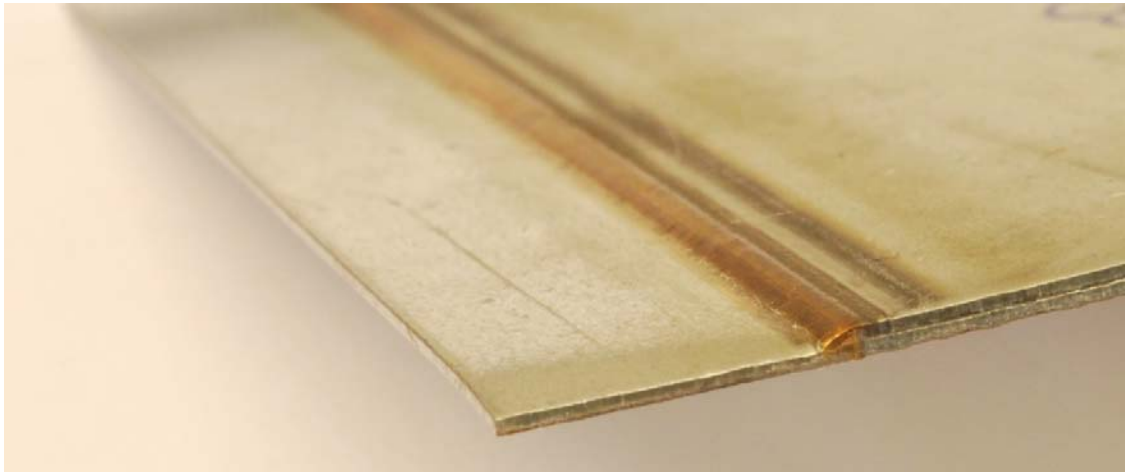




FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION

# Lean Exterior Brazing – II (LEX-B)



Författare: Kjell-Arne Persson, Marie Allvar, Fredrik Sikström, Nils Stenbacka, Håkan Sundberg, Rikard Ottosson

Datum: Juni 2013

Delprogram: FFI – Hållbar produktionsteknik

## Innehåll

<b>1. Sammanfattning</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Bakgrund</b> .....	<b>3</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 .....	11
<b>6. Spridning och publicering</b> .....	<b>11</b>
<b>7. Slutsatser och fortsatt forskning</b> .....	<b>12</b>
<b>8. Deltagande parter och kontaktpersoner</b> .....	<b>14</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

Projektet syftade till minskade kostnader för synliga yttre fogar genom att använda båglödprocesser. Målen var dels att säkerställa ny kostnadseffektiv lödteknik, som ett alternativ till laser lödning, som kan ge nya möjligheter för lastbils hytter och dessutom att utveckla ett kamerabaserat övervakningssystem för förbättrad skontroll i realtid.

Krav på processen, på processkontroll och på konstruktionsaspekter har identifierats.

En ny båglödprocess (TIG baserad) har utvärderats och uppfyller ställda krav på fogen. Som demonstrator har en dörr till lastbilshytt valts.

Ett system för realtidsövervakning som kan upptäcka och lokalisera lödfel har utvecklats.

## 2. Bakgrund

Svetsning och lödning av stål belagda med zink ger ofta instabila processer, beroende på typ och tjocklek på zinksiktet. Detta beror, i första hand, på den låga smältpunkten och kokpunkten för zink (419°C respektive 907°C). Kokpunkten för zink ligger betydligt under smältpunkten för stål (smältpunkten för låg- och olegerat stål ligger runt 1450 till 1520°C). Förångning av flytande zink, som kan ske nästan explosionsartat (volymen ökar med mer än 2000 gånger mellan flytande fas och ångfas) vilket leder till störningar i ljusbågstabilitet och kan ge upphov till bubblor i smältbadet. Sådana störningar resulterar ofta i ojämn fog, porer och sprut.



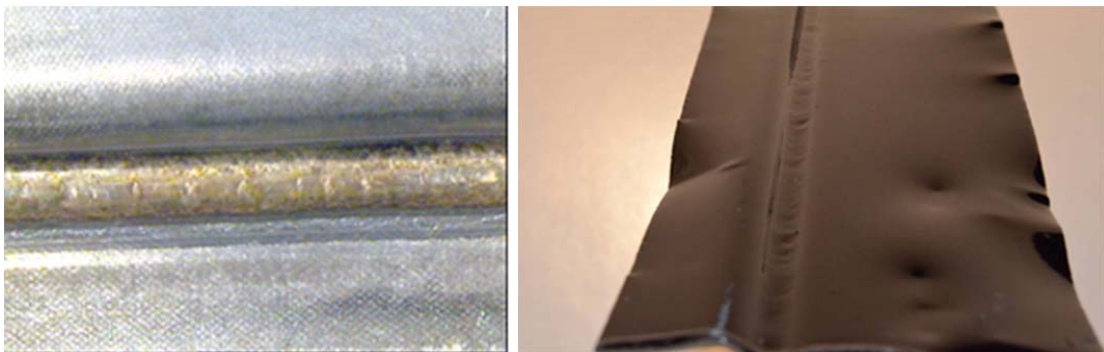
*Exempel på typiska lödfel som porer, sprut och dålig anslutning mot över och underplåt (Källa J Wirth, EWM 2012)*



*Laser svetsning av galvaniserat stål i en överlappsfog utan spalt som gett sprut och porbildning (J Ma et al. 2012)*

Inom fordonsindustrin används laserlödning med goda resultat men det finns ett intresse att få fram alternativa processer med lägre kostnader.

Detta är ett uppföljningsprojekt till förstudien KEEX, som också finansierats av VINNOVA (D-nr: 2010-01333). I förstudien påvisades möjliga alternativ till laserlödning av synliga fogar (en typisk dubbelflänsad takfog) med speciella TIG processvarianter men även med en speciell MIG process. I LEX-B var fokus på en överlappsfog på en dörr till lastbilshytt.



*Resultat med TIG-lödning med Plasmatron och MIG-lödning med EWM Cold Arc. OBS! Deformationerna i plåten har tillkommit vid hanteringen och har inget med lödprocessen att göra. (Från förstudien KEEX, D-nr 2010-01333)*

### 3. Syfte

Målet med projektet var att visa en alternativ lödmetod till laserlödning av fordonsdetaljer. Den fordonsdetalj som valts i projektet är en dörr till lastbilshytt. Materialet var zinkbelagt stål (typ DC04). Fogen var överlappsfog med 1,2 mm tjock underplåt och 0,8 mm tjock överplåt.

Kraven på fogen var:

- Inga synliga defekter som kan påverka målning (inga ytbrytande porer, inga synliga sprickor)
- Bra utseenden (helst utan sprut, slät och jämn form på rågen, jämn anslutning mot plåtar, endast små mängder sot som också bör vara lätt att ta bort)
- Draghållfasthet (testat i ett drag-skjuv prov) ska inte ligga under 300 MPa
- Framföringshastighet 120 cm/min (20 mm/s) eller högre
- Ingen avbränna av zink på baksidan

Kravet på zink avbränning finns, inte enbart av estetiska skäl, utan framförallt för fogens korrosionsmotstånd. Om man ser på baksidan av fogen kommer en del zink att ha smält, vilket syns som en blänkande sträng längs fogen. Detta är fullt acceptabelt och svårt att undvika. Zink avbränna däremot syns som ett vitt pulver av zinkoxid som lätt faller av. Detta är inte acceptabelt.

Tre alternativa lödmetoder har valts:

- Plasmatron som är en TIG metod med sammandragen ljusbågen med hög energitäthet genom riktad och fokuserad gasströmning genom en speciellt designad gaskåpa
- forceTIG som är en TIG metod med sammandragen ljusbåge som ger hög energitäthet genom extremt kyld elektrod
- MAG lödning med CMT som är en av de nya lågenergi-processerna



## 4. Genomförande

Projektet har genomförts av forskare från Swerea KIMAB och Högskolan Väst tillsammans med experter från producent företag inom fordonsindustrin, Volvo Lastvagnar och Scania CV.

Personal i projektmodulerna har valts beroende på behov. Projektets styrgrupp, som har bestått av representanter från alla projektdeltagare, har bestämt projektets bemanning i de olika modulerna. Deltagande företag och organisationer har varit Volvo Lastvagnar, Scania CV, Högskolan Väst och Swerea KIMAB.

Projektet har delats in i 8 arbetsmoduler

M0: Projektledning  
Resultat: Protokoll

M1: Införskaffande och framtagning av vald utrustning för bågledning, material, fixturer och besluta om lämplig demonstrator  
Resultat: Utrustning, material och vald demonstrator

M2: Identifiering och utveckla utrustning för övervakning  
Resultat: Övervakningssystem för bågledning

M3: Processoptimering av bågledningprocesserna i överlappsfog  
Resultat: Utvärderade resultat i förhållande till krav, val av lämpligaste process för fortsatt fördjupad utvärderingen. Delrapport

M4: Övervakning och möjlighet återkopplad för processtyrning  
Resultat: Rapport och rekommendationer för fortsatt arbete

M5: Utveckla robusthet för vald bågledningprocess  
Resultat: Verifierad och godkänd bågledningprocess. Delrapport

M6: Produktion av demonstrator med övervakningssystem  
Resultat: Statusrapport med valt övervakningssystem och idé till återkopplat styrsystem

M7: Utvärdering av system och ekonomi  
Resultat: Kostnadsberäkningar, seminarium

M8: Rapport och kunskapsöverföring  
Resultat: Slutrapport, seminarium, artiklar, bidrag till konferenser

## 5. Resultat

Tre alternativa lödmetoder har valts i projektet:

- Plasmatron som är en TIG metod med sammandragen ljusbågen med hög energitäthet genom riktad och fokuserad gasströmning genom en speciellt designad gaskåpa
- forceTIG som är en TIG metod med sammandragen ljusbåge som ger hög energitäthet genom extremt kyld elektrod
- MAG lödning med CMT som är en av de nya lågenergi-processerna

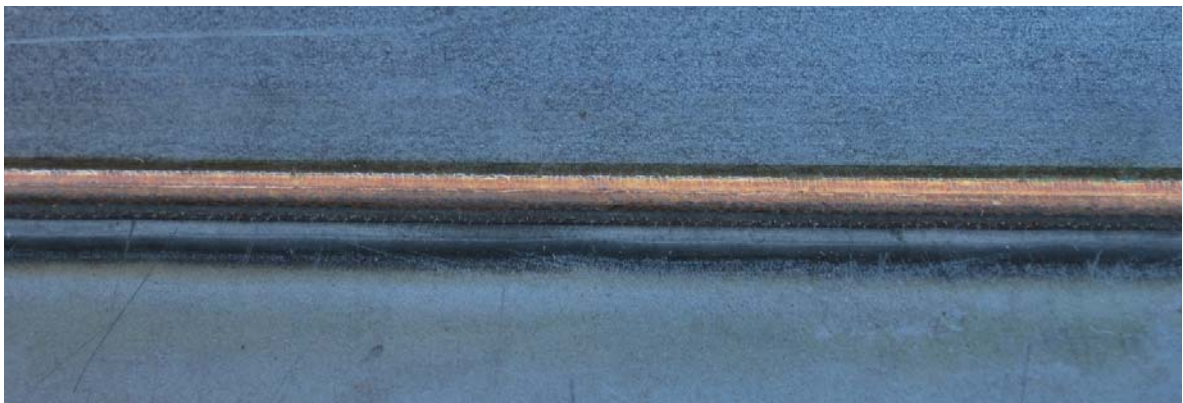
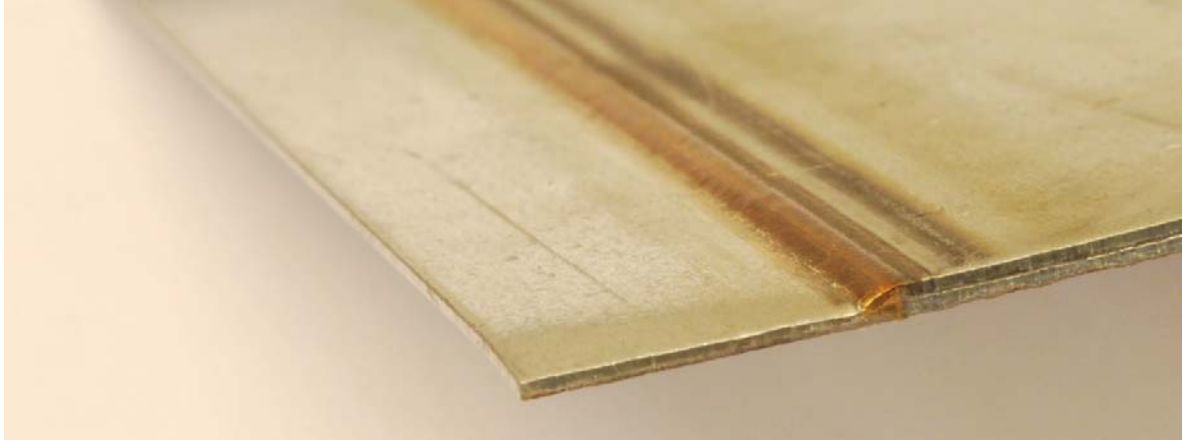
Kvaliteten på lödfogarna som gjorts med de två TIG-metoderna är jämförbara med de som görs med laserlödning. Med den valda fog-utformningen, överlappsfog utan spalt, och i kombination med zinkbelagt stål ger zinkångor ibland upphov till störningar som kan resultera i porer, sprut partiklar eller ojämn fog. Det kamerabaserade övervakningssystemet som utvecklats inom projektet kan användas för automatisk detektering och lokalisering av sådana störningar vilket underlättar kvalitetskontroll. Det kommer också att utföras tester med ett kontrollerat gap mellan plåtarna för att tillåta zinkånga att försvinna utan att orsaka störningar.

Kvaliteten på de MAG lödda fogarna var också relativt bra men 3-4 gånger mer lödtråd erfordrades vid samma framföringshastighet som för de två TIG-metoderna. Storleken på lödfogen blir därför betydligt större och bedömdes som för stor för projektets demonstrator, dörr till lastbilshytt.

Framföringshastigheten var mycket hög med forceTIG, 3 m/min, vilket är i nivå med laserlödning. Med Plasmatron och CMT var framföringshastigheten lägre, 1,2 m/min, men för vald applikation så var det tillräckligt för att uppfylla ställda krav.

Kopparånga från lödtrådarna påverkar katodernas livslängd för de två TIG-metoderna. Speciellt visade sig forceTIG-metoden vara mycket känslig för kopparånga som kondenserar på elektroden. Elektroden på forceTIG är inte avsedd att slipas. Elektroden har pressats in i en hållare för att förbättra kylningen och om elektroden slipas kommer Tool Center Point att ändras vilket betyder att brännarens position på roboten måste kalibreras. Elektroden på Plasmatron kan däremot slipas ett flertal gånger och genom att elektrodens position justeras när elektroden återmonteras i brännaren behövs normalt ingen kalibrering av Tool Center Point. Den kostnadsjämförelse som gjorts i projektet visar att skillnaden i elektrodkostnad är betydande och en av de viktigaste anledningarna till att Plasmatron processen utgör det mest lovande alternativet till laserlödning. Det bör dock påpekas att för andra applikationer är båda TIG metoder intressanta.

## Resultat med Inocon Plasmatron



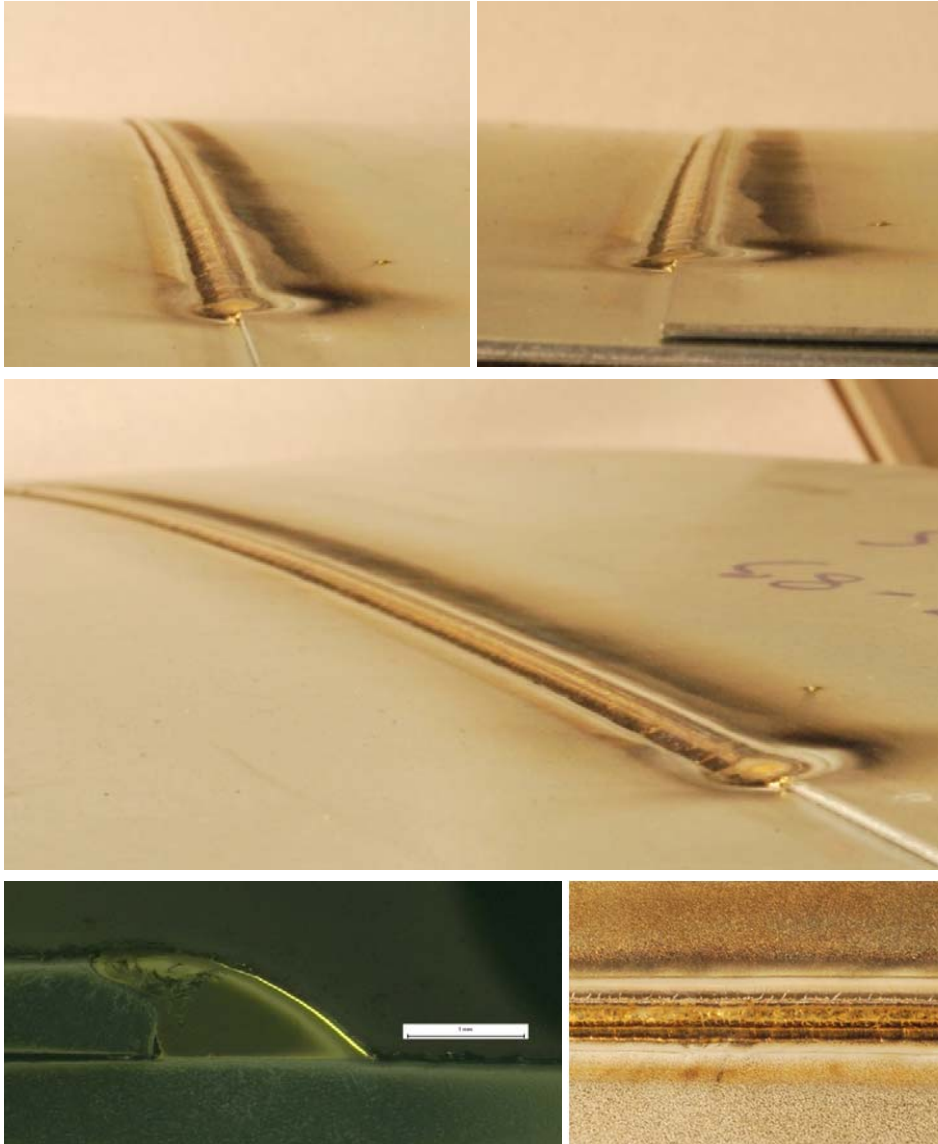
*Bra resultat med Plasmatron i en rak överlappsfog*

Typiska inställningar (Lödtråd: Bercoweld B60 eller CastoMag 45706, CuSi3Mn)

Strömstyrka :	95-105A
Bågspänning:	13-14V
Trådmatningshastighet (tråd Ø1,2mm):	1,2-1,3m/min
Framföringshastighet:	1,2m/min
Skyddsgas:	100% Ar, gasflöde 8 l/min



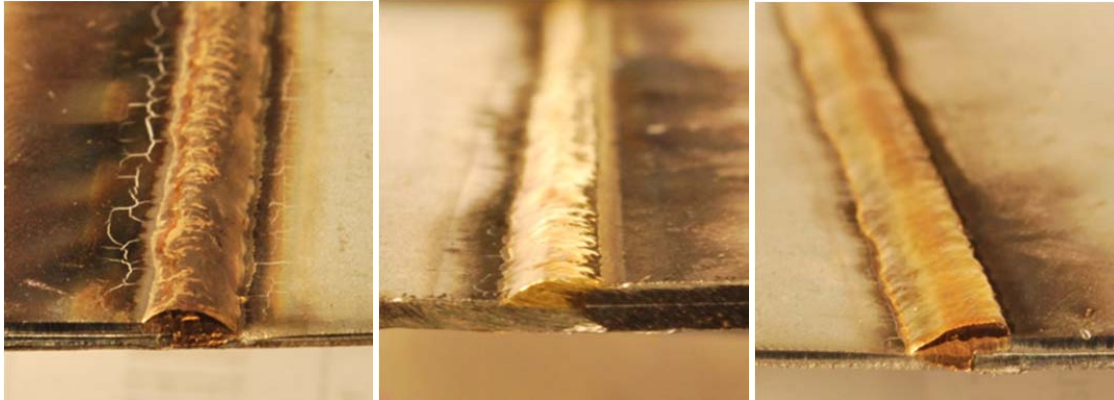
## Resultat med EWM forceTIG



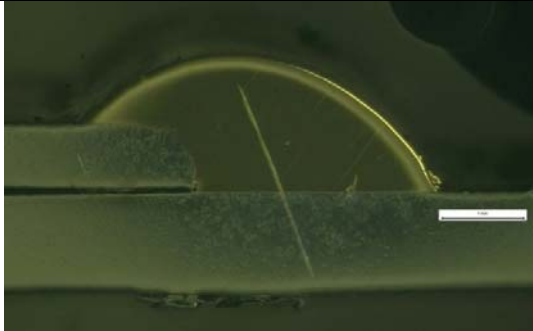

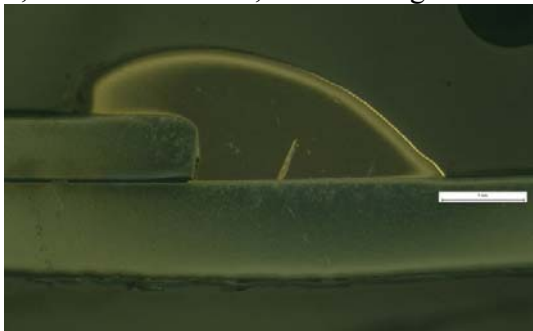
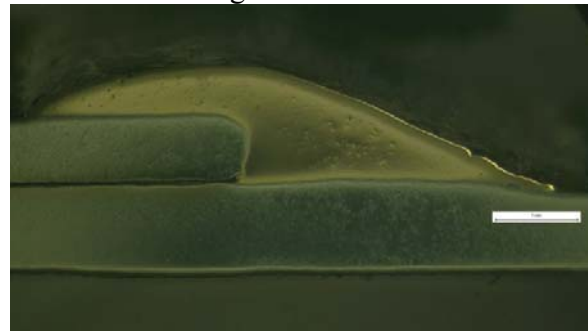
*Bra resultat med forceTIG. Lödtråd var Esab OK 19.30 (CuSi3Mn1) Ø1,2mm*

Strömstyrka:	176A
Bågspänning:	12.5V
Framföringshastighet:	3m/min
Trådmatningshastighet:	3m/min
Sträckenergi:	$\eta \cdot 0,043 \text{kJ/mm}$ där verkningsgraden $\eta$ vid TIG svetsning typiskt uppskattas till ca 0,7
Tvårsnittarean av tillsatt lödtråd är	$1,1 \text{mm}^2$

## Resultat med Fronius CMT



Exempel på bra resultat med CMT och olika löttrådar, CuSi3Mn1, CuAl8 och CuSn6Mn. Framföringshastigheten var 1,2 m/min

	
CuAl5Ni2 UTP A3421 117A 12.0V 0,088kJ/mm WFS 6,2m/min Progr 873	CuSn12P UTP 320 110A 10,6V 0,080kJ7mm WFS 6m/min Progr 878
	
CuSn6SiMn Bercoweld B60 134A 9.9V 0,058kJ/mm WFS 6,3m/min Progr 1183	CuSn8P CastoMag 45703 108A 9,8V 0,073kJ/mm WFS 6m/min Progr 878

Tvårsnitt från fogar gjorda med olika löttrådar. Areal på tvårsnitten är ca 3-4 gånger större än motsvarande med Plasmatron och forceTIG.

### **5.1 Bidrag till FFI-mål**

Projektet bidrar till kunskapsbaserad produktion och ökad konkurrenskraft i svensk fordonsindustri genom att använda ny kunskap och ny teknologi. Detta kan ge både kostnads och tekniska fördelar.

Projektet har också bidragit till samarbete mellan industrin och akademien som förbättrar konkurrenskraften i fordonsindustrin och som stärker forskningsmiljön i Sverige. Kunskapen som erhållits ger både industrin och akademien förutsättningar för fortsatt utveckling, även inom andra områden. Detta bidrar till att trygga sysselsättning, till tillväxt och till forskning i Sverige.

Resultaten med de nya TIG löd teknikerna gör det möjligt att använda kostnadseffektiva alternativ till laserlödning. Dessa tekniker kan ge fördelar också inom andra delar inom tillverkningsindustrin än fordonsindustrin.

Eftersom de nya kostnadseffektiva löd teknikerna kan användas i andra applikationer, till exempel vid fogning av olika material (som lättviktsmaterial), kan krav på lättare fordon med lägre bränsleförbrukning och lägre utsläpp bättre nås.

## **6. Spridning och publicering**

Hittills har resultaten från projektet enbart distribuerats inom projektgruppen. De finns dock planer på att presentera projektresultaten i artiklar och på seminarier/konferenser. Till exempel på nästa FFI konferens i Katrineholm och på Fogningsseminarier i Com. XII på IIW. Fogningsseminarier i Sverige arrangerade av Swerea-KIMAB och Svetskommissionen är också lämpliga att presentera resultaten på. De viktigaste resultaten bör också presenteras för studenter på KTH och HV.

## 7. Slutsatser och fortsatt forskning

I projektet har tre olika lödprocesser utvärderats som möjliga lågkostnadsalternativ till laserlödning. Applikationen, dörr till lastbilshytt, var en överlappsfog med 1,2 mm underplåt och 0,8 mm överplåt. Materialet var zink belagt stål. De testade processerna var:

- TIG lödning med Plasmatron
- TIG lödning med forceTIG
- MAG lödning med CMT

Huvudkraven från deltagande producenter, Volvo Lastvagnar och Scania CV, var:

- Framföringshastighet 1,2 m/min eller snabbare
- Liten fog och bra utseende
- Inga synliga defekter som kan påverka efterföljande målning eller fogens utseende, som ytbrytande porer, sprut eller ojämn fog
- Drag-skjuvhållfasthet högre än 300 MPa

Plasmatron var den process som bäst uppfyller ställda krav från Volvo Lastvagnar och Scania. Framföringshastigheten var 1,2 m/min och fogens storlek bara något större än de gjorda med laserlödning. Fogens utseende var bra och hållfastheten bättre än 300 MPa. Slutsatsen är att denna process är väl lämpad som alternativ till laserlödning.

Det finns dock fortfarande en viss risk för porbildning, sprut och ojämn råge med delvis avsaknad av vätning mot en av plåtarna. Volvo Lastvagnar kommer att fortsätta med att prova med ett kontrollerat gap mellan plåtarna för att åstadkomma en väg för zinkånga.

Kvaliteten med forceTIG var lika med den som kan åstadkommas med Plasmatron. Framföringshastigheten, 3 m/min, var högre jämfört med framföringshastigheten med Plasmatron (1,2 m/min). Det uppstod dock en del problem med kopparånga som kondenserar på elektroden (katoden) och slitaget på elektroden med forceTIG blev betydligt värre. Elektroden på forceTIG är dessutom av engångstyp (slipning ändrar Tool Center Point). Detta är en stor skillnad mot Plasmatron där elektroden kan slipas ett flertal gånger (Tool Center Point justeras i samband med elektrodmonteringen). Elektroden i Plasmatron verkade dessutom mindre känslig för kopparånga. Kostnaden för elektroder utgör därför en betydande del av totala kostnaden för forceTIG.

Med forceTIG fanns också en del startproblem. För att få en tillförlitlig start behövde elektroden skrapas med en aluminiumplåt innan tändning av ljusbågen, trots HF tändning och att elektroden var tungsten dopad med cerium. Gaskåpan på forceTIG var också större än på Plasmatron vilket gav något sämre åtkomst.



FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION

Resultaten med CMT var ganska bra men fogens storlek blev för stor för vara acceptabel i denna applikation. Storleken blev ca 3-4 gånger större än för de båda TIG-processerna vilket hänger samman med att värmeförsörjning och trådmatning inte är oberoende varandra med MIG/MAG. Framföringshastigheten var samma som för Plasmatron, dvs. 1,2 m/min.

Den utvärderade visuella övervakningen av lödprocesserna erbjuder en möjlighet till icke påverkande övervakning. Den tillåter övervakning under processen och kan upptäcka defekter i realtid. Detta system utgör därmed ett verktyg som underlättar och förbättrar kvalitetskontroll.

För att kunna anpassas till industriell produktion har systemet utvecklats för att vara både fysiskt och numeriskt robust (det sistnämnda kravet hör ihop med förändringsdetektion). Systemet följer processen för att fånga relevant processinformation sett ur kamerasyvinkel. Övervakningssystemet fungerar utan extra belysning vilket gör det flexibelt och förenklar användbarheten.

Experimentella resultat bekräftar att en kommersiell CMOS-kamera som stöder fotografering med stort dynamikomfång och med en relativt hög bildfrekvens (500 till 1000 bilder per sekund) är tillräcklig för att fånga de flesta problem med zinkåge-explosioner under lödprocessen. Flera bildsekvenser med tillräckligt bra bildkvalitet visar tydligt förekomsten av explosioner och denna information kan synkroniseras i tid med robot rörelse och läge tillsammans med ström och bågspänning från processen. På detta sätt kan defekter automatiskt upptäckas och lokaliseras för ytterligare inspektion.



FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION

## 8. Deltagande parter och kontaktpersoner

### **Håkan Sundberg (Project leader)**

Volvo Lastvagnar AB

Phone: +46 90 707 803

[hakan.sundberg@volvo.com](mailto:hakan.sundberg@volvo.com)

### **Rikard Ottosson**

Scania CV AB

+ 46 491 76 50 00

[rikard.ottosson@scania.com](mailto:rikard.ottosson@scania.com)

### **Kjell-Arne Persson (Project co-ordinator)**

Swerea KIMAB AB

+46 8 674 1743

[kjell-arne.persson@swerea.se](mailto:kjell-arne.persson@swerea.se)

### **Fredrik Sikström**

University West

+46 520 22 33 44

[fredrik.sikstrom@hv.se](mailto:fredrik.sikstrom@hv.se)



**SCANIA**

**swerea | KIMAB**