

**Lätta högpresterande svetsade strukturer –
(LIGHT-weight high performance welded STRUCTures)**

“LIGHTSTRUCT “



Svetsning av lastmaskinram

Projekt inom Hållbar Produktion

Författare Jack Samuelsson

2015-02-20

Innehåll

1. Sammanfattning	3
2. Bakgrund	4
3. Målsättning	5
4. Genomförande	6
5. Resultat och leveranser	7
5.1 Måluppfyllnad	7
6. Resultatspridning och publikationer	8
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	8
6.2 Publikationer	9
7. Slutsatser och framtida forskning	10
8. Deltagande parter och kontaktpersoner	11

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på www.vinnova.se/ffi

1. Sammanfattning

Utvecklingen av nya entreprenadmaskiner kräver en kontinuerlig ökning av deras prestanda såsom lastkapacitet, låg bränsleförbrukning, livslängd och mindre miljöpåverkan. För att möta sådana krav utnyttjas nya tillverknings- och dimensioneringsmetoder samt mer höghållfast material. Effektiv tillverkning av lättare produkter kräver noggrannare anpassning av toleranser och krav mot verklighetens processkapabilitet för att undvika fördyrande skärpning av toleranser i onödan. Vilket i sin tur kräver en ökad förståelse för samverkan mellan konstruktion, produktion och kvalitet.

Målsättningen med forskningsprojektet Lightstruct är att utveckla förutsättningar att tillverka lätta svetsade strukturer för entreprenadmaskiner. I detta projekt har nya tillverkningsprocesser studerats vilka medför att svensk industri vidmakthåller dess ledande position med avseende på prestanda, materialutnyttjande och energieffektivitet. Projektet innehåller följande viktiga områden och metoder:

- Analys av utmattningsdimensionering
- Prov med plasmahybridsvetsning
- Kartläggning av spalter i svetsförband
- Mätssystemanalys av olika utvärderingsmetoder
- Introduktion av styrdiagram och strategier för styrning av svetskvalitet
- En studie för att korrelera den internationella standarden för skärkanter (ISO 9013) mot utmattningshållfasthet.

En del av projektresultaten kommer att utnyttjas direkt inom de deltagande industrierna. Introduktionen av nya svetsprocedurer och högre kvalitetsnivåer, kräver högre operationell kompetens inom tillverkningen vilket skapar förutsättningar för ett mer vetenskapligt samarbete mellan konstruktions- och produktionsingenjörer. Resultaten kommer också medföra minskning av ledtiden i produktutveckling och därmed mindre kostnader. Projektet har också förbättrat forskning och utbildning inom de deltagande universiteten. Genom SSAB, KTH, HV (Högskolan Väst), CTH och Svetskommissionen kommer projektresultaten att nå en stor del av svensk industri och konsultföretag. Projektets huvudsakliga bidrag till FFI:s mål är:

- Reduktion av fordonsvikt ökar produktivitet såsom lastat/transporterat material per timme
- Reduktion av fordonsvikt innebär lägre materialförbrukning och därmed mindre miljöbelastning
- Nya tillverkningsprocesser kommer att reducera ledtid i produktion vilket skapar potential för ökad produktionskapacitet.
- Nya produkter med bättre prestanda ökar konkurrenskraften för svensk industri.

2. Bakgrund

Bärande strukturer och komponenter i entreprenadmaskiner, kranar, skogsmaskiner, gruvmaskiner, transportfordon och jordbruksredskap är ofta komplexa svetsade konstruktioner. Normalt utgörs 60 - 80 % av fordonens vikt av stålplåt och stålgiutgoods varvid svetsning utgör huvudsaklig fogningsmetod. Inom skeppsbyggnad, fartygsmotorer och i off-shore konstruktioner är huvudstrukturer tillverkade av stålplåt med tjocklek 10 -200 mm. Det finns också bärande detaljer i tåg, bussar energisektorn mm, där olika svetsmetoder används. Inom energisektorn förekommer många svetsade strukturer speciellt inom den växande vindkraftsindustrin. Strukturdetaljer och komponenter i många typer av produkter är utsatta för omfattande utmattningsbelastning under drift. Typiskt utsätts många konstruktioner för 1000 – 20000 belastningsvariationer (vidd) per driftstimma i många typer av fordon eller andra produkter. Detta innebär att under en ekonomisk livslängd av 10000 – 250000 driftstimmar utsätts strukturer och komponenter för 10 – 500 miljoner signifikanta lastväxlingar, Skador p g a utmattning är sålunda den mest förekommande skadeorsaken för många olika produkter och strukturer.

Utmattningsbrott förekommer i många strukturer såsom broar, off-shore- och rör-anläggningar, entreprenadmaskiner, järnvägsmaterial, mm och brotten startar ofta i svetsförband. Konstruktion och tillverkning av normala strukturer är idag en viktig verksamhet speciellt i samband med robotsvetsning i serieproduktion. För lätta svetsade strukturer ökar spänningsnivån och strukturen är mer känslig för avvikelser från svetsspecifikationen. Livslängden i svetsade förband uppvisar en stor spridning beroende på variation av svetsprofil, storlek och placering av defekter, olika restspänningsfördelning samt inverkan av blästringsoperationer (innan målning). Det förekommer också en stor spridning av intensiteten i lastkollektiv i en population produkter, jämför lastkollektivet för en pensionär med en rally föräres.

Svetsning och andra fogningsmetoder är nyckelteknologier för många svenska industrier och andra organisationer. Svetsning är den överlägset vanligaste fogningsmetoden, medan andra och nya eller kombinationer av svetsning och andra metoder ökar. En tredjedel av Sveriges BNP uppskattas vara kopplat till svetsning. Det finns ca 20 000 svetsare (heltid) inom Sverige och ungefär 250 000 arbetar i verksamhet relaterat till svetsning. En tredjedel av Sveriges industrirobotar användes i samband med svetsprocesser. Svetsning är en central och viktig faktor för en kontinuerlig framgång för svensk industri. Det är utomordentlig viktigt att stärka forskning och utbildning inom svetsning och relaterade verksamheter för att vidmakthålla och öka konkurrenskraft. Förädlingsvärdet i produktion kommer att öka när en högre svetskvalitet introduceras i det svenska produktionssystemet och därmed ökar konkurrens kraften.

Svensk industri har delvis misslyckats att utveckla/introducera produktionsmetoder för att kunna använda höghållfast stål vilket har funnits tillgängligt i över 30 år i svetsade högt utmattningsbelastade strukturer. På grund av kortsiktiga kostnadsbedömningar ställs inte höga kvalitetskrav (=hög svetsklass) på svetsförbanden vilket har begränsat introduktionen av höghållfast stål varvid många svetsade detaljer är 20 – 40 % tyngre än vad som är möjligt. Dessutom är det brist på både resurser och kompetens inom produktionsenheter vilket ytterligare minskar möjligheten att introducera andra svetsprocesser. Det är en angelägen uppgift att utveckla nya svets- eller andra fogningsprocesser för serieproduktion av lätta komponenter för avancerade produkter.

3. Målsättning

För att reducera vikten av en svetsad struktur med höghållfastare material behövs mer avancerade beräknings- och tillverkningsmetoder. Den möjliga viktreduktionen av svetsade strukturer är inom 15 – 40 % beroende status av konstruktionen och tillverkningsmetod. I vissa fall ökar tillverkningskostnaden bl a beroende på högre materialpris mm, men det kompenseras av en väsentligt högre lastkapacitet.

Målsättningen med Lightstruct är att utveckla konstruktions- och tillverkningsprocedurer för lätta strukturer genom processutveckling, processoptimering geometrioptimering och utbildning. Projektet baseras på en serie tidigare projekt och har följande målsättningar:

- Studera och kartlägga möjligheten att utnyttja hybridsvetsning i dagens produktionssystem.
- Vidareutveckling av nuvarande kvalitetssystem för hybridsvetsning.
- Öka kunskapen om effekten av den lokala svetsgeometrin, restspänningar och defekter m a p utmattning av höghållfast stål i samband med nya svetsprocesser.
- Konstruktion och tillverkning av demonstratorer tillverkade med nya hybridprocesser.
- Ytterligare utveckling av teknikplattformen LOST (Lightweight Optimized Welded Structures) för fortsatt kunskapsuppbyggnad inom svensk industri och teknisk akademi

4. Genomförande

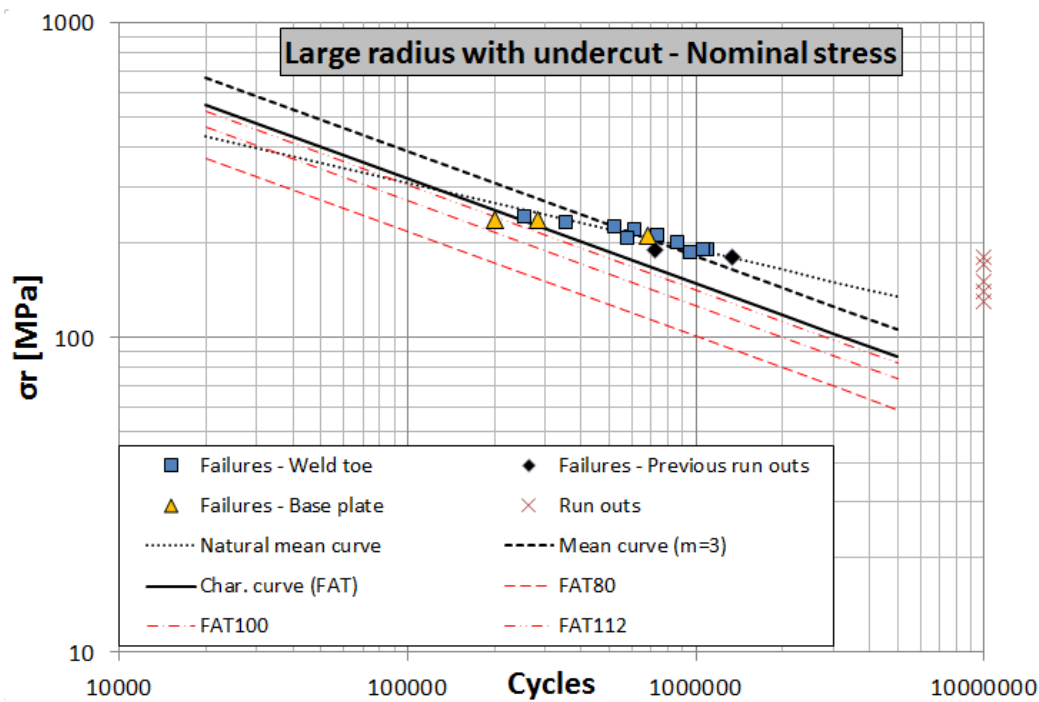
Målsättningen med Lightstruct är att utveckla förutsättningar för tillverkning av lätta svetsade strukturer för entreprenadmaskiner. För att åstadkomma viktreduktion krävs att godstjocklekar reduceras varvid påkänningarna ökar vilket medför att komponenterna måste tillverkas med en högre kvalitet. Följande huvudsakliga forskningsaktiviteter är genomförda.

1. Undersökning av analysmetoder baserade på svetsdefekter
2. Volvo CE har utarbetat standardiserade utvärderingsmetoder, baserade på defekter beskrivna i svetsstandard. Mätsystemanalys (MSA) har genomförts för utvalda metoder för att studera effektiviteten, med målsättning att reducera variation i utvärderingsmetodik bland olika fabriker. Resultaten är nu under implementering inom Volvo CE.
3. Prov med plasma hybrid har genomförts och analyserats m a p processens inverkan på kvalitets utvärdering. Ändringar i svetsprocesser ställer olika krav på kompetenser, metoder och utrustning som användes i företaget. Provnigen visade t ex på en ökad förekomst av cold laps (lokala bindfel) vilka inte går att detektera med oförstörande provning. Plasma hybrid leder också till en ökning av antalet svetsparametrar vilka ställer krav på nya arbetssätt i företagen.
4. En kartläggning av spaltförekomst och dess inverkan på resurseffektivitet har genomförts. Studien påvisade en stor variation vilken har en påtaglig inverkan på resurseffektivitet. Varierande spalter påverkar a-mått och inträngning. Detta leder till kassation i produktionsprocesser och ökande förekomst av manuell rotsvetsning än vad som normalt förväntas.
5. Intervjustudier m a p implementering av styrdiagram, styrplaner och svets valitetsstrategier inom svetsbranschen har påbörjats. Experiment med olika typer av svetstråd och en studie som korrelerar den internationella standarden för skärkanter (ISO 9013) mot utmattningsdimensionering är genomförda
6. Volvo CE, COREMA och CTH har bidragit med ”design of experiments”. Flera svetsexperiment har genomförts och utvärderats med prediktiv modellering från experiment och meta-modellering. Utmattningsprov av svetsade provstavar har genomförts på KTH. Lightstruct har genomförts med 3 industridoktorander från Volvo CE Arvika and Braås och doktorander från KTH and HV

5. Resultat och leveranser

5.1 Måluppfyllnad

Utvecklingen av nya generationer produkter medför att egenskaper och prestanda förbättras såsom lastkapacitet, bränsleekonomi, livslängd och bättre miljöanpassning. För att möta dessa krav introduceras nya och/eller förbättrade tillverkningsmetoder, optimering av strukturer och mer höghållfast material. I detta projekt studeras nya procedurer som bidrar att behålla den Svensk industrin's ledande position m a p prestanda, materialutnyttning och energieffektivitet. Vissa av projektresultaten kan användas direkt i de deltagande företagen.



Figur 1: Utmärkta utmattningsresultat med en förbättrad svets procedur, FAT 80 är normalvärdet.

Introduktionen av nya svetsprocedurer och högre kvalitetsnivåer på komponenter medför behov av ökad operativ kompetens inom tillverkningsenheter samt ett mer vetenskapligt samarbete mellan utvecklings- och produktionsingenjörer. Det kommer också att bidra till minskning av ledtiden samt kostnadsbesparing i produktframtagning. Figur 1 visar resultat från utmattningsprov med en förbättrad svetsmetod, den röda kurvan är resultat



från en normal svetsmetod. FAT 80 utgör designkurvan för denna typ av fog. Resultatet påvisar möjligheter för en kostnadseffektiv introduktion av svetsar med högre kvalitet och därmed ökad användning av höghållfast material.

Projektet har också förbättrat forskning och utbildning inom de deltagande universiteten. Genom SSAB, KTH, HV, CTH och Svetskommissionen kommer projektresultaten att nå en stor omfattning av svensk industri och konsultföretag. Projektets huvudsakliga bidrag till FFI's mål är:

- En reducerad vikt ökar produktiviteten såsom hanterat ton material/timme.
- En reducerad vikt innebär mindre material och mindre påverkan på miljön vid material framställning.
- Nya processer kommer att reducera ledtiden i produktion och möjliggör ökad produktionskapacitet.
- Produkter med bättre prestanda förstärker konkurrenskraften i Volvo och andra svenska industrier.

6. Resultatsspridning och publikationer

6.1 Kunskaps- och resultatsspridning

I Lightstruct deltar tillverkare av entreprenadmaskiner, svetsutrustning och stål och spridningen av projektresultat är en del i naturliga kontakter mellan flera leverantörer och kunder. Implementering av projektresultat pågår redan i några av deltagande företagen. Tidiga resultat presenterades i 2nd Swedish Conference on Design and Fabrication of Welded Structures, 9-10 October 2013, Borlänge. Inom KTH, CTH och HV kommer projektresultaten att utgöra underlag för utbildning på flera nivåer. Svetskommissionen kommer att utnyttja både resultat och deltagare från Lightstruct i utbildning av svenska industrier och organisationer. Vissa projektresultat kommer att presenteras under IIW-sammanskomster (International Institute of Welding) under kommande år. Spridningen av projektresultat planeras tillsammans med forskningsprojektet ONWELD under våren 2016.

6.2 Publikationer

Bertil Jonsson, Industrial engineering systems for manufacturing of welded structures exposed to fatigue, Licentiate Thesis in Lightweight Structures, KTH Stockholm, Sweden 2012

Zuheir Barsoum (editor), Proceedings of 2nd Swedish Conference on Design and Fabrication of Welded Structures, 9-10 October 2013, Borlänge, Sweden, ISBN 978-91-7501-864-5.

Fatigue design of lightweight welded vehicle structures: influence of material and production procedures, Zuheir Barsoum, KTH, *ibid*.

The development of fatigue Loaded welded steel structures, Jack Samuelsson, KTH *ibid*.

A Different View of Quality Assurance for Fatigue Loaded Structures, Anna Ericson Öberg, Chalmers/Volvo CE, *ibid*

:Innovative welding procedures for efficient fabrication of fatigue loaded structures, Erik Åstrand Volvo CE, *ibid*.

Fast optical 3D scanning method using structured light for quality- control and reverse engineering, Stefan Rosén Toponova, *ibid*.

An algorithm for assessing weld surface geometry in welded joints, Thomas Holmstrand, KTH, *ibid*

Influence of oxides movement on cold lap formation, Peigang Li, University West, *ibid*

Influence of welding parameters on weld quality and productivity using metal cored wire, Kimon Drosos and Stavros Kotsakis, Dept of Material and Manufacturing Technology, CTH 2013.

Ericson Öberg, A. & Åstrand, E. The subjective judgement of weld quality and its effect on production cost. Design, Fabrication and Economy of Metal Structures, 24-26 April 2013 Miskolc, Hungary.

Åstrand, E., Öberg, A. E., & jonsson, B, Cost Affecting Factors Related to Fillet Joints. Design, Fabrication and Economy of Metal Structures, 2013 Miskolc, Hungary. Springer, 431-435.

Ericson öberg, A., Hammersberg, P. & Svensson,L-E.. The right evaluation method - an enabler for process improvement. *International Conference on Joining Materials*. Helsingor, Denmark 2013.



Ericson - Öberg, A.. Improved Quality Assurance of Fatigue Loaded Structures. Licentiate of engineering, Chalmers 2013.

Åstrand, E. Welding of Heavy Structures Subjected to Fatigue Licentiate of engineering, Chalmers, 2013

Ericson Öberg, A., Wikstrand, S. & Mattsson, S. The influence of gaps on resource efficiency. Swedish Production Symposium, Gothenburg, 2014 .

Erik Åstrand: Key changes in the welding of fatigue loaded structures. Swedish Production Symposium, Gothenburg, 2014.

Fatigue life assessment of improved joints welded with alternative welding techniques. T. Holmstrand, N. Mrdjanov, Z. Barsoum, E. Åstrand, Engineering Failure Analysis 42 2014

Peigang Li, Cold lap formation in Gas Metal Arc Welding of steel: An experimental study of micro-lack of fusion defects, ISBN: 978-91-977943-5-0.

7. Slutsatser och framtida forskning

Detta projekt har undersökt nya hybrida svetsprocesser för högt utmattningsbelastade strukturer. Målsättning har varit en mer generell studie inkluderande inverkan från utmattningsdimensionering, tillverkning och kvalitet. Projektet introducerar möjligheten till HVM (High Value Manufacturing) för en bredare grupp av svetsande företag vilket skapar förutsättningar för ett mer hållbart samhälle och en bättre position för svensk industri. Projektet har försett svensk industri och universitet med ny kunskap vilket förbättrar både utbildning och tillverkning. Forskningen fortsätter med följande aktiviteter

- Skärkanter analyseras i ett omfattande program 2015-2016.
- Inom utmattningsdimensionering kommer analys av restspänningar inkluderande relaxation utvecklas för att öka noggrannhet i prediktioner.
- Svetsdeformationer av stora svetsade strukturer analyseras
- Det är fortfarande svårt att utnyttja lokala dimensioneringsmetoder vis svetslut och mer forskning behövs

8. Deltagande parter och kontaktpersoner

KTH Royal Institute of Technology	Jack Samuelsson Zuheir Barsoum* Tomas Stenberg Nikola Mrdjanov, Ilona Barmicho
CTH Chalmers Teniska Högskola	Peter Hammersberg* Kimon Drosos Stavros Kotsakis
HV Högskolan Väst	Lars Erik Svensson* Peigang Lee** Kjell Hurtig
Volvo Construction Equipment Arvika	Anna Ericson-Öberg Hasse Olsson Krister Ericson
- “ - - “ -- - ” - Braås	Bertil Jonsson* Erik Åstrand Andreas Ulvagården
- “ - - “ -- - ” - Eskilstuna	Mats Jacksson
Volvo Buss	David Lantz
SSAB Tunnpått - “ - Borlänge	Lars Hjertonsson Linda Petersson Jerker Lindström
SSAB Grovplåt - “ - Oxelösund	Torbjörn Narström
COREMA Partille	Bengt Sameby Rasmus Sameby Stefan Hjelm
Svetskommissionen	Peter Norman
- “ -	Pia Borg
Volvo Buss Göteborg	Patrick Tremoureux
CARGOTEC / HIAB Hudiksvall	Niklas Rosendal
- “ -	Svante Widehammar

* Contact persons ** Nu ESAB