

KAN MAN SVETSA I ÄLDRE STÅLKONSTRUKTIONER?

Nils Stenbacka • nils.stenbacka@hv.se
www.sbi.se • Skapad 2011-12-06

Frågan är kanske något udda. Ska man verkligen svetsa i äldre järn/stål? Och vad menas egentligen med äldre konstruktionsstål? Denna artikel tar upp en del av frågeställningarna kring svetsningen av dessa material, dvs järn/stål tillverkade mellan 1900 till 1940. Anledningen till detta kan vara reparation, ombyggnad eller tillbyggnad av befintliga äldre stålkonstruktioner. Svetsning av gjutjärn, som tidigt användes som konstruktionsmaterial (bl a för tryckta pelare), behandlas emellertid inte i denna artikel.

Det finns ett stort antal järn/stålkonstruktioner i drift som tillverkades före 1950, och som kan vara i behov av ombyggnad, reparation eller annat underhåll. Påsundsbron i Stockholm, togs t ex i bruk 1935. Det var för övrigt den första helsvetsade bron i landet och är en del av Västerbron. Huvudspannen i Västerbron, som går över Riddarfjärden, är dock nitade. Det finns även andra äldre järn/stålkonstruktioner som t ex järnvägsbroar, klaffbroar och skilda typer av konstruktioner i äldre vattenkraftstationer (traversbanor, lyftanordningar, pelare, takstolar, bjälklag osv). Tidigt använde man järn och stål (t ex mjuka otätade kolstål med t ex $C < 0,2 \%$ och $Mn < 0,5 \%$) som konstruktionsmaterial till kranbanor, järnvägsbroar och olika fackverkskonstruktioner. En gammal klassning av järn och stål i Tyskland (1906) tog fasta på brotthållfastheten. Järn hade en brotthållfasthet som var $< 42 \text{ kg/mm}^2$ och stål däröver (1). Sträckgränserna för järn och stål kunde vara 220/320 MPa, brottgränserna 320/480 MPa med brottförlängningarna mellan 24 – 30 %. Tillåtna spänningar (om det var drag, tryck eller skjuvning) var i storleksordningen 30 – 40 % av brottspänningen (1-2). En tidig tysk standardisering av ett konstruktionsstål avsett för svetsning (St 52) gjordes 1929 (bl a med krav på maximal kolhalt). När standardiseringen av svetskonstruktionsstålen tog förnyad fart i Europa efter andra världskriget infördes en begränsning av kolhalten till max 0,20 %, medan halterna svavel och fosfor maximerades till 0,05 % (3). Grundregeln är att man inte ska svetsa i äldre järn eller stål med okänd analys. Det är ett synsätt som har vuxit fram i takt med att förståelsen för olika svetsbarhetsfrågor har

ökat (3). I normala fall har man då gjort ombyggnader eller ändringar av äldre stålkonstruktioner med bl a skruvförband. Men många gånger kan man få bättre och enklare lösningar med svetsförband. Men kan man då svetsa äldre järn/konstruktionsstål? Svaret är att "det beror på". Vissa anser att 80 % av de äldre konstruktionsstålen kan svetsas om man väljer de rätta betingelserna (4). Svetsbarheten hos dessa stål bestäms bl a av grundmaterialets kemiska analys. Om man inte har tillgång till ursprungliga analyscertifikat för aktuella järn/stål, behöver man göra en svetsbarhetsundersökning och svetsbarhetsbedömning av materialen (3). Uppgifterna behövs bl a för att välja svetsprocedurer (svetsparametrar, svetsfog, tillsatsmaterial etc), kontrollprocedurer (planer, metoder, omfattning, svetsklass etc) och om man överhuvudtaget ska svetsa i det aktuella stålet eller inte. Vidare behöver man göra en spänningsanalys och ev komplettera denna med hållfasthetsdata för de aktuella materialen (1-2). Kort sagt, man behöver beakta alla de kvalitetsbestämmande faktorerna (3).

Äldre järn/konstruktionsstål

Vad menas egentligen med äldre järn/konstruktionsstål? Man kanske kan säga att stål tillverkade före 1950 kan klassas som "äldre konstruktionsstål". Stål som tillverkades före andra världskriget tillhör definitivt kategorin "äldre konstruktionsstål", eftersom materialen i egentlig mening aldrig utvecklades för att kunna svetsas (de var inte svetskonstruktionsstål i dagens mening), även om det finns vissa undantag. Man kan säga att Järn var ett konstruktionsmaterial som användes (i dagens mening) i måttligt påkända nitade konstruktioner, som t ex statiskt belastade konstruktioner (takstolar), men även i vissa tidiga brokonstruktioner (fackverk) under 1800-talet. Nitningen var den dominerande sammanfogningssmetoden under 1800-talet och i början av förra seklet fram till 40-talet. Under 20/30-talen började svetsningen slå igenom som sammanfogningsmetod mer och mer, men förståelsen/kunskapen för olika svetsbarhetsfrågor var inte lika djup som den är idag. Det var för övrigt först under 40/50-talen som man började förstå

(i mera vetenskaplig mening) vilka faktorer som t ex kontrollerar segt eller sprött brott i svetskonstruktioner, utmattning av svetsförband, bildningen av väteinducerade sprickor och stelningssprickor i svetsförband etc. Samtidigt skedde en utveckling och standardisering av svetskonstruktionsstålen (från 30-talet och framåt), dvs stål som var avsedda att kunna svetsas och som uppfyllde rimliga krav på säkerhet mot spröda brott. Utvecklingen av dessa stål tog fart på 50-talet. I Sverige tillverkades stål på 30-talet genom ett par olika processer som t ex Thomas, Martin (basisk eller sur) och Elektrostål. Dessa processer ledde till att materialen hade karakteristiska halter av olika föroreningar som t ex svavel, fosfor och kväve, se tabell 1.

Tabell 1. Typiska föroreningshalter för olika stålprocesser före 1940 (3).

Ämne	Thomasstål	Martinstål	Elektrostål
P,S	0,04-0,1%	<0,04%	<0,02%
N	0,01-0-02%	0,001-0,008%	0,008-0,25%

Ett par svetsbarhetskriterier (av många) som använts länge är att; halterna av fosfor eller svavel ska < 0,05 % och kväve < 0,009 % hos stålet, för att undvika stelningssprickor (varmsprickor) i svetsgodset och för att få acceptabel seghet hos grundmaterialet (inkl den värmepåverkade zonen av svetsförbandet). Av bl a denna anledning förstår man att stål tillverkade genom Thomasprocessen inte höll måttet i längden (se tabell 1). Processen försvann i Sverige i mitten av 60-talet, och det var istället Kaldo- och LD-processerna som utvecklades vidare. Idag dominerar LD-processen (namnet kommer från stålverken Linz – Donawitz) i Sverige (3). Se även tabell 2 som visar ett antal analyser på järn och stål tagna från olika nitade konstruktioner tillverkade 1917 och 1935.

Tabell 2. Exempel på analyser (i wt%) för äldre "järn/konstruktionsstål" från en vattenkraftstation och en traversbana (3). Storheterna Ew och VSF definieras av ekvationerna [1] och [2] i texten.

Stål	C	Si	Mn	P	S	Mn/S	N	Ew	VSF	Slagseghet
A	0,18	Spår	0,52	0,05	0,03	52	0,011	0,27	4,8	78
B	0,06	0,03	0,48	0,03	0,05	9,6	0,006	0,14	2,3	81
C	0,03	Spår	0,44	0,02	0,05	8,8	0,004	0,10	1,6	-
D	0,04	0,03	0,43	0,07	0,05	8,6	0,016	0,11	2,1	5
E	0,06	Spår	0,50	0,048 fläns 0,095 liv	0,052 fläns 0,077 liv	9,6 6,5	0,027	0,14	2,5 fläns 3,3 liv	-
F	0,17	Spår	0,52	0,05	0,01	52	0,011	0,26	4,2	77



Karakteristiskt för materialen i Tabell 2 är att de utmärks av låga halter av kol (dock inte stål A och F), kisel och mangan. Man kan beteckna B – E som "järn" enl den äldre tyska klassningen (1). Medan A och F kan klassas som "stål", eller rättare sagt som "mjuka" otätade kolstål med något förhöjd hållfasthet (pga den högre kolhalten). Stålen påminner för övrigt om det gamla tyska St 52 stålet som nämndes tidigare.

Nästan alla material i tabell 2 är otätade, utom B och D som är på gränsen till att vara halvtätade. Vidare är materialen B - E i stort sett rent ferritiska. Se även bild 1.

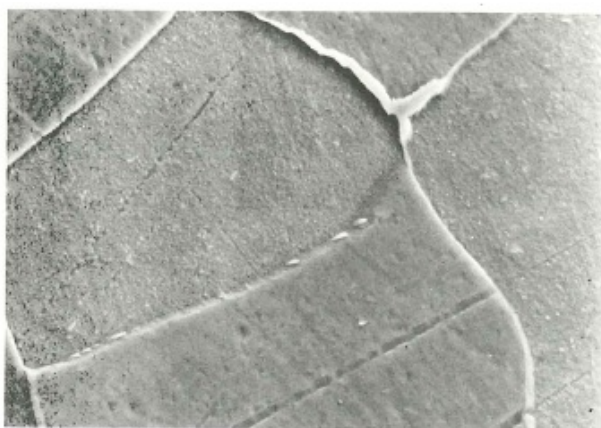


Bild 1. Ferritisk mikrostruktur hos material B i tabell 2. Svepelektronmikroskop 2700 x, etsat i Pikral. Korngränscementit i ett korngränshörn och små cementitutskiljningar i en korngräns (3).

Materialen har dessutom höga kvävehalter (utom stålen B och C), vilket medför att de är känsliga för deformationsåldring pga av kväve (försprödning). Även halterna av fosfor är höga (fall D och E). Fosfor leder också till sämre seghet pga fast lösningshärdning (försprödning). Höga halter av kväve och fosfor kan vara en av flera orsaker till den mycket låga slagsegheten hos material D. En annan orsak kan givetvis vara grov ferritkornstorlek. Det är välkänt att otätade stål kännetecknas av en betydligt högre grad av makrosegring än tätade, dvs över ett tvärsnitt av en plåt kan t ex halterna av kol, svavel och fosfor vara betydligt högre i centrum än närmare ytan. Partierna närmast ytan kan istället vara relativt rena från olika föroreningar, oxider och sulfider. Analysen för

material E (som kan klassas som "järn" enligt den gamla tyska klassningen) bekräftar detta när det gäller segringen av svavel och fosfor, som var kraftig mellan liv och fläns i den aktuella balken. Högsta värdena observerades i balkarnas liv. Vidare är kvävehalten hög. Stålet är således åldringsbenäget. Omslagstemperaturen mellan segt och sprött brott (slagseghetsprovning och 27 J nivån) låg vid ca +35 C (icke åldrat material). Efter accelererad deformationsåldring (5 % plastisk deformation och åldring vid +60 C under 78 timmar) blev omslagstemperaturen +70 oC. En brottmekanisk provning av samma material (E) visade att brottsegheten J1c vid rumstemperatur var < 25 kN/m, vilket är ungefär 10 % av dagens stål (3,7). Skillnaden kan säkert förklaras av grov kornstorlek, deformationsåldring (pga N), samt stora slagger och oxider i materialet. Stålets sträckgräns var 245 MPa, brottgräns 349 MPa och brottförlängningen 37 %. Slagger i stål återfinns i form av oxider och sulfider. De bildas i samband med stålets desoxidation, stelnings och svalning. I äldre otätade stål kan man finna järnoxid (Wüstit) och manganoxid, medan man i tätade stål istället återfinner mangansilikat, kiseloxid och aluminiumoxid (i det senare fallet om stålet är tätat med Al). Sulfidslaggen är oftast mangansulfid (MnS), under förutsättning att manganhalten är så pass hög att bildningen av järnsulfid (FeS) undertrycks. En tumregel säger för övrigt att Mn/S-förhållandet bör vara > 10 för att undertrycka bildningen av FeS (3). Som framgår av tabell 2 ligger samtliga material, utom A och F, under eller strax under denna gräns. Järnsulfider gör stålet sprött under plastisk deformation vid höga temperaturer (en gammal term är "rödbräcka"), vilket för övrigt också kan inträffa vid svetsning. Fördelningen av sulfider över ett tvärsnitt av ett stål eller en ståldetalj (som t ex över en fläns av en I-balk) kan studeras med sk Baummantryck, om svavelhalten ligger mellan 0,010 – 0,40 % (8). Ett slipat, polerat och med saltsyra etsat tvärsnitt pressas mot ett fotopapper. Det silver som finns på fotopappret reagerar med svavlet som finns i stålet, och segringspartier i stålet visar sig som mörka stråk eller fläckar. Med denna teknik får man en kvalitativ bild över hur stor segringen av svavel är i

ett visst fall. Provvuttag för Baumanntryck, från äldre stålkonstruktioner, kan man bli a göra med trepanering (1). Ett intressant material är B, som hade förvånansvärt bra slagseghet vid 0 oC (81 J). Materialet hade också acceptabelt låga halter av svavel, fosfor och kväve. Eventuellt kan det vara ett basiskt Martinstål. Processen var känd för att producera stål av hög kvalitet. Även materialen A och F hade bra slagseghet, vilket visar i jämförelse med de andra stålen att "äldre konstruktionsstål" kan ha mycket varierande egenskaper och att de inte är någon homogen materialgrupp.

Svetsbarhet

Det finns flera definitioner av svetsbarhet (3, 5, 6). Avsikten med denna artikel är inte att redogöra för de olika definitionerna, utan snarare diskutera äldre ståls svetsbarhet i mera generaliserade termer. Man kan t ex göra det med hänsyn till olika metallurgiska fenomen som kan uppstå vid svetsning som t ex; väteinducerade sprickor i den värmepåverkade zonen (HAZ; Heat Affected Zone), stelningssprickor i svetsgods, skiktbristningar, seghetsegenskaper i HAZ och grundmaterial osv. Man kan även lägga till aspekter på svetsförbandens "funktionsstabilitet", dvs förbandens lastupptagande förmåga vid statisk och dynamisk belastning (bli utmattning, stötblastning). Risken för väteinducerade sprickor i den värmepåverkade zonen av ett svetsförband kan bli bedömas med den empiriska kolekvivalentformeln (som är en skattning av stålets hårdbarhet i samband med svetsning) enligt (3);

$$E_w = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad [1]$$

Beräknade E_w värden för de analyserade stålen finns givna i tabell 2. Det saknas uppgifter om restelementen Cr, Mo, V, Ni och Cu, men de är troligtvis utan betydelse för dessa stål eftersom de sannolikt är tillverkade genom malmbaserade stålprocesser. Överlag är dock E_w värdena låga (< 0,3). Risken för väteinducerade sprickor kan således betraktas som låg för dessa material. Man brukar anse att risken för väteinducerade sprickor i HAZ är låg; om $E_w < 0,40$ %, om svetsprocessen ger en låg hydrogenghalt svetsgodset (< 5 ml/100 g), om

plåttjockleken är < 50 mm (stumsvets) och om svetsförbandets inspänningsgrad kan betraktas som "normal". Stelningssprickor (eller varmsprickor) i svetsgodset kan bedömas med den empiriska formeln (3);

$$VSF = 23C + 19S + 7,5P + 4,5Nb - 1,2Si - 0,5Mn - 1,4Al - 0,1 \quad [2]$$

Beräknade VSF värden för samma stål enligt tidigare ges i tabell 2. De varierar mellan 1,6 – 4,8 för de aktuella materialen. Det saknas uppgifter om Nb och Al i detta fall, men de är sannolikt utan betydelse. VSF-sambandet gäller egentligen för blandsvetsgods (blandning av grundmaterial och tillsatsmaterial) och för pulverbägs svetsning med stor uppsmältningsgrad (dvs stor andel av grundmaterial i svetsgodset). Man brukar anse att risken för stelningssprickor är liten om $VSF < 1$ och stor om $VSF > 3$. I samtliga fall i tabell 2 finns det alltså en risk för stelningssprickor och i vissa fall är den mycket stor. Det sammanhänger bli a med att ståls Mn-halter är låga. Observera även analysvariationen hos stål E. Om man svetsar genom segringszoner (som återfinns i livet av balken E) så ökar risken markant. Svetsmetoder som ger en basisk slagg (t ex basiska belagda elektroder) minskar risken för stelningssprickor, eftersom slaggen ger en svavelrening av svetsmältan. Basiska elektroder ger också en god seghet i svetsgodset. För att minska risken för stelningssprickor kan man också svetsa med låg sträckenergi (< 1 MJ/m), för att få liten inblandning av grundmaterialet in i svetsgodset (låg uppsmältningsgrad). Risken för skiktbristningar (lamellar tearing) måste beaktas när det gäller svetsförband svetsade vinkelrät mot en plåtyta (som t ex för T-förband), eftersom det kan finnas segringspartier med höga halter av slagger/oxider som minskar hållfastheten i plåtens tjockleksriktning. Om man inte har tillräckligt med provningsunderlag (kemisk analys, Baumanntryck etc), bör man nog undvika denna typ av svetsförband. Eftersom det ofta rör sig om otätade stål så kan man räkna med att segheten är utpräglad anisotrop hos samtliga material (stål E). Ökande svavelhalt i grundmaterialet medför att areakontraktionen till brott, vid belastning vinkelrät plåtytan, minskar markant (3). Segheten i HAZ är svår att

förutsäga. Den kan vara mycket låg i ett område närmast smältgränsen (den "överhettade zonen" av HAZ) där det skett en utpräglad korntillväxt, och betydligt bättre i den sk "normaliserade zonen" av HAZ. Utanför "synliga" HAZ kan däremot segheten vara låg pga deformationsåldring (i ett område som värmts mellan 200 – 300 oC), om kvävehalten hos grundmaterialet ligger över ca 0,01 % (stålen D och E). Minskad sträckenergi minskar storleken på den överhettade zonen. Som tabell 2 visar varierar segheten mellan de olika stålen kraftigt. Den brottmekaniska provningen av stålet E visade för övrigt att det inte fanns något tydligt seghetsmaximum i det aktuella provningsintervallet (från -30 till + 50 oC). En brottmekanisk analys visade också att den kritiska sprickstorleken var i storleksordningen 10 mm, vilket är lågt med hänsyn till detekteringsgränserna för olika oförstörande kontrollmetoder som används vid montagesvetsning.

Sammanfattning

Äldre konstruktionsstål tillverkade före 1940/1950 var som regel otätade (eller halvtätade) och innehöll högre föroreningshalter (S, P och N) än vad man accepterar idag. Förhållandet mangan/svavel var ofta lågt, vilket kan leda till sprödhet vid höga temperaturer och/eller ökad risk för stelningssprickor (varmsprickor) i svetsgodset om man svetsar i dessa material. Otätade Thomasstål, som användes i stor utsträckning före 1950, hade höga kvävehalter och var pga detta åldringsbenägna och sprödbrottskänsliga. Äldre konstruktionsstål hade också varierande seghet (ofta i kombination med utpräglad anisotropi) och är inte någon homogen materialgrupp. Varje stål behöver bedömas för sig genom en svetsbarhetsprovning och analys, om man ska svetsa i det eller inte (3, 6). Riktlinjer för hur man ska gå till väga ges bl a i (3, 6) och i (9).

Referenser

- Helmerich, R., Alte Stähle und Stahlkonstruktionen. Materialuntersuchungen, Ermüdungsversuche und originalen Brückenträgern und Messungen von 1990 bis 2003. Forschungsbericht 271, BAM, Berlin 2005
- Janing H, Äldre järn och stål – hållfasthet och tillåtna spänningar. Stålbyggnadsinstitutet, SBI-publ 68, mars 1980.
- Stenbacka N, Bedömning av svetsbarhet – speciellt hos äldre konstruktionsstål. Stålbyggnadsinstitutet, SBI-publ 83, april 1983.
- Sanierung alter Bauwerke – sind alte Stähle schweissgeeignet? DVS, Bezirksverband Mannheim-Ludwigshafen. www.dvs-ma-lu.de/Aktuelles/2008
- Mattson, S. Materiallära för svetsare. Liber 1999.
- Svetsning av stål. SIS handbok 15. SIS förlag.
- Stenbacka N, Some fracture mechanics engineering design concepts for gas transmission pipelines. Scand. J. Metall. 16 (1987) 180 – 183.
- ASTM E1180-08. Standard Practice for Preparing Sulfur Prints for Macrostructural Evaluation (Baumann print). ASTM standards.
- Ricker, D. T., Field Welding to Existing Steel Structures. Engineering Journal / American Institute of Steel Construction, First Quarter / 1988.

Läs mer

Högskolan Väst

Svetskommissionen

