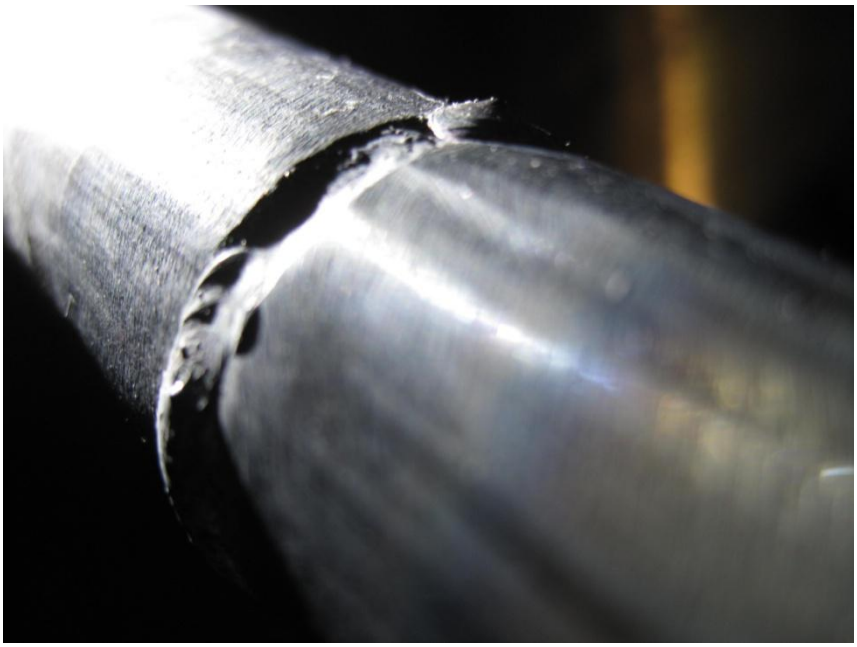
CHALMERS



Visuell provning (VT) – Hur kan kvaliteten på provningen vidareutvecklas?

Visual testing (VT) – How can the quality of the inspection be further developed?

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom Maskiningenjörsprogrammet

Viktor Svensson

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
Avdelningen för Avancerad oförstörande provning
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sweden, 2012-06-25
Examinator: Håkan Wirdelius

Examensarbete No. 79/2012

FÖRORD

Idén till det här examensarbetet uppkom genom att jag själv har arbetat som montagekontrollant under ett antal år. Förutom montagekontroll har jag även arbetat med visuell provning som är en viktig del i montagekontrollantens arbete. Sommaren 2011 under ett stort projekt inom kärnkraftsindustrin väcktes engagemanget och nyfikenheten för visuell provning ytterligare. Efter att ha haft rollen som observatör och kvalitetssäkrare inom kärnkraftsindustrin, känns det spännande att få möjligheten att djupdyka i provningsmetoden, visuell provning och arbetet som montagekontrollant.

Bilden på första sidan visar en skarv som inte är färdigsvetsad. Med det här arbetet vill jag ta fram förslag på hjälpmedel som kan användas för att öka förståelsen kring svetsfel, bidra med kunskap och tillsammans med företaget DEKRA fortsätta vidareutveckla den visuella provningen.

Jag vill tacka alla som har ställt upp på intervjuerna, utan er medverkan hade det här arbetet inte varit möjligt. Ett tack till mina handledare Peter Merck och Per-Erik Klintskär på DEKRA för stöd under processens gång.

Jag vill även rikta ett stort tack till Håkan Wirdelius och Erik Lindgren som har gett mig stöttning, motivation och framförallt bidragit med era kunskaper. Sist men inte minst vill jag rikta ett stort tack till min sambo Maria Fagerström för hennes engagemang, välvilja att hjälpa till och framför allt för hennes tålamod under den här projekttiden.

Det här examensarbetet avslutar en treårig maskiningenjörsexamen med inriktning konstruktion på Chalmers och påbörjar en spännande resa in i arbetslivet.

SAMMANFATTNING

Projektets syfte är att är att ta fram förslag på verktyg för att kunna genomföra förbättringsåtgärder som provningsingenjören kan använda vid visuell provning och speciellt vid bedömningar enligt SS-EN ISO 5817. Projektet sker i samarbete med företaget DEKRA Industrial AB där tio personer har blivit intervjuade.

Provningsingenjörens roll är att säkerställa rätt kvalitet på konstruktionen. Det ställer höga krav på personalen som utför arbetet och det är viktigt att ha tillgång till bra stödjande dokument och verktyg i sitt arbete och i sina bedömningar.

Resultatet av intervjuerna visar att det finns en kunskapsbrist i hur olika belastningar påverkar konstruktionens livslängd och samtidigt ett önskemål hos de flesta att lära sig mer om hur olika svetsfel påverkar konstruktionens livslängd.

För att visa hur olika svetsfel påverkar konstruktionen har en FEM-modellering utförts på ett svetsprov med tillverkade fel. I samband med analysen genomfördes även en försöksplanering för att visa relationen mellan ett svetsfel och dess radie. De båda analyserna visar tydligt att feltypen har stor betydelse för konstruktionens livslängd. Felen med skarp anvisning gav upphov till en tre gånger så stor spänning jämfört med fel med mindre anvisning.

Det är en utmaning från företagets sida att förverkliga alla idéer kring vilka förbättringsåtgärder som kan genomföras för provningsingenjören. Viktiga förbättringsåtgärder är förslagsvis att ta fram lathundar och checklistor för att minimera riskerna för att göra fel samt att bedömningarna görs på samma sätt. Använda sig mer av erfarenhetsutbyte för att skapa bättre kommunikation mellan kollegor och deras kunskap.

SUMMARY

The purpose of this project is to develop different tools to be able to come up with solutions that the testing engineer can use during visual inspection and especially during evaluations according to SS-EN ISO 5817. The project is done in collaboration with the company DEKRA Industrial AB where ten people have been interviewed.

The role of the testing engineer is to ensure that the design meet the requirements. There is high demands on the personal carrying out the operation and it is important to have access to good supporting documents and tools in their work and there evaluations.

The results of the interviews show that there is lack of knowledge in how different loads affect the life of the structure. At the same time it is a request from most of the interviewed to learn more about how different weld defects affect the life of the structure.

A FEM analysis has been carrying out on a weld sample with different manufactured weld defects to show how they affect a structure. Together with the analysis an experimental design was carrying out to show the relationship between a welding defect and its radius. Both of the analysis shows that the type of weld defects has a significant importance to the structure. Defects with a sharp indication gave rise to three times the tension in comparison with a weld defect with a less sharp indication.

It is a challenge for the company to implement all ideas about what improvements that can be done for the testing engineer. Important solutions that is suggested to minimize the risk of making mistakes and doing the evaluation in the same way is quick reference guides and checklists. Use regular meetings to exchange experiences and create a better communication between colleagues and their knowledge.

Innehållsförteckning

BETECKNINGAR 1
1. INLEDNING 2
1.1 Bakgrund 2
1.2 Syfte 2
1.3 Avgränsningar 2
1.4 Precisering av frågeställningar 2
2. TEORETISK REFERENSRAM 4
2.1 Provningsingenjörens yrkesroll 4
2.2 Verifiering av kvalitet 4
2.3 Standarden SS-EN ISO 5817 5
2.4 Volvos standard STD 181-0004 6
2.5 Relationen mellan utmattningshållfasthet i svetsar och de olika kvalitetsgrupperna i ISO 5817 6
2.6 Svetskunskap 7
2.6.1 Vanligt förekommande svetsmetoder 7
2.6.2 Vanligt förekommande svetsfel 10
2.6.3 HAZ - Den värmepåverkade zonen 11
2.7 Utmattning av svetsförband 12
3. METOD 13
3.1 FEM-modellering 13
3.2 Tillgängliga kurser 13
3.3 Intervjuer 13
4. FEM-MODELLERING AV SVETSFEL OCH HUR HÅLLFASTHETEN PÅVERKAS 14
5. FÖRSÖKPLANERING AV HÅLLFASTHET I FÖRHÅLLANDE TILL DISKONTINUTETENS RADIE 21
6. MONTAGE OCH TILLVERKNINGSKONTROLL UTBILDNING 23
7. KURSEN VISUELL KONTROLL NIVÅ 2 24
8. RESULTAT AV INTERVJUER 25
8.1 Kompetens 25
8.2 Trygghet i yrkesrollen 26
8.3 Förslag till förbättringsåtgärder 27
9. SLUTSATSER 29
REFERENSER 32

MUNTLIGA KÄLLOR 32
BILAGA

BETECKNINGAR

Visuell provning: En av metoderna inom visuell provning är visuell kontroll.

Visuell kontroll: Okulär besiktning med synen och enklare hjälpmedel.

CEN: European Committee for Standardization (Comité Européen de Normalisation). Utarbetar Europastandarder för områden som inte täcks av CENELEC.

SIS: Swedish Standards Institute. Svensk medlem i CEN och ISO.

OFP: Oförstörande provning

Pulserande belastning: konstruktionen utsätts för enbart tryck eller drag belastning.

Växlande belastning: konstruktionen utsätts för både tryck och drag belastning.

Oxidlikare: Beskriver vilka oxider man tillåter på svetsytan i rostfria rör.

Yttröghetsmoment: Används för beräkning av utböjningar och spänningar i balkar. Det är balkens tvärsnitt som påverkar yttröghetsmomentet och ju högre det är desto styvare balk.

Anvisning: ”avsiktlig eller oavsiktlig försvagning (hålkäl) eller skada (repa) i ett material”.

Plasticera: Materialet har uppnått sin sträckgräns

Oförstörande provning: Är en provningsmetod där materialet inte påverkas av provningen. Motsatsen är förstörande provning där man tar sönder materialet och utför provning.

FAT: Beskriver gränsen för vilken typ av belastning en konstruktion kan utsättas för utan att börja plasticera.

1. INLEDNING

I detta kapitel beskrivs arbetets uppkomst, vad syftet är med det och vilka avgränsningar som varit nödvändiga. Här ges även ett antal frågeställningar som sedan besvaras i kapitlet resultat och slutsats.

1.1 Bakgrund

Företaget DEKRA Industrial AB arbetar med teknisk kontroll och en viktig del i sådan kontroll omfattar oförstörande provning av konstruktioner och svetsar. Inom oförstörande provning är en av metoderna visuell provning av svetsförband. Metoden används regelbundet där bedömningen sker utifrån standarden SS-EN ISO 5817:2007. Standarden är en direktöversättning av Europastandarden EN ISO 5817:2007 och har tre kvalitetsnivåer B, C, D som är beroende av vilken kvalitet i produktionen man strävar efter. B står för den högsta kvalitetsnivån följt av nivå C och D.

Mekaniska komponenter och anläggningar ställer höga krav på konstruktionens livslängd både vid nytillverkning, installation och i drift. Dimensionering av konstruktioner sker så kostnadseffektivt som möjligt, det ställer ännu högre krav på konstruktionen och det är då av största vikt att standardiseringen används och tolkas på samma sätt. För att följa med i den framtida utvecklingen och konkurrensen är kontrollföretagen beroende av kompetent personal samt tillgång till bra stödjande dokument och verktyg i sitt arbete och i sina bedömningar.

NDT Training Center i Västerås erbjuder utbildning i kursen visuell kontroll. I kursen visuell kontroll nivå 2 erhåller man efter godkänd certifiering och erfarenhet ett certifikat för att utföra och bedöma visuell provning. DEKRA har även en egen intern utbildning som heter montage och tillverkningskontroll och är till för personal som ska arbeta med montagekontroll.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att ta fram förslag på verktyg för att kunna genomföra förbättringsåtgärder som provningsingenjören kan använda vid visuell provning och speciellt vid bedömningar enligt SS-EN ISO 5817.

1.3 Avgränsningar

Projektet kommer fokusera på metoden visuell provning av svetsförband i metall och då främst i samband med montagekontroll på kärnkraftverken. Undersökningen har genomförts på DEKRA’s provningsavdelning i Sverige där tio personer har deltagit. Kälsvetsar har inte analyserats.

1.4 Precisering av frågeställningar

Hur ser kompetensnivån ut?

Vad skapar trygghet i yrkesrollen som montagekontrollant?

Vilka förslag kan tas fram för att vidareutveckla Visuell kontroll?

Vilka förbättringsåtgärder kan genomföras för provningsingenjören?

Varför ser kraven i standarden 5817 ut som de gör?

Hur påverkas hållfastheten hos materialet av de olika svetsfelen i SS-EN ISO 5817?

Vilka hjälpmedel kan tillämpas för att förenkla för montagekontrollanten?

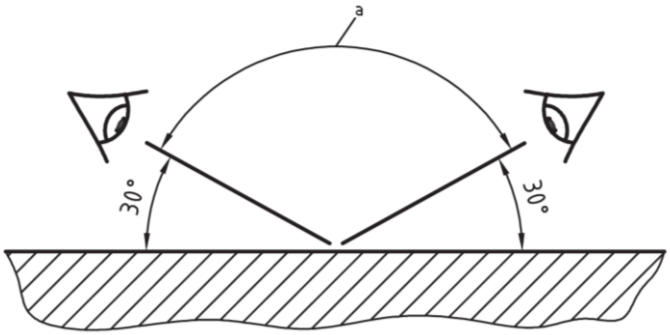
2. TEORETISK REFERENSRAM

Det här kapitlet beskriver hur provningsingenjörens arbete går till och hur visuell provning används för att verifiera att rätt kvalitet uppfylls.

2.1 Provningsingenjörens yrkesroll

Provningsingenjörens yrkesroll är framför allt att avslöja materialfel av olika typer. Dessa olika typer av materialfel kan upptäckas med oförstörande provning. En av metoderna inom oförstörande provning är visuell kontroll. Den här metoden är troligen den äldsta och en av de viktigaste metoderna i dagsläget. Den enklaste visuella kontrollen utförs med synen. Utan att ta hänsyn till individuella egenskaper som koncentrationsförmåga, synskärpa och ljuskänslighet är det svårt att hitta en ersättare. Det finns dock en hel del hjälpmedel på marknaden i form av speglar, linser, mikroskop, videokameror som bidrar till att kompensera ögats brist i upplösning (NDT Training Center, visuell kontroll nivå 2, 2009).

Vid visuell kontroll ska belysningen på ytan vara minst 500 lux. Avsyningen av materialet eller svetsen ska ske på ett avstånd på högst 60 cm samt att vinkeln mellan objektet och ögat ej får understiga ca 30°, (se figur 2.1).



Figur 2.1 Vilka krav som ställs på den visuella kontrollen (SS-EN ISO 17637, 2011).

En av rollerna som provningsingenjören kan anta är som montagekontrollant. Jobbet består av att kontrollera och övervaka att kraven som beställaren ställer på kvalitet uppfylls enligt gällande föreskrifter och enligt angiven kontrollplan. Det här sträcker sig ifrån leverans av komponenten/materialet till ett slutligt montage. En del i detta är att skriva upp materialidentifiering, svetsare, tillsatsmaterial etc. (Kompendium, Montage och tillverkningskontroll, 2009)

2.2 Verifiering av kvalitet

I tillverkningsprocessen kan man utföra kontroll av t.ex. draghållfasthet, hårdhet, korrosionsbeständighet och bearbetbarhet. De här parametrarna gäller enbart för det aktuella provföremålet. Genom att upprepa proven på liknande föremål kan man ta fram sannolikheten för att en detalj ska ha en viss egenskap. Den här egenskapen är dock beroende av att hela tillverkningsprocessen flyter på utan att fel uppstår samt att utgångsmaterialet inte innehåller fel från början som inte kan förutses. I många fall är det svårt att se den ekonomiska nyttan i att utföra den här förebyggande kontrollen av material i och under tillverkningsprocessen. (Kompendium visuell kontroll nivå 2)

För att verkligen säkerställa att rätt kvalitet uppnås på produkten vid svetsning ställer konstruktören krav på provning under tillverkningen. Det enklaste sättet att kontrollera svetsen efteråt är genom visuell provning av svetsen. Visuell provning kan utföras på alla typer av svetsförband. Det finns en begränsning om man vill hitta fel inuti svetsen. Då krävs en annan typ av OFP metod såsom ultraljudsprovning eller radiografering (Olsson 2005 ss.220-223).

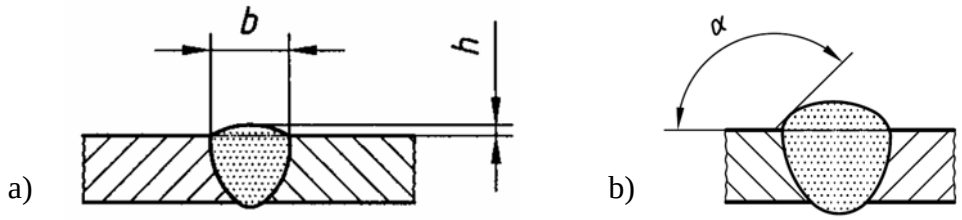
2.3 Standarden SS-EN ISO 5817

Standarden ISO 5817 är en internationell standard för att säkerställa rätt kvalitet på svetsförbandet. ISO 5817 är en förbättring av den tyska standarden DIN 8563. Den tyska standarden bestod av fem olika kvalitetsklasser, A, B, C, D och E. Att tillverka en produkt enligt kvalitetsklass A blev alldeles för dyrt och att tillverka en produkt enligt kvalitetsklass E gav alldeles för dåliga svetsar. De kvalitetsklasserna togs bort och kvar blev kvalitetsklasserna B, C och D (Hobbacher 2010).

ISO 5817 finns i tre officiella versioner engelsk, fransk och tysk version. SS-EN ISO 5817 är den officiella översättningen av EN ISO 5817. Alla medlemsländer av CEN har rätt att översätta ISO 5817 och få samma status som en nationell standard. Där är Sverige medlemmar och översättningen är gjord av SIS (2007).

Standarden anger riktlinjer för kvalitetsnivån på diskontinuiteter och formavvikelser. Den beskriver vilka inre och yttre felaktigheter som kan accepteras. B står för den högsta kvalitetsnivån följt av nivå C och D. Svetsklass C uppfylls i allmänhet i ”normal verkstadspraxis”. Belastningstypen på konstruktionen ligger till grund för val av kvalitetsklass där det för en obelastad konstruktion räcker med kvalitetsklass D. För en statiskt belastad konstruktion bör kvalitetsklass C väljas och när det finns risk för sprödbrott och utmattningsbelastningar kvalitetsklass B eller C med eventuella tilläggskrav för svetsens fattningskant. ”Välj alltid den lägsta acceptabla svetsklassen” då en högre svetsklass kostar mycket mer (Olsson 2005 ss.79-84).

Enligt Lundin på svetskommissionen bygger en del av diskontinuiteterna i SS-EN ISO 5817 på att de är enkla att mäta sig till. Råghöjden är ett exempel som påverkar spänningarna i konstruktionen lite och är till för att få den allt viktigare fattningskanten inom gränserna. Fattningskanten är svårare att mäta sig till, se figur 2.3 a och b.



Figur 2.3 a) Beskrivning av råghöjden h b) Beskrivning av fattningskanten α (efter, bild tagen ur 5817)

Enligt Lundin är SS-EN ISO 5817 under konstant revision. Kraven är bestämda under konsensus och representanter från de olika medlemsländerna har fått göra kompromisser.

2.4 Volvos standard STD 181-0004

Volvo group har tagit fram en standard för svetsning i stålplåt med en tjocklek > 3 mm. Standarden är en vidareutveckling av STD 181-0001 där man nu infört att svetsklassernas indelning, uppbyggnad och omfattning baseras på livslängdsberäkningar. Den går att tillämpa vid konstruktion, produktion och kontroll av svetsade konstruktioner i stål.

Svetsklasserna är indelade i fyra olika svetsklasser VS, VD, VC och VB. VB står för den högsta kvalitetsnivån där efterbehandling alltid krävs följt av VC, VD och VS. Den anger även möjligheter att öka kraven ytterligare genom tilläggsbeteckningarna F, K, T, E eller S. F används för att ställa ett högre krav på svetsförbandets finish. K när ett högre krav ställs på svetsförbandets förmåga att motstå korrosion. T när det finns ett täthetskrav på svetsförbandet. E när det finns krav på efterbearbetning av svetsen och slutligen S när svetsen och angränsande ytor ska vara fria från svetssprut.

Standarden är lik standarden SS-EN ISO 5817 men bygger på att konstruktören tar hänsyn till vilken typ av belastning konstruktionen utsätts för. Kraven på diskontinuiteterna är uppdelade i tre olika tabeller, 2, 3 och 4. I tabell 2 har hänsyn tagits till vilken inverkan diskontinuiteter har på den statiska hållfastheten och utmattningshållfastheten. I tabell 3 diskontinuiteternas inverkan på den statiska hållfastheten med ingen/liten inverkan på utmattningshållfastheten. I tabell 4 krav på rotdiskontinuiteter inverkan beroende på om det är statisk hållfasthet eller utmattningshållfasthet. Man har angett den lägsta kvalitetsklassen, VS för en statiskt belastad konstruktion och kvalitetsklass VB, VC eller VD för en utmattningsbelastad konstruktion (Volvo, 2008).

2.5 Relationen mellan utmattningshållfasthet i svetsar och de olika kvalitetsgrupperna i ISO 5817

IIW som står för International Institute of Welding har tagit fram ett dokument som tar hänsyn till hur tillåtna svetsfel i de olika kvalitetklasserna i ISO 5817 påverkas av utmattning. Iden med det här dokumentet är att det ska vara ett hjälpmedel vid kommande uppdateringar av standarden där man vill att man tar hänsyn till utmattning. Fördelarna av att ta hänsyn till konstruktionens utmattningsgräns och därefter välja kvalitetsklass är kostnadseffektivt. Vid bestämning av tillåtna FAT värden har ett exempel använts med en väggtjocklek på 10 mm. Värden angivna i standarden gäller för större väggtjocklekar men dock inte för mindre.

Tabell 1 i dokumentet anger den maximala tillåtna FAT klassen vid tillåtna diskontinuiteter. Ett exempel för att förtydliga. En ytpora vid en väggtjocklek över 6 mm ger i kvalitetsklass D ett FAT värde på 40, i kvalitetsklass C ett FAT värde på 71. I kvalitetsklass B är ytporer inte tillåtna.

I Tabell 2 har man tagit hänsyn till att man vill ha ett FAT värde på 90. Man har sedan specificerat vilken kvalitetsklass som räcker för att uppfylla detta. Ett exempel är att för en

ytpora gäller kvalitetsklass B medan för ett fortlöpande smältdike räcker kvalitetsklass C för att uppfylla FAT 90.

Vidare har feltyperna kategoriserats in i ytfel, invändiga fel, fel i svetsgeometrin och flera förekommande fel samtidigt (Hobbacher, 2010).

2.6 Svetskunskap

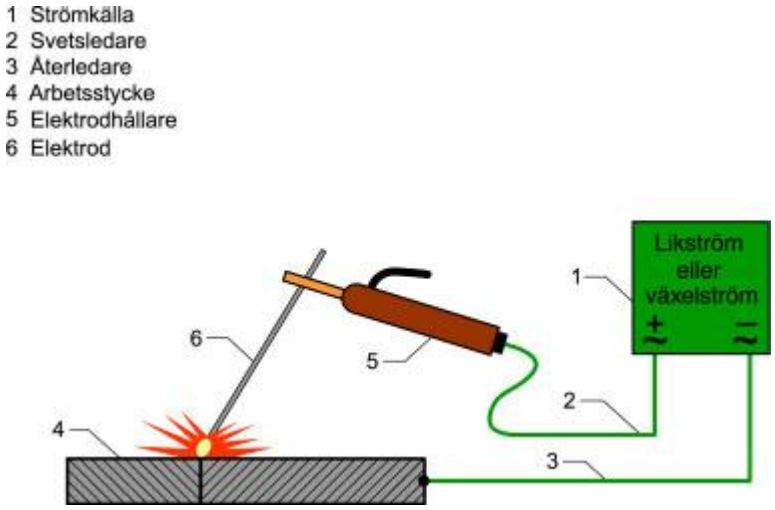
I det här kapitlet beskrivs fyra olika svetsmetoder, vanligt förekommande svetsfel och HAZ som är den värmepåverkade zonen vid svetsning.

2.6.1 Vanligt förekommande svetsmetoder

Svetsning innebär att man sammanfogar ett material genom att värma upp fogytorna så att de smälter samman. När det gäller metaller kan detta ske på flera olika sätt så som med laser, ultraljud, friktion, plasma osv. Vanligast förekommande är genom elsvetsning eller gassvetsning (ne.se, 2012). I det här avsnittet kommer fyra vanligt förekommande svetsmetoder att beskrivas mer ingående.

MMA - Manuell metallbågsvetsning

Manuell metallbågsvetsning (MMA) även kallad bågsvetsning eller handsvetsning är den vanligaste svetsmetoden. Man använder en belagd elektrod som består av en kärntråd med olika diametrar. Vid svetsning kortsluts elektroden och en ljusbåge tänds mellan arbetsstycket vilket leder till att elektroden och grundmaterialet smälts samman, se figur 2.6.1. Höljet runt elektroden bildar vid svetsning ett skyddande slaggtäcke. Höljet fyller flera funktioner men några av dem är att skydda mot luftens skadliga inverkan, förbättra bågstabiliteten, forma svetsens toppsida och förbättra slagglossningen.

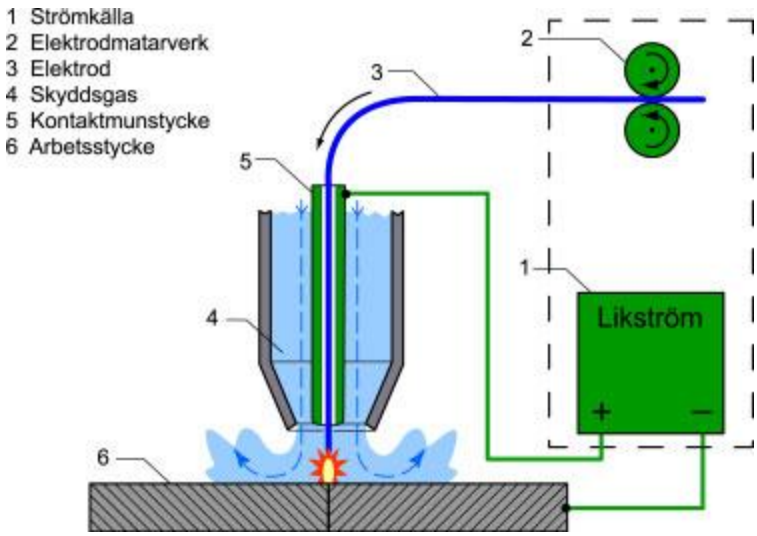


Figur 2.6.1.1 Visar hur manuell metallbågsvetsning (MMA) går till (källa svets.se, 2012).

Det finns tre olika huvudgrupper av elektroder. Sura, basiska och rutilelektroder. Valet beror på vilken typ av belastning konstruktionen utsätts för och vilken hållfasthet man vill uppnå i svetsen. Basiska elektroder ger den högsta hållfastheten och slagsegheten följt av rutila- och sura elektroder (svets.se, 2012).

MAG/MIG – svetsning

Dessa båda svetsmetoder är av typen gasmetallbågsvetsning. Tillsatsmaterialet är i trådform och fungerar som elektrod. Tillsatsmaterialet matas fram automatiskt ur ett munstycke och ljusbågen skyddas av en gas, se figur 2.6.1.2. Oftast används likström men växelström kan förekomma vid svetsning av tunna plåtar.



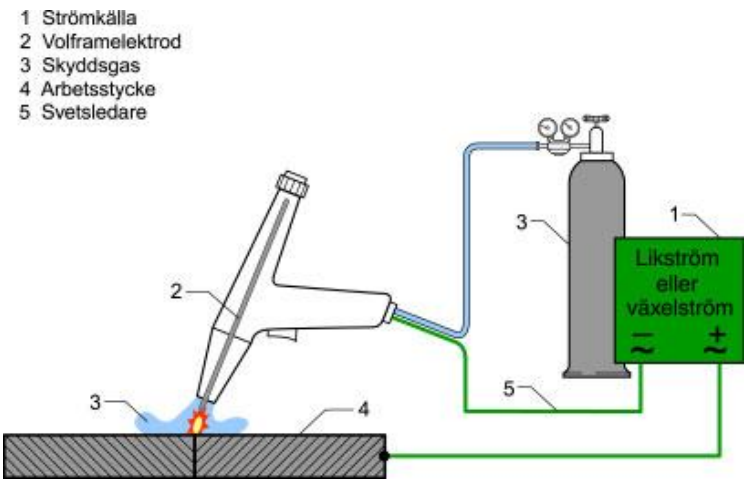
Figur 2.6.1.2 Visar hur går till (källa svets.se, 2012).

Skyddsgasen vid MAG-svetsning består av en aktiv gas som består av antingen ren koldioxid eller en gasblandning av argon och koldioxid. Fördelen med att använda sig av en gasblandning är att det ger en högre brottgräns och bättre seghet i materialet. MAG svetsning kan generellt användas för alla olegerade och låglegerade konstruktionsstål.

Vid MIG-svetsning används en inert skyddsgas, vanligtvis argon. Även här används ibland en blandning och då av argon och helium. Blandningen ger en högre temperatur, större genomträngning och används vanligtvis vid tjockväggiga material. Metoden används främst för nickel och nickellegeringar, aluminium och aluminium legeringar och koppar och kopparlegeringar (svets.se, 2012).

TIG – svetsning

TIG står för Tungsten Inert Gas och det är en svetsmetod där en elektrisk ljusbåge tänds mellan en icke smältande volfram elektrod och arbetsstycket, se figur 2.6.1.3. Antingen smälter man ihop två material eller så tillsätter man material. Processen sker på samma sätt som vid MIG-svetsning.

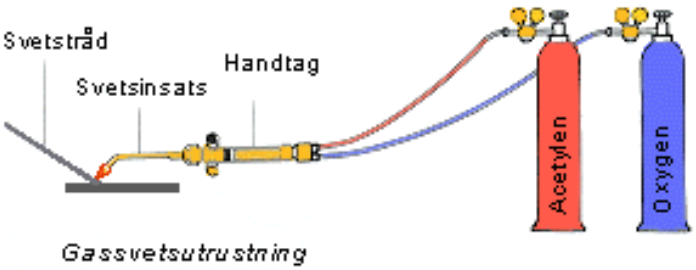


Figur 2.6.1.3 Visar hur TIG (Tungsten Inert Gas) – svetsning går till (källa svets.se, 2012).

TIG svetsning används ofta där kraven är höga då metoden ger en hög svetskvalitet, rent svetsgods och bra ytjämnhet. Metoden används vanligast för material med dimensioner mellan 0,5-6 mm. Det förekommer också att man använder TIG-svetsning för bottensträngen i grövre material i syfte att säkerställa en felfri rotsträng (svets.se, 2012).

Gassvetsning

Gassvetsning är en av de äldsta svetsmetoderna. En blandning av gaserna acetylen och syre ger en ljusbåge som har en flamtemperatur på 3200 °C. Den höga värmen smälter fogkanterna och det tillsatsmaterialet man tillför, se figur 2.6.1.4. Svetslågan fungerar även som skydd mot luften.



Figur 2.6.1.4 Visar hur går gassvetsning går till (källa svets.se, 2012).

Det är en förhållandevis enkel och billig utrustning som används och den stora fördelen är att svetsningen kan utföras utan att använda sig av elektricitet. De vanligaste väggtjocklekarna ligger mellan 0,5-6 mm. Nackdelarna är att det är en långsam metod med risk för värmespänningar och deformationer pga. den höga temperaturen som uppstår i materialet (svets.se, 2012)

2.6.2 Vanligt förekommande svetsfel

I det här avsnittet beskrivs ett urval av vanliga svetsfel som kan uppkomma i samband med svetsning.

Porer: Orsakas oftast av innestängd gas och sugningar i svetsen men kan även bildas i samband med svetsning i material med hög svavelhalt. Porer inuti svetsen är relativt ofarliga och har liten inverkan på svetsens hållfasthet men de kan dölja andra allvarligare fel. Fördelen är att de är lätta att upptäcka vid provning. Problemen som uppstår på grund av gasflödet härrör oftast ifrån otillräckligt gasflöde, mycket svetssprut i gaskåpan eller drag.

Rotfel (ofullständig genomsvetsning): Innebär att svetsen inte är fullständigt genomsvetsad och felet uppstår i roten oftast med en bredd som motsvarar spaltöppningen på svetsen. Ett rotfel behöver inte alltid vara ett svetsfel utan kan ibland vara medvetet då man vill ha en begränsning på svetsdjupet. Faktorer som ger upphov till rotfel är för liten spaltöppning, för liten fogvinkel, för grov elektrod eller för låg strömstyrka.

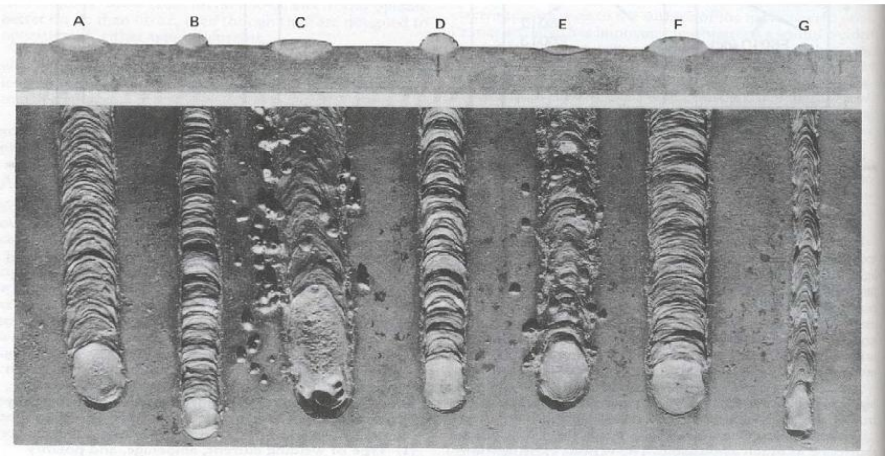
Smältdike: Dessa uppstår i övergången mellan svets och grundmaterial. Smältdiken har skarpa anvisningar och minskar konstruktionens livslängd avsevärt. Framförallt då konstruktionen utsätts för dynamisk belastning. Smältdiken uppstår pga för hög strömstyrka, olämplig pendlingsteknik, felaktigt vinklad elektrod eller svetspistol.

Tändmärken: även kallat tändsår uppstår normalt enbart vid svetsmetoden MMA. Här har svetsaren kommit åt materialet med elektrodspetsen vilket ger upphov till ett märke. Märket sker oavsiktligt vilket gör att ytan både värms upp och kyls av snabbt. Detta kan leda till mikrosprickor som i sin tur kan utgör startpunkt för fortsatt sprickbildning. Dessa bör slipas bort.

Hög svetsråge: Kravet på rågens höjd ställs i relation till svetsens bredd. Är råghöjden inom gränserna kommer även fattningskanten att vara det. Desto mindre fattningskant desto kraftigare anvisning. Här är det viktigt att förstå att en för hög svetsråge inte bara går att slipa ner till rätt nivå eftersom problematiken med fattningskanterna kvarstår.

Bindfel: Orsakas av att materialet inte har sammansmälts mellan svets och fogytor. Bindfel upptäcks med volymetrisk provning men dess placering i svetsen har betydelse för hur lätta de är att hitta. Oftast är det flera faktorer som samverkar när ett bindfel uppstår. Vanliga orsaker är felaktig lutning av svetspistolen tvärs svetsen, för stor smälta som rinner före så att strängen under inte hinner smältas upp, för liten fogvinkel eller vassa diken mellan svetssträngar (Kompendium visuell kontroll nivå 2, 2009, s.15-31).

Figur 2.6.2.1 visar på hur svetsens utseende och inträngning påverkas av tre svetsparametrar med svetsmetoden manuell metallbågsvetsning. Parametrarna som har varierats är strömstyrkan, båglängden och svetshastigheten. (Föreläsningsanteckningar Arne Dahl, 2011).

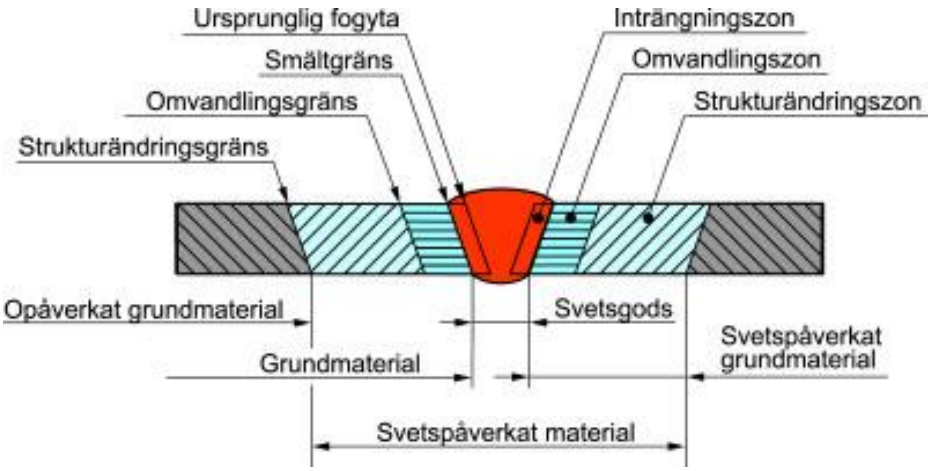


Figur 2.6.2.1 Visar hur strömstyrkan, båglängden och svetshastigheten påverkar utseendet på svetsen och inträngningen. A) rätt strömstyrka, båglängd och svetshastighet B)strömstyrkan för låg C) strömstyrkan för hög D)båglängd för kort E)båglängden för lång F)svetshastigheten för långsam G)svetshastigheten för snabb (föreläsningsanteckningar Arne Dahl, 2011)

Enligt Lundin på svetskommissionen är fel på ytan farligare än djupa fel inuti svetsen och skarpa fel ger en större påverkan på hållfastheten än vad runda fel gör.

2.6.3 HAZ - Den värmepåverkade zonen

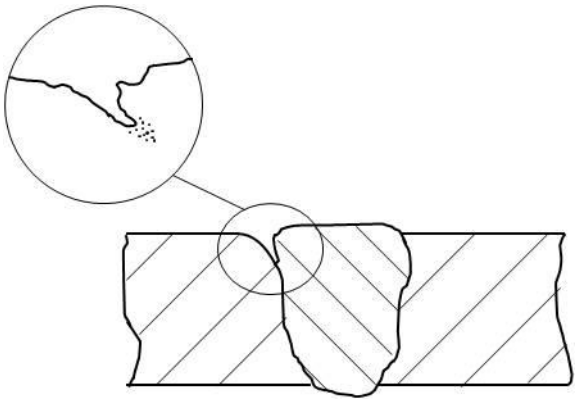
HAZ är den del av grundmaterialet som påverkas av värme som tillförs under svetsning, se figur 2.6.3.1. I den här zonen kan diskontinuiteter och formavvikelser uppstå som kan påverka konstruktionen negativt (svets.se, 2012).



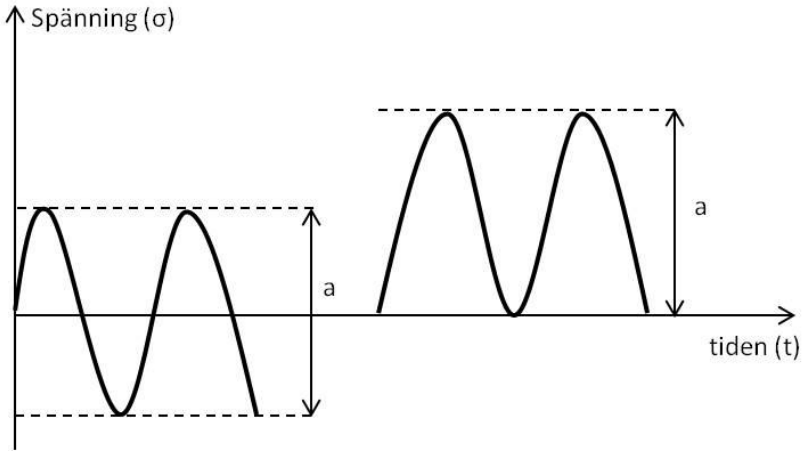
Figur 2.6.3.1 Den svetspåverkade zonen (källa svets.se, 2012).

2.7 Utmattning av svetsförband

Vid svetsning har grundmaterialets och tillsatsmaterialets hållfasthetsdata ingen betydelse för utmattningshållfastheten. Det är svetsens geometri, se figur 2.7.1, och spänningsvidd, se figur 2.7.2, som avgör ett svetsförbands livslängd.



Figur 2.7.1 Anvisningar i svetsen som ger upphov till spänningskoncentrationer (efter Olsson, 2005, s. 59).



Figur 2.7.2 Olika spänningsnivåer där spänningsvidden, a, är lika stor i de båda fallen. Den vänstra kurvan visar rent växlande belastning och kurvan till höger rent pulserande belastning (efter Olsson, 2005, s. 68).

Att materialets hållfasthet inte har någon betydelse för livslängden beror på att vid svetsning sker alltid en viss anvisning som initierar en utmattningspricka. Det här ger att det första stadiet för att en spricka ska bildas redan har skett. Propageringen av sprickan är så gott som alltid lika stor för olika konstruktionstål även om de har olika hållfasthetsdata (Olsson, 2005, s. 58-69).

3. METOD

Metoderna är uppdelade i tre moment för att kunna besvara projektets syfte. Det första momentet består av en teoretisk genomgång av olika svetsfels inverkan på hållfastheten genom FEM-modellering. Det andra momentet består av en genomgång av tillgängligt kursmaterial och det sista momentet består av intervjuer med personal som arbetar med visuell kontroll.

3.1 FEM-modellering

Arbetet är upplagt så att ett svetsprov i stål definieras i ett CAD- program. I modellen konstrueras vanliga svetsfel som kan uppstå i både material och svets vid svetsning. Därefter läggs en kraft på som ger ett böjande moment. En FEM analys genomförs där svetsprovet utsätts för ett böjande moment som ger upphov till spänningar strax under materialets sträckgräns. En analys sker sedan med avseende på vilka spänningar som uppstår och hur stora de är beroende på vilken typ av fel det är. I samband med detta görs även en försöksplanering som visar vilken inverkan feltypens radie har på de uppkomna spänningarna.

3.2 Tillgängliga kurser

För att få en ökad förståelse för vilken utbildning som kan erbjudas och i dagsläget genomförs på DEKRA har två vanligt förekommande kurser utvärderats. Kursen visuell provning nivå 2 som genomförs på NDT Training Center i Västerås och kursen montage och tillverkningskontroll som genomförs som en internutbildning på företaget DEKRA Industrial AB.

3.3 Intervjuer

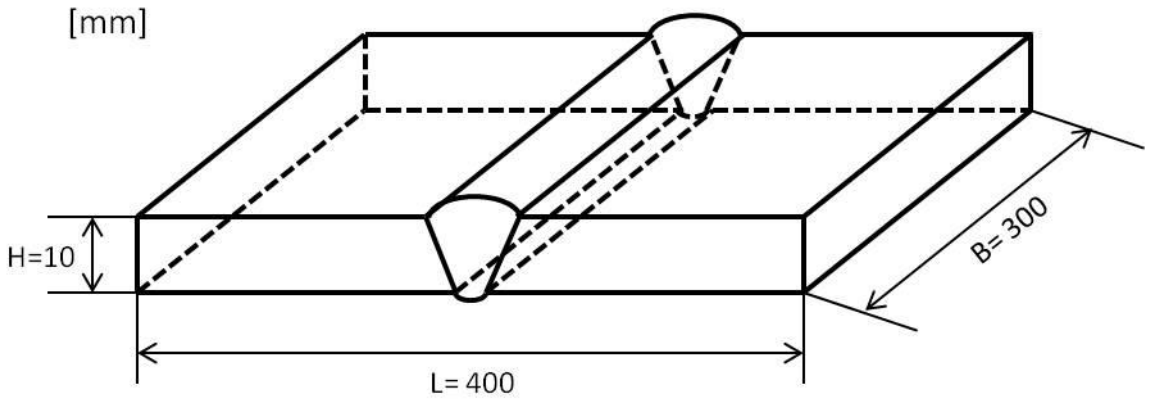
Sju personliga intervjuer och tre telefon intervjuer genomförs med personal som arbetar med visuell kontroll och framförallt montagekontroll på kärnkraftverken. För att ta del av deras erfarenheter har en anonym intervju genomförts som ställer frågor om provningsingenjörens bakgrund, hur de ser på sin yrkesroll, vilken kompetens de har och förslag på förbättringsåtgärder som kan genomföras både individuellt och via företaget. För att förtydliga uppsatsens mål och syfte användes ett stöddokument som visades upp för de som intervjuades personligen och lästes upp för de som intervjuades via telefon. Både stöddokumentet och intervjufrågorna finns i bilaga 1.

Tillvägagångssättet har varit kvalitativa intervjuer där tio personer har intervjuats varav tre via telefon med personal på DEKRA som har eller arbetar med visuell provning enligt SS-EN ISO 5817. Urvalet bestod främst av personal som har arbetat som montagekontrollanter på kärnkraftverken Ringhals och Oskarshamn. För att få en spridning har personal intervjuats som tillhör kontoren Stenungsund, Göteborg, Varberg och Oskarshamn.

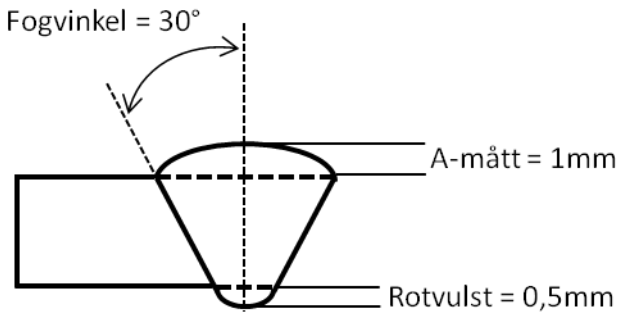
Målet med intervjun var att få förslag på förbättringsåtgärder som provningsingenjören kan använda vid visuell provning och speciellt vid bedömningar enligt SS-EN ISO 5817.

4. FEM-MODELLERING AV SVETSFEL OCH HUR HÅLLFASTHETEN PÅVERKAS

Ett svetsprov med dimensioner enligt figur 4.1 och 4.2 modeleras upp i CATIA. Svetsprovets material väljs till stål med en sträckgräns på 250 MPa. Genom att utnyttja GSA (Generative Structure Analysis) som är CATIA's FEM verktyg kan materialet belastats med ett böjande moment så att effektivspänningen närmast infästningen uppgår till strax under materialets sträckgräns, dvs innan materialet hinner plasticera. I anlysen har ingen hänsyn tagits till svetsens egenspänningar eller hur materialet påverkas av tillförd värme vid svetsningen.

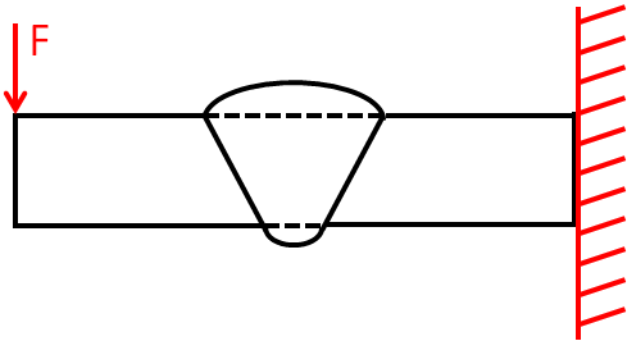


Figur 4.1 Svetsprovets dimensioner.



Figur 4.2 Svetsens dimensioner.

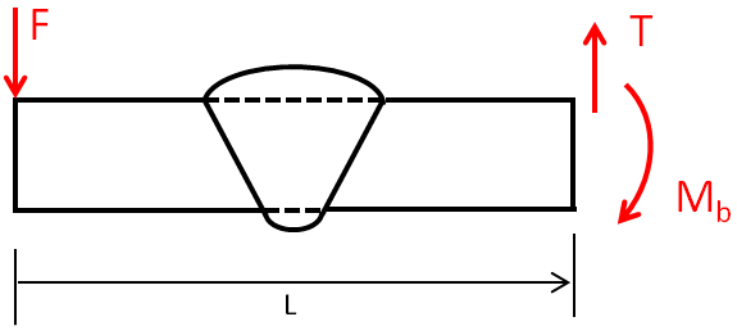
För att uppnå ett böjande moment simuleras den ena sidan som fast inspänd i väggen och en linjär kraft läggs på andra kantsidan enligt figur 4.3.



Figur 4.3 Svetsprovets belastning.

Handberäkningarna ger en vägledning kring vilken kraft som bör läggas på för att uppnå en spänning strax under sträckgränsen på 250 MPa. Handberäkningarna bygger på Euler Bernoulis balkteori. Spänningen på ytan kommer att mätas för att se att dessa stämmer överrens med det aktuella fallet.

Vid en friläggning av svetsprovet ges att kraften F, som läggs på svetsprovet ger upphov till ett böjmoment M_b, och en tvärkraft T, enligt figur 4.4. Vid en kraftjämvikt tar krafterna F och T ut varandra och kvar bli böjmomentet M_b .



Figur 4.3 Friläggning av svetsprovet.

Momentjämvikt kring snittet:

$M_b = F*L$ (1)

Enligt Dahlberg, formelsamling i hållfasthetsdata s. A9 ges spänningen pga momentet som

$\sigma = \frac{M_b * z}{I}$ (2)

där z=5 mm (avståndet från svetsprovets tyngdpunkt till ytan)

och $I = \frac{BH^3}{12}$ (3) som är balkens yttröghetsmoment map svetsprovets tvärsnitt, se figur 4.1.

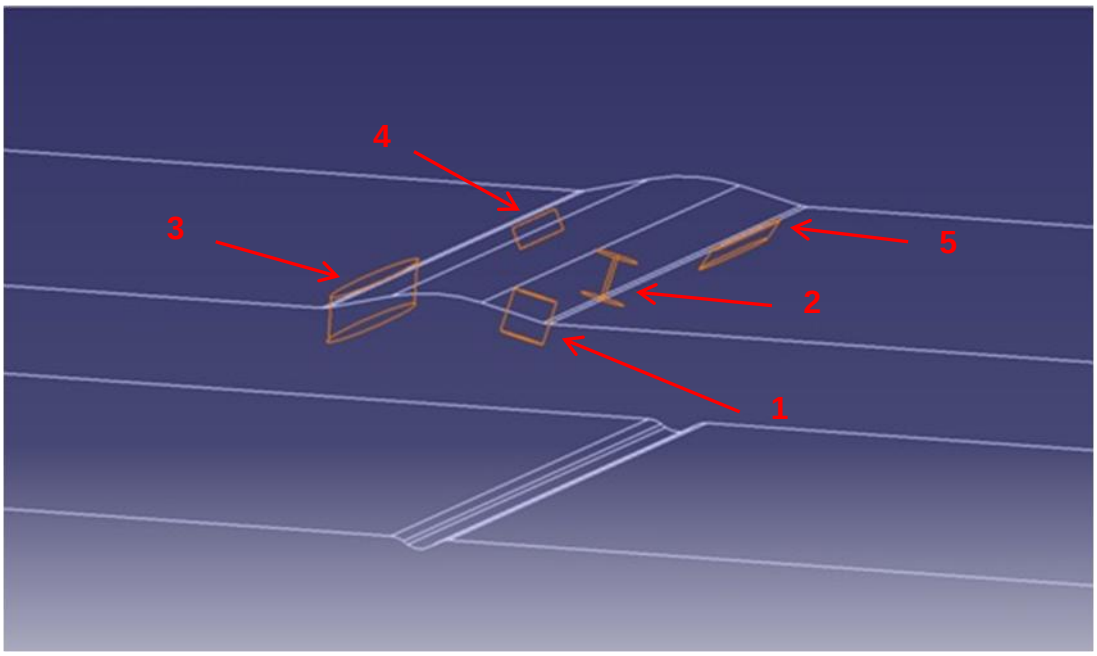
Ansätter en spänning lika stor som sträckgränsen dvs σ= 250 MPa.

Ekvation (1) och (3) in i (2) ger F:

$$F = \frac{\sigma * B * H^3 *}{12 * L * z} = \frac{250 * 10^6 N/m^2 * 0{,}3m * 0{,}01m^3}{12 * 0{,}4m * 0{,}005m} = 3125\ N$$

För att vara säker på att materialet inte börjar plasticera i snittet väljs en kraft på 3000N.

I svetsprovet placeras fem olika diskontinuiteter in. Diskontinuiteternas läge och dimensioner framgår av figur 4.4 och tabell 4.1.



Figur 4.4 Svetsprovets fem diskontinuiteters placering.

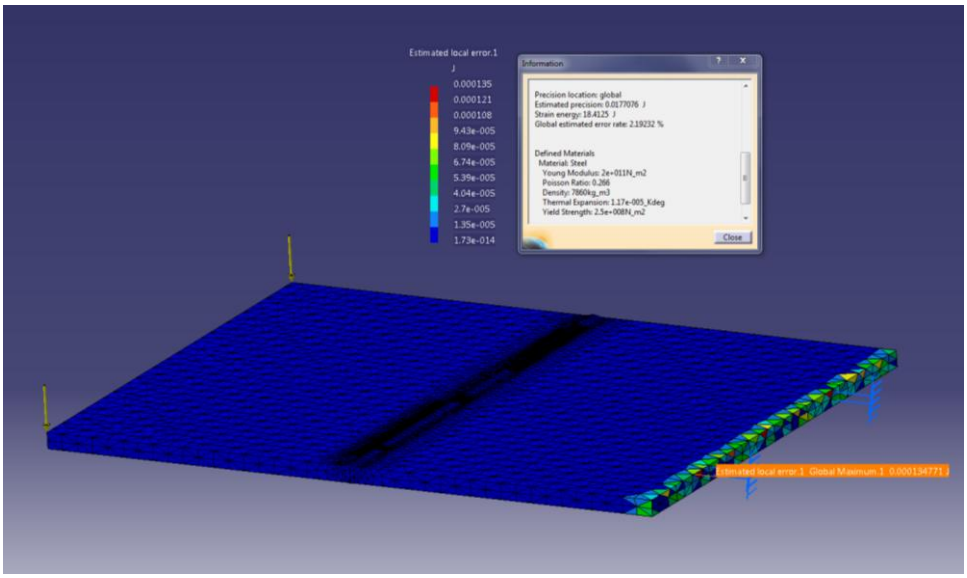
Tabell 4.1 Beskrivning av de fem diskontinuiteterna.

Nr	Typ av diskontinuitet	Längd/ Diameter [mm]	Bredd [mm]	Djup [mm]	Övrigt
1	Rund ytpora	2	-	2	
2	Oval ytpora	5	2	2	
3	Smältdike	100	1	2	
4	Bindfel	50	0,2	1	Ca 0.2 mm under ytan
5	Bindfel	80	0,2	1	Ca 0.2 mm under ytan

Under analysen har ingen hänsyn tagits till restspänningar eller den termisk påverkan av materialet som uppstår under och efter svetsningen. Utformningen av svetsen kan snarare ses som en solid. Enligt boken Svetsförband i FE-modeller av solidelement ska ”svetstån och roten modelleras med en radie som enligt reglerna vanligtvis väljs till 1mm” (Eriksson, 2009, s. 183). Analysens syfte är att tydligt visa att diskontinuiteternas form och storlek har betydelse på konstruktionens hållfasthet och därmed livslängd.

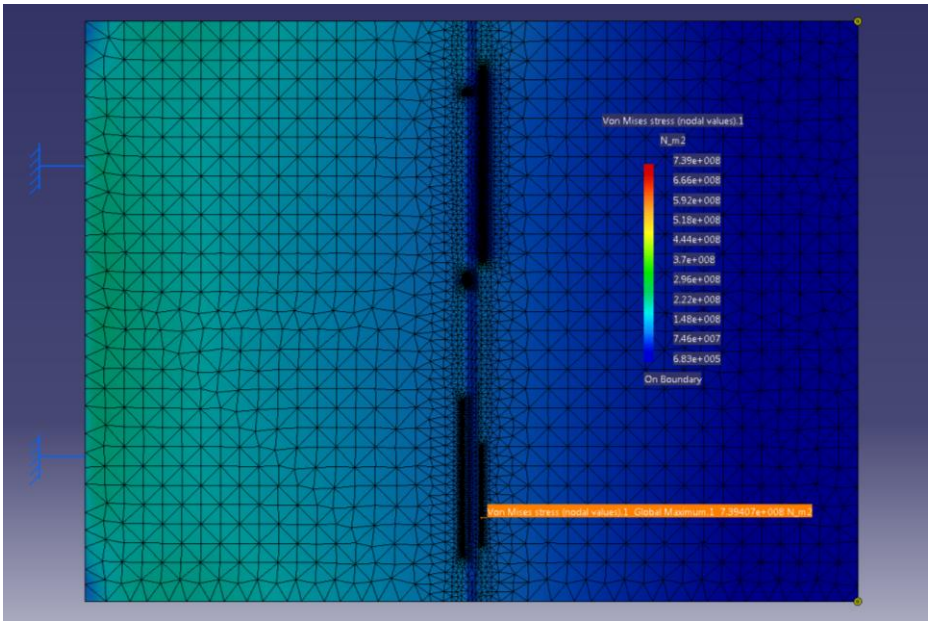
En kraft på 3000N läggs på ena kantsidan och figur 4.5 visar hur randvillkoren är utplacerade. Enligt Persson i kursen FEM-modellering (2012) i Catia V5.19 GPS/GAS – Uppgift 1 (s. 29-30) ska det globala felet ligga under 20 % och felet i den globala energiuppskattningen bör

ligga på ca $10e^{-8}$. Figuren visar att det globala felet är ungefär 2,2 % vilket är bra men att felet i den globala energiuppskattningen inte är $10e^{-8}$ utan större vid infästningen. Fokus i körningen ligger inte här och med ett noggrannare mesh (rutnät) hade ett bättre resultat erhållits. Det som är intressant i körningen är områdena kring diskontinuiteterna. Där har en finare mesh på storleken 0,5 mm och en sag (avvikelse) på 0,05 mm valts. I det här området är energiuppskattningen bra och analysen bör alltså ge ett tillförlitligt resultat.



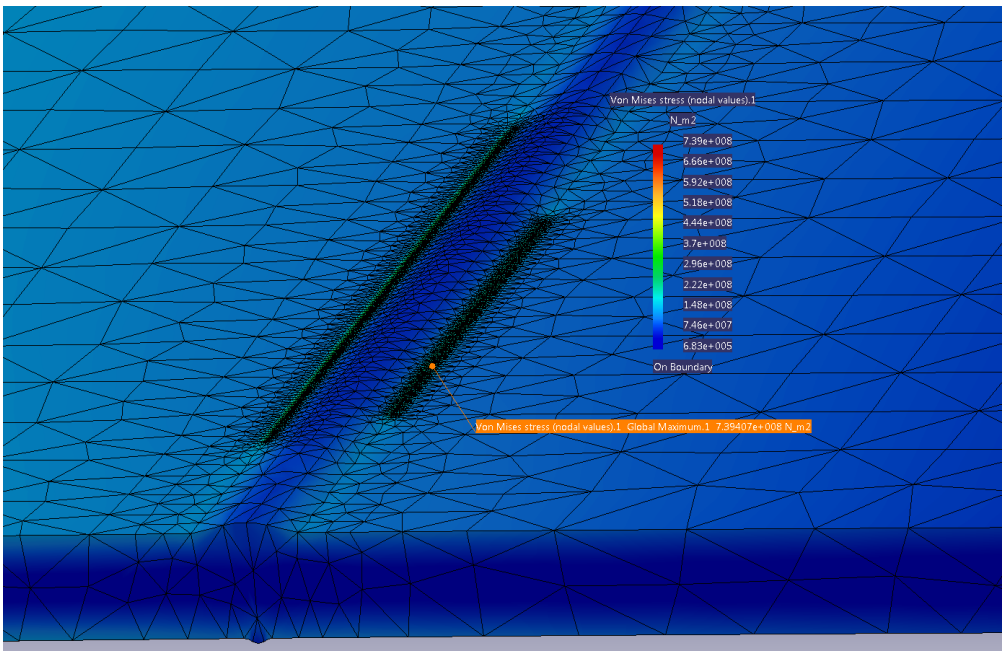
Figur 4.5 Utsatta randvillkor samt resultat av analysen.

I figur 4.6 syns tydligt hur effektivspänningen varierar över svetsprovet. Den största spänningen uppstår i det korta bindfelet, diskontinuitet 4. Här är spänningen 739 MPa och materialet utsätts för en spänning långt över materialets sträckgräns. Materialet har börjat plasticiera. Av analysen ses att handberäkningarna stämmer bra överrens med vad analysen ger. Av färgerna framgår att spänningen är ungefär 240 MPa vid den fast inspända kanten.



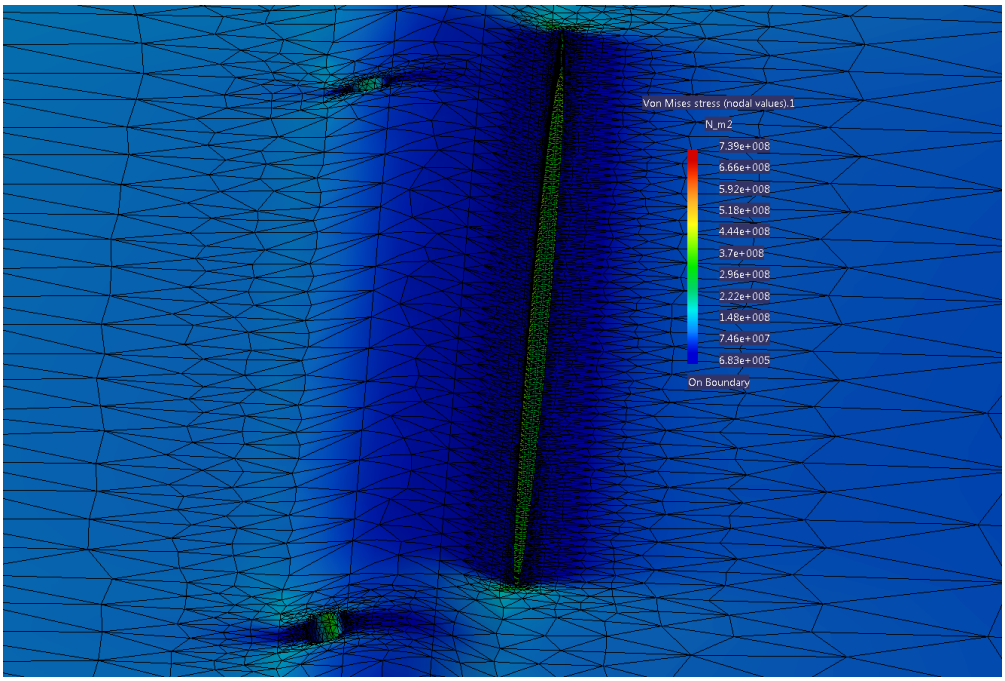
Figur 4.6 Variationen av Von Mises effektivspänning över svetsprovet.

Figur 4.7 visar att den största effektivspänningen uppkommer vid det korta bindfelet och uppgår till 739 MPa. Effektivspänningen i det längre bindfelet ligger strax under det för det kortare bindfelet.



Figur 4.7 Variationen av Von Mises effektivspänning vid diskontinuitet 4 och 5.

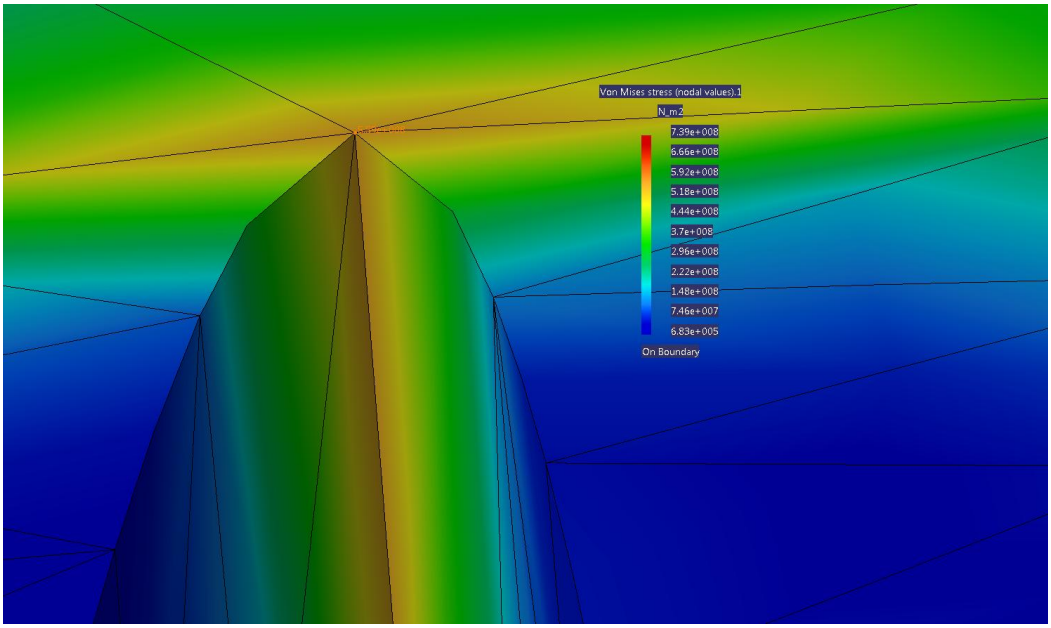
I figur 4.8 visas en överblick över effektivspänningarna i smältdiket, den runda poran och den långsträckta poran.



Figur 4.8 Variationen av Von Mises effektivspänning vid diskontinuitet 1-3.

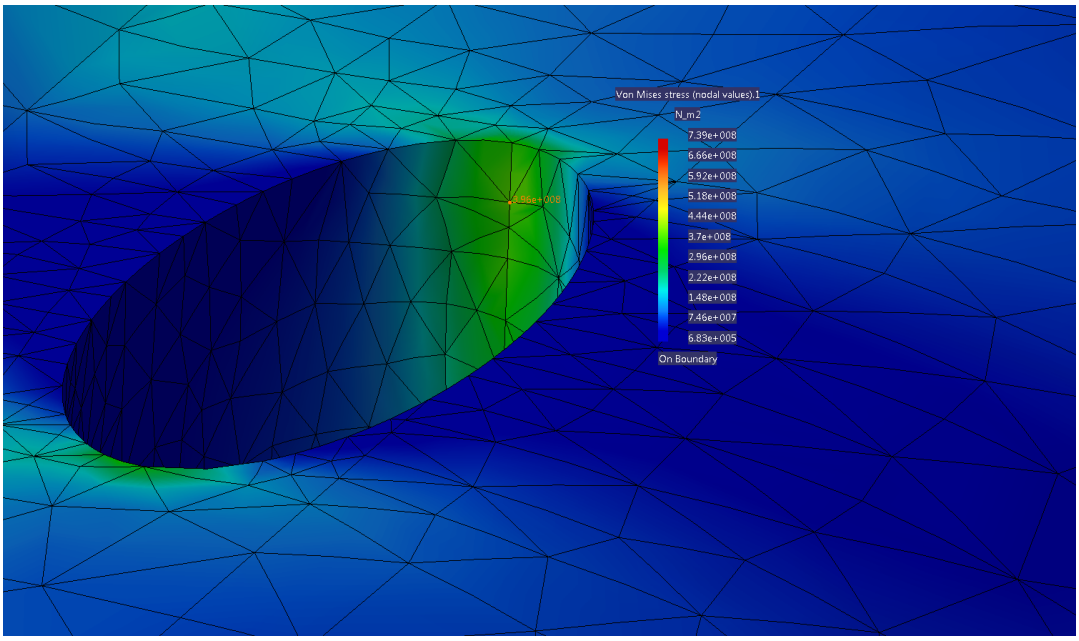
Figur 4.9 visar ena hörnet på smältdiket med en vy snett ovanifrån. Här är det en skarp anvisning och det är även där som den största effektivspänningen uppstår på 559 MPa. Även

här har materialet börjat plasticera då spänningen är mer än dubbelt så stor i förhållande till materialets sträckgräns.



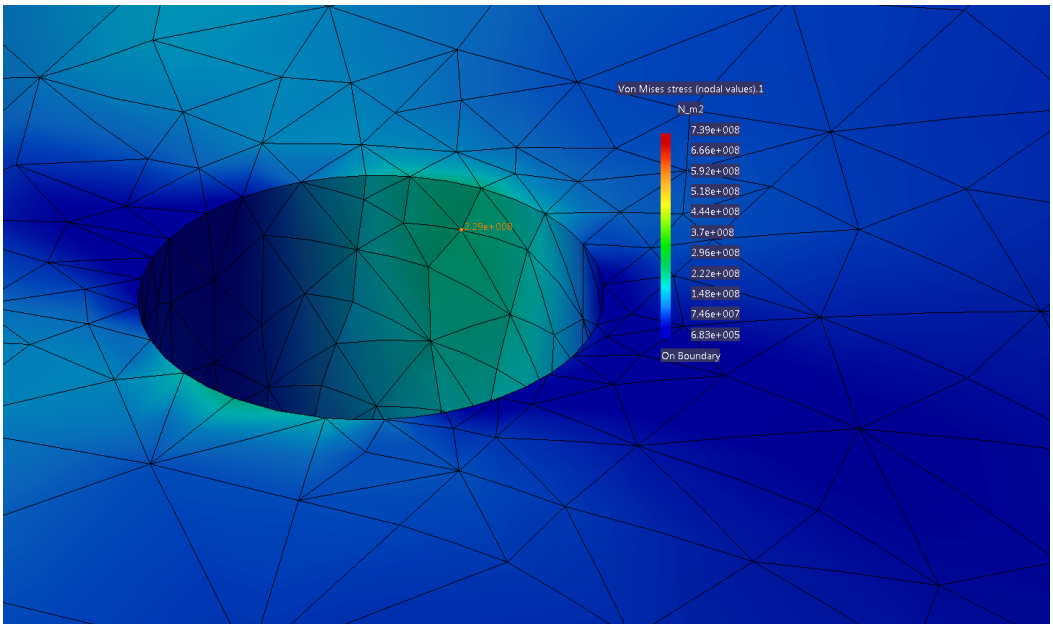
Figur 4.9 Max Von Mises effektivspänning vid ena hörnet på diskontinuitet 3 är 559 MPa.

I figur 4.10 syns den långsträckta poran och där framgår att den största spänningen uppstår i hörnen där anvisningen är som störst. Här är spänningen 396 MPa. Det är mindre än för smältdiket men fortfarande en bra bit över materialets sträckgräns.



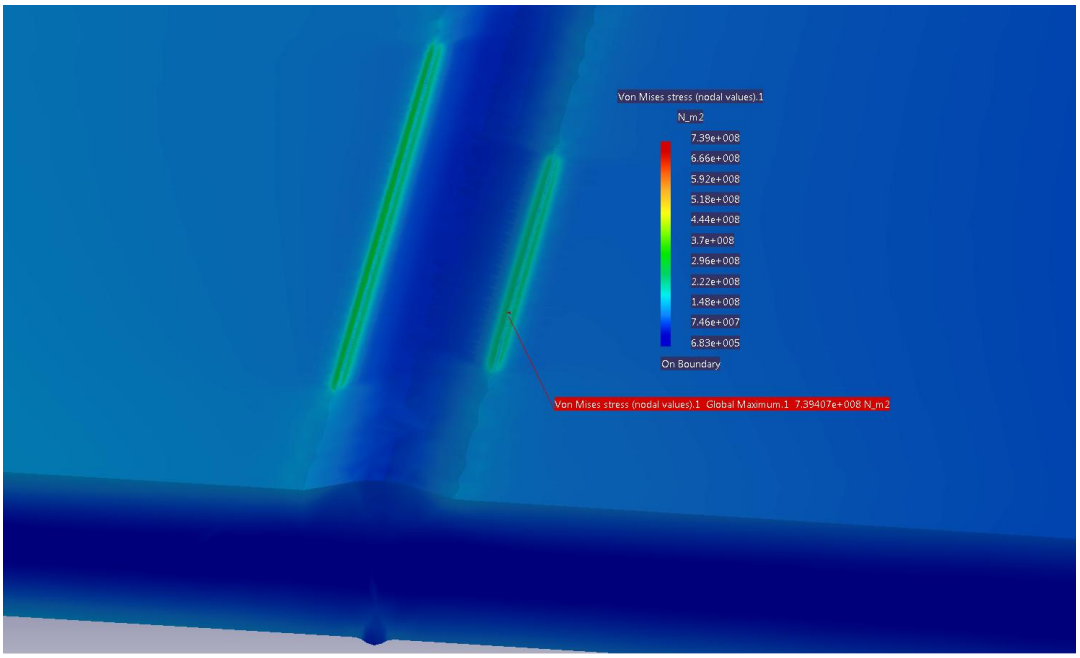
Figur 4.10 Max Von Mises effektivspänning diskontinuitet 2 är 396 MPa.

Figur 4.11 visar den runda poran och här kan man se att feltypen har haft liten inverkan på effektivspänningen som uppgår till 229 MPa. Det här visar att vilken typ av fel som uppstår vid svetsningen har stor inverkan på vilka spänningar som uppstår i konstruktionen.



Figur 4.11 Max Von Mises effektivspänning diskontinuitet 1 är 229 MPa.

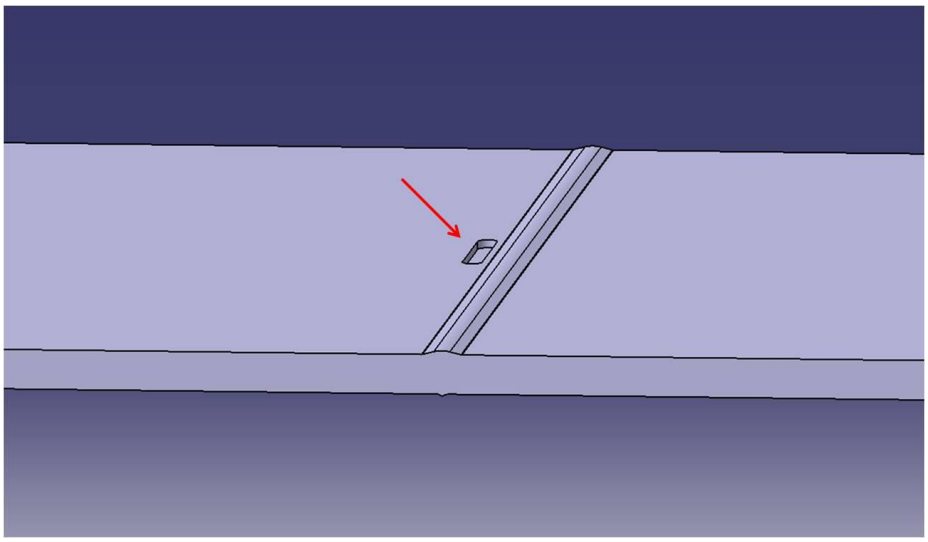
Den sista figuren, figur 4.12 visar återigen en bild på hur stor påverkan bindfelen har för konstruktionen. I de olika kvalitetsklasserna B, C och D i SS-EN ISO5817 är bindfel ej tillåtna och den här FEM modelleringen visar varför dessa kraven är satta.



Figur 4.12 Max Von Mises effektivspänning vid diskontinuitet 4 och 5.

5. FÖRSÖKSPLANERING AV HÅLLFASTHET I FÖRHÅLLANDE TILL DISKONTINUTETENS RADIE

I det här kapitlet har en försöksplanering utförts med samma svetsprov som i kapitel 4. De fem svetsfelen har bytts ut mot ett enda, ett avlångt svetsfel där radien varierar, se figur 5.1.

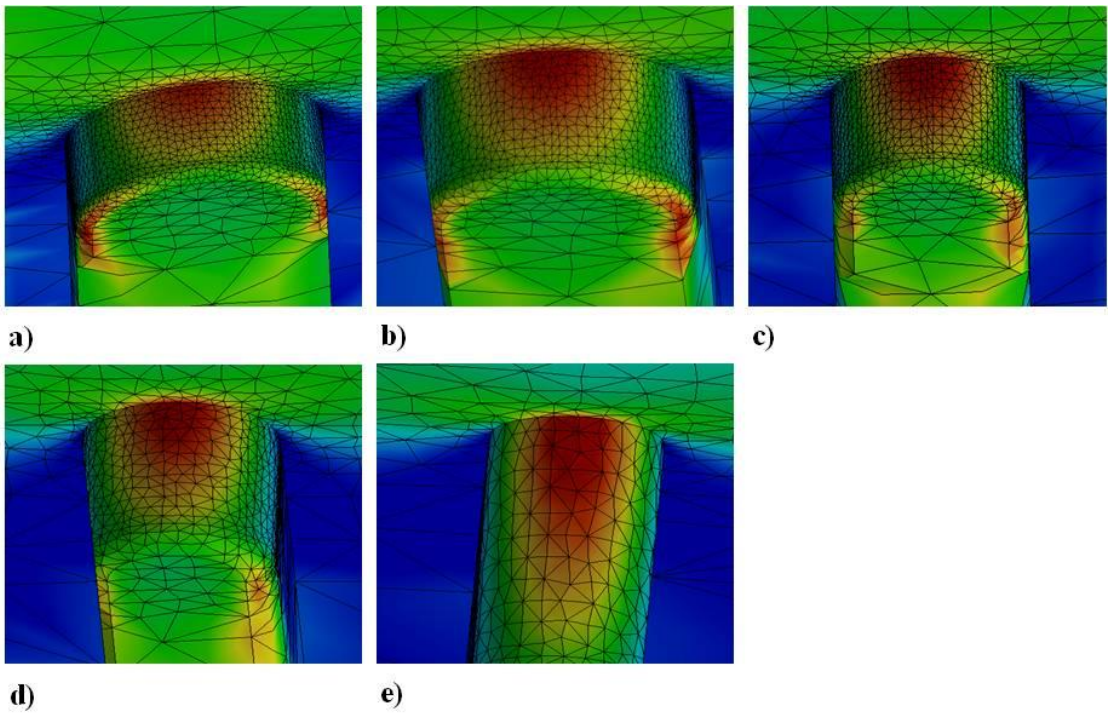


Figur 5.1 Visar ett avlångt svetsfel.

Materialet utsätts för samma kraft på 3000 N vilket innebär att provet utsätts för ett böjande moment där ytan vid infästningen utsätts för en effektivspänning som ligger strax under materialets sträckgräns.

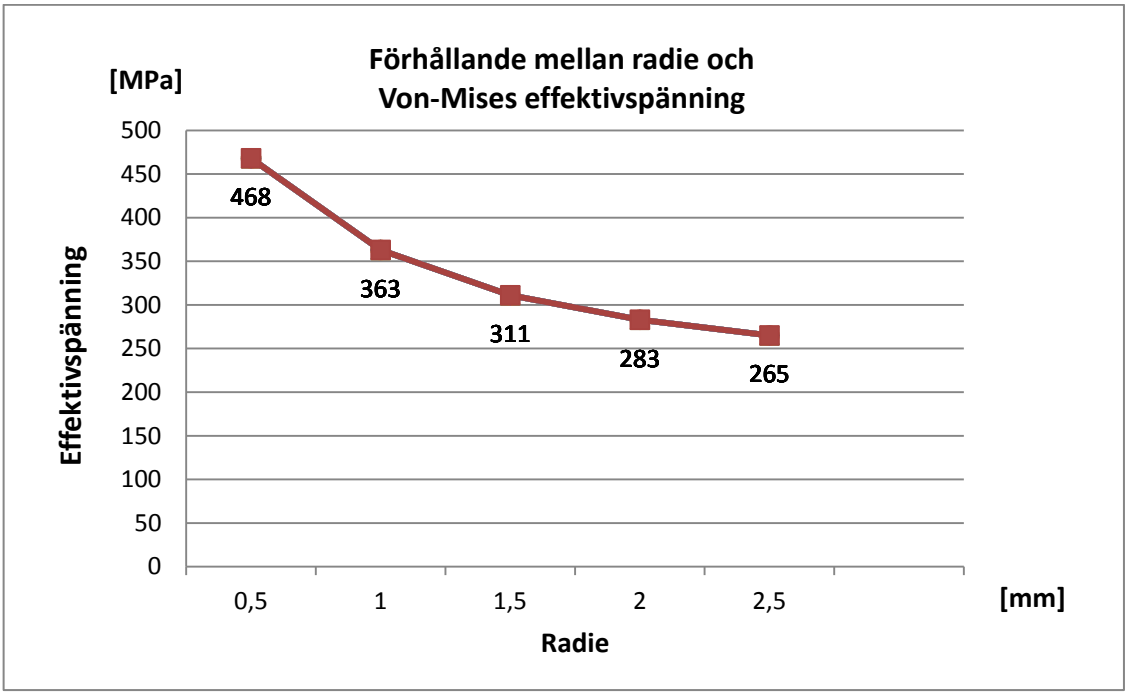
Analysen har bestått av att variera radien på svetsfelet och se hur effektivspänningen påverkas. Analysen har utförts i fem olika körningar med en radie mellan 0,5-2,5 mm.

Resultatet av analysen kan ses i figur 5.1. Här framgår tydligt genom en färgplott hur stor spänningskoncentration som uppkommer, desto kraftigare röd färg desto större spänningar.



Figur 5.2 FEM analys som visar vilken effektivspänning som uppstår med varierande radie i a) Radie 2.5 mm, 265 MPa b) Radie 2.0 mm, 283 MPa c) Radie 1.5 mm, 311 MPa d) Radie 1.0 mm, 363MPa e) Radie 0,5 mm, 468 MPa.

För att åskådligöra detta tydligare kan förhållandet mellan radien och effektivspänningen som uppstår ses i ett diagram, se figur 5.2.



Figur 5.3 Förhållande mellan radie och Von-Mises effektivspänning.

En anvisning med skarpa kanter är av betydligt allvarligare karaktär än ett runt fel så som en pora. En radieskillnad på 2 mm orsakar nästan en dubbel så stor spänningskoncentration.

6. MONTAGE OCH TILLVERKNINGSKONTROLL UTBILDNING

Utbildningen är internt upprättad som ett steg för att kvalitetssäkra verksamhetens uppdrag inom montagekontroll på främst kärnkraftverk. Kursen är på totalt 16 timmar där både praktik och teori varvas. Utbildningen består av ett teoretiskt och ett praktiskt prov där ett medelresultat på minst 80 % krävs för att bli godkänd. I dagsläget finns det inga krav hos kunder som kräver en specifik kunskap för de som utför montagekontroll men DEKRA's ambition är vara det ledande kontrollföretaget inom teknisk kontroll. Ett steg i att vara det ledande företaget är att ha interna utbildningar som montage och tillverkningskontroll.

I kapitel 1 allmänt om montagekontroll inom DEKRA beskrivs att "Anledningen till att vi har sammanställt detta material, är att desto mer komplext materialet är desto större är chansen att det hamnar i en bokhylla på kontoret. Avsikten med detta material är att det skall behandla ett så brett område som är möjligt, men ändå inte vara för omfattande"

Utbildningen beskriver de olika områdena materialegenskaper, värmebehandling, svetsning och sammanfogning, reparationssvetsning, material och identifiering, kontroll av kopplingsmontage, kontroll av renhet, kontroll av fästelement, okulär och dimensionskontroll, tryck och täthetsprovning och slutligen dokumentation.

I kursen tas upp aspekter som vilka fel som kan uppstå vid för trång fog respektive för stor spalt och fogvinkel. Den ger också en beskrivning av hur svetsningen går till med de olika metoderna och, vilka problem som kan uppstå beroende på val av material. Hur spänningar och deformationer uppstår och ökar med ökande värmetillförsel. Samt hur olika svetsparametrar som elektroddimensionen, pendelbredden påverkar slagsegheten i materialet och därmed hållfastheten.

Ett avsnitt behandlar utmattning där det beskrivs hur viktig anvisningarna är för svetsens utmattningshållfasthet. Tillvägagångssättet för att göra en livslängdsökning av konstruktionen genom att slipa eller TIG-behandla övergången mellan svetsen och grundmaterialet. Detta ska enligt kompendiet ge en livslängdsökning på 2-4 gånger. En kortfattad beskrivning av hur en oxidlikare används och det ges exempel med bild på hur en svets ska och inte ska se ut. En beskrivning av de vanligaste svetsfelen och uppkomsten av dessa. (ÅF-kontroll, 2008).

7. KURSEN VISUELL KONTROLL NIVÅ 2

Till skillnad från kursen montage och tillverkningsteknik är visuell kontroll nivå 2 en extern kurs där deltagarna blir certifierade enligt EN473/NORDTEST. För att bli certifierad inom visuell kontroll nivå 2 krävs godkänt resultat, ett syntest och fyra månaders praktiskt genomförande av metoden. Utbildningen består av ungefär 16 h teoridel och 12 h av mer praktisk karaktär. Därutöver tillkommer självstudier på kvällstid. Kursen motsvarar 40 h där kursen avslutas med en examinering bestående av ett teoretiskt och ett praktiskt prov. För att bli godkänd på kursen krävs ett resultat på minst 70 % på båda delarna totalt. Den praktiska delen består av flera svetsmetoder där objekten är konstruerade med svetsfel.

Kursmaterialet inleds med en beskrivning om vad oförstörande provning innebär och hur visuell kontroll har utarbetats. Materialet består av nio olika kapitel som tar upp olika svetsmetoder, skyddsgaser, hantering av tillsatsmaterial, regelverk för styrning av kvalitet, svetsdefekter, ytor och standardfel, korrosion/typiska gjutfel och optisk utrustning för visuell kontroll.

I materialet belyses även svetsfelens uppkomst, som beskrivs utförligt med tydliga bilder och förklaringar till orsaker. En del av svetsfelen beskrivs med ett samband på hur dessa påverkar hållfastheten (NDT Training Center, 2009).

8. RESULTAT AV INTERVJUER

Resultatet är uppdelat i kompetens, trygghet i yrkesrollen och förslag till förbättringsåtgärder. Här presenteras resultatet från intervjuerna bland annat i tabellform och citat från de intervjuade.

8.1 Kompetens

Det är hälften av de intervjuade som har gått kursen visuell kontroll nivå 2 och hälften som har gått kursen montage och tillverkningsteknik. Av alla tillfrågade är det endast tre av tio som har gått båda kurserna. Det är tre av tio som inte har gått någon kurs alls. Alla tillfrågade har erfarenhet på minst två år, se tabell 8.1.1.

Tabell 8.1.1 Visar kurserna som de tio intervjupersonerna har gått och deras erfarenhet.

Kurs	**Visuell kontroll**	**Montage och tillverkningsteknik**	**Ingen**	**Erfarenhet (mer än 2 år)**
Deltagare				
1	X			X
2			X	X
3			X	X
4		X		X
5			X	X
6	X			X
7		X		X
8	X	X		X
9	X	X		X
10	X	X		X

På frågan vad behöver du för att öka din kompetens ytterligare svarar många att bra hjälpmedel och material är viktiga redskap i rollen. Bland de tillfrågade finns det ett stort behov av forum för erfarenhetsutbyte och gemensamma riktlinjer. Exempel från ett intervjusvar:

”Jag följer underlaget noggrant men tycker att en checklista hade varit användbart”…

När de tillfrågade får svara på frågan om vad de själva kan göra för att öka sin kompetens ges svar såsom:

”Jag har tagit fram en checklista men skulle vilja vidareutveckla den ännu mer”…

”Skulle behöva lära mig mer om ritningsbeteckningar och materiallära”…

”För att öka min kompetens ytterligare vore det bra att kolla på olika svetstyper, svetsfel och läsa mer om svetsning”…

”Har intresse av att utbilda mig vidare för att stärka den egna kompetensen ytterligare. Jag är intresserad av en kurs såsom materiallära och korrosion och om varför och hur vissa fel uppstår”…

En del av intervjufrågorna bestod av kunskapsfrågor. På frågan har du arbetat med svetsning tidigare svarar ingen av de intervjuade att de har arbetat som certifierade svetsare. En person har arbetat säsongsvis med svetsning och två har en svetsutrustning hemma för hobbyverksamhet.

Det framkom av intervjun att nio av tio känner till begreppen statisk hållfasthet och utmattningshållfasthet. Därtill är det fem av tio som känner till hur det påverkar konstruktionens livslängd, se tabell 8.1.2. Det fanns ett önskemål hos de flesta om att få lära sig mer om hur olika svetsfel påverkar konstruktionens livslängd.

Tabell 8.1.2 Sambandstabell mellan kunskap om begrepp och kunskap om begreppens betydelse för hålfastheten.

Kunskap mellan begrepp och livslängd Kunskap om begrepp	KAN	KAN INTE
KAN	5	4
KAN INTE	0	1

En av de intervjuade gav en bra liknelse som lätt kan relateras till vid inspektion av tankar.

”Hur spricker en korv? Jo, den spricker längsmed. Därför är en längdskarv värre än en rundskarv”

Resultatet av intervjuerna visar att graden av utbildning har betydelse för kunskapen kring hållfasthet men visar också på att det inte har någon större betydelse för att nå den erfarenhet som krävs för yrkesrollen där det viktigaste är att få jobba aktivt och praktiskt.

Genom en ökad kunskapsnivå finns ett tydligt mönster för ökad trygghet i rollen.

Intervjuerna visade att när man börjar arbeta som montagekontrollant och ska utföra visuell provning är det av största vikt att det finns en mentor som man kan ställa frågor till och ta hjälp av.

8.2 Trygghet i yrkesrollen

Av de tillfrågade svarar alla att ökad kunskap resulterar i en ökad trygghet i rollen som montagekontrollant. Trygghet skapas också genom att man vet att man kan fråga varandra vid osäkra moment. Bland andra faktorerna som inverkar på tryggheten finns: erfarenhetsutbyte, stöd från kollegor, förståelse för teorin bakom det praktiska arbetet/checklista, tillgång till hjälpmedel, möjlighet att gå kurser/bra material, kolla på olika svetstyper, intresse för att lära sig mer och insikt. Exempel från de tillfrågade som beskriver hur trygghet i rollen skapas:

”Kände sig trygg genom att ha äldre kollegor tillhands”

”Erfarenhet har skapat trygghet och jag har lärt mig vem jag ska prata med om problem uppstår”…

”Det är viktigt att få använda kunskapen från kurser och litteratur i det praktiska arbetet”…

”Kombinationen av erfarenhet, bra kurser och högre kompetens inom vissa provningsmetoder skapar enorm trygghet”…

”Efter 5 år känner jag mig relativt säker men ibland utsätts man fortfarande för osäkra moment men skillnaden nu är att jag vet hur man tar reda på information för att känna sig säker”…

Alla tillfrågade svarade att erfarenheten är avgörande för att känna trygghet i rollen som montagekontrollant. Majoriteten av de tillfrågade angav att det var först efter 3-5 år som man kände sig trygg i yrkesrollen. Två personer upplever en trygghet snabbare på grund av att dem arbetar kontinuerligt som montagekontrollanter och känner att de fick tillräcklig erfarenhet efter ett antal månader.

De övriga tillfrågade jobbar med montagekontroll under revisionerna på kärnkraftverken som varar några månader varje år beroende på omfattningen av revisionerna. Alla angav också att arbetet som montagekontrollant är att ständigt utsätta sig för nya saker och skillnaden när man har fått erfarenheten är att man vet hur man ska gå tillväga för att lösa problemen som uppstår, det vill säga kunskapsnivån har då ökat.

8.3 Förslag till förbättringsåtgärder

Här ges ett antal svarsförslag som de intervjuade svarade på när de fick frågan, vad kan DEKRA göra för att öka din kompetens?

Använda sig mer av erfarenhetsutbyte för att skapa bättre kommunikation mellan kollegor och deras kunskap. Ta till vara på intresset av att gå utbildningar för att stärka kompetensen. Utöka montage och tillverkningstekniksutbildningen och varva teori och praktik för att sedan ha en uppföljning. Kurs i ritningsläsning och hur man gör ritningsändringar så kallade As Built. Att innan man börjar arbeta som montagekontrollant få gå kurs/utbildning. Ytterligare förslag som kom fram under intervjuerna var:

- Ta fram checklista för gemensamma rutiner för vilka moment som ska genomföras

- Skapa en bildbank med bilder på hur fel ser ut. Olika utseende på detaljer och komponenter

- Prova på olika svetsmetoder

- Skapa en anonym frågeställningsbank

- Bra planering och struktur inom projekten (bemanning)

- Mentorskap

- Arbeta två och två för att täcka ett större kompetensområde

- Ha erfarenhet och kunskap om de olika provningsmetoderna innan man börjar med montagekontroll

- Internutbildningar med objekt och svetsdefekter

- Introduktion för nyanställda

- Ta del av en mockup med planterade fel

- Skapa en grupp på intranätet för montagekontrollanter

- Tillgång till litteratur

- Gå igenom svetsbeteckningar

- Lathund – förenklat komplement till ISO 5817

- Gå en svetskurs

9. SLUTSATSER

I slutsatsen diskuteras frågeställningarna och en återkoppling sker till projektets syfte.

Tre av tio har gått båda kurserna visuell kontroll nivå 2 och montage och tillverkningsteknik. Det är tre av tio som inte har gått någon av kurserna. Alla intervjuade har mer än två års erfarenhet som provningsingenjörer. Det är viktigt att gå de kurser som finns tillgängliga. Det skapar en trygghet att ha tillräcklig kompetens. Att vara det ledande teknikföretaget i framtiden innebär att det ställs väldigt höga krav på kunskapsnivån. För att nå en högre lägsta kunskapsnivå krävs att företaget satsar på kompletterande utbildningar som säkerställer kompetensutvecklingen.

IIW skriver i sin rapport om hur viktigt det är att ta hänsyn till konstruktionens utmattningsgräns för att dimensionera och ställa rätt krav för att bli så kostnadseffektiva som möjligt. Syftet med IIW's rapport är att fungera som ett komplement vid utformningen av en uppdaterad version av ISO 5817. Det finns en tydlig brist i kunskaperna när det gäller hållfasthet kopplat till konstruktionens livslängd. Av intervjuerna framkom att bara fem av tio hade kunskap om utmattnings hållfasthet och hur det påverkar konstruktionens livslängd. Majoriteten av de intervjuade hade önskemål om att veta hur de olika svetsfelen påverkar konstruktionens livslängd. Majoriteten hade kunskap om att en skarp anvisning är värre än en mindre skarp anvisning och det finns ett vidare intresse av att fördjupa sin kunskap inom materiallära.

FEM-modelleringen som presenterades i kapitel fyra och fem visade på ett enkelt och pedagogiskt sätt hur olika typer av svetsfel påverkar konstruktionen. Att ha tillgång till kompletterande bilder för varje typ av svetsfel i ISO 5817 som visar hur de olika svetsfelen påverkar konstruktionen skulle vara en tillgång och ett bra komplement till kursen visuell provning nivå 2. Att koppla FEM-modelleringen till feltyperna skapar också en större förståelse för provningsingenjören och förtydligar varför det är olika krav på olika feltyper.

I analysen som genomfördes i kapitel fyra borde man komplettera med att visa på hur olika svetsfel påverkas beroende av om felen är ytfel eller volymetriska fel. Lundin hävdade att en ytpora är allvarligare än vad en volymetrisk pora är.

Det fanns ett önskemål om att utöka kursen montage och tillverkningsteknik som i dagsläget består av två dagar varvat med teori och praktik. Det framgick även av intervjuerna att det fanns önskemål om ett erfarenhetsutbyte. Det här erfarenhetsutbytet borde genomföras minst en gång årligen. I samband med erfarenhetsutbytet skulle man kunna ta fram olika teman där man fördjupar sig inom ett visst område. Som ett exempel skulle man kunna ta fram underlag som beskriver hur hållfastheten påverkar konstruktionens livslängd.

Det finns ett kedjesamband mellan kompetens, trygghet och erfarenhet. Alla intervjuade svarade att ökad kunskap skapar en ökad trygghet i rollen. Något som visar att det är viktigt att på företagsnivå ta hänsyn till alla delar vid förbättringsarbete. Genom att teoretiskt förstå och praktiskt kunna utföra möjliggörs en ökad trygghet. Att ta fram ett svetsobjekt som i figur 2.6.2.1 där man tydligt ser hur svetsens utseende och inträngning påverkas av tre svetsparametrar vid manuell metallbågssvetsning. Att diskutera detta rent teoretiskt är lätt

men ibland svårare att kunna relatera till i praktiken. Om man hade kunnat ta fram ett liknande objekt för de fyra svetsmetoderna TIG, MIG/MAG, och gassvetsning och variera t.ex. tre parametrar kan man på ett enkelt, effektivt och relativt billigt sätt få en koppling kring sambandet mellan svetsens utseende och dess inträngning. Figuren är väldigt bra då det är väldigt svårt att kunna relatera till svetsens inträngning i förhållande till svetsens utseende som ju har stor betydelse i sin tur för konstruktionens livslängd. Förslagsvis skulle man kunna ha detta som ett komplement till den interna kursen montage och tillverkningskontroll.

Det är därför av största vikt att kombinera ett bra kursmaterial med praktiska övningar. Som en av de tillfrågade beskrev att jobba kontinuerligt med en av provningsmetoderna i taget kan beskrivas som ett utdrag från elitidrotten ”det man tränar på blir man bra på”. För att känna en trygghet i yrkesrollen är det viktigt att man har möjlighet att växa in i rollen. Mentorskap kan där fylla en lucka mellan kunskap och erfarenhet.

Kursen visuell provning och montage och tillverkningsteknik ger bra förberedande kunskaper och är bra grund att stå på inför det praktiska arbetet. Kurserna bör kompletteras med ett internt kursutbud som håller kunskapen vid liv och de anställda är då uppdaterade inom ämnet. På så vis ökar inte bara den totala kompetensnivån inom företaget utan skapar även en trygghet hos montagekontrollanterna. En egenskap som har visat sig vara värd mycket bland de tillfrågade.

Arbetet som montagekontrollant innebär många arbetsmoment, varvat med både dokumentationer och praktiskt arbete. Flera av förslagen för att underlätta för montagekontrollanten har handlat om att skapa en checklista som tar upp de moment som ska dokumenteras, t.ex. är det rätt fall enligt ritning, är ventilen vänd i flödesriktningen, sitter det brickor m.m.

Det framgår att man känner sig trygg i rollen som montagekontrollant först efter 3-5 år. Det här spannet har nästan alla angivit och borde vara utmärkande för alla på DEKRA. Det finns dock ett undantag där två personer upplevde sig trygga i rollen relativt snabbt genom att faktiskt arbeta som montagekontrollant konstant i två år. Det är alltså viktigt att få en kontinuitet i arbetet som montagekontrollant och att man arbetar aktivt med det tillgängliga materialet som finns tillgängligt.

Ett förslag var att företaget borde införa en möjlighet att gå en svetskurs. Av alla de intervjuade är det ingen som har en bakgrund som svetsare. Tre av dem har hobbysvetsat. Genom att ha praktiskt erfarenhet av svetsning kan en större trygghet skapas.

För att höja kompetensnivån på DEKRA ytterligare är det viktigt att förtydliga vilken kravbild företaget har gentemot sina medarbetare. Kravbilden skapar ett gemensamt förhållningssätt och säkerställer en högre lägstanivå.

Det är en utmaning från företagets sida att förverkliga alla idéer kring vilka förbättringsåtgärder som kan genomföras för provningsingenjören. Men fyra bra saker som tas upp är att ta fram lathundar, dels för ISO 5817 men även för olika arbetsmoment t.ex. vid montagekontroll. När lathundarna har skapats är det viktigt att sprida dessa vidare så att alla

kan ta del av dem. Att utforma en checklista vid arbetet som montagekontrollant är också viktigt och minimerar riskerna för att det blir fel. Genom att ha regelbundna möten och nätverka i vardagen skapas en relation mellan varandra. Att ha ett erfarenhetsutbyte där man i samband med dessa kan ha tillgång till objekt med inbyggda svetsfel.

REFERENSER

Dahl, A. (2011) *Föreläsning i svetsning 2012.12.02 i kursen Tillverkningsteknik*, Chalmers, Göteborg.

Eriksson, Å. et. al. (2009) *Svetsutvärdering med FEM – Handbok för utmattningsbelastade konstruktioner*. Tredje upplagan. Stockholm: Liber AB.

Hobbacher, A. och Kassner, M. (2010) *On Relation between Fatigue Properties of Welded Joints and Quality Groups in ISO 5817- An Example for Discussion*, IIW-Doc. JWG-XIII-XV-212-10 / XIII-WG4-106-10, Draft for development.

Nationalencyklopedin. *Yttröghetsmoment*. http://www.ne.se/yttröghetsmoment (2012-05-17).

NDT Training Center, (2009) *Kompendium Visuell kontroll nivå 2*, 2009, Västerås.

Olsson, C. (2005) *Konstruktionshandbok för svetsade produkter.* Utgåva 3. Lidingö: Industrilitteratur AB.

Persson, G. (2012) Uppgift *1 konsolbalk 2012.01.18 i kursen FEM-modellering*, Chalmers, Göteborg.

Swedish Standards Institute. (2011) *Svensk Standard SS-EN ISO 17637:2011 - Oförstörande provning av svetsar – Visuell provning av smältsvetsförband)*, Utgåva 1. Stockholm: SIS Förlag AB.

Swedish Standards Institute. (2007) *Svensk Standard SS-EN ISO 5817:2007 (Svetsning – Smältsvetsförband i stål, nickel, titan och deras legeringar (strålsvetsning undantagen) – Kvalitetsnivåer för diskontinuiteter och formavvikelser)* Utgåva 1. Stockholm: SIS Förlag AB.

Svetskommisionen. *Svetsmetoder*. http://www.svets.se (2012.05.21).

Volvo Group Standard. (2008) *STD 181-0004.* Version 1. (Smältsvetsning – Svetsklasser och krav livslängdsoptimerade svetskonstruktioner stål, tjocklek >3 mm)

ÅF-kontroll, (2008) *Montage och tillverkningskontroll KÄRNKRAFT Utgåva 3*, 2010, Göteborg.

MUNTLIGA KÄLLOR

Mathias Lundin (vd och tekniksekretare, svetskommissionen) intervjuad av författaren den 13 mars 2012.

BILAGA 1

INTERVJUFRÅGOR

Syfte: Syftet med projektet är att ta fram förslag på verktyg för att kunna genomföra förbättringsåtgärder som provningsingenjören kan använda vid visuell provning och speciellt vid bedömningar enligt SS-EN ISO 5817.

Mål: Intervjuer genomförs med personal som utför montagekontroll på de olika kärnkraftverken. Syftet är inte att ”hänga” ut en enskild individ och bedöma dess kompetens. Svaren kommer att presenteras anonymt.

ANONYM KOD: _____

Några frågor om din bakgrund

- Har du gått kursen montagekontrollant?

- Har du gått kursen visuell provning nivå 2?

- Har du tidigare erfarenhet inom industrin? Och vad har du då gjort?

Yrkesroll och kompetens

- Känner du dig trygg i rollen som montagekontrollant?

- Vad är det som gör dig trygg i rollen?

- Finns det något som skulle kunna öka tryggheten för provningsingenjören ytterligare?

- Vad behöver du för att öka din kompetens ytterligare?

ANONYM KOD: _____

- Ser du att det finns ett komplement till standarden SS-EN 5817 som skulle kunna vara till hjälp? Och vilken hjälp skulle det isåfall kunna ge?

- Känner du till begreppen statiskbelastning och utmattningsbelastning?

- Och hur det påverkar hållfastheten?

- Om Nej, Vad tror du hade behövt för att kunna veta detta?

Förbättringsåtgärder

- Finns det något som du själv skulle kunna göra för att öka din kompetens ytterligare?

- Är det något DEKRA skulle kunna ha gjort skillnad för att bättre förbereda dig?