



SVEJSNING AF SG-jern

af

Palle Aastrup

Svejsning af SG-jernIndledning

SG-jern - støbejern med sfæroidiseret grafit - har, som betegnelsen siger, kulstof udskilt som grafitkugler i modsætning til gråt støbejern, hvor grafit er udskilt i sammenhængende og forgrenede flager. Sfæroidiseringen af grafiten opnås dels ved nøje afpasning af støbejernets kemiske sammensætning, dels ved en podning før støbningen med magnesium, undertiden cerium.

Grundmassen i SG-jern kan i lighed med gråt støbejern være ferritisk, perlitisk eller en blanding af disse. I SG-jern danner grundmassen et sammenhængende hele, hvilket giver materialet en betydelig duktilitet i sammenligning med gråt støbejern, hvor grafitflagerne gennemskærer grundmassen på kryds og på tværs og hindrer deformation.

I tabel 1 er anført de mekaniske egenskaber for to SG-jern typer, således som de er specificeret som minimumkrav i DS 11303 (0716 har ferritisk grundmasse, 0727 ferritisk-perlitisk grundmasse).

Tabel 1. Mekaniske egenskaber af typiske SG-jern og stål

Klasse	Trækstyrke N/mm ²	0.2-spænding N/mm ²	Brudforlængelse %
0716	390	250	15
0727	490	340	7
St 42A	390-490	245/225	23
St 50B	490-590	325/305	21

I tabellen er til sammenligning anført krav til et par almindelige ståltyper, St 42A og St 50B.

Der har altid været interesse for svejsning på støbejern. Først og fremmest til udbedring af støbefejl og til repa-

ration af beskadigede eller nedslidte dele. I forbindelse med SG-jern går interessen dog videre til også at omfatte svejsning som konstruktiv samlingsmetode, f.eks. i forbindelse med rørledningssystemer med støbte rør og ved kombinationer af stål med støbte formelementer.

Svejselighed

SG-jerns duktilitet er en væsentlig forudsætning for, at det kan betragtes som svejseligt i almindelig forstand. En termisk svejseproces medfører som regel opbygning af spændinger, som vil overstige brudspændingen, hvis ikke materialet er i stand til at flyde eller deformere.

Herudover må SG-jern betragtes som betinget svejseligt, idet det høje kulstofindhold naturligvis gør sig gældende ved en termisk cyklus, som indebærer temperaturstigning til eller nær smeltepunktet. Grafitten vil da opløses i grundmassen. En forudsætning for, at det ved fornyet afkøling kan udskilles som grafit er, at afkølingshastigheden er lav, nogle få °C/sek. Ved svejsning med beklædt elektrode, som almindeligt anvendt ved svejsning i stål, er afkølingshastigheden ved størkningstemperaturen typisk 170° C/sek., når der ikke anvendes forvarmning af emnet.

Fig. 1 illustrerer for to processer afkølingshastighedens afhængighed af emnets forvarmetemperatur. En nødvendig forvarmetemperatur for fra en smeltefase at opnå grafitudskillelse vil, afhængig af processen, være mindst ca. 600° C.

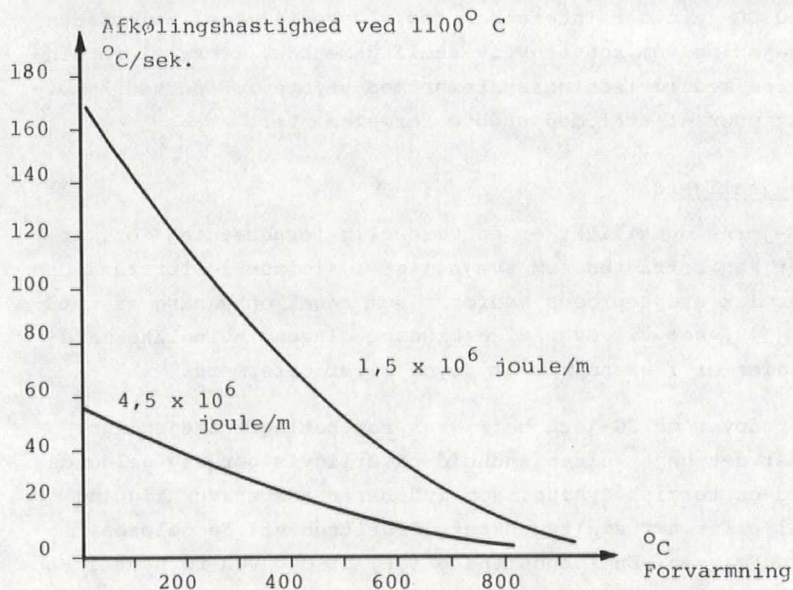


Fig. 1. Afkølingshastighedens afhængighed af forvarmetemperaturen ved pulversvejsning ($4,5 \cdot 10^6$) og ved svejsning med beklædt elektrode ($1,5 \cdot 10^6$ joule/m).

Varm-svejsning

Det er klart, at en sådan fremgangsmåde med høj forvarmetemperatur er vanskelig og kostbar at gennemføre og styre i almindeligt konstruktionsarbejde. Den kommer derfor kun på tale i forbindelse med færdiggørelse eller reparation af et støbt emne. Til dette formål vil man benytte tilsatsmateriale, som giver en svejseøm af samme struktur som grundmaterialet. Til gassvejsning er problemerne ikke så store med hensyn til at opnå den rigtige sammensætning af svejsemetallet. Vanskeligere er det i forbindelse med lysbuesvejsning, hvor temperaturen af smeltet materiale, omend

kortvarigt, kan komme væsentligt over smeltepunktet. Magnesium, som er væsentlig for dannelsen af kuglegrafitstrukturen, vil derigennem være meget tilbøjelig til at fordampe. Vanskelighederne kan imidlertid overvindes, og der kan idag nedsmeltes kuglegrafitholdigt støbejern såvel med beklædte elektroder som med pulverfyldt tråd til brug ved MIG-svejsning.

En fuldstændig homogenisering af grundmaterialet, svejse-søm og overgangszone forudsætter en efterfølgende ferritiserende eller perlitiserende varmebehandling.

Kold-svejsning

Ved konstruktionsarbejde må der benyttes en anden fremgangs-måde, hvis det skal have praktisk betydning. Det vil sige, at svejsning må kunne udføres uden særlige varmebehandlinger, til nød med en forvarmning på mere almindeligt niveau, 200 - 300° C.

Anvendelse af elektrodemateriale af støbejern eller kulstof-fattigt stål, må man i almindelighed se bort fra. Opsmeltingen af grafit fra grundmaterialet beriger svejsemetal af blødt stål i en sådan grad, at der i lighed med støbejernsmetal vil fremkomme meget hårde og skøre faser, som medfører stor tilbøjelighed for revnedannelse under påvirkning af svejse-spændingerne. Der må derfor anvendes en anden type svejsemetal, som kan forliges med kulstof uden at blive revnetilbøjeligt, og som iøvrigt tilfredsstillende styrkemæssige krav. Nikkel og nikkel-jern legering med legeringsforhold omkring 55/45 har sådanne egenskaber.

Fremgangsmåden for svejsningens udførelse afhænger i høj grad af strukturforandringerne i den varmpåvirkede zone i grundmaterialet og de deraf resulterende egenskaber. Påvirkningen fra svejsningen bevirker, at kulstof diffunderer fra grafitkuglerne ud i den omkringliggende grundmasse,

desto mere jo længere varigheden af den forhøjede temperatur. Ved den påfølgende hurtige afkøling, sker der en om-dannelse til hårde og skøre strukturer, hvoriblandt man finder ledeburit og martensit. Med tilstrækkelig lille og kortvarig varmepåvirkning vil man finde disse strukturer isoleret i øer omsluttende grafitten (fig.2).

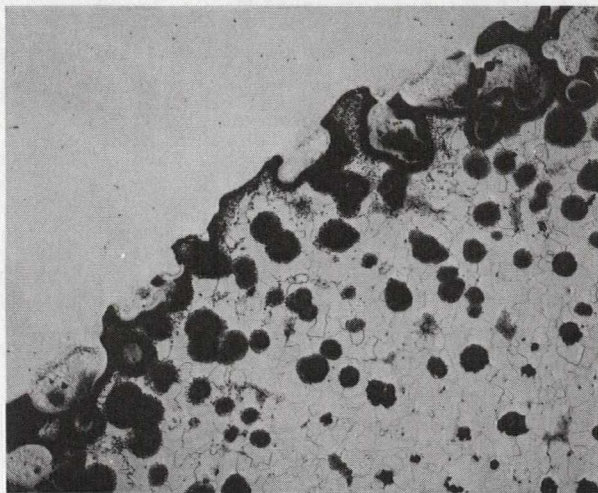


Fig. 2. Normal struktur i overgangs- og varmepåvirket zone i 25 mm ferritisk SG-jern. 310 joule/mm. x 75.

Materialet har således beholdt en stor del af sin duktilitet.

Svejsning med lille energitilførsel

En fremgangsmåde for svejsning af SG-jern med ferritisk grundmasse kan derfor være at svejse tynde strenger med lille energiabsorption pr. længdeenhed og undlade forvarmning. En forvarmning vil udstrække påvirkningen såvel i dybden som i varighed. Til dette formål fremstilles beklædte

elektroder, som arbejder med særlig lav buespænding og derigennem med nedsat energiafsætning. Endvidere er der mulighed for at anvende MIG-kortbuesvejsning. Denne procesversion er karakteristisk ved, at der kun momentvis optræder en lysbue af kort længde, idet spidsen af den trådformige elektrode vekselvis kortslutter i smeltebadet og brænder tilbage. Et typisk strøm- og spændingsforløb ses i fig.3.

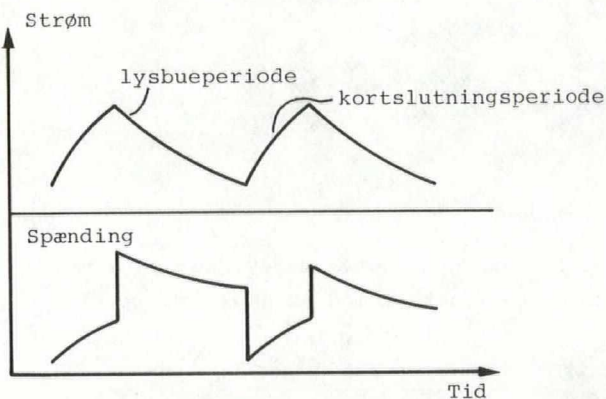


Fig. 3. Strøm- og spændingsforløb ved MIG-kortbuesvejsning.

Energyniveauet for denne proces kan således også være meget lavt. Fig.2 er et eksempel på overgangszonen ved svejsning med MIG-kortbue med en energiafsætning på 310 joule/mm. Fig.4 viser en overgangszone ved svejsning med 60 joule/mm, og fig.5 et udsnit heraf.

Det er indlysende, at svejsning på så lave energiniveauer ikke er særligt produktivt. Teknikken vil derfor særligt være knyttet til udførelse af pufferlag (fig.6) på fugerkanter eller til svejsesømme med mindre tværsnit, f.eks. kantsømme med lille a-mål.

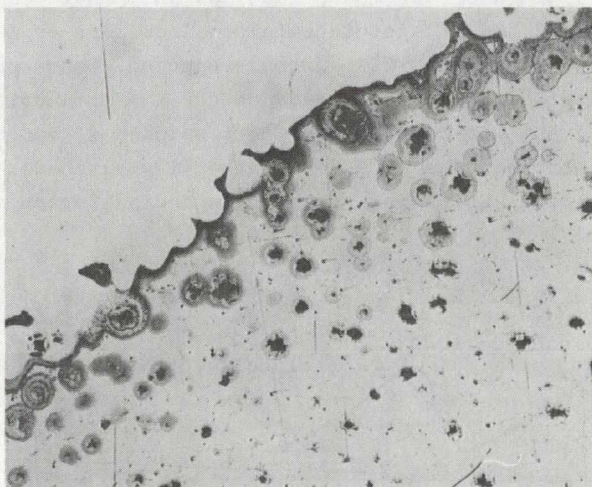


Fig. 4. Struktur i overgangs- og varmepåvirket zone ved påsvejsning på fugekant med 60 joule/mm. x 75.

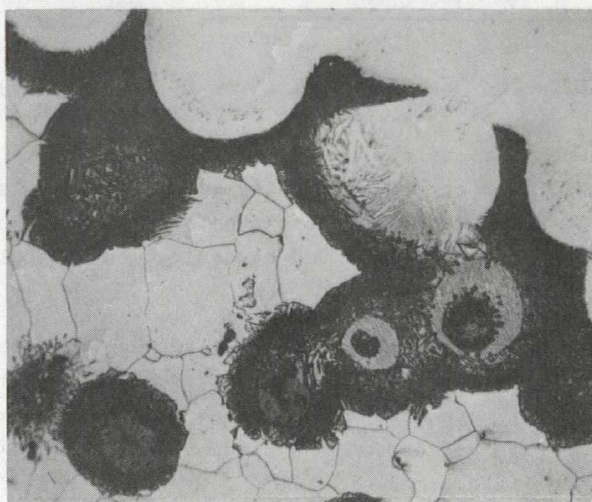


Fig. 5. Udsnit af fig. 4. x 350.

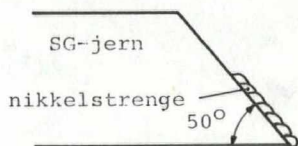


Fig. 6. Opbygning af nikkelpufferlag.

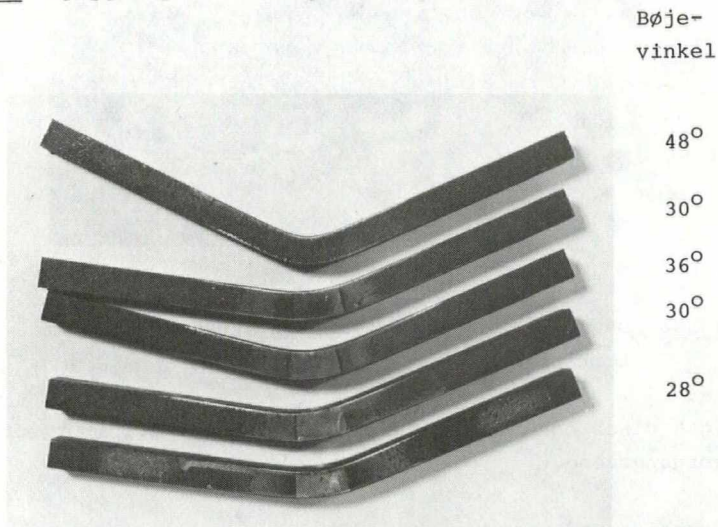


Fig. 7. Bøjeprøver af grundmateriale (øverst) og svejst X-søm i 25 mm ferritisk SG-jern.

Fig.7 viser en bøjeprøve udført på 25 mm plademateriale af ferritisk SG-jern (øverst) og nogle sidebøjeprøver udført på en X-søm i samme materiale, svejst med 310 joule/mm i pufferlagsstregene.

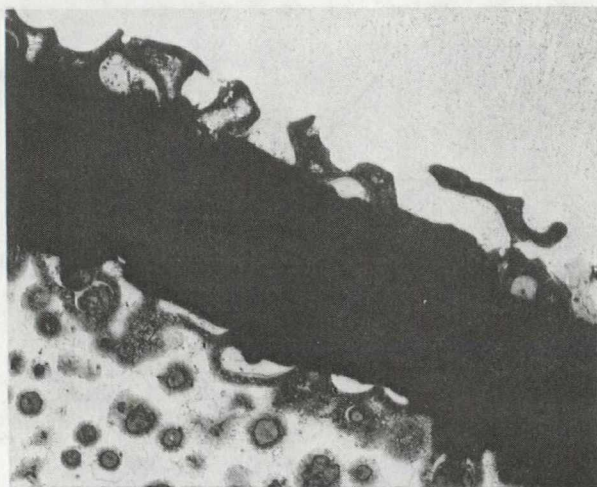


Fig. 8. Brudzone i bøjeprove af svejst X-søm i 25 mm ferritisk SG-jern. x 75.

Fig.8 viser en brudlines forløb i den ca. 0.1 mm brede overgangszone.

Svejsning med større varmeindføring

Er det ikke muligt (eller for dyrt) at arbejde med lav-energiteknikken, og større områder med martensit m.v. vil forekomme, kan man med en forvarmning på 250° - 300° C opnå en mindre hård og skør martensit foruden en reduktion af svejsespændingerne, og herigennem opnå en samling, som kan være tilfredsstillende efter formålet.

En anden mulighed er, at svejse med størst mulig varmeindføring, det vil sige, at nedsmelte mest muligt materiale pr. længdeenhed f.eks. ved svejsning med sidebevægelse. Herigennem kan opnås samme effekt som forvarmning. Denne fremgangsmåde benyttes med tilfredsstillende resultater i Tyskland til svejsning af rørledninger.

Elektrodematerialer

Anvendelse af nikkel-elektrodemateriale betyder en høj pris på tilsatsmaterialet. Nikkel-jern er nok lidt billigere, men har indtil for nylig været særdeles vanskelig at opdri-ve som tråd til MIG-svejsning. Svejsning med nikkel kan være temmelig vanskelig at udføre, specielt når der er tale om svejsning i dybe fuger. Man skal være særdeles opmærksom på muligheden for bindingsfejl mellem nikkel og nikkel. Svejsning på selve støbejernet er ikke problematisk. Med nikkel-jern er forholdene noget lettere.

Alene prisen på nikkelrigt elektrodemateriale gør, at det kunne være ønskeligt at anvende et andet materiale ved opfyldning af større fugevoluminer. Nyere undersøgelser synes at vise, at rustfri stålelektroder af typen 18/8-6 Mn kan anvendes i forbindelse med et nikkel-pufferlag på SG-jer-nets fugekant.

Samling af SG-jern med blødt stål er med nævnte elektrode-materialer alene et spørgsmål om behandlingen af SG-jernet. Elektrodematerialerne er alle forenelige med blødt stål.

Undertiden ses aluminiumbronze (ca. 9% Al) anvendt på stø-bejern. Om dette elektrodemateriale må imidlertid anføres, at risikoen for koldløbning ved svejsning på stål er over-ordentlig stor, som følge af den store forskel i smelte-punkt. Endvidere kan materialet give indtrængning i korn-grænserne ved stærk varmepåvirkning.

Afslutning

De beskrevne principper for svejsning og erfaringerne hermed refererer til ferritisk SG-jern. Der er forholdsvis lidt materiale publiceret om svejsning på perlitholdige SG-jern. En sammenstilling af de mekaniske egenskaber, som typisk opnås med hver af omtalte fremgangsmåder har ikke været mulig. Forskelle i egenskaberne vil formentlig væsentligst vedrøre deformationsevnen og udmattelsesstyrken.

Mulighederne for i konstruktionsarbejdet at benytte svejsning af SG-jern er således endnu ikke fuldt belyst. Især er det ønskeligt at erhverve mere viden om de svejste samlingers egenskaber overfor dynamisk belastning. Alligevel er det nok værd at overveje, specielt i forbindelse med serieproduktion, om der kan være fordele ved i stålkonstruktioner at anvende støbte komponenter til indsvejsning. Det vil dog altid være klogt at overveje opstilling af individuelle specifikationer til samlingerne og at eftervise opfyldelsen af disse ved procedureprøve.

Litteraturliste

- N.N.Rykalin: Berechnung der Wärmevorgänge beim
Schweissen.
VEB Verlag Technik, Berlin 1957.
- R.C.Bates,
F.J.Morley: Welding Nodular Iron Without Post-
Weld Annealing.
Welding Research Supplement,
september 1961.
- D.J.Heath,
D.R.Thorneycroft: Practical Aspects of Fine-Wire Welding
of Nickel Alloys.
British Welding Journal, Maj 1964.
- Jürgen Ruge,
Peter Hildebrandt,
Wilfried Keinert: Untersuchungen zum Schweissen von
Gusseisen mit Kugelgraphit.
Schweissen und Schneiden 1965, Heft 7.
- S.A.Fröberg: Short-arc Welding of SG-Iron in the
SKF Katrineholm Works, Sweden.
Foundry Trade Journal, Maj 1968.
- J.W.Flannery: Welding ductile iron - Part one and two.
Welding Engineer, November 1968 +
December 1968.

International Nickel.
S.G. Iron Welding, 1969.
- D.J.Kotecki,
N.R.Braton,
C.R.Loper: Preheat Effects on Gas Metal-Arc Welded
Ductile Cast Iron.
Welding Research Supplement, april 1969.

- Svetsning av gråjärn och segjärn.
IVF resultat, maj 1971.
- Heribert Wirtz,
Horst Reuter: Fertigungsschweissen an Werkstücken
aus Gusseisen mit Lamellen und Kugel-
grafit.
Schweissen und Schneiden, H.7, 1971.
- Yu.Ya.Gretskii,
V.A.Metlitskii: Mechanised welding and deposition of
iron containing spheroidal graphite
using cored electrode wire.
Automatic Welding, 10. 1971.
- H.A.Meyer: Short-circuit arc welding of nodular
cast iron.
Philips Welding Reporter, 1. 1973.
- R.D.Forrest: Welding of high duty grey & nodular iron.
Welding and Metal Fabrication, Maj 1973+
Juni 1973.
- R.A.Bishel: Flux-Cored Electrode for Cast Iron
Welding.
Welding Journal, juni 1973.
- Wolf-Dieter
Schneider,
Erich Theis: Das Schweissen von duktilen Gussrohren.
Rohre Für Gas und Wasser, h.8, 1973.
- Palle Aastrup Svejsning af SG-jern.
SVC-rapport SF 7502, februar 1975.
- Palle Aastrup: Undersøgelse af forskellige tilsats-
materialer ved svejsning af SG-jern.
SVC-rapport SF 7604, september 1976.

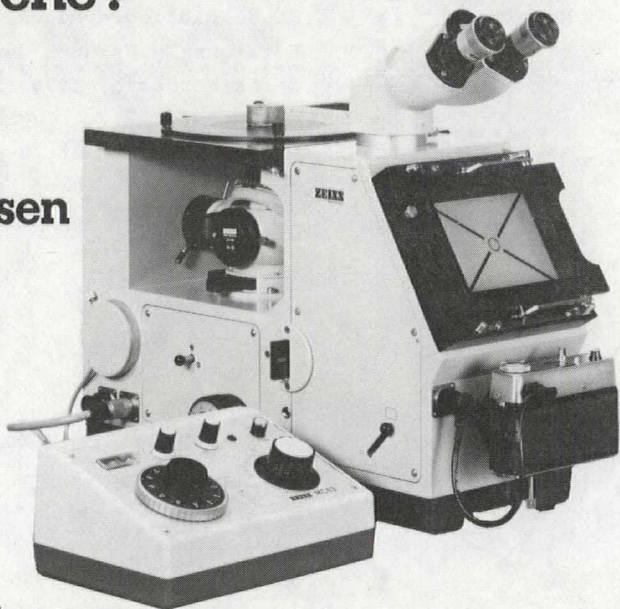
Yu.Ya.Gretskii,
V.A.Metlitskii: The Metallurgical and Technological
Features of the Welding of High-Strength
cast Iron with Flux-cored Wires.
Welding Production, No.11, 1976.

Marie-Thérese
Morelle: Soudage des Fontes.
Etude bibliographique.
Editions Techniques des Industries
de la Fonderie, 1976 (240 referencer)

**Skal et mikroskop være stort
som et skab, ligne et juletræ og være
svært at betjene?
NEJ..!**

**Derfor sælger
Brock & Michelsen**

ZEISS



ICM 405 /metalmikroskop

der er kendetegnet ved kompakthed, stabilitet og komfort. Normfor-
størrelserne 50x, 100x, 200x, 500x og 1000x i tubus og matskive.
Objektivrevolver uden efterfokusering. Fokusering i tubus. Koaksial
grov- og finbevægelse. Fuldautomatisk foto med små- og storbilled-
kamera. Lysfelt. Mørkefelt. Interferenskontrast. Polarisatión

**Brock & Michelsen har haft eneforhandling for Zeiss i mere
end 50 år.**

**Fordi Zeiss er præcision, og det er det, dansk industri og
forskning har brug for.**



BROCK & MICHELSEN

VESTERGADE 23 25 · 1456 KØBENHAVN K

Rekvirer prospekt (01)15 56 31