

Dokument: SASAK-RAP-SV-AKS-MIG-0031-00

**Start- stop problematikker
Ved
MIG- og TIG-svejsning i aluminium**

SASAK
Projekt 3 - Svejsning

Slutrapport

Bent Jensen

Migatronic, Juni 2001

Indhold:

1	SAMMENFATNING	3
1.1	FEJLMØNSTER.....	4
1.2	MATERIALETS MASSEFYLDE	4
1.3	MATERIALETS VARMEFYLDE.....	4
1.4	MATERIALETS ELEKTRISKE LEDEEVNE.....	4
1.5	MATERIALETS TERMISKE LEDNINGSEVNE.....	4
1.6	OXIDHINDENS BETYDNING FOR H.H.V. MIG OG TIG-PROCESSEN	5
1.6.1	<i>MIG-processen og oxidhinde</i>	5
1.6.2	<i>TIG-processen og oxidhinden</i>	7
2	LITTERATURLISTE	10

1 Sammenfatning

Med baggrund i den kendsgerning, at der oftere findes start- og stop fejl ved MIG- og TIG-svejsning af aluminium, end ved MIG- og TIG-svejsning af f.eks. almindeligt sort stål eller rustfast stål, har denne problematik blevet behandlet i et selvstændigt studium.

Uanset, at start- og stop fejl må henføres til kategorien svejsefejl generelt, er der alligevel visse faktorer der gælder for netop denne type fejl.

Hvis vi samtidig tager in mente, at megen svejsning af aluminium foretages med afbrudte svejsninger, så er fejlmuligheden, alt andet lige, meget større og vil ligge der som en latent risikofaktor.

Mange års studier og erfaringer tyder på, at kraterporer og især kraterrevner, er blevet udpeget til syndere ved fejl på dynamisk påvirkede konstruktioner, og derfor minutiøst er blevet eftersøgt og elimineret gennem reparation.

Der er i denne rapport ikke fokuseret på, hvilken indflydelse en reparation af ovennævnte fejl har på materialets mekaniske egenskaber i såvel svejsezone som i HAZ, idet disse behandles særskilt i en anden rapport.

Der er derfor ikke muligt at komme med konkrete anbefalinger på, hvorvidt man ved at substituere en fejltype gennem inducering af en anden men knap så "farlig" styrkemæssig forringelse i materialet, kan forbedrer de dynamiske egenskaber.

Det har til gengæld været postuleret, at forskellige havariundersøgelser indikerer at langt de fleste revener ikke opstår som følge af kraterrevner, men at de langt oftere sker som følge af indespændthed og stivhed i konstruktionen, altså mere et designparameter.

Vi må konstatere, at fejltypen bliver behandlet entydigt, uanfægtet om fejlen befinder sig i et spændingsfelt eller på et for konstruktionen fuldstændigt upåvirket område.

Denne problematik tages bl.a. op i rapport KV-AKS-MIG-0007, hvorfor der henvises til denne rapport.

Primært ser vi problemet på maritime konstruktioner, hvor netop også de strengeste klasseregler forfægtes, og vi har kun et stille håb om, at det ad åre lykkes, gennem systematisk bevisførelse – bl.a. gennem logbøger på aluminuimsfærger – at bevæge classeselskaberne over imod en mere "sund fornuft mæssig betragtning".

Uanset disse betragtninger, som både skyldes materialets mere "uheldige" egenskaber, i svejsemæssig henseende, så må de ikke få os til at slappe af og lade stå til.

Fejltypen er uacceptabel, og må afhjælpes gennem korrekt svejseteknik, hvorfor netop også uddannelse af svejsere til aluminium bliver kraftigt high-lightet i afsnittet om kvalitetsstyring, i rapport KV-AKS-MIG-0007.

Ydermere skal der stilles krav til svejsemaskine producenterne om, at der styringsmæssigt er muligt at designe optimale start- og stop features på svejsemaskinerne, så svejseren alene kan koncentrere sig om svejseteknikken. Dette punkt behandles bl.a. i rapport SV-AKS-MIG-0014 og 0015 "Krav til strømkilder"

I den endelige ståbi-form vil vi give konkrete anvisninger på, hvorledes fejl i start- og stop kan, om ikke fuldstændigt elimineres, så dog bringes ned på et acceptabelt niveau som for lignende processer.

1.1 Fejlmønster

Aluminium er på mange måder et attraktivt materiale, også rent svejsemæssigt, idet den lave smeltetemperatur jo burde indikere et meget lavere energiniveau pr. mm², men sådan er virkeligheden ikke idet materialets store varmeledningsevne tværtimod fordrer høj energi tilført i et hurtigt tempo.

Når talen er på svejsning af aluminium er der især 4 fysiske egenskaber, som har betydning for svejsningen:

1. Materialets massefylde
2. Specifikke varmekapacitet
3. Elektrisk ledningsevne
4. Termisk ledningsevne

1.2 Materialets massefylde

Hvad angår massefylden, så er den typisk 1/3 af almindeligt stål, og betyder alt andet lige, at vægten pr. opsmeltet masseenhed derfor også bliver mindre, og i princippet positiv svejsbarhed.

1.3 Materialets varmekapacitet

Angående den specifikke varmekapacitet, som angiver energibehovet for at elevere temperaturen 1°C pr. masseenhed, så er den typisk det dobbelte af almindeligt sort stål, og vil i sammenligningsmæssig henseende have negativ effekt på svejsbarheden.

Det skal dog sættes i relation til massefylden på 1/3.

1.4 Materialets elektriske ledningsevne

Den elektriske ledningsevne, og dermed også den elektriske modstand, varierer meget fra legering til legering, og har ikke den store betydning for MIG-svejsning, og er dermed heller ikke følsom overfor ændring i tilsatstrådens stickout under svejsning.

Den elektriske ledningsevne har derfor hverken positiv eller negativ indflydelse på svejsbarheden, men må nærmest siges at være positiv neutral.

Kun i forhold til modstandssvejsning af aluminium er det et væsentligt parameter, men denne proces beskrives ikke under denne rapport.

1.5 Materialets termiske ledningsevne

Den termiske ledningsevne, som er et udtryk for materialets evne til at transportere varme, har derimod stor betydning, idet den er 4-5 gange så stor som for alm. sort stål, og netop dette faktum har stor betydning for isæt startproblematikken.

Principielt burde det jo være sådant, at selv om vægten for smeltede materiale i aluminium kontra stål er væsentlig mindre, så forsvinder den fordel på grund af aluminiumets større varmeledningsevne. Som en tommelfingerregel er det nødvendige energibehov ca. 50% større for aluminium.

Når dette sættes i relation til den termiske ledningsevne, øjnes der et svar på, hvorfor netop starten på en MIG-svejsning ofte ender med en startfejl i form af "koldsvejsning" med bl.a. bindingsfejl. Når denne fejltipe er så udbredt ved MIG-svejsning skyldes det, at processen opererer med en materialeoverført lysbue, hvor lysbuen brænder fra enden af det kontinuert tilførte tilsatsmateriale til det opsmeltede grundmateriale.

Det vil sige, at når lysbuen etableres er materialetransporten allerede i gang.

Samtidig med denne etableringsfase skal lysbuen sørge for at rense overfladen for oxider, den skal opspilet grundmaterialet og være klar til at opsluge den mængde smeltet tilsatsmateriale, som den givne strøm genererer. Som det klart fremgår af ovenstående, er der flere væsentlige faktorer, der trækker i hver sin retning – eller populært sagt, modarbejder hinanden.

Derfor vil vi ofte se en start, der typisk er meget overhjulvet, den har muligvis en vis klæbeeffekt over imod grundmaterialet, den har for kantsømmes vedkommende ofte manglende indtrængning/bindingsfejl i bunden af svejsesamlingen, og bør alt andet opslibes, såfremt der er tale om en rundsøm

1.6 Oxidhindens betydning for h.h.v. MIG og TIG-processen

1.6.1 MIG-processen og oxidhinde

For MIG-processens vedkommende er oxidhinden på grundmaterialet, rent elektrisk, ikke noget stort problem, idet den konstante +pol på svejsepistolen netop sørger for renseeffekt, medens den negative pol, som skulle sørge for svejseeffekt koncentrerer sig om at smelte tilsatstråden.

Det betyder at der ved synlig renszone, omkring svejsesømmen, er garanti for at oxidhinden er blevet sprængt bort og at der er rent grundmateriale under svejsesømmen.

Den negative pol, på tilsatstråden, betyder imidlertid at tilsatstråden ikke får en elektrisk rensning af oxidhinden, men alene må basere sig på den termiske rensning på sin vej gennem lysbuen, hvilket ikke nødvendigvis er en garanti for fuldstændig afrensning.

Oxidindeslutninger er derfor som regel et produkt af denne tilstand kombineret med forkert fugedesign, hvor +polen ikke har mulighed for at få ordentlig oprensning, f.eks. på stejle fugeflanker i stumpsømme.

Netop denne tilstand gør også, at der i start øjeblikket sker en ”langsom” opvarmning af grundmaterialet, men eftersom strømmen er et produkt af trådhastigheden, er svejsningen principielt i gang i det øjeblik lysbuen etableres, hvorfor fremdrift er påkrævet



Fig.: 1 MIG-svejsning med start samt tilbageføring i stopsekvens

På fotoet ses en typisk start, som tilsyneladende er korrekt udført, men som alligevel, som vist på makroslibet, har dårlig eller slet ingen indtrængning i startøjeblikket.

På det samme foto ses en afslutning, hvor slutkrateret er ført tilbage i svejsningen, således at kraterpore undgås. Dette omtales senere i rapporten.

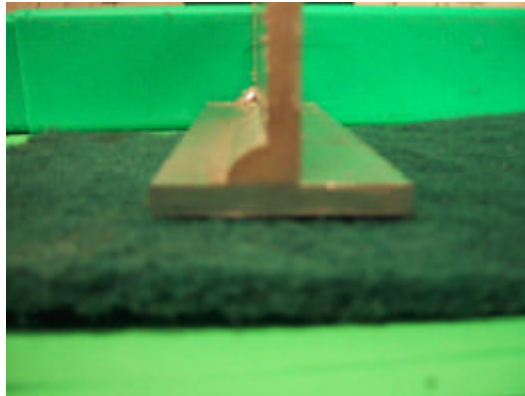


Fig.: 2 Makroslib af start på Fig. 1

En meget anvendt startteknik er derfor:

- Enten at anvende en startplade, såfremt dette er muligt, hvor lysbuen når at stabilisere sig på rette strømiveau, før brænderen føres hen på startstedet
- At starte lidt foran svejsningen, i svejseretningen, for hurtigt at dreje pistolen tilbage i korrekt startposition. Derved opnås en vis forvarmning af svejsestedet og det nedsmeltede tilsatsmateriale opsmeltes igen såsnart svejsepistolen føres tilbage over startstedet.

En anden, og mindst ligeså farlig fejltyp, er afslutningsfejlene.

En typisk afslutning, i aluminium, er som oftest kendetegnet ved en tydelig ”sugning” i afslutningssmelten.

Ved opslibning af denne, kommer der som regel en lille kraterpore til syne, der som pore, isoleret set, ikke er overdrevent farlig.

Det er mere kombinationen af, at placeringen midt i afslutningssmelten, udsætter den for nogle kraftige trækpåvirkninger, der meget nemt kan risikere i et brud, såfremt konstruktionen bliver dynamisk påvirket.

I dette tilfælde vil det resultere i en kraterrevne, som pr. definition er en af de farligste fejltyp, der findes.

Årsagen til denne kraterpore/-revne skal som regel findes i aluminiumets høje størkningshastighed, kombineret med forkert afslutningsteknik.

Moderne MIG-anlæg er der derfor også normalt udrustet med en speciel feature – som oftest kaldet ”kraterfylder” – der, i det øjeblik svejsningen stoppes sørger for et særligt ”slope-down” sekvens.

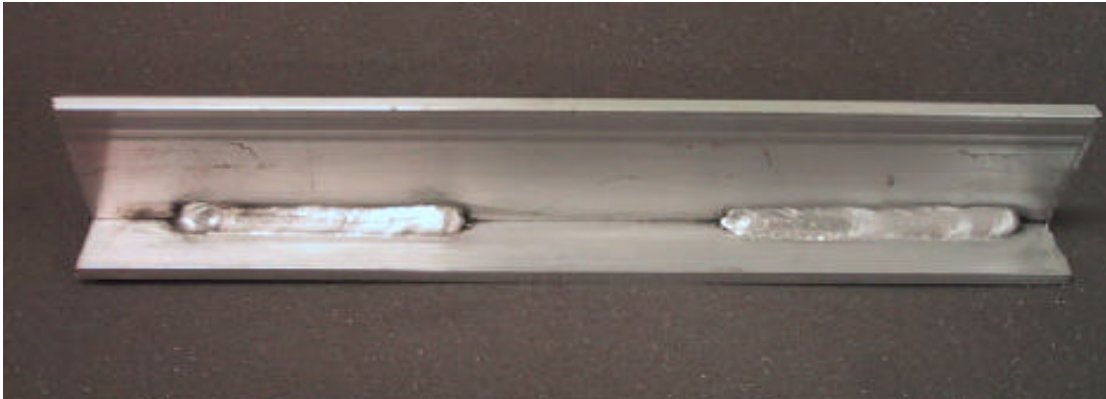


Fig. 3

Principielt sker der det, at svejsemaskinen modtager et signal om at nu stopper svejsningen. Den manuelle fremføring af svejsebrænderen stopper, alt imedens strømstyrke automatisk reguleres ned til et, på forhånd, fastlagt strømstyrke niveau, således at afslutningskrateret fyldes op med flydende materiale, og størkningsprocessen forsinkes.

Derved bliver afslutnings-krateret fyldt op til samme volumen, som resten af svejsningen, og den normale sugning udebliver, og fejlrisikoen minimeres.

Dette ses på svejsningen til højre på Fig. 3.

Såfremt der svejses med svejseanlæg, der ikke har denne specielle ”slope down” funktion, er den alternative stopmetode at tilbageføre svejsebrænderen op i den størknende svejsesøm, hvorved stoppet foregår oppe allerede størknet svejsemateriale, og den evt. kraterpore vil blive påført på et for styrkens vedkommende uvæsentligt område.

Til gengæld bliver det visuelle indtryk ikke så pænt, hvorfor det anbefales at slibe afslutningskrateret bort.

Dette ses til venstre på billedet.

I øvrigt kan henvises til rapport SV-AKS-FI-0016 ”Indtrængningssikkerhed ved MIG-svejsning af aluminium”

1.6.2 TIG-processen og oxidhinden

For især TIG-processens vedkommende kan oxidhinden på grundmaterialet, rent elektrisk, være et problem, idet den kun kan fjernes under processens +pol.

Samtidig er dens tilstedeværelse også en nødvendighed for overhovedet at få processen startet, idet TIG-lysbuen kun kan etableres såfremt der er oxider tilstede.

Idet TIG-processen allerede er beskrevet mere uddybende i en selvstændig rapport, vil der kun i denne rapport medtages informationer, som har direkte relation til netop start- og stopproblematikken.

Normalt anvendes der AC-mode på svejsepistolen for netop at sørge for renseseffekt, medens den negative pol, sørger for svejseeffekt i smeltebadet.

I fællesskab sørger såvel +/- polerne samtidig for nedsmeltning af tilsatstråd, hvilket i princippet stjæler svejseenergi.

Det betyder at der ved synlig rensesone, omkring svejsesømmen, er garanti for at oxidhinden er blevet sprængt bort og at der er rent grundmateriale under svejsesømmen.

Oxidindeslutninger optræder som regel derfor kun ved forkert eller vanskeligt fugedesign, hvor +polen ikke har mulighed for at få ordentlig oprensning, f.eks. på stejle fugeflanker i stumpsømme.

For TIG-processen er det især vigtigt, at korrekt varmetilførsel overholdes, idet der ved manuel svejsning er betydeligt vanskeligere at fastholde kontinuert og ensartet fremføring, idet føddning af tilsatstråd foregår med den frie hånd.

Der er derfor hyppigere stop ved denne proces, end ved MIG, hvilket igen betyder flere starter og stop, og dermed øget risiko for fejl i disse sekvenser.

Kravene til start og stop er rent metallurgisk de samme som til resten af svejsningen, nemlig at der er fuld indbrænding, korrekt a-mål og overgang til grundmaterialet, eller sagt med andre ord, den skal være fejlfri såvel visuelt som radiografisk.

TIG-processen har dog den fordel, at der i startsekvensen kan foregå en kontinuert opvarmning af grundmaterialet, indtil korrekt smeltetemperatur er opnået i grundmaterialet, hvorefter tilsatstråden tilsættes.

Dette giver pr. automatik en afkøling af smeltebadet, og en ikke rutineret eller opmærksom svejser kommer let til at forcere svejsningen, således at der opstår en bindingsfejl, alternativt manglende opfyldning på fugeflankerne.

Derfor ser man ofte, at der i opstartssekvensen opereres med én form for hotstart-forløb, hvor der i en forudbestemt tid opvarmes med en større Ampere, og så falder til den ønskede svejsestrøm, når den indstillede tid er udløbet.

Det har den fordel, at opvarmningen ikke kommer til at foregå som en eksplosion, men at den øges kontrolleret indtil ønsket niveau er nået. Det minimerer risikoen for især manglende opfyldning på fugeflankerne.

Det samme gør sig gældende ved afslutningen, men ofte med modsat fortegn, idet materialet nu er blevet så varmt, at det kræver en rigtig stopteknik for at få korrekt afslutning.

En typisk afslutning, i aluminium, er som oftest kendetegnet ved en tydelig "sugning" i afslutningssmelten.

Ved opslibning af denne, kommer der som regel en lille kraterpore til syne, der som pore, isoleret set, ikke er overdrevent farlig.

Det er mere kombinationen af, at placeringen midt i afslutningssmelten, udsætter den for nogle kraftige trækpåvirkninger, der meget nemt kan risikere i et brud, såfremt konstruktionen bliver dynamisk påvirket.

I dette tilfælde vil det resultere i en kraterrevne, som pr. definition er en af de farligste fejltypen der findes.

Årsagen til denne kraterpore/-revne skal som regel findes i aluminiumets høje størkningshastighed, kombineret med forkert afslutningsteknik.

Moderne TIG-anlæg er der derfor også normalt udrustet med en speciel feature – som oftest kaldet ”kraterfylder” – der, i det øjeblik svejsningen stoppes sørger for et særligt ”slope-down” sekvens.

Principielt sker der det, at svejsemaskinen modtager et signal om at nu stopper svejsningen.

Den manuelle fremføring af svejsebrænderen stopper, alt imedens strømstyrke automatisk reguleres ned til et, på forhånd, fastlagt strømstyrke niveau.

I samme sekvens tilsættes det sidste tilsatsmateriale, således at afslutningskrateret fyldes op med flydende materiale, og størkningsprocessen forsinkes.

Derved bliver afslutningskrateret fyldt op til samme volumen, som resten af svejsningen, og den normale sugning udebliver, og fejlrisikoen minimeres.

Der findes også udstyr, der har mulighed for at sænke strømmen til et såkaldt ”hvilestadie”, hvor strømmen reguleres ned til et niveau, hvor smeltebadet holdes svagt flydende.

Det kan med fordel bruges, hvor svejsningen skal fortsætte, og der alene er tale om at skifte tilsatstråd.

Fordelen ved det er, at man så ikke behøver at lave en afslutning, ej heller behøver man at lave en start fra begyndelsen, og fejlrisikoen mindskes betydeligt.

Såfremt der svejses med svejseanlæg, der ikke har denne specielle ”slope down” funktion, er den alternative stopmetode at tilbageføre svejsebrænderen op i den størknende svejsesøm, hvorved stoppet foregår oppe allerede størknet svejsemateriale, og den evt. kraterpore vil blive påført på et for styrkens vedkommende uvæsentligt område.

For at undgå en bratkøling af smeltebadet anvendes der så ofte en såkaldt ”blink teknik” hvor svejsebrænderen tændes og slukkes i hurtig sekvens, samtidig med tilføring af tilsatstråd.

I princippet opnås så det samme som ved den kontrollerede slope down, men kvalitetsmæssigt vil resultatet ikke blive det samme, idet de gentagne tændinger og slukninger åbner mulighed for tilstedeværelse af atmosfærisk luft, og derved en forøget porerisiko.

Afsluttes svejsningen for varmt, med denne teknik, ses det ofte, at den inducerede kraterpore er åbnet, og at den går dybt ned i svejsematerialet, og i særlige tilfælde endog hele vejen igennem

Det anbefales derfor på det kraftigste, at slibe afslutningskrateret bort.

Ovennævnte fejltypen har størst effekt i stumpsømme, herunder specielt i bundstreng, hvor helt specielle start- og stopteknikker bør iagttages.

På grund af de helt specielle materialemæssige forhold for aluminium, er det særdeles vanskeligt at afslutte i en bundstreng med åben fuge, uden at der er risiko for kraterpore/-revne, såfremt svejsemaskinen ikke har slope-down funktion.

I så fald bør man altid stoppe ved at afslutte oppe på fugekanten, således at en evt. kraterpore laves på fugekanten og ikke i selve rodåbningen.

Ved fortsættelse i samme svejsning, bør det dog være naturligt, at man sliber afslutningerne for derved at lette starten på den fortsatte svejsning.

Dette bør altid være reglen, vel vidende at der ofte genereres flere fejl ved slibning end ved deciderede afslutningsfejl, idet kraterporer har tendens til at gå baglæns igennem materialet.

Dårlig eller ikke tilstrækkelig slibning når på den måde ikke at bortfjerne hele poren, og fejlen står så ofte tilbage, selv om der ”tilsyneladende” er udført en korrekt start-/stop teknik.

2 Litteraturliste

Schoer, Heinz

"Schweißen und Hartlöten von Aluminiumwerkstoffen"

DVS, 1998.

"Successful Welding of Aluminium"

WTIA Technical Note No. 2

Welding Technology Institute of Australia, 1997

Harris I.D.

"A review of porosity formation and recommendations on the avoidance of porosity in TIG welding"

The Welding Institute, 1988