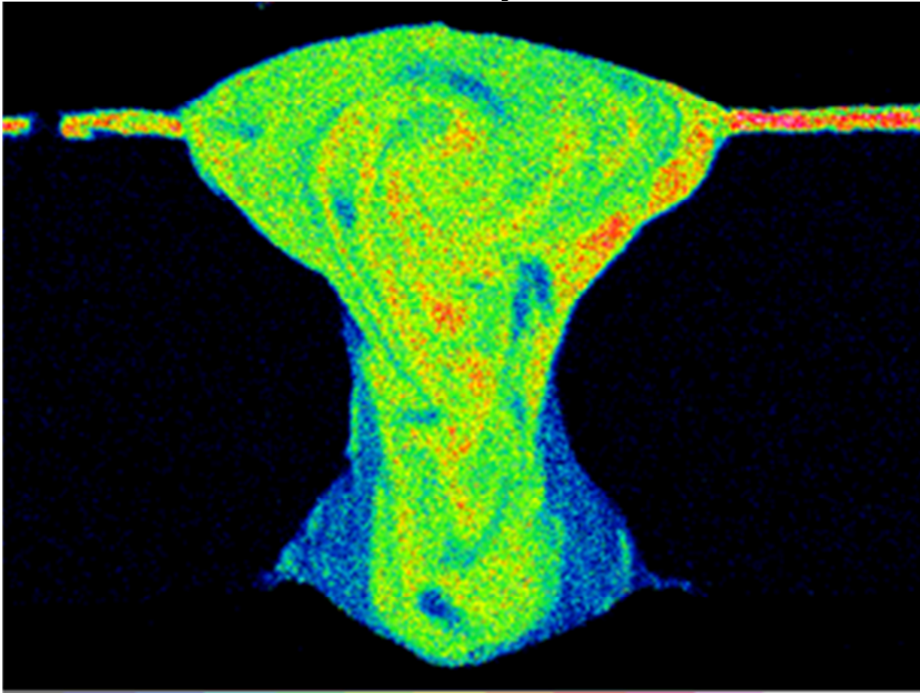


# FFI

FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION

## IMTAB

### Förbättrade skräddarsydda ämnen



Paul Janiak & Joakim Hedegård  
2012-07-30  
Delprogram: Hållbar produktionsteknik

## Innehåll

<b>1. Sammanfattning</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Bakgrund</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Syfte</b> .....	<b>5</b>
<b>4. Genomförande</b> .....	<b>6</b>
<b>5. Resultat</b> .....	<b>7</b>
5.1 Bidrag till FFI-mål .....	12
<b>6. Spridning och publicering</b> .....	<b>13</b>
6.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	13
6.2 Publikationer.....	13
<b>7. Slutsatser och fortsatt forskning</b> .....	<b>14</b>
<b>8. Deltagande parter och kontaktpersoner</b> .....	<b>15</b>
<b>9. Referenser</b> .....	<b>15</b>

### 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](http://www.vinnova.se/ffi)

## 1. Sammanfattning

IMTAB-projektet verkar för att förbättra svetskvalitet och hållfasthet hos skraddarsydda ämnen samtidigt som tillvekningsprocessen effektiviseras. Flertalet publikationer hävdar att svetsning av AlSi beläggda borstål, utan någon förbehandling av ytan, leder till bildning av spröda faser i svetsgodset som i sin tur kraftigt försämrar svetsförbandets hållfasthet. För att undvika problem med spröda faser och hållfasthetsminskning i svetsförbandet används en metod där ytbeläggningen tas bort lokalt kring svetsen, detta kräver dock ett extra processteg innan svetsning. Ett av de huvudsakliga målen med IMTAB-projektet var att utveckla en svetsmetod som är kapabel att svetsa AlSi-belagda borstål med ett enda processteg, utan lokal borttagning av ytbeläggningen och samtidigt upprätthålla tillräcklig hållfasthet i svetsförbandet för att kunna genomföra efterföljande formningsoperation och erhålla fullgoda krockegenskaper på slutprodukten.

Genom att reducera antalet processteg vid tillverkning av skraddarsydda ämnen samt utveckla en mer robust svetsprocess kommer detta projektet leda till:

- Reducerad vikt på fordonen samt ökad transporteffektivitet
- Ökad produktivitet och tillverkningskapacitet (större och mer komplexa komponenter)
- Förbättrade produkt- och svetsgenskaper (ökad svetskvalitet, formbarhet och seghet)
- Ökad konkurrenskraft

Utveckling av en mer robust svetsprocess kan innebära stora fördelar för effektivisering och kostnadsreducering inom tillverkningen av skraddarsydda ämnen för presshårdade komponenter. I detta projekter har en hybrid mellan två välkända svetsprocesser använts för svetsning av skraddarsydda ämnen, nämligen laser och MAG processerna. Hybrid processen som inkluderar både laser och MAG processerna benämns hädanefter laser-hybrid. Laser-hybrid är en högproduktiv svetsprocess jämfört med vanlig MAG-svetsning och kombinationen av laser och MAG hjälper till att hantera flera av de svårigheter som är vanligt förekommande för ren MAG- och lasersvetsning. Jämfört med ren lasersvetsning har laser-hybrid processen inte samma höga krav på kantkvalitet på plåtar som ska svetsas samman vilket leder till att mindre resurser går åt för kantpreparering, kontrollmätning och kvalitetssäkring.

Resultat från IMTAB-projektet visar att laser-hybrid processen, rätt använd, kan åstadkomma svetsar i Usibor 1500P material som når 95% av hållfastheten i svetsar gjorda i obelagt borstål (22MnB5). Detta i ett enda processteg, utan att ta bort ytbeläggningen runt svetsen.

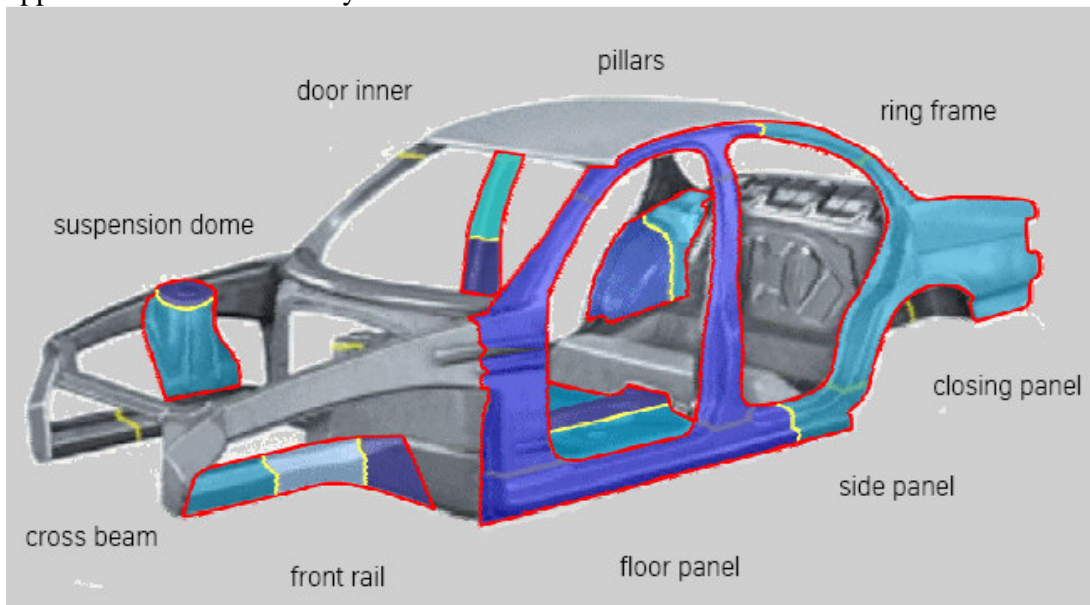
Optimerade laser-hybridsvetsar har också testats i full skala på Volvo V70 B-stolpar. Laser-hybridsvetsade B-stolpar presterade lika bra som lasersvetsade B-stolpar (med skiktet borttaget) och konventionellt tillverkade icke-svetsade B-stolpar. Alla svetsar var intakta efter krock- och statisk provning.

Totalt sett har projektet framgångsrikt genererat kunskap för utveckling av en robust svetsprocess med god svetskvalitet, godkända krockegenskaper och ökad produktivitet. Alla projektmål har uppfyllts.

## 2. Bakgrund

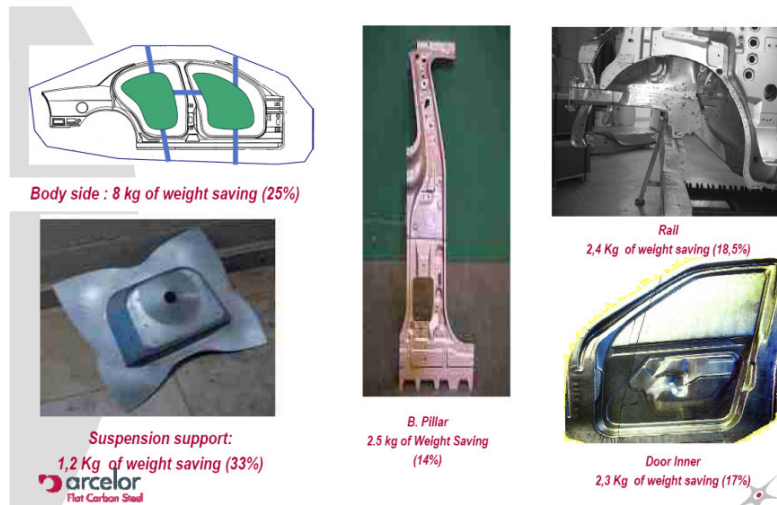
Skräddarsydda ämnen är en teknik som redan används i mindre utsträckning inom bildindustrin. Tekniken består av fogning av speciellt utvalda material till en större komponent eller plåt. Tanken är att använda precis det material eller tjocklek på material som krävs för att uppnå rätt egenskaper i varje del av en komponent, d.v.s. en skräddarsydd komponent.

De huvudsakliga drivkrafterna för introduktion av skräddarsydda ämnen är betydande vikt- och kostnadsreduktion, vilket har gjort skräddarsydda ämnen till en multi-biljon industri inom fordonstillverkning med flera företag värden över dedikerade just för tillverkning av skräddarsydda ämnen. Världsmarknaden för skräddarsydda ämnen inom fordonsindustrin uppskattas idag till ca 200.000.000 komponenter per år, en siffra som ökar med ungefär 7-8% årligen. Genom användning av skräddarsydda ämnen kan antalet pressverktyg för karosstillverkning minskas kraftigt, lika så kan olika monterings- och svetsutrustningar minskas. Undersökningar har visat användning av skräddarsydda ämnen vid tillverkning av en sidodörr till en personbil kan innebära en kostnadsreduktion på ca 50SEK per dörr vilket innebär 200SEK per bil. Figur 1 visar en översikt av möjliga applikationer för skräddarsydda ämnen.



Figur 1 - Applikationer för skräddarsydda ämnen i fordonskarrosen.

Produkter tillverkade av skräddarsydda ämnen bidrar till minskade CO<sub>2</sub>-utsläpp genom reducerad vikt på fordonen. Figur 2 visar möjlig viktminskning av några utvalda komponenter vid användning av skräddarsydda ämnen (källa: ArcelorMittal).



Figur 2 – Potential för viktminskning genom användning av skräddarsydda ämnen

Lasersvetsade skräddarsydda ämnen är en process som kräver väldigt snäva toleranser på klippkanter och sammanfogade delar för att nå tillräckligt hög kvalitet och därmed lyckas med efterföljande formningsoperation. För avancerade höghållfasta stål är det vanligt att svetsbarhetsproblem uppstår och när dessa stål dessutom är belagda finns risk för bl.a. processtabilitetsproblem och sprickning. En vanlig ytbeläggning för presshårdade komponenter i krockapplikationer är AISi-beläggning som används främst för borstål (Usibor 1500P). AISi och många andra tjockare ytbeläggningar kräver lokal borttagning kring svetsområdet för att undvika risk för instabilitetsproblem och för att nå tillräcklig svets- och produktkvalitet (1). För skräddarsydda ämnen innebär detta minskad produktivitet, och om borttagningen av skicket misslyckas resulterar det i försämrade förbandsegenskaper.

Inkommande materialet vid tillverkning av skräddarsydda ämnen har väldigt höga krav på klippkanter och passning. Utvecklingen av en mer robust svetsprocess skulle innebära stora fördelar för tillverkningen av skräddarsydda ämnen, speciellt om svetsning kunde ske i ett enda processteg utan borttagning av ytbeläggningen och med mindre krav på klippkanternas kvalitet. Detta projekt syftar till att genomföra utvecklingen av en sådan process och samtidigt öka kvaliteten, formbarheten och prestandan av skräddarsydda ämnen.

### 3. Syfte

Syftet med projektet var att lösa viktiga problem förknippade med tillverkning av skräddarsydda ämnen och därmed möjliggöra ökad användning av skräddarsydda ämnen för presshårdade komponenter. Projektet skulle leda till:

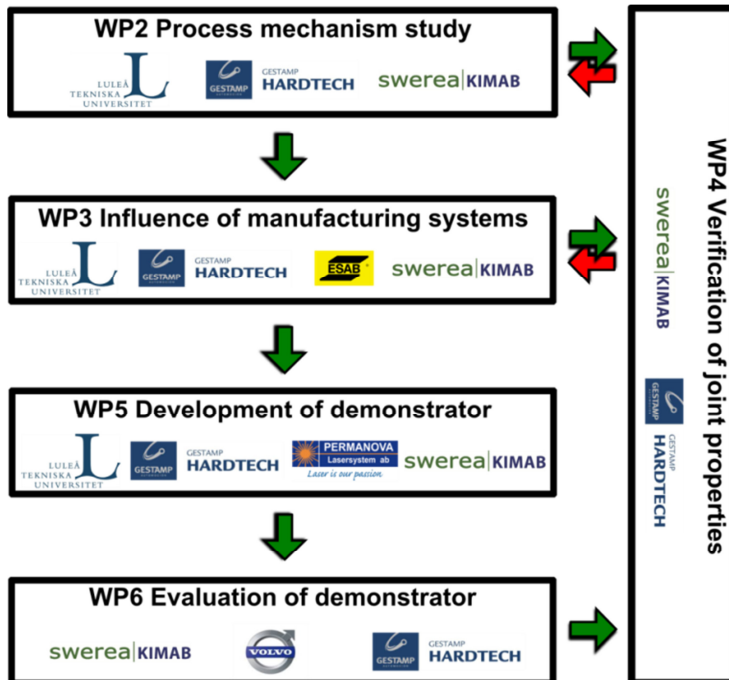
- Reducerad vikt på fordonen samt ökad transporteffektivitet
- Ökad produktivitet och tillverkningskapacitet (större och mer komplexa komponenter)
- Förbättrade produkt- och svetssegenskaper (ökad svetskvalitet, formbarhet och seghet)
- Ökad konkurrenskraft

## 4. Genomförande

Projektet delades in i åtta arbetspaket enligt Gantt-schemat i Figur 3 nedan. Projektet löpte i två år från Q2 2010 till Q2 2012. Interaktionen mellan arbetspaketen inom den experimentella delen är illustrerad i Figur 4. Kunskap som genererats i de inledande arbetspaketen användes senare delen av projektet för tillverkning och utvärdering av en demonstrator i full skala.

		2010				2011				2012			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP0	Project lead												
WP1	State-of the art pre-study of laser stability improvement techniques			M1									
WP2	Mechanism studies and keyhole enhancement				M2	M2							
WP3	Influence of manufacturing systems				G1	M2/G1		M3					
WP4	Verification of weldability and joint properties					M41		M42					
WP5	Development of demonstrators with Tailored Blanks					G2		M5					
WP6	Evaluation of demonstrators & manufacturing systems												
WP7	Sharing of knowledge, Reporting									M71	M72	M73	

Figur 3 – Gantt-schema av IMTAB-projektet. Röda kvadrater representerar den ordinarie tidsplaneringen.

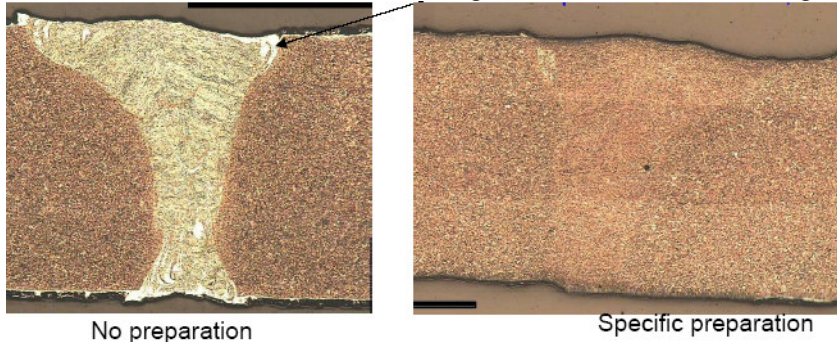


Figur 4 – Flödesschema för den experimentella fasen i IMTAB-projektet.



## 5. Resultat

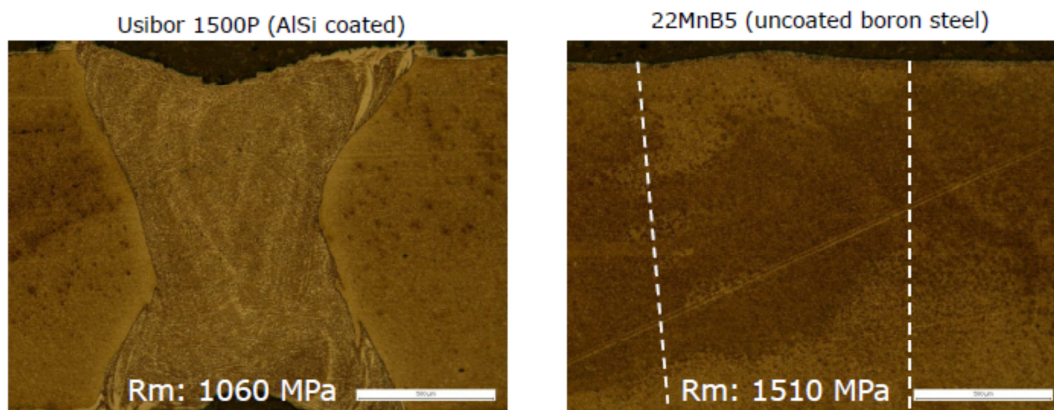
Idag tillverkas AlSi-belagda skräddarsydda ämnen främst genom lasersvetsning med lokal borttagning av ytskiktet innan svetsning. Om AlSi-beläggningen inte tas bort resulterar detta i en kraftig minskning av svetsens hållfasthet p.g.a. bildandet av intermetalliska faser och ferrit i svetsgodset, som illustreras i Figur 5 (1).



Figur 5 – Konventionell lasersvetsning av skräddarsydda ämnen, med och utan borttagning av ytbeläggningen.

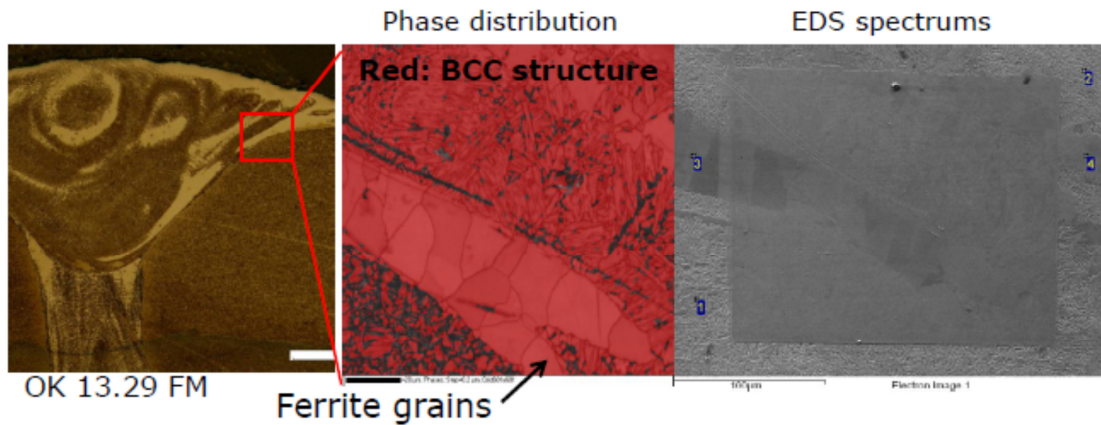
Initialt fokuserade IMTAB-projektet på att öka förståelsen för hur AlSi-beläggningen påverkar hållfastheten i svetsar av Usibor 1500P material. Lasersvetsar gjordes i både AlSi-belagt och obelagt borstål för att studera hur ytbeläggningen påverkar metallurgin och hållfastheten av svetsförbandet.

Figur 6 visar de visuella effekterna som AlSi-beläggningen har på metallurgin i svetsgodset men även hur AlSi inverkar på svetsförbandets hållfasthet. Lasersvetsar som gjordes i AlSi-belagt material, utan borttagning av ytbeläggningen, påvisar en hållfasthetsminskning på ca 30% jämfört med motsvarande svets i obelagt material.



Figur 6 – Lasersvetsar utförda i Usibor (AlSi belagt) och i obelagt borstål.

EBSD och EDS mätningar utfördes på laser-hybridsvetsar som påvisade samma tendenser på bildning av oönskade faser i svetsgodset som svetsen till vänster i Figur 6. Resultatet från dessa mätningar illustreras i Figur 7 & Figur 8. EDS mätningar visar att de ferritiska områdena i svetsen påvisar aluminiumhalter upp till 4.75vikts%.



Figur 7 – EBSD och EDS mätningar av vita områden i laser-hybrid svetsat AlSi-belagt material. OBS! SEM-bilderna är spegelvända jämfört med den ljusoptiska bilden till vänster.

### EDS spectrum results

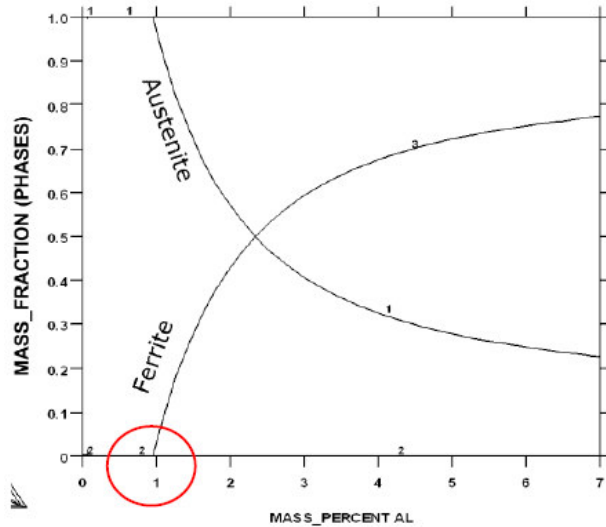
Spectrum	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Total
1			0.38	1.73	97.89		100.00
2	1.30	0.76		1.79	96.15		100.00
3	4.75	1.02		1.51	91.84	0.89	100.00
4	2.46	0.68		1.46	94.37	1.02	100.00

All results in weight%

Figur 8 – Kemisk sammansättning från EDS-mätningar

Termodynamiska beräkningar används för att bättre förstå inverkan av AlSi-beläggningen på metallurgin i svetsat AlSi-belagt material. Resultaten i Figur 9 visar att redan 1 vikts% aluminium inlöst i grundmaterialet orsakar bildning av ferrit vid härdningstemperaturen av det presshårdade borstålet. Om någon ferrit är närvarande i svetsgodset under härdning kommer den slutgiltiga hållfastheten drabbas negativt.

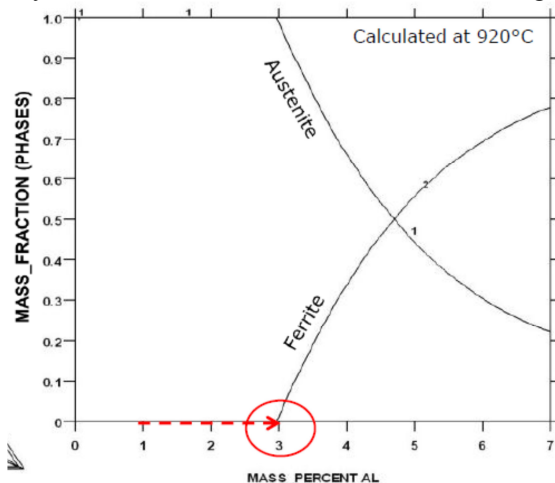




Figur 9 – Thermo-Calc beräkningar av 22MnB5 material (obelagt borstål) vid härdningstemperaturen.

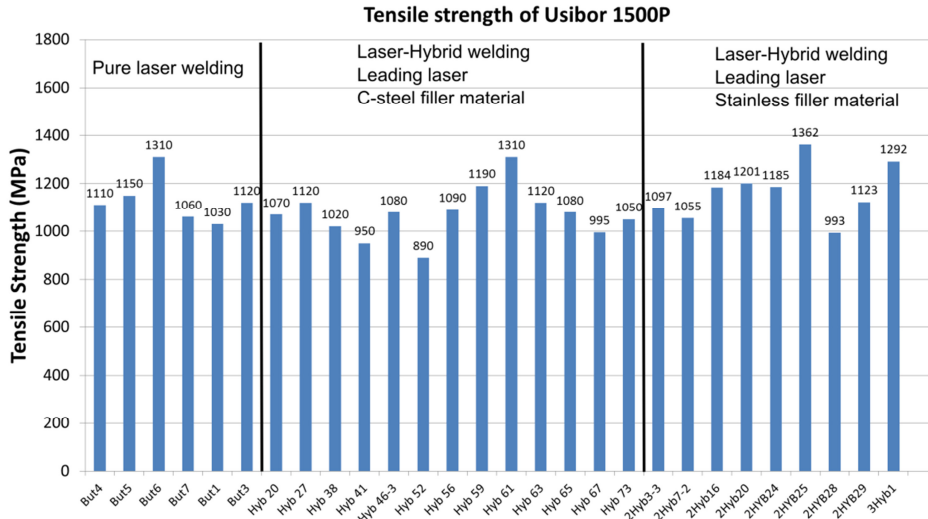
Ytterligare termodynamiska beräkningar genomfördes för att undersöka möjligheter att motverka ferritbildning vid svetsning av AlSi-belagt material. När laser-hybrid svetsning används finns det möjlighet att tillsätta tillsatsmaterial under svetsningen och på så sätt modifiera metallurgin i svetsgodset.

Genom att tillsätta austenitstabiliserande tillsatsmaterial under svetsningen tillåts en större mängd aluminium lösas in i grundmaterialet utan att ferrit bildas. Figur 10 visar att, med en hypotetisk uppblandningsgrad på 50% tillåts ca 3vikts% aluminium att lösas in i grundmaterialet utan att ferrit bildas vid härdningstemperaturen. Detta är tre gånger så mycket som i fallet med ren laser svetsning av AlSi-belagt borstål.



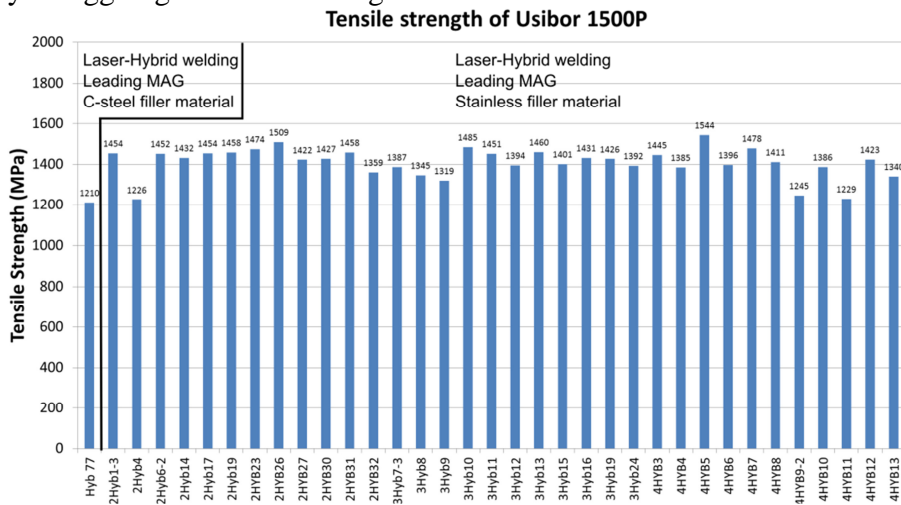
Figur 10 – Thermo-Calc beräkningar av grundmaterial blandat 50/50 med ett austenitstabiliserande tillsatsmaterial.

Kunskapen som genererats i den initiala mekanismstudien användes sedan för att förbättra hållfastheten av laser-hybridsvetsar i AlSi-belagda borstål. Figur 11 visar resultat från dragprov av lasersvetsar samt icke optimerade laser-hybridsvetsar i AlSi-belagt borstål.



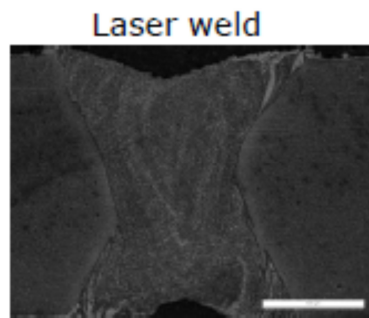
Figur 11 – Draghållfasthet av svetsar gjorda i AlSi-belagt borstål med konventionell lasersvetsning samt laser-hybridsvetsning med icke optimala parametrar.

Med en optimerad laser-hybridprocess når svetsar i AlSi-belagt borstål 95% av hållfastheten jämfört med svetsar i obelagt borstål. Resultat från dragprov på laser-hybridsvetsade AlSi-belagt borstål finns i Figur 12. Draghållfastheten har ökat med ca 25% jämfört med ren lasersvetsning av AlSi-belagt borstål, utan borttagning av ytbeläggningen före svetsning.

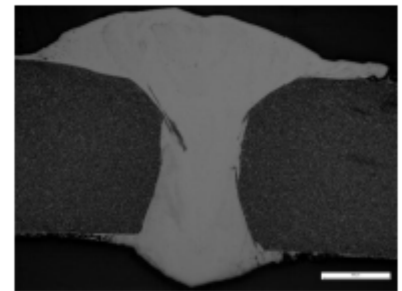
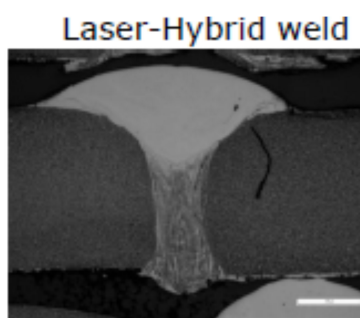


Figur 12 – Draghållfasthet av svetsar gjorda i AlSi-belagt borstål med optimerad laser-hybridsvetsning.

Som tvärsnittsbilderna nedan visar (Figur 13 & Figur 14) har ferritbildningen i svetsgodset motverkats helt genom användning av en optimerad laser-hybridprocess och på så sätt motverkat minskningen av svetsförbandets hållfasthet. Figur 13 visar en ren lasersvets och en laser-hybridsvets men en mikrostruktur bestående av en blandning av martensit och ferrit. De vita områdena i lasersvetsen (Figur 13, vänster) är ferrit, liksom de vita områdena i nedre delen av laser-hybridsvetsen (Figur 13, höger). Trots att Figur 14 påvisar en helt vit svets är mikrostrukturen helt martensitisk, den vita färgen kommer från det rostfria tillsatsmaterialet som använts.



**Figur 13** – Tvärsnittsbilder från svetsar gjorda i AlSi-belagt borstål med konventionell lasersvetsning samt laser-hybridsvetsning med icke optimala parametrar.



**Figur 14** - Tvärsnittsbilder från svetsar gjorda i AlSi-belagt borstål med optimerad laser-hybridsvetsning.

Kunskapen som genererats i i analysfasen i detta projekt användes sedan för att tillverka demonstratorer i full skala. Volvo V70 B-stolpar tillverkades i olika versioner: med konventionell lasersvetsning med borttagning av ytbeläggningen före svetsning, optimerad laser-hybrid svetsning, samt utan svetsning. Statisk- och krockprovning av B-stolparna visade att laser-hybridsvetsade B-stolpar presterade lika bra som både lasersvetsade B-stolpar (med AlSi-skiktet borttaget) och konventionellt icke svetsade B-stolpar. Alla svetsar var intakta efter omfattande statisk- och dynamisk provning.



**Figur 15** – Krockprovade B-stolpar (med AlSi-beläggning). Laser-hybridsvetsarna är intakta efter krockprovningen. Vänster bild: prov nr 13; Höger bild: prov nr 5. Båda är svetsade utan förstärkning.



FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION

## 5.1 Bidrag till FFI-mål

Projektets mål stämmer väl överens med de övergripande mål som finns inom Hållbar produktionsteknik. Projektet har syftat till att utvärdera möjligheterna att effektivisera tillverkningen av skräddarsydda ämnen för presshårdade komponenter. Kunskaper har byggts gemensamt med deltagare från institut, högskola och företag (bilindustri, underleverantörer, övrig industri), vilket skapat en mycket bra kompetensplattform. Komponenttillverkning, Hytt- och karosstillverkning och Utbildning är områden inom Hållbar produktionsteknik som detta projekt adresserar.

Projektet har bidragit till följande mål inom Hållbar produktionsteknik:

- Högre produktivitet i produktionsprocesserna
- Ökad tillverkningsflexibilitet
- Minskade CO2 utsläpp
- Utbildningsmaterial

Projektets utformning har möjliggjort en studie som innefattar moment för eventuellt utbyte av befintliga svetsprocesser och en förenkling av produktionsflödet vid tillverkning av belagda skräddarsydda ämnen för presshårdning. Metoden som har utvärderats (laser-hybrid) har fortfarande ett stort nyhetsvärde och är trots att flera lösningar marknadsförs idag fortfarande ett intensivt forskningsområde. Processen kan rätt använd ge stora produktions fördelar och bidra till en högteknologisk, rationell och ekonomisk produktion inom svensk industri. Projektet har identifierat mekanismerna bakom AISi-beläggningens inverkan på hållfastheten av svetsar i presshårdade komponenter. Denna kunskap möjliggör en stor fördel i många avseenden och kan användas för att förbättra svetsegenskaperna generellt vid svetsning av AISi-belagt presshärdat material, inte bara för tillverkning av skräddarsydda ämnen. Vi förväntar oss att den samverkan som skapats ska fortsätta, samt att svensk industris intresse för avancerad fognings- och produktionsteknik, i detta fall laser- och laserhybridsvetsning, ska fortsätta att öka. För detta verkar alla deltagare i projektet. Kunskapsspridning har skett via konferenser, artiklar och nätverk. Spridningen kommer att fortsätta i olika former, bland annat kommer projektresultaten att gynna utbildningen av kommande internationella svetsingenjörer, IWE & IWT, vid KTH (KTH & KIMAB driver detta utbildningspaket gemensamt) och internationell lasersvetsare (LTU driver denna utbildning).

## 6. Spridning och publicering

Spridning av projektresultat har gjorts och kommer fortsätta genom presentationer på konferenser, publikationer av artiklar och via andra nätverk. Resultatspridning fortsätter även genom undervisning av nästa generations Internationella Svetsingenjörer (IWE & IWT) vid KTH i Stockholm samt via utbildningen för Internationell Lasersvetsare vid LTU, Luleå.

Ytterligare artiklar är planerade att publiceras baserade på resultat från IMTAB-projektet. Artiklar kommer att skickas till internationella konferenser där vi förhoppningsvis får chansen att presentera och diskutera resultaten.

### 6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Det är svårt att sja om vilka drivkrafter som kan påskynda spridning av resultaten från IMTAB-projektet. Projektgruppen är dock fast beslutet om att fortsätta spridning av resultaten genom deltagande på konferenser och publicering av artiklar. Vi är övertygade om att en ökad exponering av projektresultaten bidrar till introduktion och implementering av kunskapen som genererats inom industrin.

Vi är inbjudna till att presentera på konferensen "Joining in Car Body Engineering 2013" i Bad Nauheim. Vi strävar också efter att delta och presentera på nästa års uppsättning av IIW-konferensen (världens största svetskonferens). Populära artiklar är planerade i tidsskrifterna Svetsen och Lasernytt under 2012.

### 6.2 Publikationer

IMTAB Project, poster session, FFI Conference, Oct. 19<sup>th</sup> 2010.

Laser & Laserhybrid welding of UHS steels, project presentation, FFI Conference, May 26<sup>th</sup> 2011.

Comparison of 22MnB5-steel with and without AlSi-coating during laser hybrid arc welding

Peter Norman ; Greger Wiklund ; P. Janiak ; N. Malmberg ; Alexander Kaplan  
13th NOLAMP Conference : 13th Conference on Laser Materials Processing in the Nordic Countries, Trondheim, Norway, June 27<sup>th</sup> 2011.

Fallprovning av V70 B-stolpar med Laserhybrid-, laser- och icke svetsade B-stolpar.  
Volvo Provrapport Nr 126059, Ola Wiberg, Johnny K Larsson 2012-02-22.



## 7. Slutsatser och fortsatt forskning







### Slutsatser

- Mekanismerna bakom hållfasthetsminskningen i svetsar av AlSi-belagt borstål är nu fullt utredda och är relaterade till ferritbildning i svetsgodset.
- Usibor (AlSi) i svetsgods av borstål främjar bildningen av ferrit vid härdningstemperaturer vilket resulterar i minskning av svetsförbandets hållfasthet.
- Laser-hybridsvetsning av AlSi-belagt borstål med en austenitstabiliserande tillsats motverkar bildningen av ferrit i svetsgodset och medför att hållfastheten blir jämförbar med grundmaterialet. Detta utan att lokalt behöva ta bort AlSi-belägningen.
- Draghållfasthet av laser-hybridsvetsar i Usibor 1500P material når 95% av hållfastheten jämfört med svetsar i obelagt borstål (22MnB5).
- Svetshastigheter upp till 8m/min har använts med goda resultat. Ytterligare ökning av svetshastigheten begränsas av robotutrustningen p.g.a. störningar från robotens rörelser och acceleration och inte laser-hybrid processen.
- Optimerade laser-hybridsvetsar nådde svetsklass B med god repeterbarhet.
- Huvudparametrar som påverkar hållfastheten av dessa laser-hybridsvetsar är:
  - Processuppställning
  - Val och mängd tillsatsmaterial
- En optimerad laser-hybridprocess är kapabel att tolerera upp till 0.7mm spalt mellan plåtar och ändå åstadkomma godkända svetsar. Detta är 3.5 gånger större spalt än vad som är möjligt med icke-optimerad laser-hybridprocess (även jämförbart med ren lasersvetsning)
- Statisk- och krockprovning med olika provversioner av Volvo V70 B-stolpar visade att laser-hybridsvetsade B-stolpar presterade lika bra som både lasersvetsade B-stolpar (de sistnämnda med AlSi-skiktet borttaget) och konventionella icke svetsade B-stolpar. Alla svetsar var intakta efter provningen.

### Fortsatt arbete

- Hållfastheten för svetsar i AlSi-belagt material kan förbättras ytterligare genom användning av mer optimerade tillsatsmaterial. Kolhalten är en avgörande faktor p.g.a. dess inverkan på martensitens styrka.
- Tillsatsmaterial kan även optimeras med avseende på pris. Kromhalten i tillsatsmaterialet kan reduceras kraftigt och ändå motverka bildningen av ferrit i svetsgods av AlSi-belagt material.
- Svetshastigheten med laser-hybrid kan ökas ytterligare genom optimering av robotens (svetssystemets) acceleration och rörelser.

## 8. Deltagande parter och kontaktpersoner

<b>Gestamp HardTech</b>		
Håkan Andersson (Project leader)	<a href="mailto:handersson@se.gestamp.com">handersson@se.gestamp.com</a>	0920-474 203
Daniel Berglund	<a href="mailto:dberglund@se.gestamp.com">dberglund@se.gestamp.com</a>	0920-474 204
<b>Volvo Cars</b>		
Johnny K Larsson	<a href="mailto:jlarsso1@volvocars.com">jlarsso1@volvocars.com</a>	031-325 2448
<b>ESAB</b>		
Per-Åke Pettersson	<a href="mailto:perake.pettersson@esab.se">perake.pettersson@esab.se</a>	031-509 407
<b>Permanova Lasersystem</b>		
Tore Salmi	<a href="mailto:tore.salmi@permanova.se">tore.salmi@permanova.se</a>	031-706 19 74
Niclas Wikström	<a href="mailto:niclas.wikstrom@permanova.se">niclas.wikstrom@permanova.se</a>	031-706 19 73
<b>LTU</b>		
Greger Wiklund	<a href="mailto:greger.wiklund@ltu.se">greger.wiklund@ltu.se</a>	0920-491 266
Alexander Kaplan	<a href="mailto:alexander.kaplan@ltu.se">alexander.kaplan@ltu.se</a>	0920-491 733
<b>Swerea KIMAB</b>		
Paul Janiak	<a href="mailto:paul.janiak@swerea.se">paul.janiak@swerea.se</a>	08-674 17 22
Joakim Hedegård	<a href="mailto:joakim.hedegard@swerea.se">joakim.hedegard@swerea.se</a>	08-440 48 94

## 9. Referenser

1. *Laser ablation for hardening laser welded steel blanks*. **R. Vierstraete, W. Ehling, F. Pinard, L. Cretteur, A. Pic, and Q. Yin**. March/April 2012, Industrial Laser Solutions.