomheden også overveje, om denne er tilstrækkelig ved MIG-svejsning. Ved certificering til kantsømme iflg. EN 287-2 skal der svejses en 150 mm lang kantsøm, men i arbejdssituationen skal der svejses rundt om hjørner, og der skal vælges rækkefølge for at slippe godt fra et "indvendigt" hjørne. Det vil derfor være hensigtsmæssigt at lade svejseren udføre en tillægsprøve[6], som svarer til arbejdet. F.eks. kunne arbejdsprøven se ud som vist på figuren nedenunder. Der er ikke angivet dimensioner, men de skal tilpasses, så de svarer til den aktuelle konstruktion. Der kan desuden tilføjes andre konstruktionsdetaljer, såsom knæ og afspændings-huller. Især de sidste kan give svejseren mange problemer, så det vil være passende at få afprøvet teknikken inden man giver sig i kast med den endelige konstruktion.

Acceptkriterier for arbejdsprøven kunne vælges fra EN 30042 eller et acceptniveau, der er aftalt med bygherren.

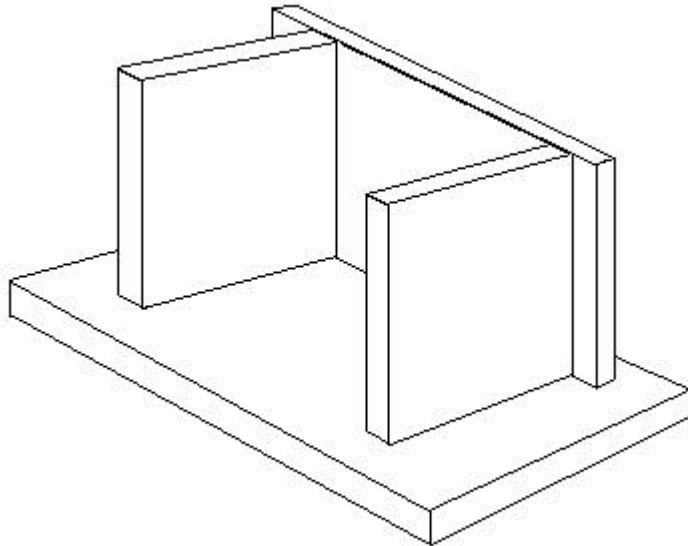


Fig. 5.1 Emne for arbejdsprøve

Inspektionspersonale

Personale, der udfører inspektion, kan uddannes og certificeres iflg. kravene i standarden :

EN 473 Kvalifikation og certificering af ikke-destruktivt prøvningspersonale. Generelle principper

Denne standard omfatter metoderne omtalt under afsnit 1.4 i denne rapport og foregår kort fortalt på flg. 3 niveauer :

- Level 1 Udføre af NDT-arbejde iflg. procedure/instruktion under ledelse af level 2 eller 3.
- Level 2 Udføre, rapportere og lede NDT-arbejde.
- Level 3 Udføre, rapportere og lede NDT-arbejde og udarbejde procedurer og instruktioner for NDT-arbejde.

Disse uddannelser udbydes i Danmark af FORCE Institutet, der udover plankurser for de forskellige metoder og trin(levels) også udbyder kurser for svejseinspektører svarende til de 3 kategorier af formelle svejsekoordinatoruddannelser. Med denne overbygning bliver de 3 kategorier ændret til :

- EWS → EWIS : European Welding Inspection Specialist.
- EWT → EWIT : European Welding Inspection Technologist.
- EWE → EWIE : European Welding Inspection Engineer

De 3 overbygninger giver teoretisk og praktisk grundlag for at kunne udføre inspektion og tilsyn med udførelsen af svejsearbejde på alle former for konstruktioner og anlæg. Den efterfølgende EWF-certificering opfylder krav til godkendelser af inspektionspersonale som krævet af bygherre, myndigheder og EN 729 + EN 719. Det skal dog anføres, at uddannelserne har et generelt sigte med hensyn til materialer og er ikke rettet specifikt mod aluminium.

Henvisninger

- [1] SASAK-RAP-SV-ALK-FI-008-01 Fugeforberedelse ved svejsning i aluminium
- [2] SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0025-00 Økonomiske aspekter ved svejsning af aluminium
- [3] SASAK-RAP-E2-AKS-FI-0001-00 Udmattelsesstyrken af afbrudte kantsømme med kraterrevner.
- [4] SASAK-RAP-SV-AKS-MIG-0023-00 Start- stop problematikker ved TIG-svejsning i aluminium.
- [5] SASAK-RAP-SV-AKS-MIG-0024-00 Start- stop problematikker ved MIG-svejsning i aluminium
- [6] Troels Christensen, FORCE Instituttet
- [7] SASAK-RAP-VA-AKS-FI-0007-00 Retning af aluminium.
- [8] SASAK-RAP-VA-AKS-FI-0006-00 Krympninger og deformationer ved svejsning i aluminium
Formelsamling
- [9] SASAK-RAP-MO-AKS-KEH-001-02 Modelarbejde
- [10] SASAK-RAP-VA-AKS-FI-0004-00 Krympninger og deformationer ved svejsning i aluminium
Måleresultater ved svejseforsøg.
- [11] NDE stålbå Metoder til ikke-destruktiv tilstandskontrol.
- [12] SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0026-00 Fugetolerancer ved tandem og enkelttråd MIG-svejsning af kantsømme i aluminium.
- [13] SASAK-RAP-E5-FI-0001-00 Udmattelsesstyrken ved gentagne svejsereparationer.
- [14] SASAK-RAP-LE-AKS-KEH-0006-02 Aluminium Fatigue Tests.
- [15] SASAK-RAP-DE-AKS-KEH-0014-00 Udformning af konstruktionsdetaljer
- [16] SASAK-RAP-DE-AKS-DTU-0001-02 Procedure for Calculating Hot Spot Stresses in Aluminium Constructions
- [17] SASAK-RAP-DE-DTU-KEH-0007-00 Quick Calculation of Hot-spot Stresses
- [18] SASAK-RAP-DE-AKS-KEH-0004-00 Anvendelse af aluminium i forhold til stål
- [19] SASAK-RAP-DE-AKS-KEH-0009-00 Dimensionering af udmattelsesbelastede svejste samlinger i aluminium efter EUROCODE No. 9 Part 2
- [20] SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0016-00 Indtrængningssikkerhed ved MIG-svejsning i aluminium.
- [21] SASAK-RAP-SV-AKS-0017-00 Indtrængningssikkerhed ved MIG-enkelttråd svejsning af kantsømme i aluminium.

- [22] IIW Guidance on Assessment of "The Fitness for Purpose of Welded Structures".
- [23] SASAK-RAP-SV-AKS-MIG-0007-00 MIG-svejsning i aluminium (Generelt, strømkilder, trådfremføring, gasfremføring, fejlmuligheder)
- [24] SASAK-RAP-SV-AKS-MIG-0015-00 Krav til strømkilder for TIG-svejsning af aluminium.
- [25] SASAK-RAP-SV-AKS-MIG-0028-00 Trådtransporten ved svejsning af aluminium.
- [26] SASAK-RAP-SV-AKS-MIG-0029-00 Gastransporten ved svejsning af aluminium.
- [27] SASAK-RAP-SV-AKS-FI-0036-00 Tilsatsmaterialer til svejsning af aluminium.

Svejsesamlinger i aluminium

Bilag 1

SASAK-RAP-KV-AKS-FI-0007-00



Kvalitetskriterier / Vægtning af forskellige fejltyper

Kvalitetskriterie Typiske Fejltype ↓	→ Styrke, Statisk træk / Brudforlængelse	Styrke, Statisk tryk	Styrke, Udmattelse	Tæthed (Trykprøve- kontrol)	Overflade-finish Korrosion	Overflade-finish Visuel	Overflade-finish Maling	Målfast (buler, vinkelknæk)	NDT-metode
Indvendige porer	** ¹⁾			*					RT
Overfladeporer	** ¹⁾			*	*	***	*		VT, PT
Bindingsfejl Indv. fejl Fejl til overfladen	** ***		*	*	*	*	*		UT, RT, PT udv. fejl
Mangelfuld Indv. fejl indtrængning Fejl til overfladen	** ***		*	*	*	*	*		RT, VT udv. fejl
Kraterrevne / -pore					*	*	*		VT, PT
Konveks kantsøm			**			*	*		VT
Kantsøm med for stort a-mål								**	VT
Sidekærv	*		**		*	*	*		VT
Overvulst			**			*		**	VT
Gennemløb			***			*			VT
Forsætning af fugekanter	* Svejst ensidig	**	**			*			VT
Indadhvælvning i rod			*		*	*	*		VT
Mangelfuld opfyldning	**					*			VT
Overfladeridser			**		*	*	*		VT
Slibespor			**			*	*		VT
Reduceret godstykke (Slibefejl)	*	*							VT, UT
Tændsår			*			**	**		VT
Svejsesprøjt						**	*		VT
Slagmærker			*		**	***	***		VT

¹⁾ Porer i svejsesamlingen har ikke indflydelse på styrken, hvis svejsemetallet er stærkere end grundmaterialet eller den varmepåvirkede zone (HAZ)

Fejltypens indflydelse på de forskellige egenskaber/kvalitetskriterier

* : Mindre

** : Nogen

*** : Væsentlig