

# LASER

## nytt

2-2015



Laserbeläggning  
med pulver



Laser  
cladding



Rapport från  
16th EALA



LaserDagen

TRUMPF



# Technology: Lasers by TRUMPF.

TruMicro  
TruDisk TruMark  
TruCoax TruPulse  
TruDiode  
TruFiber TruFlow

The right laser solution  
for every application.

WE INNOVATE best in class, industry proven high power lasers.  
WE INNOVATE CO<sub>2</sub>, disk, diode and fiber lasers.  
WE INNOVATE modularity, efficiency, flexibility.  
WE INNOVATE ground-breaking application solutions.  
WE INNOVATE new lasers for future challenges.

[www.se.trumpf.com](http://www.se.trumpf.com)  
[info@se.trumpf.com](mailto:info@se.trumpf.com)

## Lasernytt utkommer med 3 nummer/år och ges ut av

Lasergruppen c/o Svetskommissionen  
Box 5073, 102 42 Stockholm  
Telefon: 08-120 304 03

### Redaktör

Hans Engström  
Telefon: 0920-49 12 69  
Växel: 0920-49 10 00  
Fax: 0920-49 10 74  
E-post: hans.engstrom@ltu.se

### Redaktionellt arbete och kansli

Per Westerhult  
Telefon: 08-120 304 03  
E-post: per.westerhult@svets.se

### Ansvarig utgivare

Per Westerhult

### Lasernytt på Internet

www.lasergruppen.eu

### Omslagsbild

Reparation av pannrör genom laserbeläggning. Foto från Whertec.

**Produktion:** Ineko Creative Stockholm

**Tryck:** Ineko Production, Stockholm  
www.ineko.se

### Annonsörer

Trumpf Maskin AB  
Permanova Lasersystem AB  
Laserline GmbH

## INNEHÅLL

### TANKAR FRÅN STYRELSEN

Paradigmskifte på väg	1
<b>ARTIKEL</b>	
Världsledande laserforskning vid BIAS	2
<b>FRÅGA LASERDOKTORN</b>	
Gasflöden vid laserskärning?	8
<b>RAPPORT EALA</b>	
Lasersvetsning av aluminium utan tillsatsmaterial och skyddsgas	9
<b>SAMTAL KRING LASERTRENDER DEL 21</b>	
Tekniken med "Tailored Welded Blanks"	25
<b>LASERDAG</b>	
Volvo Olofström och PDS Manufacturing	28
<b>MIKROBEARBETNING MED LASER DEL 16</b>	
Laserbeläggning med pulver	32
<b>ARTIKEL</b>	
Laserbeläggning med pulver	34
<b>ARTIKEL</b>	
Lasertech LSH AB satsar på Laser Additive Manufacturing	36
<b>ARTIKEL</b>	
Nyckelhålsdjupet är bara en sträcka	37
<b>ARTIKEL</b>	
Laser cladding hos Trio OilTec Services i Norge	40
<b>ICALEA 2014</b>	
Lasersvetsning och additiv tillverkning dominerade	42

# Paradigmskifte på väg

Det var i början av 1980-talet, jag tror det var 1984 som dåvarande professorn i Bearbetningsteknik, Claes Magnusson, kom med en rapport från Sveriges Tekniska Attachéer i USA. Han var eld och lågor och berättade om en helt ny teknik där man kunde tillverka plastdetaljer "direkt" från datorn. Rapid Prototyping kallades den och den stora processen var Selective Laser Sintering. Vi tog den till oss och infogade teknikområdet i våra laserkurser. Vi gjorde också en del trevande försök att prova tekniken med metallpulver (undertecknad gjord bl.a. en ny knivsegg i Stellite) men vi gick inte vidare. Resten är historia; tekniken slog igenom för att tillverka prototyper i plast och sedan lärde man sig att även tillverka funktionella produkter i metall. Formsprutverktyg blev ett framgångsrikt område.

Nu råder stor "hype" kring tekniken, inte minst tack vare utvecklingen av 3D-printing där gemene man kan köpa en maskin och tillverka sina egna plastdetaljer. Ett stort företag i Sverige investerar nu i ett 20-tal maskiner för sin tillverkning av metallprodukter och flera andra företag och många i forskningsverige vill satsa på LAM (Laser Additive Manufacturing) som tekniken nu kallas.

Om jag tittar i min privata kristallkula så ser jag ett stort genomslag för LAM, men dock för mera komplicerade detaljer i mindre volymer eftersom tekniken ännu inte är snabb nog för masstillverkning. För detta behövs nya teknikgenombrott, ett SMALT (Single Minute Additive Laser Technology) där man kan tillverka detaljer på ett ensiffrigt antal minuter i stället för timmar. Det kommer att finna ett stort behov av att sprida tekniken inom industrin och här har LaserGruppen en stor uppgift i sin framtida verksamhet.

Ser vi ett paradigmskifte inom tillverkningstekniken?? Jag tror det, med det sker inte över en natt. Det har tagit 30 år att ta tekniken till dagens nivå och det behövs säkert ytterligare något tiotal år och mycket arbetet av många eldsjälur innan det stora genomslaget är fullbordat. Det ska bli spännande att följa utvecklingen, även om det för min del mest kommer att ske från läktaren!

## TANKAR FRÅN STYRELSEN

HANS ENGSTRÖM, LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET





# Världsledande laserforskning vid BIAS

Johnny K. Larsson,  
Volvo Cars

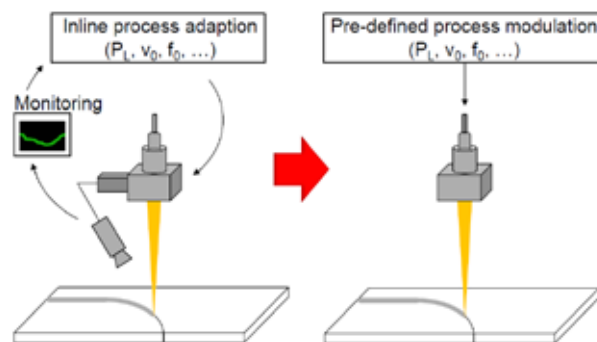
Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik [BIAS] är ett av många framgångsrika laserforskningsinstitut som står att finna i Tyskland. Man arrangerar ju den populära LAF [Laser Anwender-Forum] -konferensen vartannat år, och i samband med fjolårets evenemang hade en halvdag avsatts för besök i laboratoriefaciliteterna i LION-byggnaden. Här fick vi veta vilken forskning som bedrivs där för tillfället genom ett föredrag som hölls av sympatiske institutionsföreståndaren professor Frank Vollertsen. Vi fick också lyssna till ett antal doktorandstudenter som beskrev sina arbeten, varpå vi gavs möjlighet att i laboratorierna mera handgripligt bekanta oss med innovationerna genom de demonstrationer som hölls där.

Dr. Vollertsen inledde med en vision som han valt att kalla "Loopless Production", vilken baseras på en bred erfarenhetsbas från exempelvis tidigare lasersvetsförsök [Fig. 1]. Detta skulle innebära en tillverkningsprocess utan behov av efterbearbetning, avsaknad av kvalitetsvariationer samt inget behov av någon form av aktiv processövervakning. Genom att använda en fördefinierad modulation av processvariabler, såsom lasereffekt, svets hastighet, fokallängd etc., kan en dylik vision möjliggöras. Detta skulle innebära tillverkningsfördelar som resurssnål produktion, lägre kostnader samt en förenklad svetsprocess.

Därpå berättade han om en modell bestående av 10 element vilka beskriver nyckelhålets egenskaper vid svetsning. Modellen bygger på ekvationer kring energi, tryck och rörelser i nyckelhålets väggar, och indata utgörs bl.a. av absor-



Figur 1. Frank Vollertsen är en man med visioner som exempelvis s.k. Loopless Production, där en adaptiv process hellre baseras på tidigare experiment i stället för att använda sig av traditionell processövervakning.

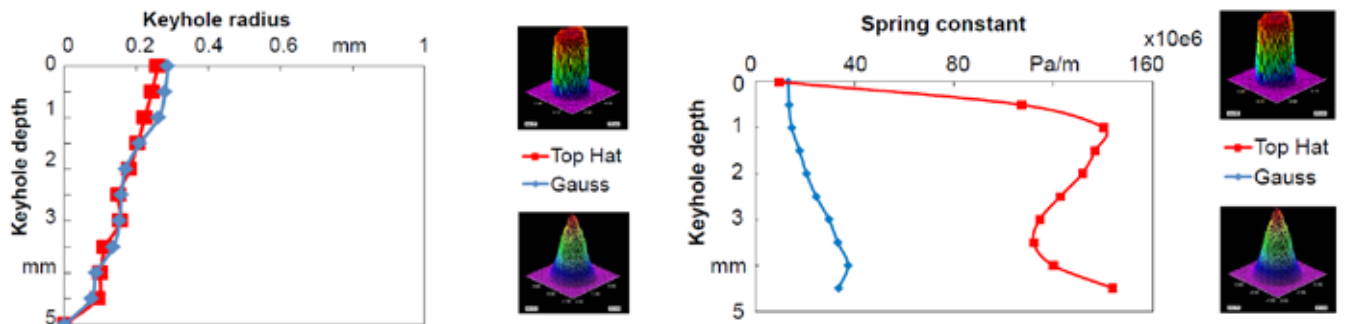


berad laserenergi, förångningsvärme, värmeledningsförmåga, ytpänning och ablationstryck. Både "tophat"- och gaussisk energifördelning i laserstrålen hade simulerats, och konstanta parametrar var 4 kW lasereffekt och 1 m/min i svets hastighet, samt materialet som utgjordes av 12 mm tjockt AA6082. Via beräkningsalgoritmer gick det att fastlägga såväl nyckelhålsradie som interntryck på olika djup i nyckelhålet [Fig. 2].

Stråloscillering är en teknik som under årens lopp noga studerats vid BIAS. En av fördelarna med denna teknik är att man vid svetsning av exempelvis aluminium och zinkbelagd stålplåt kan förlänga smältan så att gaspartiklar hinner evakueras och därmed skapa förutsättningar för en stabil svetsprocess. Men stråloscillering kan med fördel också användas för att överbrygga stora spalter vilket exemplifierades med en stumfog utförd på 1 mm aluminium AA6082 [Fig. 3]. Utrustningen bestod av en

1 kW "single-mode"-laser från IPG [YLR-1000SM], en ILV DC-"scanner" och en trådmatningsenhet från Dinse [FD100LS/WDS300]. Tillsatstråden utgjordes av en AlSi5-legering med 1,2 mm diameter, och pendlingen gjordes med 200 Hz och en "scanning"-bredd på 1,4 mm. Med 1,0 mm luftspalt och olika inmatningslägen av tillsatstråden gick det att fastlägga acceptansgränserna för en godkänd svetskvalitet.

Strålscillering hade också använts vid en laserhybriduppställning där samma laser- och "scanner"-utrustning som ovan används, nu kombinerad med en MAG [Metal Active Gas] -ström-källa från EWM [alphaQ 522] och där pistolvinkeln satts till 30°. Här utgjordes substratmaterialet av 1,5 mm presshärdat 22MnB5 och tillsatstråden var G3Si1 med 1,0 mm diameter. Genom att oscillera strålen tvärs framföringsriktningen blev det även här möjligt att överbrygga stora spalter mellan plåtarna i denna överlappsfog [Fig. 4].

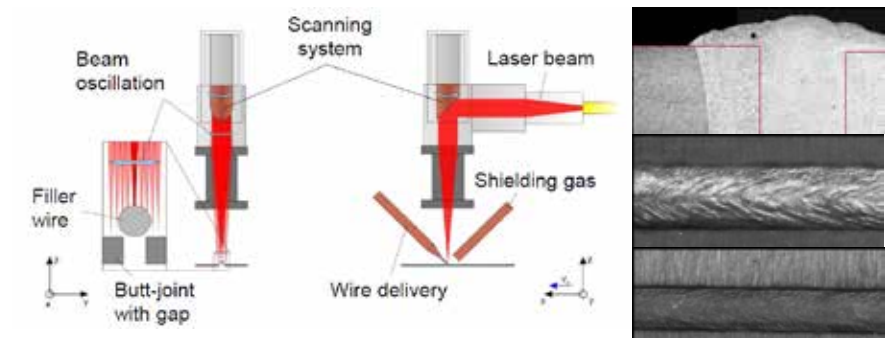


Figur 2. Med en simuleringsmodell baserad på fundamental kunskap kring dynamiken vid nyckelhåls-svetsning går det att fastlägga såväl nyckelhålsradie som internttryck på olika djup i nyckelhålet.

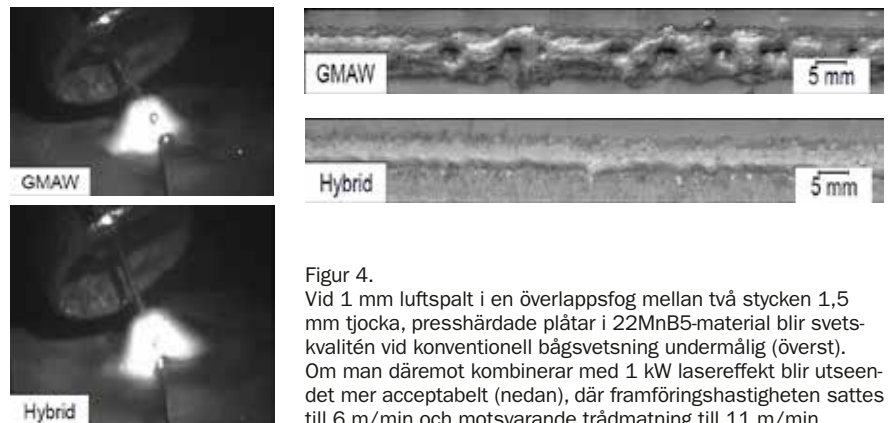
En annan hybriduppställning användes vid laserlödning och bestod av en laser med något lägre effekt [Trumpf HL4006D] vilken förvärmde arbetsstycket innan själva lödprocessen, vilken genomfördes med 8 kW från en Trumpf disk laser TruDisc 8002 [Fig. 5]. Försöken hade utförts på mjuk, elförzinkad karosseriplåt [DC04-ZE75] och här kunde man konstatera att med ökande effekt hos förvärmningslasern förbättrades lödresultatet i form av längre vätningslängd och mindre vätningsvinkel [Fig. 6].

Om vi uppehåller oss något ytterligare kring laserlödning så har man vid BIAS roat sig med att utveckla några höghållfasta tillsatstrådar för ändamålet. Den starkaste har beteckningen CuMn13Al8 och hade använts för att med den ovan beskrivna hybridtekniken sammanfoga två presshårdade 22MnB5-plåtar. Vid efterföljande dragprov brast lödfogen vid 520 MPa – imponerande! Men även den traditionella tråden CuSi3Mn1 kan vid vissa materialkombinationer vara tillfyllest. Sålunda skedde brottet för en laserlodd fog mellan ett 22MnB5- och ett DC04-material i det sistnämnda [Fig. 7].

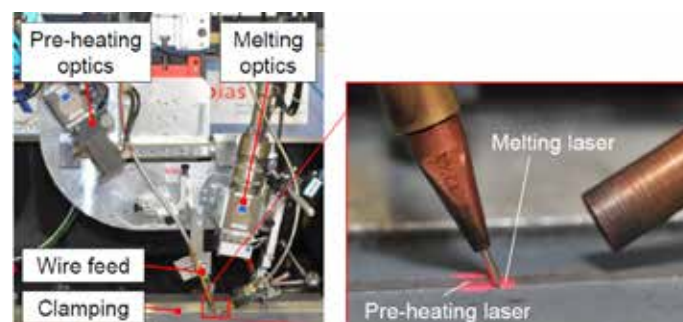
Mikroformverktyg som används vid volymtillverkning tenderar att få en förhöjd temperatur vilket kan inverka negativt på formningskaraktäristika. Därför behöver dessa verktyg förses med kylkanaler, och ett effektivt sätt att integrera dessa är att tillverka formverktygen med SLM [Selective Laser Melting] -teknik. Här visade professor Vollertsen ett exempel på ett sådant mikroverktyg tillverkat av materialet X110CrMoVA1 8-2-1, vilket mätte drygt



Figur 3. Övan principen för att överbrygga stora spalter genom en kombination av tillsatsmaterial och strålscillering och t.h. tvärsnitt, topp- och rotsida för en stumsvets utförd vid 1 mm luftspalt.



Figur 4. Vid 1 mm luftspalt i en överlappsfog mellan två stycken 1,5 mm tjocka, presshårdade plåtar i 22MnB5-material blir svetskvalitén vid konventionell bågsvetsning undermålig (överst). Om man däremot kombinerar med 1 kW lasereffekt blir utseendet mer acceptabelt (nedan), där framföringshastigheten sattes till 6 m/min och motsvarande trådmatning till 11 m/min.



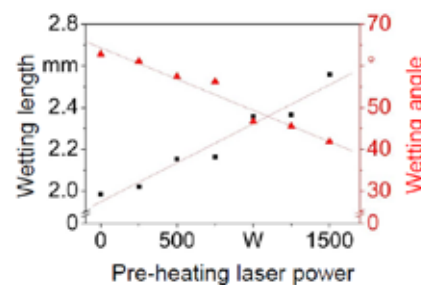
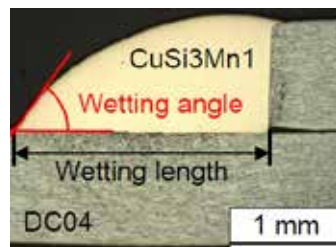
Figur 5. Hybriduppställningen vid laserlödning med två separata optiker och laserkällor, där förvärmningen av arbetsstycket sker med en Nd:YAG-laser medan nedsmältningen av lodet görs med en 8 kW disk laser.

2 mm i tjocklek. Med hjälp av 150 W lasereffekt och en ”scanning”-hastighet på 793 mm/sek sammansmältes pulvret, som lades på i skiktjtjocklekar om 30 µm, till den önskade verktygsgeometrin vilken hämtades från ett CAD [Computer Aided Design] -underlag [Fig. 8].

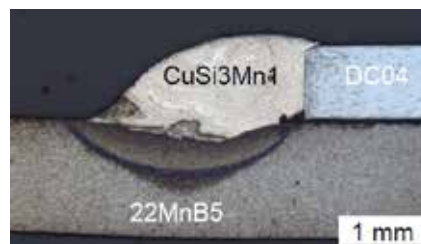
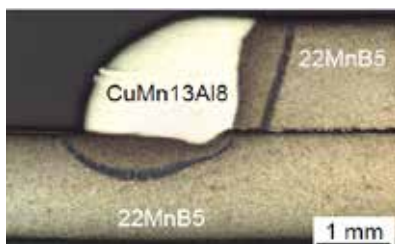
De på detta sätt integrerade kylkanalerna hade en diameter på 2 mm och vid användning låg vattenflödet på 0,2 l/min, motsvarande 0,3 bar, och där den högsta vattentemperaturen hade uppmätts till 52,5 °C.

Det sista forskningsområdet som professor Vollertsen presenterade handlade om laserpåläggning med adaptiv lasereffekt. För att få en jämntjock påläggning är det eftersträvansvärt att försöka hålla en konstant temperatur, men vid komplicerade geometrier är detta svårt att uppfylla. Men genom att adaptivt reglera lasereffekten kan man åstadkomma en i princip liksint temperatur över hela påläggningsspåret [Fig. 9]. Metoden hade framgångsrikt applicerats då en 4-punktsböjprovstav i 42CrMo4 som belagts med Stellite 21. Vid försöken hade en Trumpf HL4006D-laser använts tillsammans med pålägsverktyget YC50 från Precitec, och processhastigheten låg kring 4 m/min.

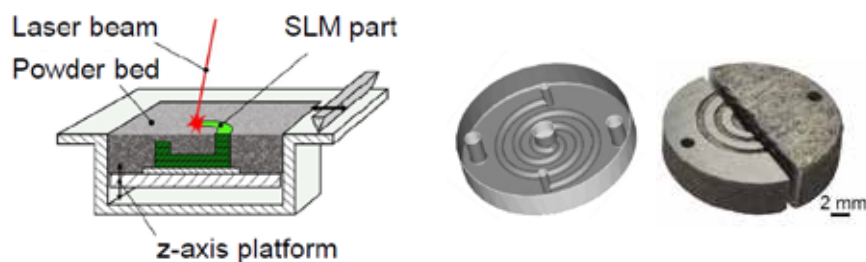
Efter professor Vollertsens inledningsanförande var det så dags för några av doktoranderna att presentera valda delar av sina arbeten. Först ut var Helge Kügler vars arbete relaterade till lättviktskonstruktioner inom bilindustrin. Här är trenden att gå mot allt tunnare och höghållfasta material i karosstrukturen, något som ställer stora krav på en begränsad värmepåverkan från den använda svetsprocessen. Han hade studerat laserhybridsvetsning av presshärdat Borstål, s.k. 22MnB5-material, vilket företrädesvis används i t.ex. B-stolpar och då gärna tillverkade utifrån ett skarvat ämne där nederdelen utgörs av ett mjukare material. Anledningen till detta är att man vill försäkra sig om en optimal deformationsbild av stolpen i händelse av en sidokrock. Redovisningen handlade om laserhybridprocessens möjlighet att överbygga spalter mellan karossartiklarna. Med hjälp av en ”single mode”-laserkälla och oscillering av laserstrålen tvärs framföringsriktningen visade det sig vara möjligt att överbygga en spalt som var av samma storlek som de ingående artiklarnas plättjocklek [Fig. 10]. Bäst resultat fick man då man använde en tillsatstråd i legeringen AlSi3Mn, 200 Hz ”scanning”-frekvens



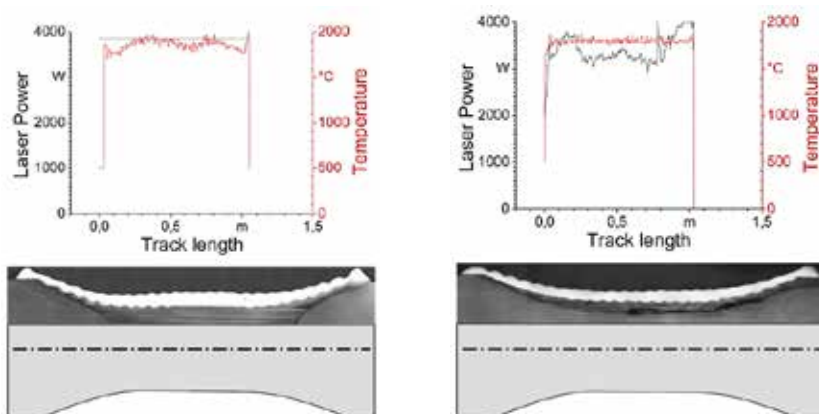
Figur 6. Ökande effekt, och därmed till-tagande förvärmningstemperatur är gynnsamt vid laserlödning då detta resulterar i en längre vätningslängd resp. mindre vätningsvinkel.



Figur 7. Lödfogar utförda med en framföringshastighet på 4 m/min och 8-9 m/min i trådmatningsdito. Lasereffekten vid förvärmningen låg mellan 0,6-0,8 kW och själva laserlödningen utfördes med 4,5-4,7 kW.



Figur 8. T.v. principen för ”Selective Laser Melting” där man genom att skikt för skikt sammansmälta ett metalliskt pulver till en önskad form. Ett exempel är mikroformverktyget med integrerade kylkanaler (t.h.) där laser-”scannern” hämtar sitt styrprogram direkt från CAD-underlaget (mitten).



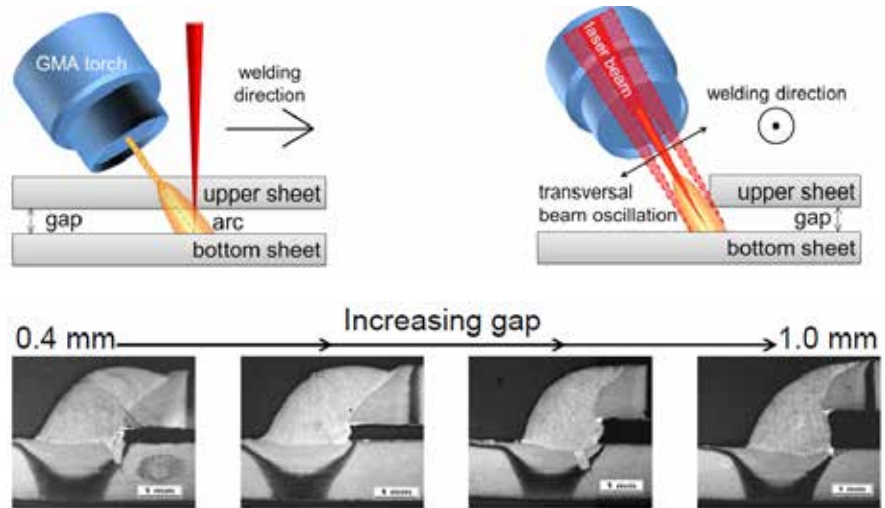
Figur 9. Laserpåläggning med adaptiv (reglerbar) lasereffekt (t.h.) ger en liksint temperatur längs påläggningsspåret och därmed en konstant tjocklek hos det pålagda skiktet, att jämföras med en betydande tjockleksvariation då man använder sig av konstant lasereffekt (t.v.).

och en pendlingsvidd på 2 mm.

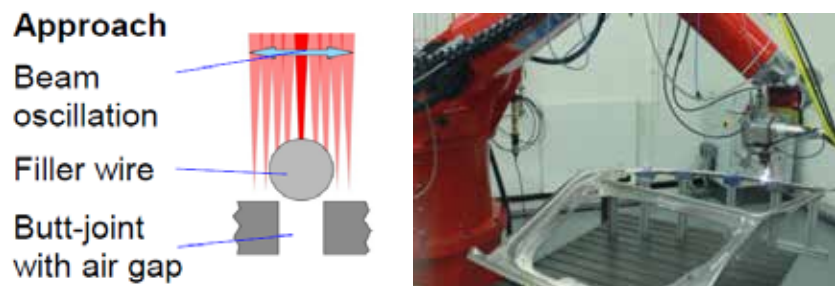
Villads Schultz forskning riktade sig även den mot lättviktslösningar, men här handlade det om aluminium som ett alternativt karosserimaterial. Även här hade spaltöverbryggnadsförmågan vid lasersvetsning med tillsatstråd av en flänsad stumfog studerats, och även här hade han kommit fram till att en spalt liksint med ingående artiklars plåttjocklek var fullt överbryggbar. Pendlingsvidden hade satts till 1,4 mm vid 200 Hz frekvens och som skyddsgas användes ren Argon. Denna svetsoperation fick vi senare möjlighet att närmare betrakta under de demonstrationer som visades i BIAS' laboratorielokaler då den applicerades på en bakkörskonstruktion till en personbil [Fig. 11]. Denna var tillverkad i AA6082-legering och här användes AlSi5 som tillsatstråd vid en svetshastighet på 1,8 m/min.

Laserpåläggning var temat för Henry Köhlers forskning. Detta är en såväl kostnadseffektiv som miljövänlig teknik för reparation av skadade komponenter. Han hade studerat hur man kvalificerar en dylik process och hur den senare transfereras från en forskningsmiljö till industriell produktion [Fig. 12]. Här visades på intressanta variationer beträffande lasereffekt och svetsmältans storlek då utrustningen användes vid försöksverksamhet jämfört med då den utnyttjades i ett applikationslaboratorium. Vidare hade utmattningshållfastheten hos reparerade komponenter utvärderats och konklusionen var att de uppvisade prestanda i paritet med originaldetaljerna.

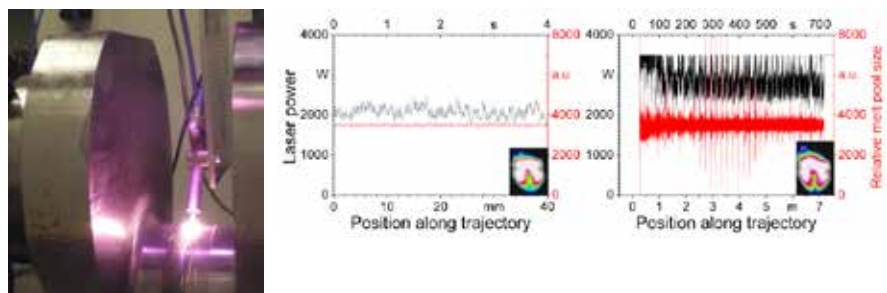
Hamza Messaoudi hade studerat hur det laminära luftflödet kring exempelvis flygplansvingar kan förbättras och minimera luftmotståndet genom att perforera vingarna med mikrohål [Fig. 13]. Detta gjordes med en pulslaser med 1.030 nm våglängd [TruMicro 5000] där pulslängden låg under 10 ps [picosekund = 10<sup>-12</sup> sekund] och energiinnehållet per puls uppgick till 250 mJ. Hålstorleken var 40 µm med en tolerans på 10% och processhastigheten var svindlande 200 hål/sekund! På de perforerade vingsegmenten svetsas sedan förstärkningsribbor av titan med måtten 130×2.000 mm. Svetsningen görs med en TruDisc 8002, men resulterar i deformationer på vingytan i form av s.k. Zeppelin-effekt. Denna går emellertid att kompensera genom att efter svetsningen föra en defokuserad stråle från samma laserkälla över ytan [Fig. 14].



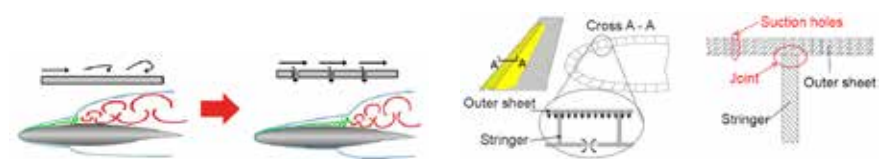
Figur 10. Genom att oscillera laserstrålen tvärs framföringsriktningen vid laserhybridsvetsning har det visat sig vara möjligt att överbrygga spalter lika stora som de ingående artiklarnas plåttjocklekar.



Figur 11. T.v. principen vid stråloscillering tvärs framföringsriktningen för att överbrygga spalten i en stumfog och t.h. tekniken applicerad vid lasersvetsning av en bilbakkör i aluminium.



Figur 12. Ett sätt att kvalificera en laserpåläggningsprocess kan vara att mäta lasereffekt och smältans storlek under processen, och där man kan utläsa skillnader i parametervariationer vid transferering från försöksverksamhet (t.v.) till applikationsanvändning (t.h.).

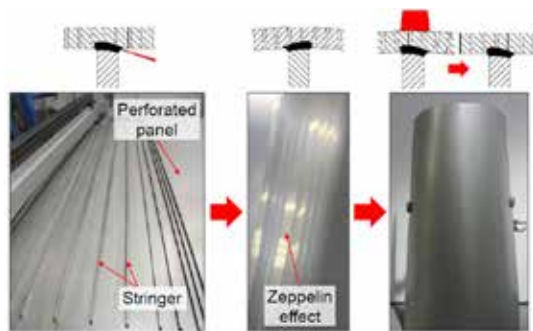


Figur 13. Den laminära luftströmmen kring en flygplansvinge kan göras gynnsammare genom att perforera vingens framkant med 40 µm stora "mikrohål", vilka borras med hjälp av en pulslaser TruMicro-laser.

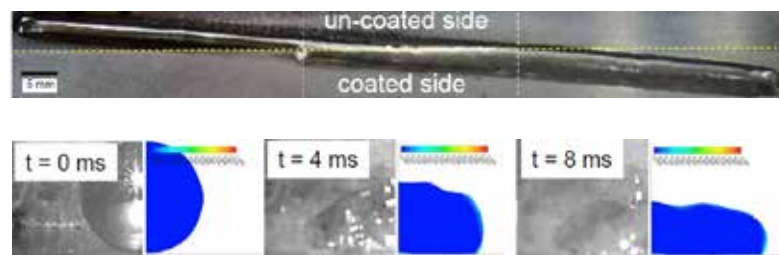
Laserlödning var ämnet för Marius Gatzens redovisning där han hade jämfört vätningssegenskaperna mellan zinkbelagd [varmförzinkad 140 g/m<sup>2</sup>] och obelagd karosseriplåt av kvalitet DC05. Han hade använt 1,2 kW lasereffekt och 1 m/min i framföringshastighet kombinerad med en trådmatningshastighet på 1,5 m/min. Tillsatsmaterialet var det för lödningsändamål något udda AlSi12 med en tråddiameter på 1,0 mm. Med några intressanta videosekvenser kunde vi se hur dropparna från det smälta lodmaterialet hoppade då de träffade den obelagda plåtytan, medan man för den zinkbelagda varianten fick en acceptabel koppling mellan lodmaterial och substrat [Fig. 15]. De experimentella försöken hade kompletterats med simuleringar av laserlödningens processen vilka uppvisade en god överensstämmelse med varandra.

Frederik Feuerhahn hade undersökt möjligheten att skapa mikroformverktyg med hjälp av SLM-teknik. Dessa verktyg, som används vid tillverkning av delar till smartphones och andra elektroniska produkter, har en tendens att urflisas p.g.a. att de består av ganska grova karbider vilka är sprickkänsliga. Tanken var att med SLM kunna skapa en finare kornstruktur [Fig. 16], men då processen blir en form av svetsning inställer sig de för verktygsstål klassiska sprickproblemen. Dessutom förelåg höga krav på fromriktighet och hög densitet hos mikroverktygen. Det använda pulvret hade beteckningen X110CrMoVA18-2-1 och kornstorleken låg mellan 10-45 µm. Olika ”scanning”-mönster hade provats så att de olika uppbyggnadslagren, vars tjocklek upp gick till 30-50 µm, fick en linjeformig eller rutmönstrad textur. Därutöver hade Herrn Feuerhahn undersökt att variera påläggningsriktningen i de olika lagren. Genom en efterföljande värmebehandling kunde verktygens hårdhet ökas från 493 till cirka 765 Hv.

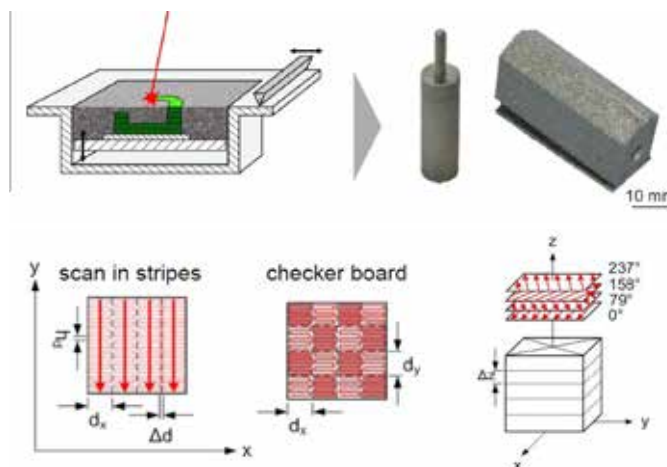
Ett annat mikrobearbetningsområde handlade om laserablation genom ”laserkemisk” bearbetning där arbetsstycket var nedsänkt i en elektrolyt [Fig. 17]. Denna hjälper till att hålla nere temperaturen under processen varför värmespanningar kan minimeras, något som bidrar till en förhöjd kvalitet på lasermärkning. För ändamålet hade Olga Hauser använt en 300 W TruFiber från Trumpf, och ablationen hade genomförts med cw [continuous wave] mode med en lasereffekt mellan



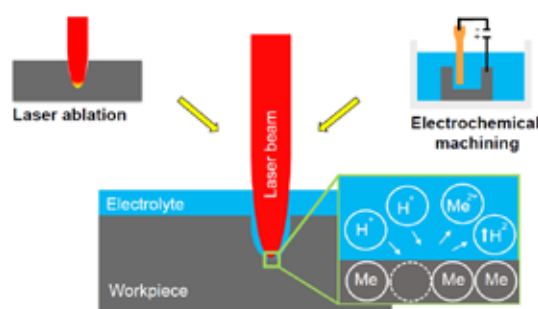
Figur 14. Då man i efterföljande processteg lasersvetsar förstärkningsribbor till de perforerade vingsegmenten resulterar detta i deformationer i form av en s.k. Zeppelineffekt. Dessa deformationer kan motverkas om man direkt efter svetsförloppet överfar vingytan med en defokuserad laserstråle (längst t.h.).



Figur 15. Jämfört med en obelagd plåtyta ger en zinkbelagd yta bättre vätningsförutsättningar för det smälta lodmaterialet (överst), något som även kunde simuleras med god överensstämmelse (underst).



Figur 16. Genom att bygga upp mikroformverktyg med hjälp av SLM skapas en finare kornstruktur vilket minskar risken för urflisnings-skador i verktyget. Processen kan optimeras så att uppbyggnadslagren görs i olika riktningar och med olika mönster.



Figur 17. Principen för s.k. laserkemisk bearbetning där laserablationen sker genom en elektrolyt, vilket håller nere temperaturen hos arbetsstycket och därigenom minskar de värmespanningar som normalt uppstår vid materialavverkning.

12-14 W. I laboratoriet fick vi möjlighet att inspektera resultaten från framgångsrika försök med denna ”kemiska” laserbearbetning vad gällde skärning, polering och mikrotexturering [Fig. 18].

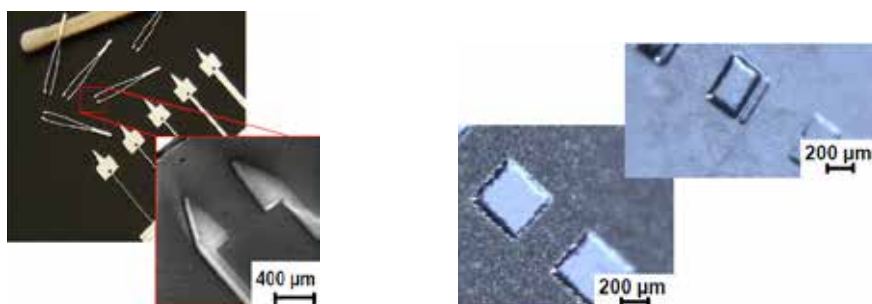
Om vi uppehåller oss kring mikrodetaljer handlade Heiko Brünings redogörelse om en gammal känd BIAS-innovation där man utifrån ett litet cylindriskt ämne smälter den ena änden med hjälp av en laserstråle så att ämnet får formen av en sfär. Detta ämne appliceras sedan i ett formverktyg för att genom kallformning åstadkomma detaljens slutgiltiga utseende [Fig. 19]. Dylika mikrodetaljer hittar vi i elektroniska komponenter som mobiltelefoner och läsplattor, men också i mekaniska komponenter som ventiler och växellådor i mikroskala. Oftast rör det sig om höga stycketal, varför produktiva tillverkningsmetoder som laserprocesser blir intressanta. Vidare blir det med det beskrivna angreppssättet möjligt att reducera antalet formningssteg och därigenom även minska antalet hanteringsoperationer.

BIAS försöker nu patentera denna process som man valt att kalla Fixx-Itt.

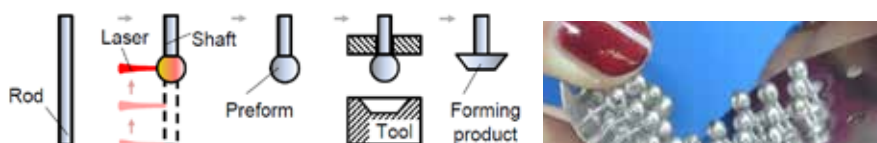
Den sista presentationen under detta spännande doktorandseminarium handlade om något som Stefan Veenas hade valt att kalla ”shock-formning” med hjälp av laser. Med denna metod blir det möjligt att sammanfoga tunna artolika material. Tillvägagångssättet ser så ut att man skapar ett hål i den undre folien varpå man med en TEA-CO<sub>2</sub>-laser [SLCR 300 W single-mode] skjuter 100 ns långa laserpulser med ett energiinnehåll på cirka 5 J/puls, motsvarande 7 MPa i tryck, och med en frekvens upp till 50 Hz. På så sätt tvingas materialet ner genom hålet varpå det via ett motstånd på undersidan kan kragas ut under den undre folien och på så sätt skapa en förbindning [Fig. 20]. Tänkbara applikationer är solceller och man hade med framgång fogat 20µm tunna aluminiumfolier [Al99.5] till varandra, men också 50 µm tunt aluminium till 100 µm tjocka, rostfria stålband [1.4301]. Eftersom jag arbetar med ett projekt

inom VINNOVAs myndighetsprogram ”Utmaningsdriven Innovation”, där vi med korta laserpulser vill introducera spänningar i fogar för att detektera förekomsten av eventuella defekter, hade jag ett längre samtal med Herrn Veenas. Han påpekade att plasmaformering är ett problem då detta tenderar att ”skugga” processen, varför en annan typ av laserstråle kan ur denna synpunkt vara rekommenderbar.

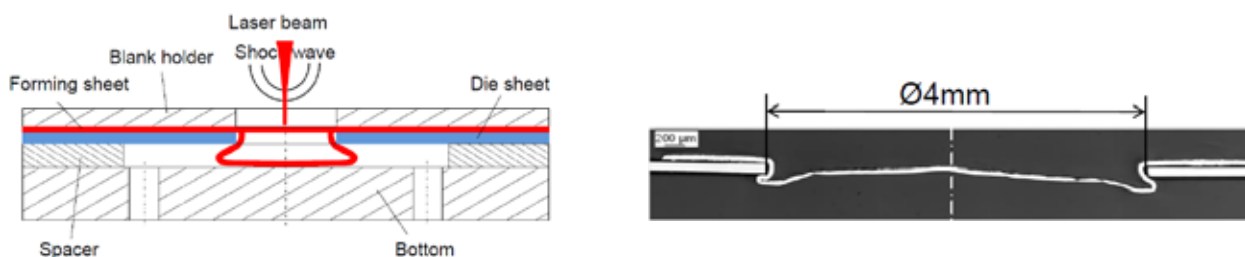
Det skall framgent bli intressant att följa upp de olika doktorandarbetena och se hur väl man lyckas med att överföra de olika teknikerna från laboratorieskala till industriell användning. Hursomhelst blir man imponerad av de olika faciliteter som finns att tillgå i LION-byggnaden, vilken utgör en fantastisk forskningsmiljö. Jag kan varmt rekommendera våra medlemsföretag att någon gång passa på att besöka BIAS, och om ni så önskar ställer jag gärna upp och förmedlar nödvändiga kontakter.



Figur 18. Några resultat från ”laserkemisk” bearbetning på mikronivå, skärning (t.v.) resp. polering (t.h.).



Figur 19. T.v. principen för ”Fixx-Itt” där man skapar en förform av en mikrocylinder genom att med en laserstråle omsmälta dess ena ände till en sfär.



Figur 20. Överst principen för ”shock-formning” med laser och därunder ett tvärsnitt genom en färdigställd fog som består av en 50 µm tunn aluminiumfolie (Al99.5) vilken med denna metod kragas ner i ett 100 µm tjockt rostfritt stålband (1.4301).

# Fråga laserdoktor Bo Williamsson



Hej, jag har en fråga om gasflöden vid laserskärning. Vi har skärdata för skärning av olika material och olika typer av detaljer där också gasförbrukningen är angiven. Men hur beräknar man gasflödet för olika munstycksdiametrar och skärtryck? Vi är intresserade av någon typ av lathund för att snabbt kunna göra ett överslag på gasförbrukningen.

## SVAR

Hej

De värden på gasförbrukningen som lasertillverkarna anger är oftast uppmätta värden, och de ger i regel en ganska exakt bild av förbrukningen. Men om ni vill ha möjlighet att uppskatta gasflödena finns formler för detta. Beroende på gastyp och tryck används olika beräkningar.

För högtrycksskärning med nitrogen används följande formel (där resultatet redovisas i NI/min):

$$d^2 * 0,555 * (p+1,013) * 1000 / 60$$

För oxygen och tryck över cirka 0,9 bar gäller:

$$d^2 / 1,9282 * (p+1,013) * 1000 / 60$$

För oxygen och tryck under cirka 0,9 bar:

$$17,84 * d^2 * (p+1,013) * \sqrt{(3,5 * ((1,013 / (p+1,013))^{1,429} - (1,013 / (p+1,013))^{1,714}))}$$

Där  $d$  = munstyckets diameter (mm)  
 $p$  = skärtrycket (övertryck, bar)

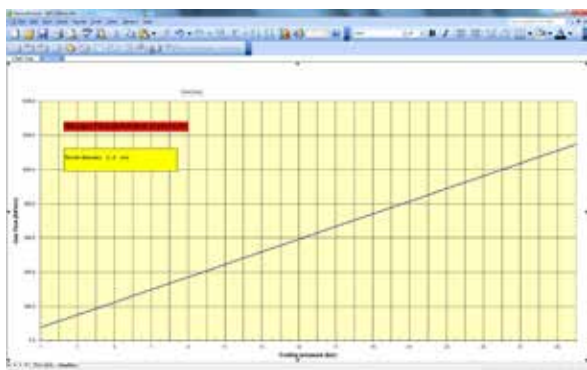


Fig 1.  
Gasflöde som funktion av tryck och munstycksdiameter vid skärning med nitrogen

Vid beräkningarna måste en viss försiktighet iaktas. När munstycksdiametern minskar ner mot 1 mm eller mindre påverkas flödet markant av "friktionen" mot skärkanalens väggar vilket ger avvikelser mot det faktiska flödet. För större

Anledningen till att det finns två olika formler för oxygen är att flödet byter karaktär vid cirka 0,9 bar. Vid ökning av trycket över 0,9 bar övergår flödet från att vara turbulent till laminärt.

Man kan lätt göra ett worksheet i Excel där man anger diameter och tryck, varefter programmet beräknar flödet. Jag har själv tillämpat detta vid olika tillfällen och plottat flödeskurvor enligt fig. 1-2.

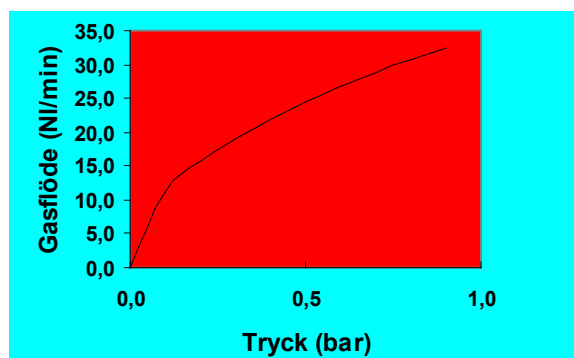


Fig 2.  
Gasflöde som funktion av tryck och munstycksdiameter vid skärning med oxygen och låga tryck (1,4 mm munstycke)

munstycksdiametrar ger formlerna en relativt bra bild av gasförbrukningen.

Vid ytterligare frågor och funderingar går det bra att kontakta mig: [bo.williamsson@se.aga.com](mailto:bo.williamsson@se.aga.com)

# Lasersvetsning av aluminium utan tillsatsmaterial och skyddsgas

– kom att bli den stora ”snackisen”

Johnny K. Larsson,  
Volvo Cars

Går det verkligen att lasersvetsa sprickkänsliga aluminiumlegeringar utan vare sig tillsatsstråd eller skyddsgas, men likväl erhålla defektfria svetsar med hög kvalitet? Tydligt är svaret JA om man får tro några av de föredragshållare som uppträdde vid årets EALA [European Automotive Laser Applications] -konferens. Flera presentationer handlade nämligen om detta ämnesområde, men låt mig få återkomma till detta längre fram.

EALA arrangerades i år för sextonde gången i rad och det är uppenbart att denna konferens betraktas som den naturliga mötesplatsen för bilindustrins laserintressenter. Nästan 200 delegater hade traditionellt samlats på Dolce Park Hotel i Bad Nauheim strax utanför Frankfurt a.M., och detta trots att agendan för de två dagarna inte utlovade alltför många nyheter. Således är det möjligheten till ”nätverkande” som i mångt och mycket motiverar ett deltagande, men också att vid den tillhörande fackutställningen bekanta sig med de nya produkter som lanseras av de olika leverantörerna. De senare ser ur sin synpunkt EALA som ett utmärkt tillfälle att knyta nya affärskontakter, och Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH hade tagit tillfället i akt att dagen före konferensen inbjuda potentiella kunder till en ”Laserdag” vid huvudsätet i Ditzingen. I fackutställningen var hela 17 företag var representerade med sina senaste innovationer vad gäller

laserkällor, laserverktyg och produkter för kvalitetsövervakning och -kontroll, och listan ser ut som följer:

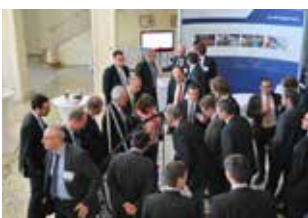
Automation W+R GmbH  
Bergmann & Steffen GmbH  
Blackbird Robotersysteme GmbH  
Clean Lasersysteme GmbH  
Dinse GmbH  
EHR GmbH & Co. KG  
HIGHYAG Lasertechnologie GmbH  
PRIMES GmbH  
IPG Laser GmbH  
Jenoptik Automatisierungstechnik GmbH  
Laser Mechanism Europe NV  
Laserline GmbH  
Precitec GmbH & Co. KG  
Rofin-Sinar Laser GmbH  
Scansonic IPT GmbH  
TeraDiode Inc.  
TRUMPH Laser- und Systemtechnik GmbH

Andrea Huber från ACI [Automotive Circle International] hälsade oss välkomna och kunde konstatera att EALA-konferenserna börjar få en alltmer internationell prägel även om majoriteten, eller 68%, utgörs av tyska deltagare. Hela 14 nationer var i år representerade och från svensk sida deltog förutom jag själv Björn Lekander [Permanova Lasersystem] och Yngve Bergengren [Scania CV]. Däremot var biltillverkarna i år mera sparsmakat representerade och utgjorde endast 22% av de närvarande, att jämföras med 74% som kom från utrustningsleverantörerna. De tekniska presentationerna var uppdelade i fyra olika block med följande rubriker:

- Advances in Laser Production Processes
- Quality Assurance Strategies for Laser Use in Body Shops
- Regulations and Concepts for Laser Safety

## Focus on Materials

Förutom att lyssna till dessa hade deltagarna möjlighet att medverka i olika, 1½ timme långa, ”Workshops” med samma teman som ovan, plus en femte som jag själv fick förmånen att leda under rubriken ”Design for Laser Welding”. Därutöver kunde ”lasernoviser” bygga på sina kunskaper i ämnet genom



att delta i de utbildningsaktiviteter som erbjöds under den dag som föregick själva konferensen, och där jag tillsammans med Jens Standfuß från Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff- und Strahltechnik] i Dresden fungerade som "lärare".

EALAs programstyrelse har fått en ny ordförande i form av Dr. Henning Löser från Audi AG, som alltså efterträder Dr. Matthias Graudenz [se LaserNytt # 1-2013 "Samtal kring lasertrender"]. Sålunda behåller man kontinuiteten med en ordförande från Audi, då vi tidigare hittat namn som Kirsten Oberschelp och Michael Niemeyer på den posten.

Nu fick Dr. Löser möjligheten att officiellt öppna EALA-konferensen och introducera oss för välbekante professor Eckard Beyer [Fraunhofer IWS] som höll inledningsanförandet. Som tema hade han valt sammanfogning av artotrika material som att foga aluminium till stål. Problemet är de intermetalliska och spröda faser som vid svetsning uppstår i gränsskiktet mellan de två materialen. Detta kan man motverka genom att lägga ett s.k. transmissionsmaterial mellan aluminium- och ståldetaljen. Ett nytt sätt att tillverka sådant övergångsmaterial har utvecklats vid IWS och metoden går under benämningen LIRP [Laser Induced Roll Plating, Fig. 1].

Principen är att ett stålband och ett aluminiumband valsas samman under högt tryck, men att vart och just innan valsullarna har passerat en induktionsspole så att de vid sammanvalsningen har identiska sträckgränser. Samtidigt riktas en laserstråle in mot bandens kontaktytor vilket resulterar i en lättare sammansmältning där de uppkomna intermetalliska faserna får en tjocklek som understiger 1 µm! Det sålunda tillverkade transmissionsmaterialet har utsökta formningsegenskaper och kan användas vid såväl motståndsvetsning som lasersvetsning av aluminium till stål, och därmed realisera krav på lättviktskonstruktion. Dock påpekade professor Beyer att om detta tillsatsmaterial används vid stumfogning måste det ha en viss minsta bredd så att man inte utsätter det smala intermetalliska skiktet för värme vid den slutgiltiga svetsoperationen.

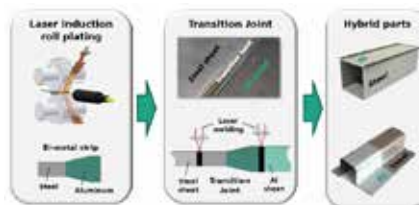
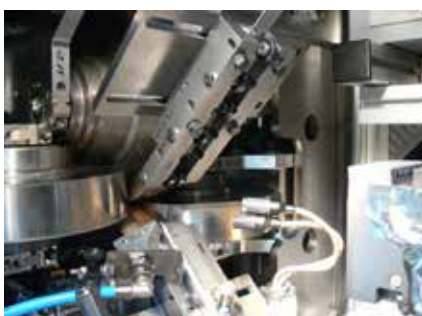
Ett annat sätt att foga stål till aluminium handlade om hur man gjorde ett hål i stålplåten vilket korresponderade till en tapp i aluminiumdetaljen. På så sätt åstadkommer man en gratis fixering av komponenterna varpå en

oscillerande laserstråle ansätts mot aluminiumtappen och smälter ner den mot stållytan [Fig. 2]. På så sätt får man inte bara en termisk utan också en mekanisk, s.k. lasernit, mellan de båda materialen. Här uppvisades balkar tillverkade på detta sätt i aluminium [AA5083] och stål [HCT690T]. Den utrustning som använts var en SM [Single Mode] – fiberlaser från IPG kombinerat med ScanLab-verktyget Intelliscan20.

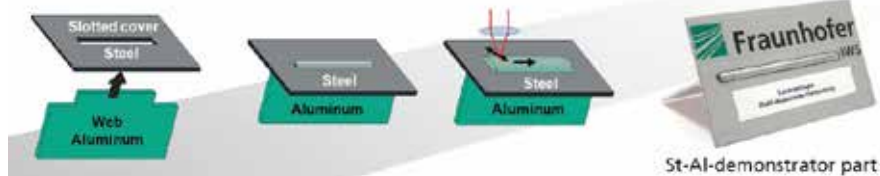
Ett annat sätt att spara vikt (och-kostnad) kan vara att i en komponent använda tunnare gods och en lägre materialhållfasthet, men att med blindsvetsar utförda med laser förstärka komponenten i lokalt påkända områden [Fig. 3]. Med detta förfarande hade man vid dynamisk fallriggsprovning kunnat öka

den axiella energiupptagningsförmågan hos rör som hade förstärkts med hjälp av denna teknik, och i ett dynamiskt böjlastfall uppgick förbättringen till hela 60%!

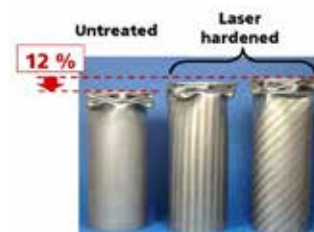
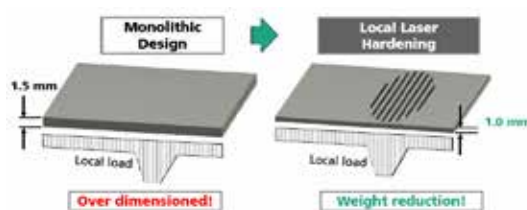
Slutligen uppehöll sig sympatiske Eckard kring förbättringspotentialen vid aluminiumsvetsning genom att använda en oscillerande laserstråle för att undvika uppkomsten av porer i svetsgodset. Oscilleringen medför att materialet hålls i smält tillstånd under en längre tid så att gaspartiklar hinner evakueras. Svetsförsöken hade utförts på legeringen AA5754 [AlMg3] med en SM-laser där laserstrålen fokuserades till en brännfläck med 40 µm diameter, och där "scanner"-verktyget manipulerade fokuspunkten så att denna beskrev



Figur 1. LIRP-processen (t.v.) och hur man använder densamma för att möjliggöra lasersvetsning av stål till aluminium.



Figur 2. Med denna "tapp/slits"-lösning blir det möjligt att med en oscillerande laserstråle sammanfoga aluminium med stål.



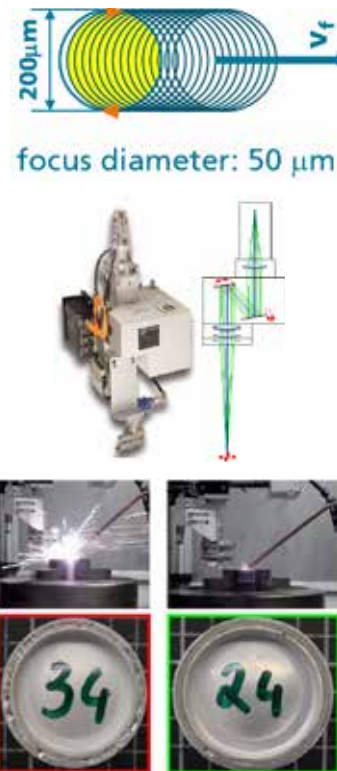
Figur 3. Lokalförstärkning med blindsvetsar utförda med laser kan vara ett sätt att minska komponenters vikt och/eller prestanda

en cirkelrörelse med 200 µm diameter vid en frekvens på 4 kHz. Man hade kunnat konstatera en avsevärd reduktion av svetsrut och metodiken hade senare använts vid ett volymprov på 120.000 enheter vid företaget *FINOW Automotive* där ett aluminiumgjutgods med framgång lasersvetsats till ett aluminiumrör [Fig. 4].

En tidigare kollega till professor Beyer, under deras gemensamma tid vid ILT [Institut für LaserTechnik] i Aachen, är Dr. Stefan Kaieler, som numera är verksam vid LZH [LaserZentrum Hannover]. Denne hade också valt att tala om aluminium/stål-sammanslagning med laserteknik, men då med ett mera konventionellt angreppssätt. Målsättningen var att vid svetsning av en överlappsfog begränsa tjockleken hos de intermetalliska faserna till under 20 µm. Laserstrålen hade ansatts från stålsidan, och eftersom man snabbt fann ut att en långsam hastighet som resulterar i djupare penetration gav ett större intermetalliskt skikt hade man i samarbete med Scansonic utvecklat ett nytt svetsverktyg [Fig. 5]. Detta mäter intensiteten av Aluminium-emissioner från nyckelhålet med hjälp av spektrometri med en frekvens på 2,1 kHz, och ett "closed loop"-system kan därpå anpassa lasereffekten. Vid svetsförsök utförda

med HC340LAD-stål positionerat över en aluminiumlegering som utgjordes av AA6016-T4 hade man konstaterat att ett optimum i svets hastighet vid 3,75 kW lasereffekt tycks ligga kring 3,75 m/min. Vid denna hastighet blev svetsbredden 1.000 µm och penetrationsdjupet i den underliggande aluminiumplåten 375 µm och gav vid dragprov en brottlast på 5,6 kN där brottet skedde i aluminiumdelen. I ett praktikkfall hos Johnson Controls hade man framgångsrikt använt detta verktyg vid tillverkning av ryggstödsstrukturen till bilsäten där konstruktionen utgjordes av en balksektion i 1,3 m tjockt AA6022-T0 och ett 1,2 mm tjockt stållock tillverkat av HC340LAD [Fig. 6].

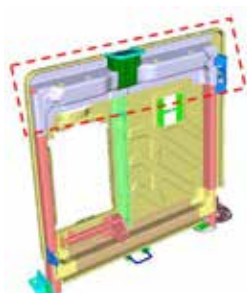
Ett kanske mer naturligt sätt att sammanfoga aluminium med stål är att använda sig av laserlödning. Vid experimenten hos LZH hade man använt sig av strålscillering i framföringsriktningen och kombinerat detta med processövervakning i form av en kontroll av tid- och temperaturparametrarna där en pyrometer användes. För att undvika risken för korrosion då man i dessa sammanhang ofta använder ALSi12-legerad tillsatsstråd hade man valt att använda en zinkbaserad [ZnAl4] sådan istället. Denna har en lägre smältpunkt och reducerar därmed risken för



Figur 4. Såväl svetsrut som -defekter vid aluminiumsvetsning kan kraftigt reduceras om fokuspunkten tillåts beskriva en cirkelrörelse enligt schemat överst. Vid företaget *FINOW Automotive* upptäckte man en avsevärd skillnad mellan lasersvetsning av aluminiumgjutgods då man oscillerade strålen (närmast ovan) jämfört med då man inte gjorde detta.



Figur 5. För att begränsa tillväxten av intermetalliska skikt vid lasersvetsning av blandskarvar i stål/aluminium har LZH och Scansonic i samarbete utvecklat ovanstående svetsverktyg där man med hjälp av ett "closed loop"-system (t.h.) kan anpassa lasereffekten med hänsyn till penetrationsdjupet.



Figur 6. Vidstående ryggstödsbalk serie-produceras hos Johnson Controls där man lasersvetsar ett 1,2 mm tjockt stållock till en 1,2 mm tjock aluminiumsektion i legeringen AA6022-T0.

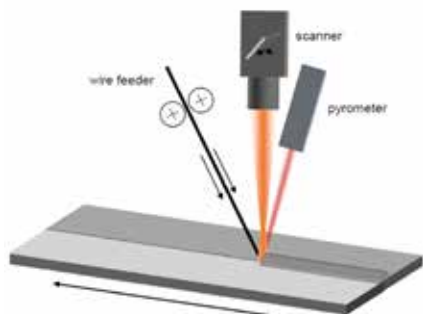
att man skall smälta aluminiumdelen [Fig. 7]. Alltså pratar vi här snarare om mjuk- än hårdlödning med laser. Vidare ger ZnAl4-tråden lägre porositet och tillåter en grövre tråddiameter vilket underlättar utflytningen av densamma. Avslutningsvis presenterade den gode Stefan en intressant tillämpning för transmissionssvetsning av plaster där man använt en diodlaser med 940 nm våglängd. Applikationen handlade om att montera formsprutade fästelement i PA6.6, avsedda för fastsättning av isolationsmattor och värmeskydd för flygplansinteriorer, till en kolfiberförstärkt PA6.6-bärare [Fig. 8]. Årsbehovet av sådana fästelement vid tillverkning av Airbus 330-versionen ligger omkring 300.000 stycken varför man förstärker att ett laseralternativ för fogningen kan skapa ett gynnsamt ”business case”.

Och så var det då detta med att lasersvetsa aluminium utan tillsatsmaterial som kom att bli det allmänna samtalsämnet under dessa dagar i Bad Nauheim. Först ut att adressera ämnesområdet var Christoph Franz från Scansonic MI GmbH. Stråloscillering ligger ju bakom idén till företagets FSO-verktyg [Fig. 9], vilket främst är avsett för s.k.

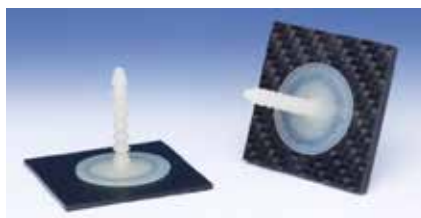
flänssvetsning, vilket jag har redogjort för i tidigare nummer av LaserNytt. Nu menade Herr Franz att stråloscillering också kan vara ”medicinen” att undvika uppkomsten av stelningssprickor vid svetsning i aluminium, dock hade de försök som redovisades genomförts på den mindre sprickkänsliga legeringen AA5062 med en tjocklek på 1,5 mm. Svetsarna hade utförts som kantsvetsar och här kom FSO-verktygets fogföljningsfunktion väl till pass. Stråloscilleringen skedde med 800 Hz i horisontalplanet [både i x- och y-led] och svetsningen hade som sagt utförts utan tillsatsmaterial. FSO-verktyget kräver en strålkvalitet på 8 mm\*mrad för ett lyckat resultat och distributionsfibrer i tjocklekarna 100, 150 eller 200 µm rekommenderas. Allra mest imponerades jag nog av svetsprocessens möjlighet att överbrygga stora spalter, vilka i vissa fall överskred tjockleken i de plåtar som användes vid försöken. Här fungerar verktyget som så att fogföljningen med sina tre diodljusband även registrerar gapet mellan plåtarna varpå hela fyra parametrar används för att reglera svetsprocessen i realtid. Dessa är oscilleringsamplitud, fokalpunktsläge i förhållande

till topplåtens kant, brännfläcksdiameter samt lasereffekt – imponerande!

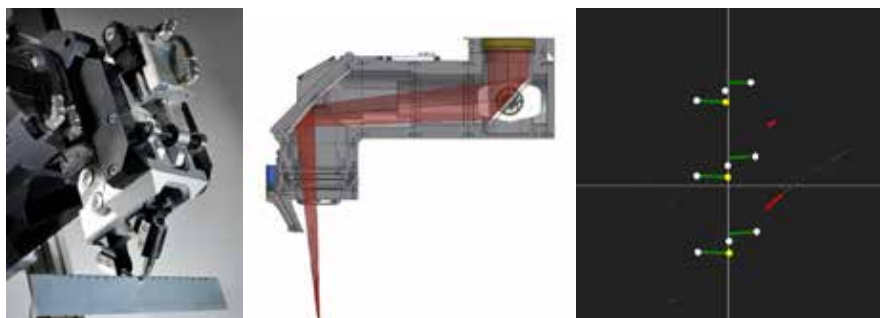
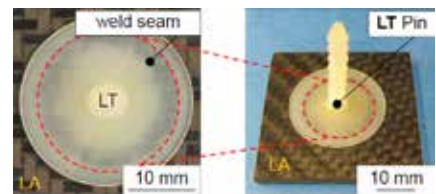
Annars var det stora numret då det gäller lasersvetsning av aluminium utan tillsatsmaterial det föredrag som hölls av Jan-Philipp Weberpals från Audi AG. Kollegorna i Neckarsulm har ju en lång erfarenhet av tillverkning av karosser och karossdetaljer i aluminium, och applikationen i det här fallet utgjordes av en sidodörr för tredje generationens A8-modell. Idag utförs denna lasersvetsning tämligen konventionellt med tillsatsmaterial i form av AlSi12-tråd vilken tjänar både som taktillfogare i den aktuella kälfofen men också hjälper till att förhindra uppkomsten av varmsprickor i svetsgodset. Men nu hade Audi undersökt ett koncept där produktiviteten kunde förbättras då man tog hjälp av RLW [Remote Laser Welding]-tekniken samtidigt som man kunde reducera driftskostnaderna då såväl tillsatsmaterial som skyddsgas kunde avvaras. Hemligheten bakom de succéartade resultaten var modulering av laserstrålen i kombination med ett kontrollerat penetrationsdjup i den undre plåtdetaljen. Det senare åstadkom man genom att identifiera tröskelvär-



Figur 7. Överst principen för laserlödning med stråloscillering och närmast överst snittbilder genom stumfogar utförda med AlSi12-tråd överst respektive ZnAl4 underst där den senare ger betydligt mindre uppsmältning av aluminiumpartnern.



Figur 8. Formsprutade fästelement i PA6.6 utgör den transitiva delen då de lasersvetsas med en diodlaser med 940 nm våglängd till antingen svartpigmenterad PA6.6. (t.v.) eller kolfiberförstärkt sådan (t.h.).



Figur 9. Med Scansonic FSO-verktyg avsett för flänssvetsning blir det också möjligt att överbrygga stora spalter vid kälfogar genom att diodljusbanden för fogföljning även kan detektera spaltens storlek och sedan reglera ett antal laserparametrar i realtid.

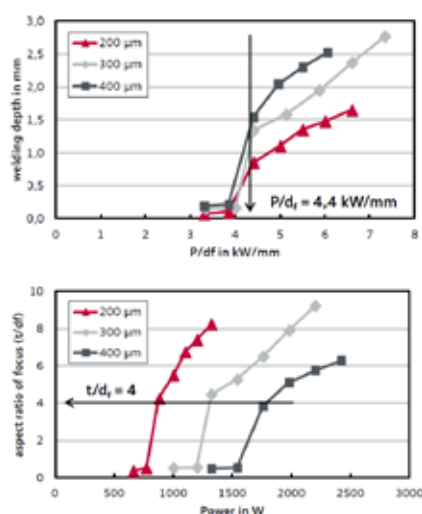
det för den lasereffekt som resulterade i nyckelhålssvetsning [Fig. 10]. Så fort detta värdet uppnåddes minskades lasereffekten momentant för att sedan succesivt ökas till dess att man på nytt nådde tröskelvärdet o.s.v. I ett pilotförsök omfattande 20.000 dörrar och omkring 330.000 svetsar hade man kunnat fastlägga att detta tröskelvärde låg vid en effekttäthet kring 4,4 kW/mm svets, och att det då rådde ett konstant förhållande på "4" mellan plåttjocklek och fokalpunktsdiameter. Genom att på detta sätt variera såväl strålens läge i förhållande till fogen, oscilleringsamplituden och lasereffekten hade värmeförloppet kunnat reduceras med 47%.

I fallet med fjärrsvetsningen använde man nu Precitec:s "Scantracker" för fogföljning baserad på triangulering och pendlning av laserstrålen. Laserkällan utgjordes av en till fiberlaser "konverterad" diodlaser från Laserline med 4 kW effekt och en strålkvalitet på 6 mm\*mrad och med stråldistribution via en 150 µm grov optisk fiber. De på detta sätt utförda svetsarna uppvisade en något högre statisk hållfasthet jämfört med de som lasersvetsats på traditionellt sätt, samtidigt som RLW-processen var betydligt

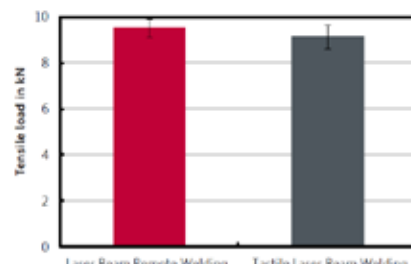
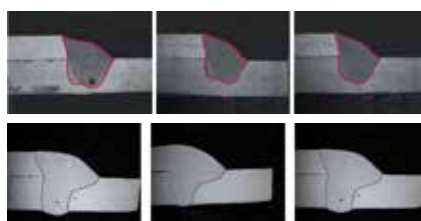
mindre sprutbenägen [Fig. 11]. Dessutom kunde den gode Jan-Philipp bevisa att en svets med full penetration hade avsevärt lägre statisk hållfasthet jämfört med en med partiell penetration även i de fall då det fanns en spalt på halva plåttjockleken mellan aluminiumplåtarna. Avslutningsvis kunde Herrn Webers konstatera att cykeltiden för de nio svetsar som utförts per dörr reducerats med 53%, från 24,79 till 11,56 sekunder, med fjärrlasertekniken. Genom det snabbare svetsförloppet och begränsad lasereffekt minskas CO<sub>2</sub>-belastningen ur miljösynpunkt med 24%. Sist men inte minst innebär den nya processen en sänkning av driftskostnaderna på hela 95% (!) jämfört med den tidigare traditionella lasersvetsningen med taktill fogföljning. Det som bidrar till denna revolutionerande kostnadsbesparing är eliminering av såväl tillsatsmaterial som skyddsgas, samt att, med det längre arbetsavstånd som RLW-tekniken medger, optikkomponenter inte behöver bytas särskilt frekvent. Fiat har en lång tradition vad gäller "remote"-svetsning av motorhuvar och sidodörrar i stålplåt, och vid tidigare EALA-konferenser har vi fått detaljerade beskrivningar av

deras robotiserade laserceller vilka utvecklats i samarbete med robotleverantören Comau. Man startade med deras "Agi-Laser" som var en portalanläggning med CO<sub>2</sub>-laser för att senare gå över till ett stavlaserbaserat koncept och då med Comaus "SmartLaser" vilket innebar strålgång inuti robotarmen. Nu presenterade Daniele Bassan Fiats och tillika Chryslers planer på att applicera fjärrlasersvetsning av påhängsdetaljer tillverkade i aluminiumplåt, men för att skynda långsamt hade man startat med konventionell lasersvetsning och använt Scansonics "ALO3"-verktyg med taktill fogföljning med hjälp av tillsatstråden. Såväl en disk laser från Trumpf som en diodlaser från Laserline hade utvärderats i initila försök där en Comau-robot användes i det förstnämnda fallet och en KUKA [Keller Und Knappich Augsburg] -robot i det senare. I båda fallen använde man ett trådmatarverk från Abicor Binzel. Lokal rengöring av svetsområdet från oxider och pressolja hade utförts med en TruMicro 7050 disk laser från vilken den optiska fibern kopplades till ett "SurClean"-verktyg från American Laser Enterprise vilket manipulerades av en KUKA KR240-robot. Man hade utfört såväl kant- som överlappsvetsar och konstaterat att de provade aluminiumlegeringarna av 5- och 6000-serierna båda uppvisade tendenser till varmsprickor. För att undvika detta fenomen bör svetsen placeras minst 8-10 mm från plåtkanten. Därpå hade man gått vidare med att prova olika "scanner"-verktyg och till sist fastnat för Comaus "SmartLaser", vilket man har tidigare erfarenhet av och som har ett arbetsavstånd på 800 mm [Fig. 12].

Ett av problemen vid "scanner"-svetsning av aluminium är just det stora arbetsavståndet vilket mer eller mindre omöjliggör tillförsel av den tillsatstråd som kan eliminera risken för varmsprickor. Därför hade även Novelis s.k. Fusion-material "8840" ingått i studien [se närmare i LaserNytt # 1-2014]. Genom en omfattande parameterstudie, vilken inkluderade olika aluminiumlegeringar, optimering av laserparametrar samt fog- och fixturutformningar, hade man försökt fastlägga "svetsfönster" inom vilka man kunde räkna med att uppnå ett acceptabelt kvalitetsutfall på lasersvetsarna [Fig. 13]. Förutom ovan nämnda kantavstånd hade försöken också påvisat att en större fokalpunkt var att rekommendera vid kantsvetsning medan en liten sådan var att föredra



Figur 10. Genom att detektera lasersvetsningsprocessens övergång från värmelednings- till nyckelhålssvetsning blir det möjligt att kontrollera penetrationsdjup och därmed också tillförd värme vilket gör att varmsprickor kan undvikas vid svetsning av aluminium även då inget tillsatsmaterial används.



Figur 11. Svetsar utförda med "remote"-teknik (överst) ger en något högre brottlast jämfört med den svetsning med full penetration som Audi idag använder i sin produktion. En annan fördel är den låga energiförbrukningen; 33kJ/m mot 62 kJ/m.

vid överlappssvetsning. Slutligen kunde signor Bassan konstatera att Fusion-materialet var mindre känsligt för varmsprickor jämfört med 6000-materialet även om det förstnämnda likväl inte gick att svetsa helt sprickfritt. Mest sprickkänsliga visade sig 5000-legeringarna vara, men dessa uppvisade å andra sidan minst porförekomst i svetsgodset.

EALA har ju blivit något av "lilla julafon" för alla de som är intresserade av laserverktyg, och som jag inledningsvis nämnde fanns hela 17 leverantörer av laserutrustningar på plats i den utställning som ackompanjerade konferensen. Att detta är ett populärt och uppskattat inslag råder det knappast något tvivel om då man som "lasernörd" här har möjlighet att i lugn och ro gå runt och diskutera aktuella frågeställningar och potentiella samarbeten med de olika utställarna. Sälunda hade jag själv några konkreta diskussioner med representanter från bl.a. Scansonic, Primes och TeraDiode. Men även själva konferensen bjöd på några intressanta presentationer i ämnesområdet och lät mig därför börja med att referera det föredrag som Peter Bader från Düring Schweifstechnik

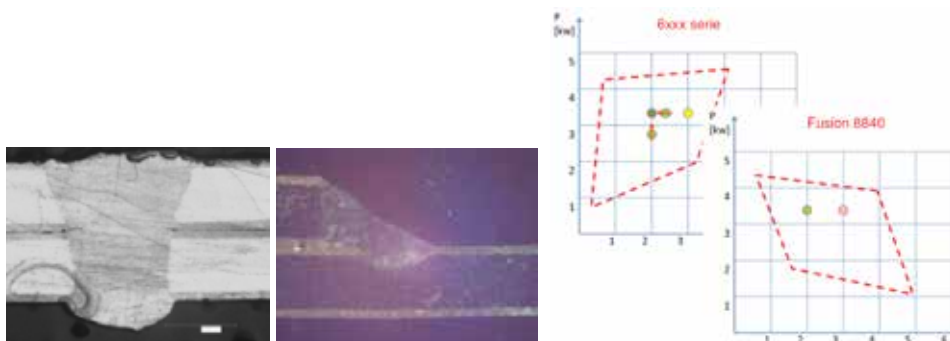
GmbH höll. Företaget är sedan många år "hovleverantör" till Volkswagen AG vad gäller svetsstänger för motståndssvetsning, och nu presenterade Herr Bader en snarlik tång för lasersvetsning. Utvecklingen har skett i samarbete med Trumpf som besitter den nödvändiga laserkompetensen, och har bidragit med sitt "scanner"-verktyg "PFO" vilket integrerats i en C-tång [Fig. 14]. Denna är av servo-pneumatisk typ och försedd med s.k. equilizing-funktion, vilket innebär ett mjukt anslag mot svetsflänsen då tången stängs. Den rörliga delen av tången, som har en maximal öppning på 145 mm, är försedd med en liten kammare, snarlik den som vi känner igen från IPG:s "Seam Stepper", och i vilken laserstrålen kan oscilleras i önskvärt svetsmönster över ett 51x12 mm stort område med hjälp av "scanner"-verktyget. Fokallängden är 235 mm och kammaren är försedd med fyra induktiva positioneringssensorer som talar om att inga gap finns mellan kammaren och arbetsstycket. På så sätt har utrustningen kunnat klassificeras som säkerhetsklass "B3". Vidare finns två värmesensorer integrerade i kammaren som larmar om

laserstrålen skulle reflekteras så ogynnsamt att den skadar densamma. Tångens klämkraft kan varieras mellan 200-2.500 N och kräver en minsta flänsbredd på 6 mm för att garantera full förslutning mellan kammare och plåt. I kammaren, som är försedd med ett lokalt filter och utsug av svetsrök, kan man skapa en skyddsgasatmosfär med upp till 5 bars tryck. Herr Bader illustrerade hur tången, som totalt väger 68 kg, hade använts vid överlappssvetsning av två stycken 1,5 mm tjocka stålplåtar med en 2 kW disk laser och 5 bars skyddsgasstryck. Fortsatt utveckling kommer att handla om att använda verktyget vid aluminiumsvetsning, utveckla en X-tång samt på ett bättre sätt integrera skyddsgasatmosfären. På en fråga om huruvida man i framtiden kunde förvänta sig liknande handhållna verktyg svarade Herr Bader att sådana är realiserbara men inte en produkt som Düring avser att utveckla.

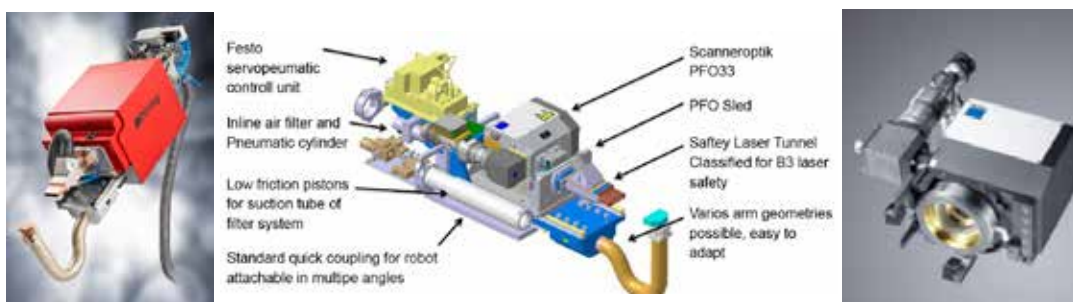
Friedhelm Dorsch som tidigare arbetat för RofinSinar i Hamburg, men numera är anställd av konkurrenten Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH berättade om såväl gamla be-



Figur 12. Efter initiala svetsförsök på aluminium utförda med Scansonic "ALO3"-verktyg med taktill fogföljning avser nu Fiat att utvärdera fjärrlaser svetsning av sagda lättviktsmaterial och har efter en invertering av lämpliga svetsverktyg fastnat för Comaus "SmartLaser".



Figur 13. Typiska tvärsnitt genom laser svetsat "Fusion"-material och t.v. kan man skönja ett fördelaktigare "svetsfönster" jämfört med det man erhåller vid svetsning av en konventionell 6000-legering.



Figur 14. Företaget Dürings "laser svetsstång" med integrerat "scanner"-verktyg och en kammare med fyra induktiva positioneringssensorer som garanterar en tät förslutning vilket gör att tången kan säkerhetsklassas som "B3".

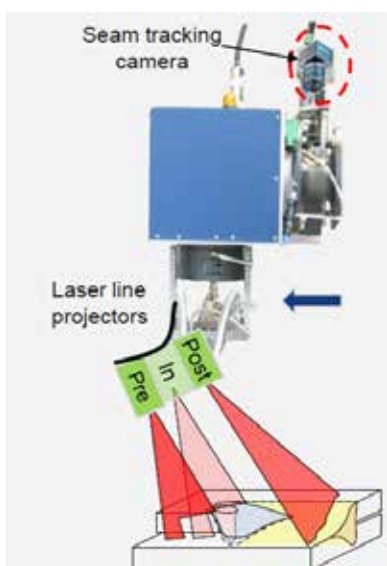
prövade som nya innovativa verktyg för kvalitetssäkring vid lasersvetsning. Han menade att det finns fyra grundläggande steg för att säkerställa en kvalitativ lasersvetsning, nämligen;

- Kontroll av ingående verktyg
- Kontroll av arbetsstyckena
- Kontroll av laserprocessen
- 100% kvalitetskontroll av svetsresultatet

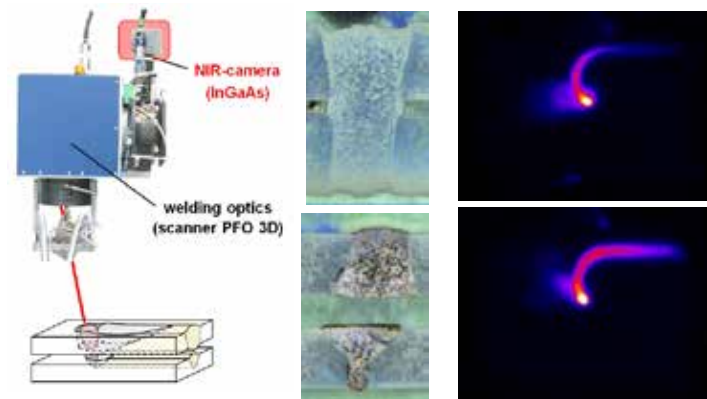
Hjälpmiddel till att uppfylla det förstnämnda är t.ex. Trumpfs ”Power Sensor“ för mätning av effekttätheten i laserstrålens fokuspunkt och ”Focus Sensor“ som mäter svetsverktygets fokuspunktsläge i x-, y- och z-koordinater. För detektering av arbetsobjektets läge rekommenderas det kamerabaserade ”VisionLine“ som observerar koaxiellt genom svetsoptiken. Avvikelser från det programmerade svetsläget kan kompenseras direkt via återkoppling till ”scanner“-verktyget ”PFO“. Under själva svetsprocessen används med fördel det välbeprövade ”SeamLine Pro“ med tre olika sensorer. Den första fungerar som fogföljning, den andra registrerar smältbadet samt om full penetration föreligger, och

den tredje mäter av geometrin på den fullbordade svetsen. Sådär långt kände vi igen produkterna, men den gode Friedhelm hade några fler nyheter ”i rockärmen“. Det första var ”ScanLine“ avsett för fjärrlasersvetsning, vilket erbjuds integrerat i ”PFO“-verktyget [Fig. 15]: ”ScanLine“ fungerar enligt samma princip som ”SeamLine Pro“ med pre-, in- och postprocessering där smältbadet registreras med en CMOS [Complementary Metal–Oxide–Semiconductor] -kamera med en bildfrekvens > 500 Hz. Det mest intressanta i Herrn Dorschs presentation var nyttillskottet ”ThermoLine“ – ett processövervakningssystem som arbetar i NIR [Near InfraRed] -området. Svetsförloppet visualiseras genom en InGaAs-kamera som betraktar svetsprocessen koaxiellt genom svetsoptiken och är tillämpbar för såväl traditionella svetsverktyg som ”scanner“-verktyg. Det är den genererade värmen i smältan som registreras och en alltför långt utsträckt värmefördelning indikerar brist på inbränning. Detta gör det också möjligt att detektera bindfel, s.k. ”Falsche Freunde“, mellan plåtarna i en överlappsfog [Fig. 16]!

Den följande presentationen framfördes gemensamt av Michael Ungers från ILT [Institut für LaserTechnik] i Aachen tillsammans med Scansonics Christoph Franz, som vi tidigare stiftat bekantskap med då han berättade om lasersvetsning av aluminium med hjälp av stråloscillering. Nu presenterade dessa herrar Scansonic-verktyget SCeye® som är ytterligare ett i raden av innovativa verktyg för processövervakning av lasersvetsning i realtid. Det handlar om ett kamerabaserat system med en bildfrekvens upp till 350 fps [frames per second], och där nyheten ligger i själva belysningen av svetsstället. Denna sker nämligen via 4 s.k. VCSEL [Vertical-Cavity-Surface-Emitting Laser diodes] om vardera 100 dioder som ger en sammantagen effekt på 4×10 W, vilka kombineras med 4 stycken LED [Light-Emitting Diodes] -lampor med den gemensamma våglängden 850 nm. SCeye® kan integreras i Scansonics klassiska ”ALO3“-verktyg och kommer att utgöra en standardprodukt i företagets sortiment vid ingången av 2016 [Fig. 17]. Synfältet är 19 mm brett och den optiska upplösningen ligger



Figur 15. Trumpf-verktyget ”ScanLine“ är avsett för fjärrlasersvetsning och arbetar på samma sätt som välbekanta ”SeamLine Pro“ med pre-, in- och postprocessering.



Figur 16. Med processövervakningsverktyget ”ThermoLine“ går det att upptäcka bindfel som exempelvis ”Falsche Freunde“ genom att NIR-kameran registrerar en längre utsträckt värmefördelning i svetsoperationen (nederst t.h.)



Figur 17. Processövervakningsverktyget SCeye® består av tre komponenter; en kamera, en belysningsenhet med fyra stycken VCSELs samt ett ”web-interface“. Som framgår av bilderna kan SCeye® enkelt integreras i Scansonics ”ALO3“-verktyg för svetsning eller lödning.

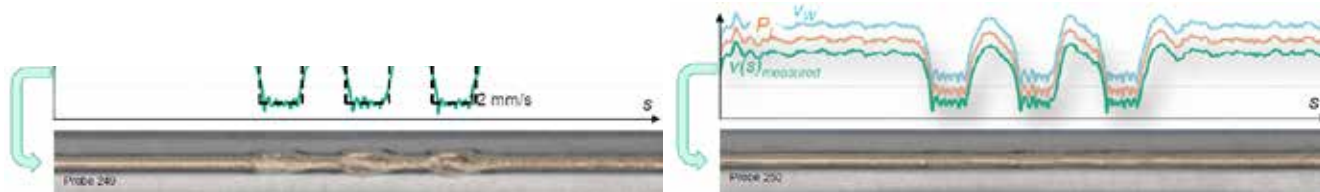
på omkring 40 µm. Med funktionen "Panorama View" kan hela fogens längd visualiseras i datormiljö. Svetssmältans flödes hastighet registreras utefter ett fritt valt antal vektorer och Herrn Ungers beskrev sedan den beräkningsalgoritm som hade utvecklats för att kunna implementeras i en FPGA [Field-Programmable Gate Array] -metodik. Med detta angreppssätt kunde man direkt avgöra om svetsen var godkänd eller ej och detta exemplifierades med ett laserlödningsexperiment. Mätningarna kan kopplas till ett "closed loop"-system som reglerar lasereffekt och/eller trådmatning så att defekter, inklusive ytporer, kan undvikas [Fig. 18].

Fjärrlasersvetsning var temat för en presentation från LZN [LaserZentrum Nord] i Hamburg, vilken var tänkt att framföras av gamle bekantingen Dr. Claus Emmelmann. Tyvärr låg denne emellertid nerbäddad mellan lakan varför kollegan Frank Beckmann nu fick föra institutets talan. En av drivkrafterna för RLW-tekniken är att nya lättviktsmaterial helt enkelt kräver ny produktionsteknik. Fördelarna ligger i

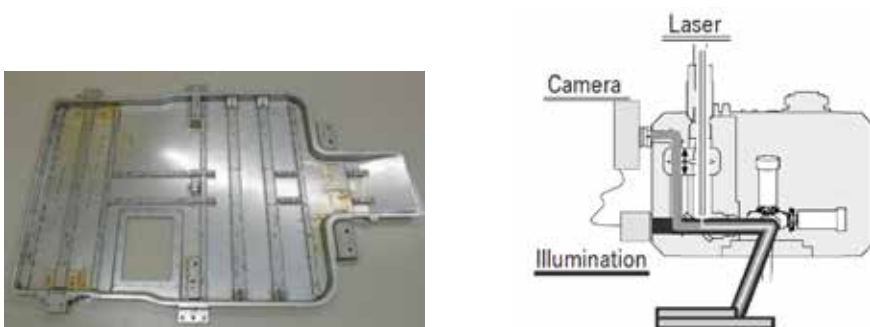
en ökad produktivitet genom en större flexibilitet med avseende på process och skär- eller svetsmönster, samt att processhastigheten kan hållas hög utan att för den skull verktygsförflyttningen behöver hålla samma hastighet. På minussidan hittar vi de välbekanta nackdelarna i form av typbundna fixturer och komplexa styrprogram för "scanner"-verktyg och robotaxlar. Som ett exempel på svetsapplikation visades en batteriram till den eldrivna VW-modellen eUP! [Fig. 19] Ramen sammanfogas med cirka 600 stycken svetsstyggn som representerar en sammanlagd längd kring 13 meter. Med RLW-tekniken menade man sig ha reducerat svetsstiden med 25% och den totala tillverkningskostnaden med 70%. "Scanner"-verktyget var Scanlabs intelliweld 30FCV och som processövervakning användes Lessmüllers "Weldeye®".

Vid LZN finns tillgång till en 30x3x3 m stor portalrobotanläggning med tre hängande robotar avsedd för i första hand svetsning av fartygssektioner, och även i denna kan man använda sig av fjärrlaserteknik. Här är "scanner"-verk-

tyget det egenutvecklade "Dragon Concept 4.0" som har ett arbetsområde på 1x1x0,25 m, fokallängden är 1,3 m och verktyget klarar att hantera lasereffekter upp till 30 kW [Fig. 20]. Svetssmältan övervakas av två höghastighetskameror med en bildfrekvens på 25 fps och en upplösning av 1.280x1.024 pixlar. Andra exempel som förevisades handlade om "remote"-skärning av CFRP [Carbon Fibre Reinforced Plastics] där man använde ett specialutvecklat utsug som tog hand om plast- och fiberpartiklar. I dessa skärförsök hade man använt cirka 3 kW från en IPG YLS-5000-C och skärhastigheterna låg mellan 12-15 m/min. Snittkvalitet och värmepåverkad zon stämde väl överens med de simuleringar som gjorts med ett program som utvecklats i samarbete med Scansonic. Detta bygger på det transiella värme flödet i en FE [Finite Element] -modell och kan användas för simulering av såväl laserskärning som -borrning [Fig. 21]. Ett ytterligare exempel handlade om lokal uppmjukning av presshårdade detaljer, en idag vanlig process inom bilindustrin och dess



Figur 18. Som synes en avsevärd skillnad i löd kvalitet mellan konstanta, programmerade värden för lasereffekt och trådmatningshastighet i jämförelse med om dessa kan kontrolleras med hjälp av SCeye® och ett "closed loop"-system.



Figur 19. Batteriram till elbilen VW eUP! Sammanfogas med mer än 600 svetsstyggn med fjärrlasersvetsning där "scanner"-verktyget utgörs av Scanlabs intelliweld 30FCV.



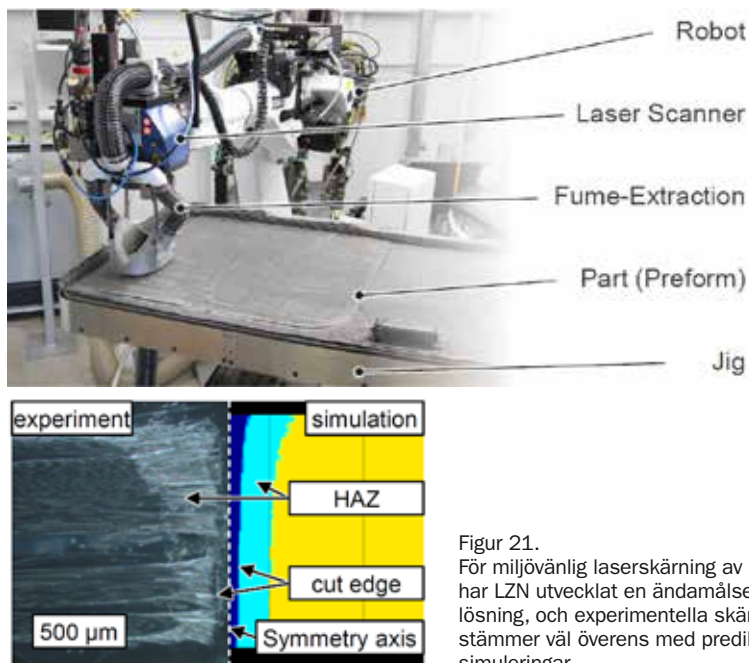
Figur 20. Investeringen i en imponerande portalrobotanläggning möjliggjordes via medel från det BMBF-finansierade QulnLas-projektet. Även i denna anläggning kan man fjärrlasersvetsa med det vid LZN egenutvecklade verktyget "Dragon Concept 4.0" (längst t.v.).

underleverantörer, för att skapa bättre förutsättningar för energiabsorption i krockutsatta komponenter men även för att underlätta svetsning och fogning av varmformade detaljer. Slutligen slog Herr Beckmann ett slag för institutets "Remote SpeedCell@LZN" i vilken de flesta av ovanstående försök hade genomförts, i akt och mening att värva potentiella kunder till densamma. Cellen är utrustad med en Fanuc-robot och vid skärning använder man en 5 kW fiberlaser från IPG, Precites "Formcutter" och Arges' "Elephant" för fjärrlaser-skärning. För svetsförsök står en 6 kW disk laser från Trumpf till förfogande tillsammans med deras "PFO"-verktyg, och slutligen för härdning finns en 6 kW diodlaser från Laserline och Scan-sonics 1D-verktyg att tillgå.

Till området verktyg i bemärkelsen hjälpmedel vill jag också foga det koncept för en objektiv utvärdering av laserlödda fogar som presenterades av Wilfried Reimann [Volkswagen AG] och Jochen Sander [Automation W+R GmbH] där den förstnämnde berättade att koncernen har 107 olika fabriker i världen och att det därför är viktigt att

kvalitetsutvärderingar kan göras liksint och personoberoende. Här kunde jag inte undgå att göra reflexionen att med den totala produktionskapacitet som VW har skulle man kunna tillverka Volvos hela årsproduktion på 2 veckor! Eftersom laserlöddning ofta används för att skapa kosmetiska fogar på ytterytor är det viktigt att löddningen blir defektfri och kan uppfylla den finish som krävs för en s.k. A-klassyta. VW har delat upp

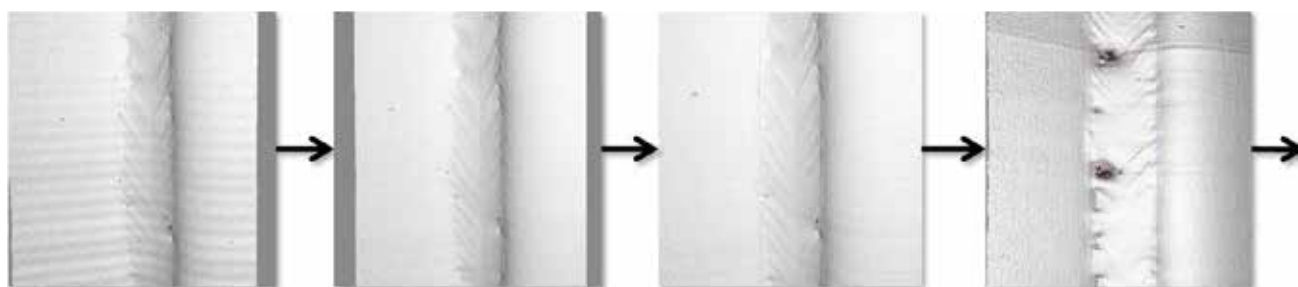
sina kvalitetskriteria i direkt defekta fogar som uppvisar sprut, porer och hål, samt visuellt oacceptabla p.g.a. alltför grov råge, slaggrester eller ojämn vätningskant. Man hade undersökt ett flertal mätmetoder och kommit fram till att den mest lämpade var tredimensionell lasertriangulering [Tab. 1]. Då kontrollverktyget är avsett att monteras på robot blir det viktigt att det är försett med någon form av vibrationskompensation.



Figur 21. För miljövänlig laserskärning av polymerer har LZN utvecklat en ändamålsenlig utsugslösning, och experimentella skärresultat stämmer väl överens med predikerande simuleringar.

Tabell 1. Optiska mätmetoder (1 = sämst, 5 = bäst)

	2D Bildanalys av ljusstyrka	3D Laser-triangulering	3D Stereo-skopi	3D Projicerad ljuslinje	3D Vitljusinterferometri
<b>Funktion</b>	Kamera som rör sig längs fogen	Tredimensionell analys av fogen medan sensor rör sig längs denna	Tredimensionell bildanalys via flera kameror	Tredimensionell bildanalys via flera kameror och projektorer	Tredimensionell analys av fogen genom interferens med återreflekterat ljus
Noggrannhet	1	4	3	3	5
Hastighet	5	3	5	3	1
Tålighet	2	4	1	3	3
Kapabilitet	3	4	3	2	1
Medelvärde	2,8	3,8	3,3	2,8	2,5



Figur 22. Så här visualiseras lödfogen; fr.v. originalbilden som genereras av sensorn, bilden efter vibrations-kompensation, bilden med pålagt filter för kantdetektering och slutligen bilden med pålagt filter för detektering av defekter i form av hål, ytporer eller sprut.

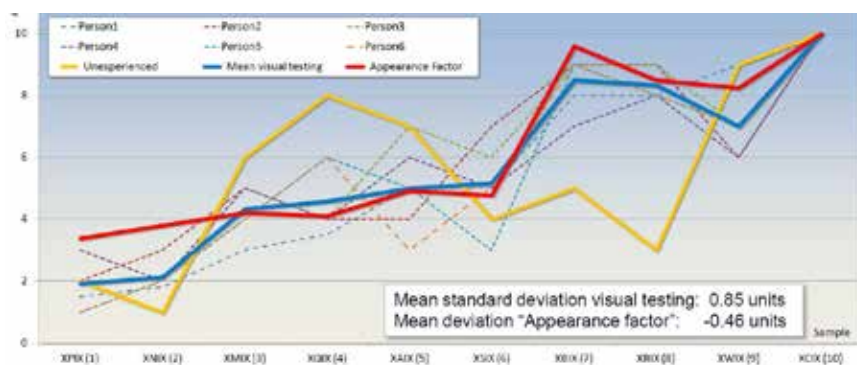
Lödfogens kvalitet utvärderas med hjälp av adaptiva filter [Fig. 22]. Transferfunktionen kontrolleras av variabla parametrar, vilka är optimerade mot de formfel och defekter som skall detekteras. Den objektiva klassificeringen sker i ett tiogradig skala som man valt att kalla "appearance factor" eller "beauty factor" och där "1" motsvarar en perfekt lödfog. Dessa värden hade sedan jämförts med kvalitetsbedömningar utförda av såväl erfarna som oerfarna medarbetare hos VW. Intressant var då att konstatera att medan bedömningarna personerna emellan varierade i hög grad så stämde medelvärden av deras bedömningar väl överens med det objektiva verktyget med en standardavvikelse på blott 0,85 [Fig. 23]! Sammanfattningsvis kan man säga att slaggrester och ojämna vätningskanter kan identifieras med stor säkerhet samtidigt som metoden är stabil och reproducerbar över en längre serie av liksinta defekter. Intressant var en lödfog som fått en tunn hinna av

kiseldioxid och därför kom att bedömas som slaggrester vid den manuella avsyningen. Med den nya objektiva bedömningen klassificerades detta prov helt korrekt som näst intill defektfritt, medan ett som saknade SiO<sub>2</sub>-hinnan, av personerna uppfattades som godkänt medan det nya bedömningsverktyget avslöjade att så alls inte var fallet då lödfogen hade en signifikant slagglinje [Fig. 24]. Fortsatt utveckling kommer att handla om applicering av tekniken på MAG-, MIG och TIG-svetsning och lödning, samt integrering i Automation W+R:s "Robiscan"-verktyg.

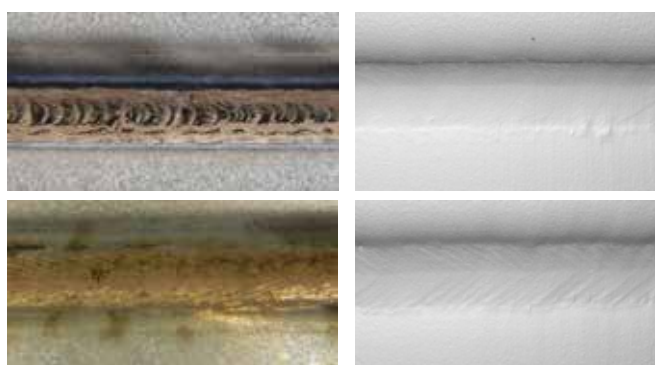
### Övrigt från bilindustrin

Några andra godbitar från biltillverkarnas representanter var bl.a. en presentation från Audi, vilken framfördes av Dr. Philipp Wiethop och handlade om simulering av distorsioner vid fjärrlasersvetsning. De höga temperaturgradienter som förekommer vid lasersvetsning leder till värmeförvridningar hos de

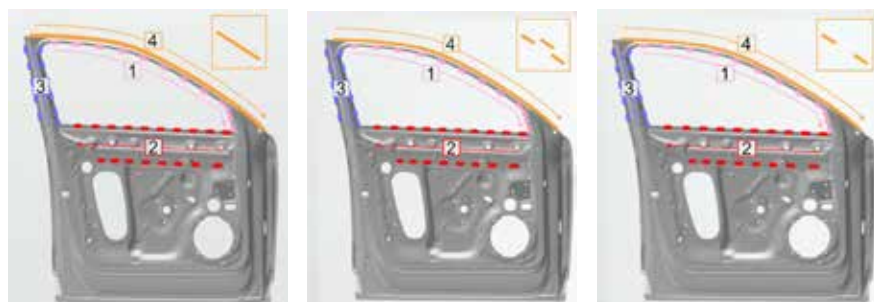
svetsade komponenterna och därför är ett simuleringsverktyg som kan ta fram kompensationsparametrar önskvärt. I det här fallet utgjordes dessa parametrar av svetssekvens samt positionering av svetsarna och deras längd. Man hade använt sig av programvaran Simufact 4.0 med en transient, termo-mekanisk modell, och som objekt för distorsions-simuleringarna nyttjat en sidodörr. Denna består av sju olika detaljer som sammanfogades med mellan 42 och 84 svetsstyggn under en tidsperiod på 24-31 sekunder. Dörrstrukturen var "meshad" med 500.000 element och 750.000 nodpunkter och den tillförda laserenergin hade kalibrerats mot resultaten från experimentella försök. För 6 kW laserefekt innebar detta en svetshastighet på 11 m/min. Dörrbågen hade svetsats på tre olika sätt; kontinuerligt, intermittert (enkelt) samt intermittert (dubbelt) [Fig. 25]. Den förstnämnda varianten gav den högsta styvheten men samtidigt också störst värmeförvridning, medan



Figur 23. Då sex olika VW-medarbetare bedömt ett antal lödfogar varierar deras uppfattning av fogarnas kvalitet, men medelvärden av deras bedömningar (blå linje) stämmer mycket väl överens med resultaten från den objektiva mätningen (röd linje) utförd med det nyutvecklade kvalitetsverktyget.



Figur 24. Ett intressant resultat mellan hur ögat och den objektiva mätmetoden uppfattar två olika lödfogar. I bilderna t.v. uppfattas den övre fogen som oacceptabel och den nedre som acceptabel vid visuell avsyning, medan den objektiva mätmetoden t.h. inte låter sig luras av den tunna oxidhinnan (överst), men korrekt detekterar förekomsten av en slagglinje längs lödfogen.



Figur 25. Simuleringar av olika svets-mönster gav en liten men tydlig skillnad i dörrbågestyvhet. Inte oväntat hade en kontinuerligt svetsad båge störst styvhet följt av en växelvis stegsvetsad variant och sist en ren intermittert sådan.

den sistnämnde uppvisade bäst balans mellan styvhet och värmeförvriddning. Även om skillnaderna i distorsion mellan de tre varianterna var liten hade den senare använts vid fortsatt simulering av komplett fjärrlasersvetsade dörrar då inverkan av olika svetsföljder hade undersökts. En annan simuleringsövning rörande dörrbågen indikerade att kortare svetsar gav mindre distorsioner jämfört med långa sådana även om totala svetslängden var identisk [Fig. 26]. Framtida arbeten kommer att sikta mot att integrera denna simuleringsmodell i hela den virtuella produktionskedjan.

En nykomling i EALA-sammanhang var Guillaume Filliard från Renault som genomfört sitt doktorandarbete där under överinseende av Renaults representant i EALAs programråd, Hichame Roudmadni. Målet är att skapa ett kontrollverktyg för laserapplikationer, och en inte alltför djärv gissning är att detsamma är tänkt att användas vid lödning av aluminium till stål. Detta kunde jag sluta mig till efter den ingående diskussion i detta ämne som jag hade med herrarna Filliard och Roudmadni vid banketten kvällen innan. Nu handlade presentationen mest om "gammal

skåpmat" där tidigare laserapplikationer redovisades. Dessa bestod av:

Fjärrlasersvetsning av sidodörrar till Twingo- och Laguna-modellerna [Fig. 27], och där man säkrar svetskvaliteten genom processövervakning och visuell avsyning av svetsarna.

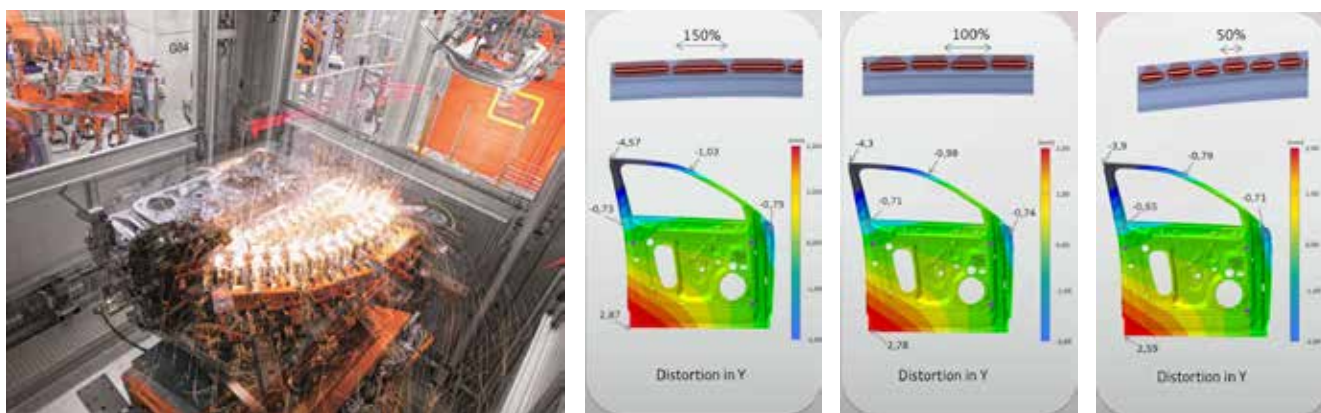
Laserlödning av tak till karossidor för modellerna Mégane och Scenic [Fig. 27]. Förutom visuell avsyning av fogen har man implementerat en profilometer som med hjälp av trianguleringsteknik mäter lödfogens geometri i realtid.

Tranmissionslasersvetsning av den termoplastiska bakdörren till Clio-modellen. Detta innovativa koncept beskrevs ju i detalj av Monsieur Roudmadni vid EALA 2014 där han processövervakningen sker "on-line" med hjälp av en pyrometer som avläser temperatur och strålning kring svetspositionen och jämför värdena mot en katalog av vanligt förekommande defekter.

Annars förstod vi som sagt att Renaults stora intresse är att kunna foga aluminium till stål för att därigenom reducera vikten hos sina karosser. Avslutningsvis beskrevs nämligen några sådana mix-material-fogar där man med laserstrålen smälte en tillsatsråd

i aluminium så att man erhölet en svets mot aluminiumsidan och en lödfog mot stålet. Visuellt såg fogarna väldigt tilltalande ut, men Monsieur Filliard varnade för uppkomsten av spröda intermetalliska faser och olika termisk utvidgning hos de båda materialen. Metallurgisk analys hade nämligen gett vid handen att de intermetalliska faserna kunde variera mellan 2-20 µm i tjocklek och hade en hårdhet kring 1.100 Hv [Fig. 28], något som lätt leder tillsprickinitiering i synnerhet om det intermetalliska gränsskiktet överstiger 10 µm. För den här typen av lödning är en diodlaser den lämpligaste källan, och därför är det intressant att notera Renaults hittillsvarande investeringar med 5 diodlasrar i Douai-fabriken och vardera 3 stycken i Palencia och Valladolid.

Lasersvetsning av olika metaller i bilbatterier har ju rönt intresse under senare år och nu fick vi lyssna till BMWs ambitioner framförda av Rüdiger Daub. Här handlade det om att svetsa tryckplattor till den aluminiumram som omsluter batteripacken till BMWs nya i8-modell [Fig. 29]. Aluminiumytorna hade plasmabehandlats för att skapa goda förutsättningar för svetsningen då



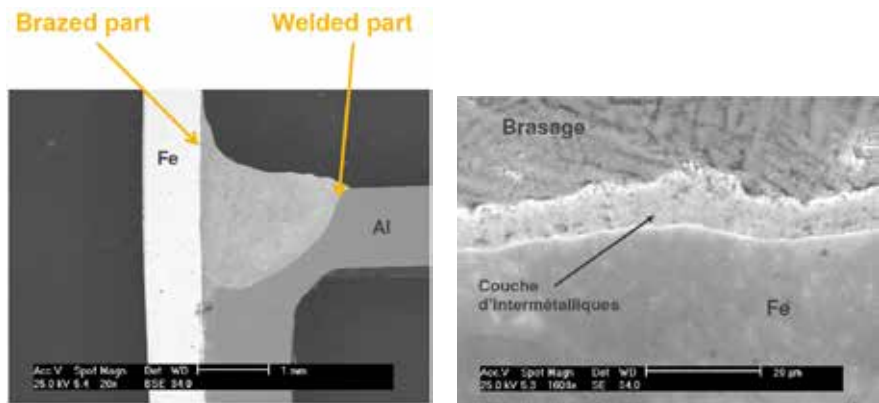
Figur 26. Vid fjärrlasersvetsning av sidodörrar indikerar simuleringar utförda med programvaran Simufact 4.0 att kortare svetsar ger mindre deformationer även om den totala svetslängden är densamma.



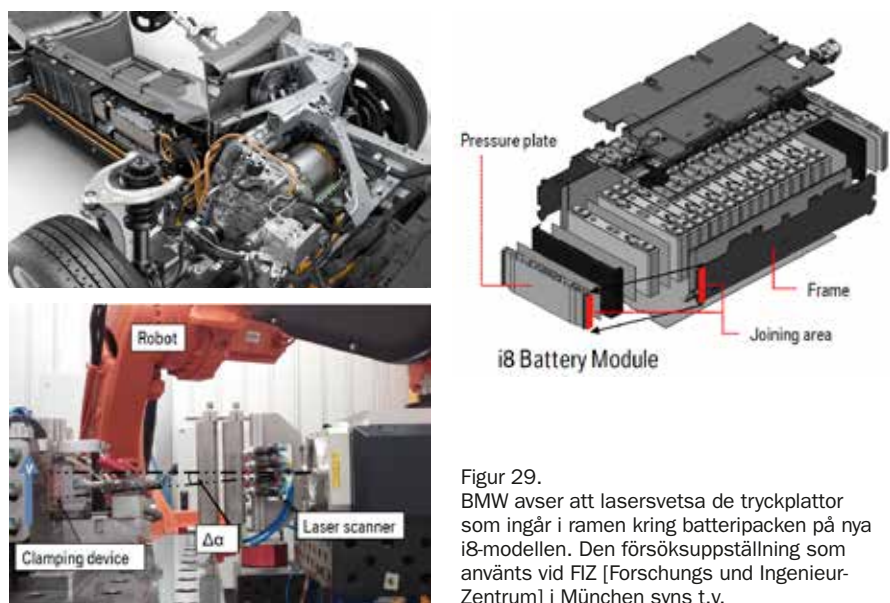
Figur 27. Doktorandstuderande Guillaume Filliard gav oss en inblick i tidigare lyckade laserapplikationer hos Renault Automobiles såsom fjärrlasersvetsning på Twingo- och Laguna-modellerna liksom laserlödning av takskarvarna på Renault Mégane och Scenic.

svetsfogen har extrema höga hållfasthetskrav eftersom battericellerna har en tendens att svälla då de åldras, och då är det viktigt att den bärande ramstrukturen förblir intakt. Med hjälp av en oscillerande laserstråle har dessa hållfasthetskrav kunnat uppfyllas.

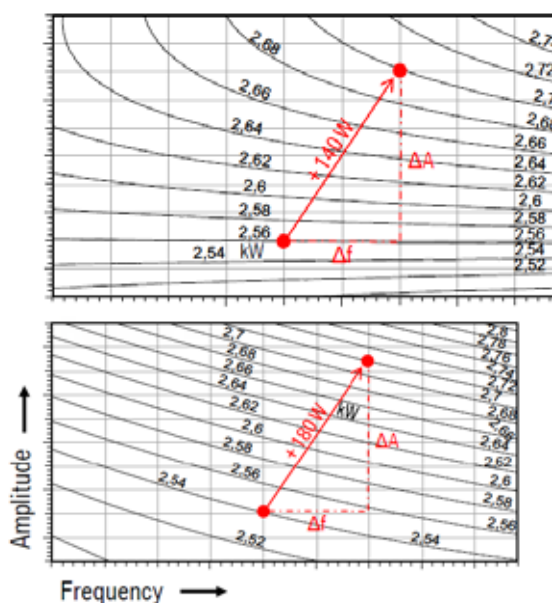
För att fastlägga optimala oscilleringsparametrar hade man genomfört en DoE [Design of Experiments] där penetrationsdjup, framföringshastighet, fokalpunktsläge och laserstrålens infallsvinkel mot plåtytan hållits konstanta medan variablerna bestod av: oscilleringsform, amplitud och frekvens. Man hade undersökt inverkan av oscillering av strålen längs respektive tvärsvetsriktningen och kunnat konstatera att för att bibehålla ett konstant penetrationsdjup vid ökad amplitud måste detta kompenseras med ökad lasereffekt. Detta gäller alltid i fallet med transversell oscillering, men endast vid stora amplituder då oscillering sker i svetsriktningen [longitudinell, Fig. 30a]. Beträffande svetsfogens bredd har longitudinell oscillering ingen inverkan, men självklart ökar bredden vid transversell sådan, dock såg man ingen inverkan av oscilleringsfrekvensen. Den bredare gav en högre hållfasthet vid efterföljande dragprov. Risken för porering undertrycks vid en longitudinell oscillering med hög frekvens. Teorin bakom detta är att oxidskiktet framför nyckelhålet avlägsnas genom en förlängd smältan. Däremot såg man en negativ inverkan vid transversell oscillering då svetsprocessen blir instabil vid höga frekvenser och större amplituder, eftersom nyckelhålet momentant överskuggas av smältan [Fig. 30b]. Då longitudinell oscillering har en positiv effekt när det gäller att minimera porförekomsten och transversell oscillering ger en högre hållfasthet genom den bredare svetsen gick man vidare med att undersöka ett elliptiskt oscilleringsmönster och ett annat som beskrev en ”åtta” [Fig. 30c]. Förhoppningen var att ytterligare öka hållfastheten genom att på detta sätt skapa en såväl bred som porfri svets. Detta blev också resultatet varför Herrn Daub kunde avsluta med att konstatera att med detta nya svetsförfarande kunde man öka hållfastheten med 35% och minska porositeten med 40% jämfört med konventionell, ”rak” lasersvetsning, den nya oscilleringssvetsningen håller nu på att transfereras in i serieproduktion av dessa batteriramar.



Figur 28. Genom att använda en aluminium-baserad tillsatstråd kan man sammanfoga stål med aluminium. Dock bör man vara observant för uppkomsten av spröda metalliska faser mellan ståldetaljen och lodmaterialet.



Figur 29. BMW avser att lasersvetsa de tryckplattor som ingår i ramen kring batteripacken på nya i8-modellen. Den försökupställning som använts vid FIZ [Forschungs und Ingenieur-Zentrum] i München syns t.v.



Figur 30a. Vid longitudinell oscillering finns inget behov att öka lasereffekten för att bibehålla penetrationsdjupet så länge amplituden i pendlingen är liten (t.v.), medan det vid transversell oscillering (t.h.) alltid krävs en ökning av lasereffekten för att bibehålla penetrationen.

## Lasersäkerhet

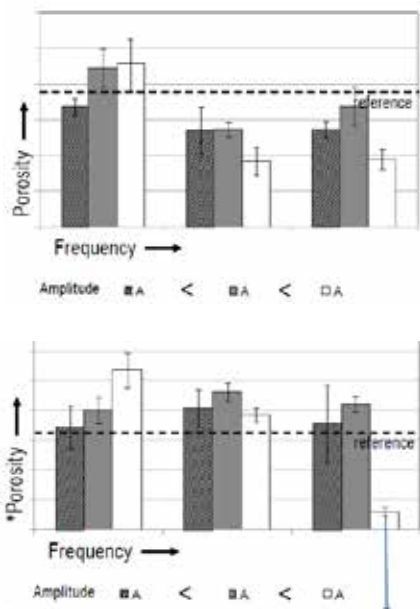
Nytt för året var en dedikerad session kombinerad med en workshop rörande säkerhetsaspekter och -utrustning vid laserbearbetning [Fig. 31]. Här fick vi stifta bekantskap med några auktoriteter på området såsom Erwin Martin Heberer [Gela GmbH Gehör-, Lärm- und Arbeitsschutz] och professor Klaus R Göbel [Ingenieurbüro Göbel GmbH]. Den förstnämnde inledde med att tala om att det är det s.k. maskindirektivet [2006/42/EC] som bestämmer säkerhetskraven för industriella utrustningar och där sektion A1.1.5.12 specifikt styr aspekterna vid laserbearbetning. Den beskriver bl.a. att en riskbedömningsanalys skall genomföras samt att viktiga utrustningsdelar som laserkälla och utslag skall vara placerade utanför lasercellen. Vidare är det viktigt att robotar som arbetar inuti i cellen är försedda med kollisionsskydd så att de inte riskerar att skada kabinettets skyddsväggar. I samband med detta visade Herrn Heberer proceduren för att mäta tiden innan laserstrålen penetrerar en säkerhetsvägg, försök som utförts med en fiberlaser YLR-8000-R hos iwb [Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften] i München enligt regelverket DIN EN 60825-4, annex "D". I detta anges tre olika säkerhetsklasser; T1, T2

och T3, vilka är relaterade till inspektionsintervall och därmed sannolikhet för upptäckt av om laserstrålen har penetrerat väggen i ett säkerhetskabinett. En viktig synpunkt var den att även i dessa sammanhang kommer problemet med fokalpunktsförskjutning in i bilden [Fig. 32] samtidigt som energifördelningen och fokalpunktsläget förändras över tiden, varför man inte kan förlita sig på teoretiska beräkningar av tiden innan laserstrålen penetrerar skyddsväggen. I Tyskland kan man erhålla ett GS [Geprüfte Sicherheit]-certifikat där en anläggning godkänns uteslutande ur säkerhetssynvinkel.

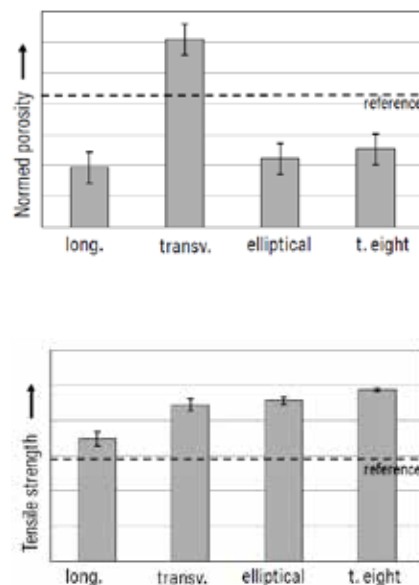
Klaus R Göbel inledde sin presentation med några juridiska aspekter vid installation och drifttagande av en laser-cell och sammanfattade dessa med att det är systemintegratören som ansvarar för att maskindirektiven uppfylls. Den flexibla bearbetning som lasertekniken medger ökar samtidigt skaderisken varför inkapslingen av lasercellen är viktig. Här finns både passiva och aktiva skyddsväggar att tillgå, och båda har sina nackdelar och fördelar. De passiva systemen är okänsliga för olika laser-våglängder, enkla att implementera och billiga, men klarar inte höga lasereffekter och är mindre flexibla. Bland de aktiva systemen torde Reis Lasertechn

"LaserSpy®" vara det mest kända exemplet [Fig. 33]. Konceptet består av två parallella väggskivor med en sensor i utrymmet mellan dessa vilken modulerar en IR-ljusstråle. När laserstrålen penetrerar den inre väggen kommer IR-strålningen från lasern att interferera med sensorns varp på denna skickar en signal till huvudströmbrytaren varpå laserkällan omedelbart stängs av. Efter-som reaktionstiden ligger under 5 ms är vägmaterialet av mindre betydelse och kan tillverkas i aluminium för att göra laserkabinettet lättare. Man hade utfört experiment genom att fokusera 8 kW lasereffekt från en disk-laser [Trumpf TruDisc 8002] med en 200 mm långfokallängd på väggytan. Vid genombrännning var LaserSpy®s reaktionstid garanterade 5 ms varpå det tog ytterligare 25 ms innan laserkällan hade släckts ner.

En variant på denna lösning var den som togs fördes av Herrn Dieter Hertel från företaget Antares och som har produktbenämningen "A-Protection", och som han hellre ville kalla ett "avkännande" skydd snarare än ett "aktivt". Även här består säkerhetsväggen av två skivor, men istället för luft har mellanrummet fyllts med en vätska och ett antal sensorer som registrerar de temperaturförändringar som uppstår då en felriktad



Figur 30b. Vid longitudinell oscillering undertrycks porifieringen med ökande frekvens genom att oxidskiktet framför nyckelhålet avlägsnas, medan svetsprocessen vid motsvarande transversell oscillering blir instabil och resulterar i större svetsdefekter.



Figur 30c. Genom att oscillera laserstrålen i ett elliptiskt eller åttaformigt mönster kan man kombinera fördelarna med longitudinell respektive transversell oscillering, d.v.s. låg porförekomst och hög hållfasthet.



Figur 31. Debatten gick stundtals upp i höga tonlägen när bilindustrins representanter ställde "lagvrängarna" mot väggen med konkreta lasersäkerhetsfrågor.

laserstråles värme leds genom den inre väggen, och genom konvektion genom vätskan, fram till sensorerna [Fig. 34]. På så sätt kan man undvika att den inre väggen överhuvudtaget penetreras eftersom temperatursensorn slår larm vid ett visst gränsvärde. Denna produkt som kan erhållas i moduler med 0,75-1,0 m i sida föll emellertid inte Herrn Heberer "på läppen" då denne menade att produkten faller under tryckkärlsdirektivet då den inneslutna vätskan kommer att utvidgas vid uppvärmning.

En mera handgriplig lösning för väggar till ett laserkabinett hade Martin Fitz från IPM GmbH Co. KG med företagets passiva skyddselement. Dessa består av en 9 mm betongkärna klädd på båda sidor med 1 mm tjockt stål. Elementen tillhandahålls pulverlackerade och väggar kan även byggas samman för att utgöra tjockare moduler. Vid provning enligt ovannämnda DIN EN 60825-4, annex "D" brändes ett enkelement igenom efter 22,1 sekunder vid 5 kW lasereffekt, och vid 8 kW blev genom-

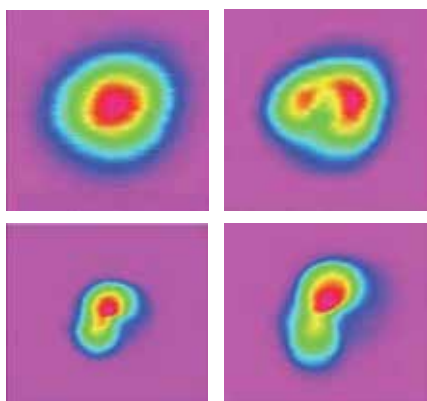
bränningstiden 12,3 sekunder [Fig. 35]. Mer information finns att hämta på [www.laserkabinen.com](http://www.laserkabinen.com).

Dr. Göbel återknöt i sitt anförande till att ha ett holistiskt synsätt i fråga om lasersäkerhet. Även om kabinettens väggar görs alltmer säkra är de genomskiktliga fönster, som oftast används för att utanför laserkabinettet kunna observera processen, den "svaga länken". Tidigare gällde 10 sekunder för laserstrålen att penetrera skyddsglasat, men detta krav skärptes 2010 till endast 5 sekunder. För att kringgå kravet kan man använda kameraövervakning av den bearbetningsprocess som försiggår i cellen, men man kan även här använda aktiva system. Ett sådant har lanserats av företaget *UVEX LaserVision* som kombinerar två passiva filter mellan vilka man placerat en ljusledande mittsektion vilken övervakas enligt "LaserSpy®"-principen [Fig. 36]. Andra aktiva system kan övervaka fiberbrott genom temperatursensorer och andra typer av sensorer varna för att dörrar och portar till ett laserka-

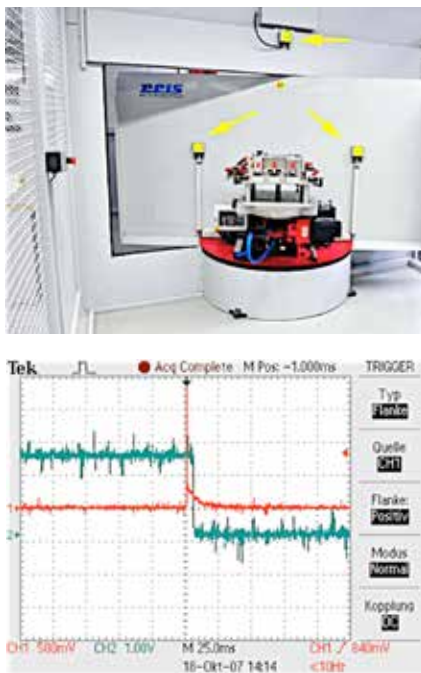
binett inte är fullständigt tillslutna. Dr. Göbel avslutade sin resumé med att visa på några "skräckexempel" ur lasersäkerhetssynpunkt vilka lockade till många goda skratt i publiken [Fig. 37].

Efter de säkerhetsrelaterade presentationerna utspann sig en livlig debatt mellan biltillverkarnas representanter och föredragshållarna. Dessutom gjorde en enkät i form av "mentometer-tryckning" av auditoriet vilken ledde till såväl förväntade som överraskande resultat, vilka sammanfattas i **Figur 38a-e**.

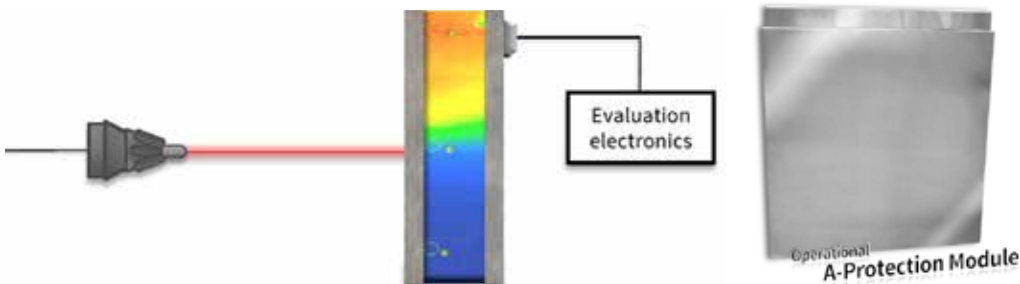
Då säkerhetstemat var populärt och den workshop, som hölls på detta tema, välbesökt kan man förmoda att nästa EALA-konferens säker kommer att anknyta till lasersäkerhet. Ett annat ämne som varit på önskelistan är frågor som rör energiförbrukning i samarbete med laserbearbetning, så vi får väl se hur programkommittén kommer att utforma programmet för EALA 2016 då vi laserentusiaster i bilbranschen på nytt sammanstrålar i Bad Nauheim.



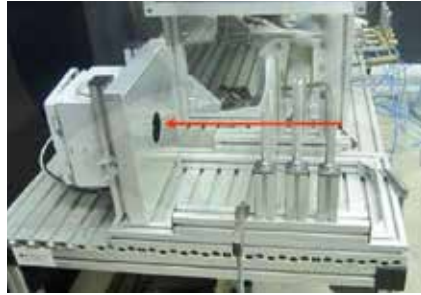
Figur 32. Effekten av fokalpunktsförskjutning visar sig bl.a. i form av olika energifördelning i fokalpunkten; överst fr.v. vid 1, 3, 5 eller 8kW effekt transformerad via HighYags BIMO-verktyg.



Figur 33. Reis Lasertechns "LaserSpy®" sänder ut en modular IR-ljusstråle och när denna interfererar med en laserstråle som penetrerar säkerhetskabinettets inre vägg skickas en signal som stänger av laserkällan inom 30 ms.



Figur 34. Väggen "A-Protection" består av två skivor med en mellanliggande vätska. Sensorer i denna registrerar temperaturförändringar som är ett resultat av en felriktad laserstråle.



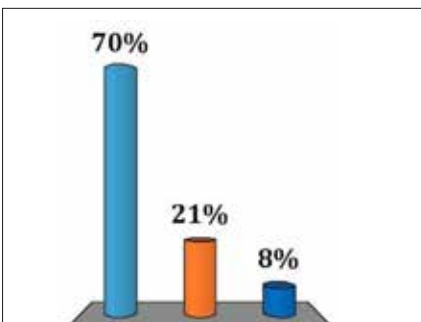
Figur 35.  
Försöksuppställning för provning enligt DIN EN 60825-4 där man provar IPMs passiva skyddselement för väggar till laserkabinett.



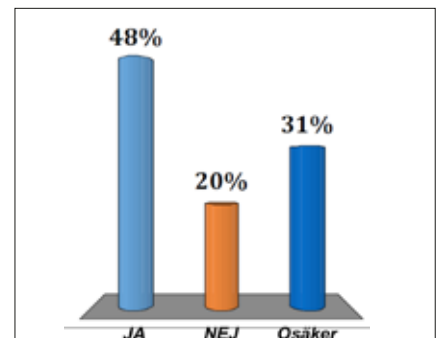
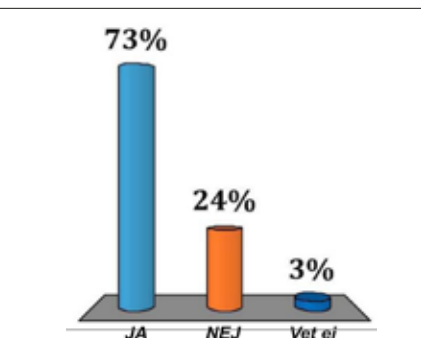
Figur 36.  
Ett "aktivt" skyddsglas från UVEX LaserVision, vilket kombinerar två passiva filter mellan vilka man placerat en ljusledande mittsektion som övervakas med ett antal sensorer.



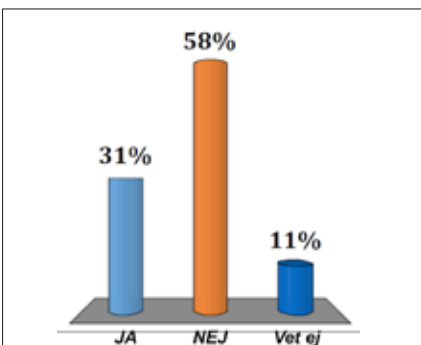
Figur 37.  
Inte så . . . utan så!  
Då man arbetar med laserteknik måste man ha ett holistiskt synsätt som tar hänsyn till all kringutrustning och inte minst säkerhetsaspekter.



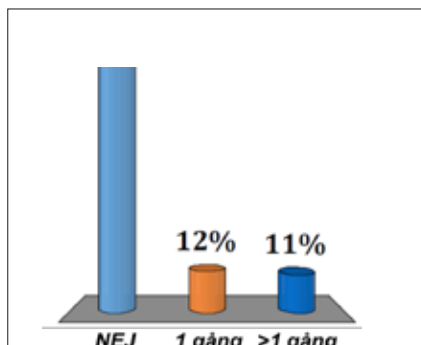
Figur 38a  
I samband med sessionen kring lasersäkerhet fick auditoriet möjlighet att besvara ett antal frågeställningar. En löd: "Känner ni trygghet med att allt som rimligtvis kunnat göras i fråga om lasersäkerhet har genomförts?"  
T.v. har frågan ställts innan sessionen genomförts och t.h. svaren på samma fråga efteråt.



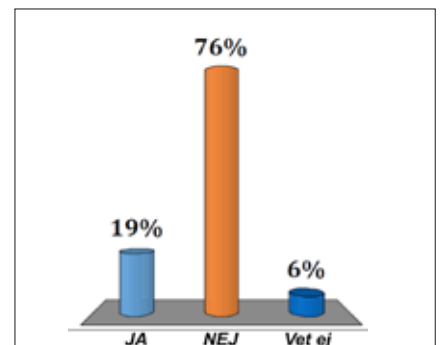
Figur 38b  
"Vet ni hur man tillämpar säkerhetsreglementen och normer i samband med laserbearbetning?"



Figur 38c  
"Om ni använder en lasercell som har byggts enligt de senaste maskindirektiven, är det ändå nödvändigt att få ett godkännande av en certifierad laserinspektör?"



Figur 38d  
"Har det hos er inträffat en laserrelaterad olycka under pågående produktion?"



Figur 38e  
"Är det i ert företag tillåtet att vistas i laserzellen under produktion?"

# Industrial Lasers

## Low Maintenance Diode Technology



Lasers for cladding, welding, remote welding, heat treatment, brazing, cutting.  
Fiber delivered, compact, efficient, high power, high brightness.



Laserline GmbH | Fraunhofer Straße | 56218 Mülheim-Kärlich, Germany  
Tel. +49 2630 964 0 | sales@laserline.de | www.laserline.de

### Fortsättning från sidan 35 "Laserbeläggning med pulver"

#### Summering

Laserpåsvetsning erbjuder kostnadseffektiva lösningar både vid nytillverkning och vid reparation av slitna komponenter. Genom att välja ett högpresterande tillsatsmaterial kan man vid reparation dessutom ofta förbättra produktens prestanda jämfört med dess ursprungliga prestanda.

#### Referenser

- [1] Kampanis N., Hauer I. "Propeller Shaft Repair for a Large Ferry With the Aid of Laser Cladding Technique", ICSOT Conference Proceedings Surabaya Indonesia, Nov. 2010

#### Fakta: Höganäs AB

Höganäskoncernen är världens största tillverkare av metallpulver med en samlad kapacitet på cirka 500 000 ton. Höganäs leder också utvecklingen inom metallpulverbranschen genom att utveckla nya pulver och produkter, liksom nya användningsområden, applikationer, för metallpulver.

#### Höganäs verksamhet kan kort sammanfattas i följande fakta:

- Cirka 1 800 anställda, varav 700 i Sverige
- 3 000 kunder i 75 länder
- Erbjuder mer än 1 500 produkter, övervägande kundspecifika
- Internationell koncern med 13 produktionscentra och ett flertal försäljningsbolag runt om i världen
- Cirka 700 godkända patent i olika länder
- Omsättning: 7 100 MSEK (2014)
- Grundades 1 797 som ett kolgruveföretag
- Näst efter kommunal verksamhet den största arbetsgivaren i Höganäs kommun med huvudkontor och produktionsanläggningar placerade på orten. ■



# René Vierstraete berättar om senaste nytt kring Tekniken med "Tailored Welded Blanks"

Johnny K. Larsson, Volvo Cars

René Vierstraete träffade jag för första gången 1998 i Toulon vid franska Medelhavskusten där vi båda deltog i konferensen CISFFEL [Colloque International sur la Soudage et la Fusion par Faisceaux d'Electrons et Laser] som var ett evenemang kring svetsning med höga effekter. På den tiden handlade det mest om elektronstrålesvetsning, men ett par presentationer kring lasersvetsning hade dock smugit sig in i programmet. Redan på den tiden var René kraftigt involverad i ämnesskarvning med hjälp av laser och var anställd vid Sollacs speciella division för sådan verksamhet benämnd Solblank. Efter ett antal företagsombildningar och -sammanslagningar är han nu en av medarbetarna hos världens största stålproducent, indiskägda koncernen ArcelorMittal. Till vardagslag hittar vi René Vierstraete vid företagets utvecklingscentrum i Montataire i Frankrike, där han numera beskäftigar sig med alla former av laserbearbetning. Under årens lopp har vi stött på varandra lite varstans i världen, och det är alltid lika roligt att konversera med denne fransos, vars engelska onekligen påminner om den som vi lärt känna i den populära TV-serien "Allo, 'allo hemliga armén". Vid vårt senaste samtal uppehöll sig René kring den alltid lika aktuella metoden ämnesskarvning med laser, där ArcelorMittal har utvecklat ett patent för att kunna applicera denna teknik på sina aluminium/kisel-belagda Bor-stål innan dessa används vid varmformning och presshårdning. Här följer en sammanfattning av Renés syn på denna den senaste utvecklingen då det gäller att optimera karosseridetaljer med s.k. "Tailored Welded Blanks [TWB]".

På grund av ökade krav på krockprestanda och reducerad fordonsvikt har bilindustrin under senare år i allt högre grad börjat använda sig av varmformade och presshårdade komponenter, s.k. PHS [Press-Hardened Steels], i karosstrukturer. Baserade på Bor-legerade plåtmaterial resulterar processen i UHSS [Ultra High Strength Steels] -kvaliteter, där varmformningen medger komplexa geometrier samtidigt som materialet genom en snabb avkylning i formverktyget får en extremt hög hållfasthet. De vanligast förekommande PHS-kvaliteterna är Usibor® 1500P och Ductibor® 450 och 500, vilka alla framställs av ArcelorMittal. Den unika ytbeläggningen som består av en aluminium/kisel [AlSi] -förening förenklar varmformningsprocessen såtillvida att det inte bildas glödska på ytan och därmed kan goda korrosionsegenskaper garanteras för slutprodukten. De ovannämnda materialen med sin kombination av hög hållfasthet och god formbarhet har ökat efterfrågan på ämnesskarvade artiklar i säkerhetskritiska komponenter i karosstrukturen. Men om man använder sig av konventionell stumsvetsning med laser skulle AlSi-beläggningen medföra att själva svetsgodset blir en "svag länk". De mekaniska egenskaperna försämras nämligen genom att höga halter av aluminium blandas in i smältan. För att motverka detta fenomen har ArcelorMittal utvecklat en patenterad process som innebär en förbehandling av plåtkanterna innan lasersvetsningen. Åtgärden innebär att AlSi-ytskiktet avlägsnas lokalt kring svetsstället samtidigt som det tunna intermetalliska skikt, bestående av

AlFe-faser, som bildas under ytbeläggningsprocessen bibehålls. För detaljer som tillverkas med denna patenterade process förekommer nästan inget aluminium i svetsgodset, och de små mängder som blir kvar inverkar därmed inte på svetsens mekaniska egenskaper. Genom att det intermetalliska AlFe-skiktet finns kvar garanteras slutproduktens goda korrosionsmotstånd. Hur har det då varit möjligt att bibehålla det några mikrometer tjocka intermetalliska skiktet intakt? Jo, naturligtvis används även här lasertekniken genom att ytskiktet lokalt förångas kring de klippkanter som senare skall stumsvetsas. Men mera om detta senare! Först skall vi göra en liten "historisk" återblick.

Sedan 2008 har Honda tillverkat alla skarvade ämnen för främre och bakre sidobalkar samt B-stolpar i Europa [Fig 1]. När det nu gällde den nya Acura MDX-modellen ville Hondas utvecklingscentrum i USA pröva ett nytt angreppssätt. För att kunna möta de alltmer stringenta, nordamerikanska kraven på krocksäkerhet och miljövänlighet bestämde man sig för att undersöka möjligheten att tillverka större och mer komplexa komponenter med hjälp av ämnesskarvning. Därför började man redan 2009 att utveckla en "dörröppningsram" i samarbete med ArcelorMittal Global R&D Automotive Applications Center som har sitt säte i Montataire strax norr om Paris. Här finns utrustningar för att efterlikna hela tillverkningskedjan av ämnesskarvade komponenter; konstruktion, simulering av varmformbarheten samt demonstratortillverkning innefattande laseravverkning av ytskiktet, lasersvetsning samt varmformning.

2011 uppgraderades Montataires 6 kW CO<sub>2</sub>-laserbaserade anläggning för ämnesskarvning så att det skulle gå att producera ämnen avsedda för varmförning [Fig. 2]. Den ursprungliga Rofin RS 860 HF-lasern byttes ut mot en diodpumpad disk laser med våglängd kring 1 µm. Således installerade man en Trumpf TruDisc med 5,3 kW effekt, med möjlighet att uppgradera till 8 kW, och stråldistribution via 200 alternativt 600 µm grova optiska fibrer. Samtidigt investerades i en ny ”q-switchad”, diodpumpad Nd:YAG-laser avsedd för avverkning av AlSi-beläggningen enligt vad som beskrivits ovan. Denna laser är en 450 W-enhet från RofinSinar med pulstider på några nanosekunder.

2014 års modell av Acura MDX använder sig av världens första ämnesskarvade och presshårdade dörröppningsram. Komponentens storlek framgår i gult i **Figur 3** och är tillverkad i olika tjocklekar av Bor-legerat stål. Lösningen innebär tre huvudsakliga fördelar; god energiupptagningsförmåga genom de kontinuerliga lasersvetsarna, optimerad vikt genom användning av ämnesskarvningstekniken, samt en förbättrad finish och geometri. Det senare är viktigt för att sidodörrarna senare skall kunna monteras med exakthet och minimala spalter.

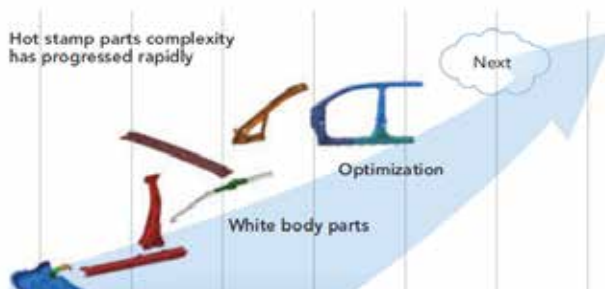
**Figur 4** visar hur och på vilka orter tillverkningen av denna dörröppningsram sker. Själva plåten, som levereras i form av stora rullar, tillverkas vid ArcelorMittals Indiana Harbor-anläggning. De skarvade plåtämnen produceras hos AMTB [ArcelorMittal Tailored Blanks] Pioneer i Ohio där man har sju (!) tillverkningslinjer, var och en utrustad med en högeffektlaser samt en helautomatiserad linje för ytskiktavverkning, vilken är den första i sitt slag i Nordamerika. I samma figur illustreras hur denna process går till. Ytbeläggningens övre skikt avverkas genom förångning medan underliggande skikt samt substratet inte skadas av någon värme. Detta går endast till åstadkomma genom höga laserpulser i MW-området och pulstider på några nanosekunder. Fogberedning måste göras av alla plåtkanter som senare skall lasersvetsas och då på såväl plåtämnenas ovan- som undersidor.

Det ursprungliga ytavverknings-systemet hos AMTB Europe använde sig av två stycken ”q-switchade” 450 W laserkällor från RofinSinar vilka levererade 75 mJ pulsenergi. Nu använder sig Pioneer av en förbättrad lösning vilken

innehåller en unik Rofin-laserkälla på 1 kW medeleffekt och 150 mJ i pulsenenergi, och där båda plåtytorna bearbetas simultant med hjälp av en stråldelarenhet. Kvaliteten på AlSi-avverkningen övervakas i realtid och två parametrar kontrolleras; avverkningsdjupet med en patenterad plasmaövervakning och avverkningsbredden med ett optiskt mätverktyg. Efter denna process sammansvetsas de två plåtar som representerar A- respektive B-stolpeområdena till ett komplett ämne för dörröppningsramen.

Också hos Pioneer har man uppgraderat ett tidigare använt CO<sub>2</sub>-laserbaserat system och använder numera en fastkroppslaser i form av en 5 kW fiberlaser från IPG Photonics som medger högre svets hastigheter. Man använder sig av ”beam sharing” genom att laserstrålen växlas mellan en arbetscell för tillverkning av vänster dörröppningsram och en för höger dito [Fig. 5].

Varmförning och konturskarvning [steg 3 i Fig. 4] av komponenterna sker hos MagnaCosma i Eagle Bend, TN,



Figur 1. Varmförningsteknikens tillväxt över tiden hos biltillverkaren Honda.



Figur 2. T.v. en översiktsbild över anläggningen för ämnessvetsning med laser i ArcelorMittals utvecklingscenter i Montataire, och t.h. det multifunktionella lasersvetsverktyget med kameraövervakning av fogföljning och svetsgeometri, samt enheter för lasersvetsning och -ablation.



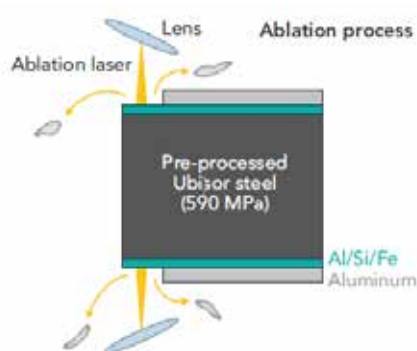
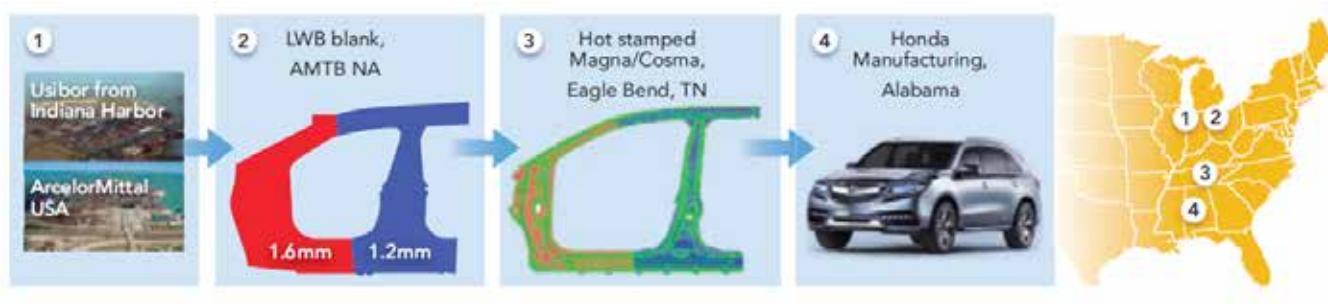
Figur 3. Karosstrukturen för Acura MDX med den ämnesskarvade ”dörröppningsramen” markerad i gult.

där plåtämnen värms upp till 930 °C och sedan formas med hjälp av var sin uppsättning formverktyg. Genom sina mått på 1.750×1.600 mm utgör dessa dörröppningsramar några av de största komponenter i världen som tillverkas medelst presshårdning. Efter avkylning och hårdning har plåtmaterialets hållfasthet ökat till 1.500 MPa med en hårdhet på över 480 Hv. Denna dramatiska ökning av materialegenskaperna gör det svårt att mekaniskt renklippa komponenterna, varför Cosma använder sig av

laserskärning för att konturskära och ta upp olika hål i de formade dörröppningsramarna. Genom att nyttja tredimensionell laserskärning undviker man en annars kostsam förslitning av konventionella klippverktyg.

Med den succéartade introduktionen av denna lösning på dörröppningsram blir det möjligt för konstruktörer att i framtiden designa ännu mer komplexa, lasersvetsade plåtämnen för att ytterligare förbättra karossegenskaperna. Man skulle exempelvis kunna tänka sig

en hel karossida som integrerar såväl A-, B- som C-stolpen, alltså en ”dubbel sidodörrsram”. Vidare kan man fantasera om att ersätta konventionella klipplinjer med höghastighetsskärning med laser utförd i direkt anslutning till avhaspningen från plåtrullen! Alltså än en gång: endast fantasin sätter begränsningar då det gäller att utnyttja lasertekniken! ■



Figur 4. Övan framgår de olika processtegen vid tillverkningen av Hondas nya dörröppningsram, samt på vilka orter de olika arbetsmomenten utförs. T.v. en principskiss hur fogberedningen innan lasersvetsning sker genom att aluminium/kiselskiktet avverkas med laserpulser.



Figur 5. Ämnesskärningsanläggningen hos AMTB i Pioneer, OH, med ytavverkningsstationen t.v. och svetsanläggningen för dörröppningsramen t.h. där en fiberlaser har ersatt den tidigare CO<sub>2</sub>-lasern.

# LaserDag hos Volvo Olofström och PDS Manufacturing

Hans Engström,  
Luleå tekniska universitet

LaserDagen i mars i år speglade två utvecklingstendenser inom fordonsindustrin nämligen remote lasersvetsning och 3D-laserskärning av pressade plåtkomponenter. Värd för dagen, vilken lockade hela 35 deltagare, var Jerker Bengtsson vid Volvo Cars. Dagen innehöll också ett besök hos PDS Manufacturing AB, ett nybildat laserlegoföretag med svetsning, lödning och skärning med laser på programmet.

Vid den förra Laserdagen hos Volvo Cars i Olofström i oktober 2011 var temat aluminium. Volvo stod då inför ett ganska omfattande byte av material från stål till aluminium i dörrar och andra påhängsdetaljer och arbetade hårt med att klara av de tekniska utmaningarna med bl.a. lasersvetsning i det ”nya” materialet. Den högsta Volvoledningen beordrade dock ”helt om” och det stora införandet av aluminium lades på is. Kostnadsskäl lär ha varit motivering till beslutet.

Vi anar nu att Volvo Cars nu står inför ett nytt tekniksprång med remote lasersvetsning, men detta erkänner de ännu inte officiellt. Man har också infört 3D-laserskärning i stor skala för att trimma de presshårdade detaljer de själva tillverkar numera. 3D-laserskärning är också en intressant teknik för det nybildade företaget PDS Manufacturing AB i Olofström.

## Presshårdning ny teknik hos Volvo

Den industriella verksamheten i Olofström startade redan 1735 berättade Magnus Nilsson, platschef vid Volvo Cars Olofström, då han inledde LaserDagen. Då anlades ett järnbruk vid Holje

å där energin togs från forsen som hade en fallhöjd på 20 meter. Man blev med tiden specialister på emaljerade plåtkärl och tillverkade också separatorn, som hade uppfunnits av Gustav de Laval, vilken köpte bruket 1884 och som då döptes om till Svenska Stålpressnings AB. Men det var år 1927 som Volvo lade ut tillverkning av pressade plåtkomponenter i bruket. Volvo köpte sedan bruket 1969 och som ett viktigt steg i utvecklingen byggdes den Övre fabriken 1974.

– Idag arbetar cirka 2000 personer hos oss, säger Magnus Nilsson, men 1988 var det cirka 5000. Arbetsstyrkan har minskat genom hög grad av automatisering, men också för att vi har ”out-soursat” mycket verksamhet. EBP i Olofström är ett företag som arbetar med både serieproduktion och eftermarknad för Volvos räkning.

– Volvo Olofström tillverkar komponenter och delsammansättningar till hela Volvokoncernen, berättar Magnus.



Bild 1.  
Jerker Bengtsson, laseransvarig vid Volvo Cars Body Components var värd för Laserdagen i Olofström.

Vi har en komplett verksamhet. Manufacturing Engineering gör konstruktion, beredning och verktygsutveckling och 30% av verktygstillverkningen sker ”in-house”. Pressning, som sker i 23 presslinjer, är annars den största verksamheten och har 60% av bemanningen. Linje 38 startade 2008 och har en 5-stegspress på 3200 ton med ett 5x2.8 m stort pressbord som kan pressa fyra dörrar i ett slag. Pressen gör 6-7 slag per minut och ställtiden är tre minuter.

Presshårdning är en ny verksamhet och där producerar man i två linjer. Bland annat pressas 18 av 42 artiklar till den nya XC90-modellen. Presshårdning kräver 3-D-laserskärning och man har därför installerat ett flertal stora laserskärmaskiner från Trumpf.

Delsammansättning görs i 118 linjer varav 96 är flexibla och där finns 600-700 robotar. Där ingår processer som laserlödning, limning och falsning, vid sidan om punktsvetsning.



Bild 2.  
Magnus Nilsson, platschef vid Volvo Cars Olofström, berättar om verksamheten under Laserdagen.

Volvo har också ett eget ”produktionssystem”; Volvo Cars Manufacturing System (VCMS) som bl.a. innehåller fem lean-principer och principer för ledarskap, avslutar Magnus Nilsson, innan han skyndar sig iväg till den dagliga verksamheten.

### Processeffektivitet vid CO<sub>2</sub>- och fiberlaserskärning

Jetro Pocorni, arbetar sedan tre år tillbaka som doktorand inom laserteknik vid Luleå tekniska universitet. Hans forskningsområde är laserskärning och där studerar han effektiviteten i skärprocessen och hur smältan rör sig i skärfronten. Arbetet ingår som en del i EU-projektet HALO (High Power Adaptable Laser Beams for Materials Processing), där Jetro arbetar med en ”state-of-the-art” undersökning om industriell laserskärning. Han belönades med ett fint pris vid ICALEO-konferensen 2014 för sin artikel och presentation i ämnet.

Vid LaserDagen berättade han om skillnader i processeffektivitet för CO<sub>2</sub>- och fiberlaserskärning i rostfritt stål. Han definierar den relativa skäreffektiviteten ( $\alpha$ ) som kvoten mellan smältans area (mm<sup>2</sup>) och den tillförda energin (kJ);

$$\alpha = v \cdot t / P \quad [\text{mm}^2/\text{kJ}]$$

där  $v$  = skärhastighet [mm/s],  
 $t$  = materialtjocklek [mm]  
 $P$  = lasereffekt [kW]

Jetros arbete visar, **bild 3**, att den relativa skäreffektiviteten är klart högre för fiberlaser än CO<sub>2</sub>-laser vid skärning i material med tjocklek mindre än cirka 8-10 mm. Detta beror på att den maximala absorptionen inträffar vid olika infallsvinklar för de två lasertyperna, vilket i sin tur beror på olika våglängder hos lasertyperna.

Detta är en förklaring till att den maximala skärhastigheten för fiberlaser är klart större än för CO<sub>2</sub>-laser vid skärning av tunnare material.

Jetro studerar också vad som händer i själva skärfronten genom höghastighetsfilmning av skärprocessen med en uppställning enligt **bild 4**. Först skärs en liksidig triangel med bas = 3 mm ut i materialet för att skapa ”fri sikt” mot skärfronten. Sedan filmas skärfronten när lasern skär in i materialet. Jetro har sedan utvecklat en algoritm som kan beräkna smältans hastighet nedför skärfronten.

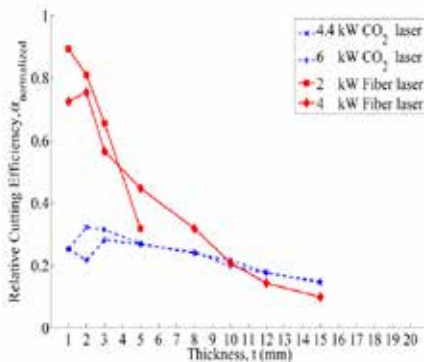


Bild 3. Relativ skäreffektivitet för fiber- och CO<sub>2</sub>-laser vid skärning av rostfritt stål.

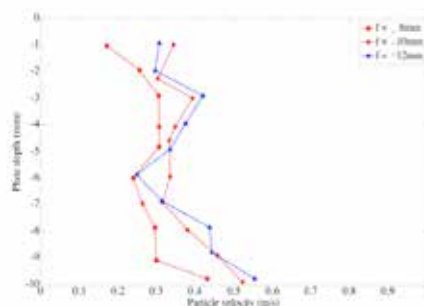


Bild 4. Försöksuppställning vid höghastighetsfilmning av skärfronten vid laserskärning. Bilden till höger visar en bearbetad bild där de gröna pilarna visar smältans hastighet nedför skärfronten.

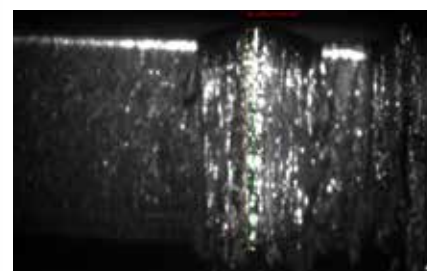
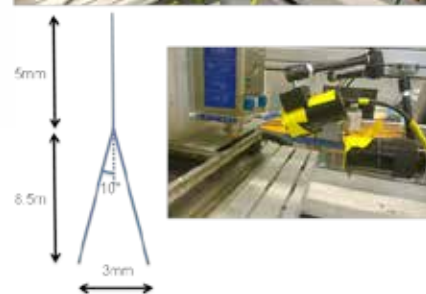


Bild 5. Partiklars hastighet längs skärfronten vid skärning av rostfritt stål med 6 kW fiberlaser. Data: Effekt 6 kW, skärhastighet 1.8 m/min, tjocklek 10 mm, N2 16 bar, fokalläge: -8 mm, -10 mm-12 mm.

Försök har också utförts med en industriell skärmaskin, Bystronic BySpeed 3015 med 6 kW fiberlaser, hos Bystronic Scandinavia i Rosersberg. Resultatet sammanfattas i **bild 5**.

Nästa steg i arbetet är att närmare studera och analysera de smältvägor som rör sig nedför skärfronten, avslutar Jetro Pocorni.

### Produktion i Danmark

I Danmark pågår sedan en tid projektet ”Produktion i Danmark” vilket drivs av FORCE Technology och Teknologisk Institut. Projektet finansieras av Styrelsen för Forskning och Innovation med sex miljoner under tre år.

– Projektet har flera teman, berättar Steen Erik Nielsen, FORCE Technology, där ett är lasersvetsning. Motivet för detta tema är att dansk industri har lagt ut mycket svetsning till låglöneländer så att det upplevs som om svetsningen i Danmark är inne i en kris. Projektet vill bidra till att stärka den danska

industrin genom att hjälpa till att öka användningen av lasersvetsning som en högeffektiv sammanfogningsmetod.

Projektet har fyra nivåer; nätverk och workshops, klusterbildning, Open Lab samt demo- och direkta projekt. Det första steget var att sälla ut vilka företag i Danmark som kan vara intressanta att arbeta med och från cirka 5000 företag som har verksamhet med relation till svetsning har man hittat 50 företag som är intressanta.

Steen Erik Nielsen berättar om fyra företag som man har arbetat med. Ett är KEN A/S som tillverkar tvättmaskiner för sjukhus, hotell och laboratorier. Där arbetar 20 personer med TIG-svetsning och i projektet har man gjort ett nivå 4 projekt och lasersvetsat ”skarpa” komponenter. Företaget har nu bestämt sig för att investera i en laserskärmaskin till att börja med men den ska vara försedd med en extra fiberutgång till en framtida svetscell.

Inom projektet har man också arrangerat workshops hos Danfoss och studieresor till Trumpf och Volvo.

– Projektet har visat att det finns en stor potential för lasersvetsning i Danmark och flera företag överväger att införa lasersvetsning, avslutar Steen Erik Nielsen.

#### Mera information:

www.produktiondanmark.dk

### Produktion i Kina

Permanova Lasersystem AB har en längre tid varit verksam på den kinesiska marknaden genom att man har följ med sina kunder som Volvo, ABB och Sandvik dit, berättar marknadschefen Björn Lekander. Möjligheterna är den stora marknaden och de låga lönekostnader som i Sverige motsvarar 80 000 \$/år medan de ligger på 16 000 \$/år i Kina.

Permanova har efter ett långt sökande hittat en partner i Kina; Tongyao Advanced Manufacturing Tech. Co Ltd.

Lönekostnaden i Kina är ett hot mot verksamheten i Europa fortsätter Björn, men lönekostnaderna är också mycket låga i Polen, Rumänien (16 000 \$/år) och Ukraina (5 700 \$/år).

– En stor utmaning är att förstå vem som är slutkund i en affär i Kina, säger Björn. En annan är om man ska ha en partner eller dotterbolag i Kina. Det krävs exportlicenser för att kunna leverera till Kina och importlicenser för kinesiska företag för att kunna importera varor.

Hur ska vi då klara konkurrensen från Kina??

– Det gäller att förädla och det krävs ständig utveckling, avslutar Björn Lekander.

### Laserskärning presshårdade detaljer

Presshårdade detaljer är en stor verksamhet inom fordonsindustrin, berättar

Mikael Olsson, Trumpf Maskin AB. Tekniken ger möjlighet till viktminskning och ökad krocksäkerhet.

Presshårdning kräver också hålltagning och renskärning och laserskärning har därför blivit en kompletterande teknik med stor marknad där flera hundra 3D-laserskärmaskiner säljs årligen. En typisk sådan är TruLaserCell 8030 med en 3 kW disk laser med 100 mikrometer fiber.

### Remote lasersvetsning på gång

Remote lasersvetsning (eller fjärrlasersvetsning som det heter enligt svensk officiell nomenklatur) är en teknik som stadigt har vuxit sedan den introducerades av Rofin för många år sedan. Inom bilindustrin har Mercedes och flera andra företag satt tekniken i produktion med lyckat resultat.

– Remote lasersvetsning ger många fördelar, säger Jerker Bengtsson, lasersvarig vid Volvo Cars Olofström. Den är enkelsidig, ger mindre flänsbredd, kortare cykeltider och kräver mindre produktionsutrustning och produktionsyta. Den ger också bättre processegenskaper och hög flexibilitet genom att svetsens form enkelt kan programmeras.

Remote laser svetsning sker ”on-the-fly” där det sker en kombinerad rörelse mellan roboten och det ”scanner-huvud” som sveper strålen över arbetsstycket. Det finns ett antal processförut-sättningar som ska vara uppfyllda t.ex: överlappssvets, spalt mellan plåtarna, fixering vid varje svetsställe, hög laserefekt och bra strålkvalitet, processövervakning, och svetsning utan skyddsgas.

Remote lasersvetsning är mycket snabb och ger en svetsetid på 0,3 sekunder/svets. För att åstadkomma en spalt mellan plåtarna gör man fem små ”punktsvetsar” i ena plåten med lasern vilket skapar fem små upphöjningar

(dimples) på 0.1-0.2 mm, och dessa ger spalten.

– En komplett dörrlinje betjänas av en operatör och är cirka 20x 20 meter och har en cykeltid på cirka 70 sekunder för färdig dörr, säger Jerker.

Men det finns också nackdelar.

Utrustningen kostar cirka 10 miljoner kronor/laser cell. Det krävs spalt mellan plåtarna och fixturering vid varje svetspunkt. Det ställs också höga krav på lasersäkerhet och kvalitetskontroll för att undvika bl.a. så kallade ”false friends”.

På en direkt fråga om Volvo har några planer på att införa remote lasersvetsning svarar Jerker Bengtsson med ett antydan till ett leende: Nästa fråga tack!

### PDS Manufacturing satsar på laserskärning

PDS Engineering AB i Olofström är ett företag som huvudsakligen arbetar med automatiseringslösningar bl.a. till fordonsindustrin. Men efterhand har de i samverkan med sina kunder övertagit produktionsutrustning från Audi för att tillverka reservdelar för eftermarknaden till flera olika modeller. Utrustningen består av robot-laserceller för laserlöding och lasersvetsning.

Laserverksamheten har stadigt expanderat och nu har man överfört produktionen till ett nybildat företag, PDS Manufacturing AB, och investerat i en helt ny 1130 m2 stor fabrikslokal. Tillverkningen åt Audi är bl.a. laserlöding av helsida till Audi A3 och baklucka till Audi A6, samt lasersvetsning av bakluckan till Audi A8.

Verksamheten drivs av Ewe Westesson, Fredrik Arnell och Peter Runesson och man har nu 8 anställda.

Man har också sett behovet att kunna laserskära 3D-detalljer till sina kunder och har därför investerat i en helt ny



Bild 6. Fr. v. Björn Lekander, Permanova Lasersystem AB, Steen Erik Nielsen, FORCE Technology och Jetro Pocorny, Luleå tekniska universitet gav intressanta presentationer under LaserDagen.



Bild 7. Mikael Olsson, Trumpf Maskin AB berättade om laserskärning av presshårdade detaljer.



Bild 8. Deltagarna vid LaserDagen samlade framför PDS Manufacturing's nya fabriksbyggnad i Olofström.

robot-laser skärcell med Motoman-robot från Yaskawa Nordic AB, 4 kW diodlaser från LaserLine och skärhuvud YK52 från Precitec. Diodlasern delas genom "time-sharing" mellan skär- och svetsstationen. Yaskawa har ansvarat för robotinstallationen medan PDS själva har konstruerat de två laddnings- och lossningsborden och integrationen i skyddskabinen. Programmeringen av roboten sker off-line.

Man var vid besöket inne i en process att "köra in" laserskärcellen och lära sig mera om lasersvetsprocessen enligt filosofin "skynda långsamt" och lära sig efterhand som man expanderar produktionen.

LaserDagen avslutades sedan med en visning av en presshärdsningslinje hos Volvo. Den avslutas med flera TruLaser-Cell 8030 3D-skärmaskiner från Trumpf, som utför håltagning och renskärning av de presshärdate komponenterna.

LaserGruppen tackar för det trevliga och intressanta arrangemanget.

**Mera information om PDS Manufacturing finns vid:**  
www.pdsengineering.se

## Olofströms bakgrund

År 1735 anlades ett järnbruk vid Holje å. Men det var först sedan en driftig Karlshamnbo, Olof Ohlsson, tagit över verksamheten år 1759 som den tog fart på riktigt. Det är denne entreprenör som gav namn åt Olofströms bruk och så småningom det samhälle som växte upp runt det.

Ur pressmeddelande från Volvo: "Bruket var under 1700- och 1800-talet huvudsakligen inriktat på svartsmide och produktion av halvfabrikat av järn, tex stångjärn och järnplåt. Över tiden förändrades produktionen successivt. Emaljerade kärl blev en stor framgång i det sena 1800-talet liksom tillverkning av separatorer till den kände svenske uppfinnaren och industrimannen Gustaf de Laval som köpte verksamheten 1884 och döpte om det till Svenska Stålpressnings AB.

Emaljerade kärl blev omodernt på 1920-talet och rostfritt tog över både i hemmen och i produktionen på Olofströms Bruk. Parallellt med detta fick Bruket förfrågan om tillverkning av karossdetaljer till det nystartade företaget Volvos första bilprojekt Jakob (ÖV4).

Det visade sig bli starten på ett långt samarbete.

Sedan 1927 har Olofström levererat karossdetaljer till samtliga Volvobilar och under flera år på 50- och 60-talen levererades kompletta karosser till monteringsfabriken i Göteborg. Med Amazonen och nybyggda Torslandaverken 1964 inriktades produktionen alltmer mot karossdetaljer. 1969 köpte dåvarande AB Volvo verksamheten och namnet blev Volvo Olofströmsverken.

Fokus på kärnverksamheten, dvs pressning och delsammansättning av karossdetaljer blev då fastlagd och är lika aktuell nu som då."

275 år efter det första kungliga privilegiebrevet för bruket vid Holjeån tillhör verksamheten sedan drygt 40 år Volvo PV och är en högteknologisk tillverkare av karossdetaljer till samtliga Volvo Personvagnars bilmodeller. Olofströmsfabriken levererar även till externa kunder som Volvo Lastvagnar, Ford och Land Rover.



Bild 9.  
Fredrik Arnell (t.v.) och Ewe Westesson,  
PDS Manufacturing AB.



Bild 10.  
Den nya laserskärcellen hos PDS Manufacturing. En takhängd Motoman med Precitec skärhuvud YK52 skär ämnen och pressade plåtdetaljer med en 4 kW diodlaser från LaserLine.



Bild 11.  
En av de laserceller PDS Manufacturing har övertagit från AUDI för produktion till eftermarknaden.



Bild 12.  
Ewe Westesson, PDS Manufacturing diskuterar skärresultat med några av deltagarna.

# Lasermärkning av pulverlackerade aluminiumhjul

Johnny K Larsson,  
Volvo Cars

Alltsedan det tidiga 1950-talets ”hot-rod”-dagar har bildesigners och privatpersoner använt specielltillverkade hjul för att ge sina fordon en personlig prägel, vilket gjorde att eftermarknadens hjultillverkning kom att öka för att tillgodose denna efterfrågan. Under senare år har branschen upplevt en aldrig tidigare skådad tillväxt, vilket delvis går att återkoppla till möjligheterna med avancerad CNC [Computer Numerical Control] -bearbetning, något som ledde till att en hjultillverkare önskade göra försök med att märka sina pulver- och klarlackerade hjul med laserteknik.

Ett märkverktyg ur den s.k. FH-serien, i kombination med en Firestar t-serielaser och märkningsmjukvaran WinMark Pro, tillhandahöll stråldistribution och kontroll av lasereffekten vid skärförsöken. ”FH”-verktyget var utrustat med en HP [High Power] -lins med 125 mm fokallängd som gav en 180 µm stor fokalpunkt med 3 mm skärpedjup.

Den fiktiva ”West Coast Wheels”-logotypen skapades i WinMark Pros ”Drawing Editor” genom att använda typsnittet TrueType® med en texthöjd på 4,75 mm. Vid skapandet av ordet ”Wheels” modifierade man textbredds- och blankstegsinställningarna från de standardiserade inställningarna. Siffrorna som anger hjulstorleken märktes med typsnittet ”European” som är ett av de 12 typsnitt som ingår i basversionen av WinMark Pro [Fig. 1].

För att märka såväl de pulverlackerade som klarlackerade hjulen användes 58 W lasereffekt. De pulverlackerade märktes med en hastighet av 22,5 ”/sek [= 571,5 mm/sek], medan de klarlackerade krävde en något långsammare pro-

cesshastighet eller 15 ”/sek [= 381 mm/sek]. Den totala cykeltiden för att märka såväl logotyp som text var 0,70 sekunder för de pulverlackerade objekten och 0,94 sekunder för de klarlackerade! Det visade sig vara möjligt att märka dessa hjul utan att man brände igenom lackskiktet och på så sätt förhindras möjligheterna att aluminiummaterialet kommer att korrodera eller på annat sätt skadas.

## Laserskärning av rostfria slitstål

Rostfria stål i 440-kvalitet är de starkaste, hårdaste och mest slitåliga av alla tillgängliga rostfria legeringsalternativ som finns på marknaden. Dessa egenskaper gör att rostfritt 440-material blir ett förstahandsval för krävande applikationer som exempelvis kirurgiinstrument, skärklingsor, kullager och ventiltillbehör vilka många är utsatta för hög belastning och förslitning. Materialets höga hårdhet ställer till problem vid traditionell mekanisk maskinbearbetning, något som i många fall kan elimineras om man i stället använder sig av laserskärning [Fig. 2].

I den här refererade applikationen krävde kunden ett spår inskurit i en 0,25 mm tjock, rostfri plåt i kvalitet 440A. När skäroperationen genomfördes med en konventionell metallklinga blev snittkanterna ojämna och sönderbrutna p.g.a. att avsevärda skjuvkrafter ansattes mot skärkanten på den mycket hårda rostfria legeringen. CO<sub>2</sub>-laserskärningens kontaktlösa metod eliminerade dessa problem.

För att demonstrera möjligheterna med laserskärning använde man sig av en 400 W Synrad-laser, vilken kombine-

rades med ett x-y-bord och ett skärverktyg utrustat med en lins med 2,5” [= 63,5 mm] brännvidd vilket gav en 100 µm stor brännfläck på arbetsstycket. Ren kvävgas användes som assistgas vilken tillfördes via en munstycksöppning med 0,9 mm diameter under ett tryck på 100 PSI [Pounds per Square Inch = ~7 bar]. Med dessa parametrar kunde det rostfria 440A-materialet skäras med en hastighet av 100 ”/min [= 2,5 m/min]. Skärkanterna blev jämna, blanka samt fria från oxider tack vare att kväve hade använts som assistgas, och förekomsten av skärgrader var näst intill obefintlig men kunde lätt borstas av efteråt.



Figur 1. Kundlogotypen på det här utsnittet från ett pulverlackerat hjul märktes med 58 W laser-effekt och en processhastighet på 22,5 ”/sek (=571,5 mm/sek), vilket gav en sammanlagd cykeltid på 0,70 sekunder!

## Märkning av anodiserade aluminiumetiketter

Att märka anodiserat aluminium är en annan klassisk CO<sub>2</sub>-laserapplikation. Under märkningsprocessen bleks pigmentet i den anodiserade ytbeläggningen av laserstrålen varför den skyddande beläggningen bevaras intakt.

I den här applikationen avsåg man att märka anodiserade, etikettliknande aluminiumplattor genom att använda 40 W lasereffekt och på så sätt helt avverka den svarta anodiserade ytbeläggningen. Det åttaställiga serienumret i den övre anodiserade rektangeln skapades i typsnittet TrueType® med en texthöjd på 4,2 mm. Därpå utfördes en

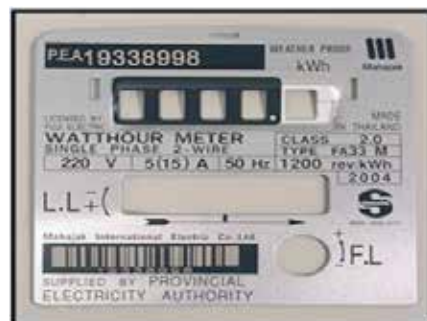
UCC [Uniform Commercial Code] -128 sträckkod med 5,1 mm höjd placerad i den undre rektangeln. Under streckkoden skapade man en läsbar text genom att använda ett av standardtypsnitten i programvaran WinMark Pro [Fig. 3].

För att eliminera risken för felmärkning, då många "etiketter" skall innehålla samma funktion, innehåller programvaran två automatgenererande funktioner som gör det möjligt att länka texten från ett objekt, där den skapats via ett tangentbord eller en importerad text-fil, till ett annat objekt. Dessa egenskaper garanterar att datainformationen förblir synkroniserad under hela märkningsprocessen.

För att märka de här beskrivna "etiketterna" valdes ett "FH"-märkverktyg med en lens med 125 mm brännvidd. Linsen åstadkommer en minsta möjliga brännfläck med 180 µm diameter, vilken kan projiceras över en yta stor nog för att täcka in samtliga de tre ovan beskrivna objekten. Dessa utfördes med 40 W lasereffekt och en hastighet av 2,5"/sec [= 63,5 mm/sek], och cykeltiden för märkning av en "etikett" låg på 23,8 sekunder. Efter det att lasermärkningen hade utförts kontrollerade man att sträckkoden var korrekt genom att läsa av densamma med det manuella verktyget Microscan MS-Q Quadrus Handheld Imager.



Figur 2. T.v. ett mekaniskt skurit rostfritt stål av 440A-kvalitet, vilket uppvisar en bedrövlig kvalitet då metallklingan skapar skjuvkrafter som resulterar i ojämna och sönderbrutna snittkanter, medan bilden t.h. illustrerar resultatet från en kontaktlös CO<sub>2</sub>-laserskärning med en kontinuerlig och jämn snittkant.



Figur 3. Den serienummerrelaterade datan i de båda svartoxiderade rektangelarna märktes med 40 W lasereffekt och en processhastighet av 2,5"/sec (= 63,5 mm/sek), vilket gav en total märkningstid på 23,8 sekunder per "etikett".

## Fortsättning från sidan 36 "Laser Additive Manufacturing"

– Jag tror på en större maskin senare, berättar Håkan. Några av de detaljer vi kör idag i metall är för stora för maskinen (byggvolym 250x250x325 mm<sup>3</sup>), så de bygger vi i två delar som vi sedan kan lasersvetsa. Vi satsar på att bli störst och duktigast inom additiv tillverkning och ingen av våra konkurrenter kan idag erbjuda både plast och metall. Lasertech håller seminarier i ämnet Additiv tillverkning och hittills har mer än 500 personer besökt företaget för att ta del av tekniken.

– Jag tror framtiden är tillverkning i mindre serier av komplicerade komponenter. Det ska helst vara en detalj som man inte kan tillverka på annat sätt. Man måste tjäna på LAM. Ett bra exempel är tillverkning av verktyg för formsprutning där utformning och placering av kylkanalerna kan optimeras, vilket ger 50-70% ökad produktivitet i formsprutprocessen. Tekniken behöver

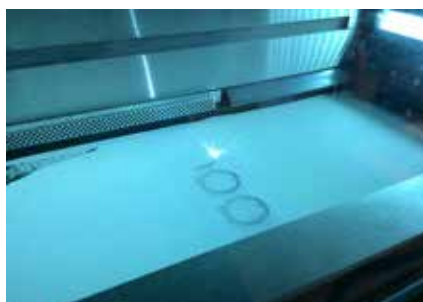


Bild 2. Industriell tillverkning med LAM – pågående process och hantering av färdig detalj.



Bild 3. Verktøy med kylkanaler – 3D laserprint i verktygsstål.

inte vara så dyr heller – vi har exempel få komplicerade detaljer som vi kan tillverka för 70 kr/st i serietillverkning. Tekniken bidrar också till snabbare produktutveckling; vi kan få en order på fredag som ska levereras på måndag och det klarar vi, avslutar Håkan Holmqvist.

**Mera information:** [www.lasertech.se](http://www.lasertech.se)

# Laserbeläggning med pulver

Dr Conny Lampa, Höganäs AB

Laserbeläggning, eller Laser Cladding, är en ytbeläggningsmetod som används både vid ny tillverkning och vid reparation och underhåll av komponenter. Användningsområdet är omfattande, från mycket små detaljer till produkter i det närmaste obegränsade i storlek. För slutanvändaren medför tekniken stora kostnadsbesparingar i form av ökad komponentlivslängd och högre prestanda. Liksom för andra laserbearbetningsmetoder är det egenskaper som låg värmeförlust och hög precision som gör laserbeläggning intressant jämfört med annan ytbeläggningssteknik. Låg värmeförlust medför en mycket liten uppblandning med grundmaterialet och en begränsad termisk påverkan på komponenten som beläggs. Processen ger dessutom ett tätt skikt med fullständig metallisk bindning till grundmaterialet.

Vid laserbeläggning kan tillsatsmaterialet tillföras antingen som tråd eller i pulverform. Den här artikeln fokuserar på pulver som tillsatsmaterial.

## Egenskaper

Vid val av tillsatsmaterial är man oftast ute efter specifika egenskaper, eller kombinationer av dessa;

I det enklaste fallet har man en produkt som har utsatts för slitage och det enbart är intressant att återställa detaljen i ursprungligt skick. Då väljer man att belägga med ett likartat material som grundmaterialet.

I andra fall kan man vara ute efter att förbättra produktens nötningsegenskaper, dess förmåga att motstå korrosion och/eller att optimera ytans tribologiska egenskaper. Vid nyproduktion är det



Figur 1. Reparation av långa pannrör genom laserbeläggning. Processhuvudet är monterat på en industrirobot. Bilder: Whertec

då fördelaktigt att använda ett billigt basmaterial för att sedan ytbelägga med ett högpresterande skikt som har just de egenskaper som efterfrågas.

## Utrustning

Vid laserbeläggning används med fördel laserkällor med våglängder omkring 1 mm, det vill säga fiber-, disk- samt diodlasrar. Dessa våglängder absorberas effektivt av metallpulver och basmaterial och man har dessutom möjlighet att transportera laserljuset via optisk fiber till processhuvudet, vilket ger en ökad flexibilitet för processen. Processhuvudet går med fördel att montera på en industrirobot, (Fig. 1).

Det finns flera olika typer och modeller av pulvermatare att tillgå. Det viktiga är dock att tänka på att pulvermataren ger ett jämnt pulverflöde och att transportvägen mellan matare och

processhuvud är så kort som möjligt. Det är dessutom angeläget att regelbundet utföra underhåll på pulvermatarens slitagedelar. Pulvret transporteras från pulvermataren till processhuvudet med en inert bärgas, oftast argon, och via slangar till processhuvudet.

I dag används flera olika typer av munstycken för att applicera pulvret på substratet. Man särskiljer mellan koaxiell matning, det vill säga munstycken där pulvret tillförs symmetriskt runt laserstrålen, och lateral matning, pulvertillförel från sidan. Koaxialmunstycken har sina fördelar, bland annat att de är riktningsoberoende, har hög precision och ger ett högt pulverutnyttjande. Munstycken med matning från sidan används oftast när man vill lägga på mycket pulver, tjocka och breda skikt. Man får då också räkna med lite mer pulverspill.

## Att välja pulver

Den kemiska sammansättningen av pulvret ger de belagda skiktet dess unika egenskaper, (Fig. 2). Höganäs AB tillverkar nickelbaserade, koboltbaserade samt järnbaserade pulver. För ökad slitstyrka kan även volframkarbider i metalmatris tillhandahållas.

## Nickelbaserade pulver

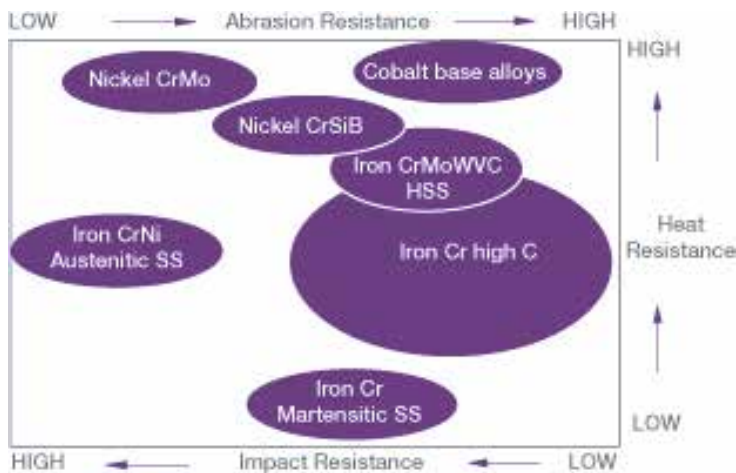
Nickelbaserade pulver, exempelvis 625, har ett stort användningsområde, speciellt i applikationer där god nötningsbeständighet efterfrågas och där det underliggande stålets korrosionsmotstånd är otillräckligt. Typiska applikationer är beläggning av slitdetaljer inom kemisk processindustri, förbränningsystem samt marina applikationer etc. Med tillsats av volframkarbider ökar nötningsmotståndet ytterligare.

## Koboltbaserade pulver

Koboltbaserade pulver har en högre varmhållfasthet och kan ibland vara det enda alternativet i applikationer som kommer att utsättas för höga eller varierande temperaturer. Koboltbaserade pulver går att få i hårdhetsgrader upp till 650 HV30 och används framförallt på till exempel ventiler, ventiltätningar, pumpar, turbinblad och tätningsringar.

## Järnbaserade pulver

Järnbaserade pulver erbjuder en stor bredd av egenskaper till relativt låg kostnad jämfört med de högre legerade pulvren. Järnbaserade pulver finns att få i hårdhetsintervallet 200-800 HV30. De har generellt inte lika bra korrosionsmotstånd som nickel- och koboltbaserade pulver om man även efterfrågar goda nötningsegenskaper och varmhållfasthet. Höganäs AB tillverkar bland annat järnbaserade pulver i rostfritt stål såsom 304L, 309L 316L, 316HC och 410L,



Figur 2. Egenskaper hos olika metallpulver.

austenitiska stål med goda slitenskaper och verktygsstål lämpliga för applicering på skärande verktyg.

## Applikationsexempel: Reparation av propelleraxel

En 11,5 meter lång propelleraxel med diameter på 65 centimeter och vikten 26 ton (Fig. 3) hade utsatts för korrosion och slitage och behövde bytas ut. Kostnaden för en ny axel ligger på cirka 150 000 Euro. Konventionellt reparerade axlar är tillåtna att använda i cirka 6 månader enligt gällande certifiering. Med laserbeläggning godkände certifieringsorganen emellertid den reparerade axeln för permanent användning.

Reparation av slitna propelleraxlar med konventionella reparationsmetoder har av tradition varit en temporär lösning i väntan på leverans av en ny axel. Laserpåsvetsning däremot är en kontrollerad och automatiserad process som har den precision som krävs för att kunna användas vid reparation av kvalificerade och kritiska komponenter.

Innan påsvetsningen kunde utföras analyserades axeln för att säkerställa vilket material den bestod av. Syftet var att välja ett pulver som var svetsbart med samma material. Dessutom slipades de skadade ytorna för att eliminera alla ytdefekter.

Materialet i axeln visade sig vara ett kolstål med medelhög kolhalt, cirka 0,42 viktprocent. Kravet på tillsatsmaterialet var att det skulle ha låg sprickkänslighet vid både höga och låga temperaturer, erbjuda en stabil svetsprocess och kunna beställas i stora kvantiteter till acceptabel kostnad.

På grund av kostnadskravet diskvalificerades de högpresterande kobolt- och nickelbaserade materialen. Som buffertlager valdes i stället det austenitiska rostfria stålet 316L och som yttersta lager det martensitiskt rostfria stålet 410L.

Det skadade området på axeln mätte cirka 2 m längs axeln, se figur 4. Slitaget nådde bitvis ner till 23 mm djup. Påsvetsningen tog cirka 100 timmar, det vill säga mer än fyra dygn, utan avbrott. Omkring 300 kg pulver användes [1].

*Fortsättning på sidan 24*



Figur 3. Propelleraxel, 11,5 m lång med en vikt på 26 ton.



Figur 4. Det skadade området på propelleraxeln.

# Lasertech LSH AB satsar på Laser Additive Manufacturing

Hans Engström,  
Luleå tekniska universitet

Lasertech LSH AB i Karlskoga har länge intresserat sig för Laser Additive Manufacturing (LAM) och har nu satsat på tekniken genom att investera i flera maskiner.

– Intresset för LAM började redan 2006, berättar Håkan Holmqvist, platschef och en av grundarna av Lasertech. En av delägarna insåg tidigt framtiden med denna teknik, och började träffa leverantörer som EOS. Men vi upplevde då att det inte fanns tillräckligt bra laserkällor till maskinerna, men med fiberlaserns intåg på marknaden så förändrades situationen.

Det blev flera besök på mässor som EuroMould och man tittade på maskiner från EOS, SLM och Arcam. Valet föll på den nya maskinen M290 från EOS med 400 W fiberlaser för tillverkning av produkter i metall och samtidigt köpte man en plastprinter, EOS P396, med 80 W CO<sub>2</sub>-laser.

– Dessa investeringar ingick i ett större paket då vi även investerade i en 8 kW disk laser med robot från Trumpf utrustad med LMD-utrustning (Laser Metal Deposition) för laserpåsvetsning. Totalt investerade vi för 18 miljoner kronor med en omsättning på 14 miljoner, berättar Håkan. Sedan installationen av EOS M290 i oktober 2014 har vi haft körningar hela tiden och just nu kör vi ett jobb som tar 130 timmar.

Lasertech har bland sina många kunder många stora företag som alltid är intresserade av ny teknik, vilket har bidragit till att man har satsat på LAM. Man är också med i Tillverkningsstekniskt Centrum, TTC, i Karlskoga, där man samarbetar med SAAB Dynamics AB, Bofors Testcentrum och Science



Bild 1.  
Exempel på komponenter tillverkade i metall och plast med LAM hos Lasertech LSH AB.

Park vid Örebro Universitet. Där pågår bl.a. ett nationellt forskningsprojekt med titeln ”Optimerad produktionsprocess för Additiv Tillverkning” med finansiering från VINNOVA. Målet med projektet, som är på 10,8 miljoner kronor, är att stärka den svenska industrins konkurrenskraft genom ökat kunnande och nyttjande av 3D-printing i metaller som produktionsmetod. Genom Örebro Universitet så har man tillgång till en 3D-tomograf för att scanna detaljer. Det har man bl.a. utnyttjat för att köra ”reversed engineering” i plast.

– EOS levererar kompletta produkt-datablad, berättar Håkan, med utprovade, verifierade parametrar som ger verifierade hållfastegenskaper hos de komponenter som 3D-printas i metall. Så det finns ingen anledning att köra provstavar för att forska på om hållfasthet/täthet, data finns redan framtaget.

– Vi har kört mer än 130 olika detaljer sedan starten i oktober förra året.

Kunderna finns inom den tunga fordonsindustrin, offshore, flyg (ej flygande detaljer) racing m.fl. Och investeringen bär sig redan!

Seriestorlekarna är från enstycks-tillverkning till flera hundra detaljer. I plast kör vi t.ex. serietillverkning i 50Al/50plast (vanligt material) i serier om 200 stycken. Till racing kör vi 8-10 detaljer och kunden beställer efter behov. Komponenter tillverkas i Inconel och blir av mycket hög kvalitet.

Lasertech bygger mest i verktygsstål, Inconel och aluminium. Minst kör man i titan. För varje nytt material man använder köper man parametrar från EOS vilka ger detaljer av dokumenterad kvalitet. EOS uppger att varje nytt pulver tar cirka 4 år att kvalificera.

*Fortsättning på sidan 33*

# Nyckelhålsdjupet är bara en sträcka

## – Precitec´s IDM-sensor förbättrar lasersvetsprocesserna

Thibault Bautze och Marcus Kogel-Hollacher, Precitec GmbH & Co KG, Gaggeanu.  
Bearbetad av Hans Engström, Levitronics Lasersystem AB

När man pratar om lasersvetsning talar man huvudsakligen om hur nyckelhålet genereras och fysiken bakom detta, samt djupet på denna ångfyllda kavitet. Att ha möjlighet att mäta detta djup skulle otvivelaktigt öka förtroendet för lasersvetsprocessen, samt också höja kvaliteten på svetsade delar till en högre nivå.

Med IDM-sensorn (In-Process Depth Meter) har Precitec utvecklat ett sensorsystem som kan mäta djupet på nyckelhålet under svetsprocessen. Med en bas i låg-koherent interferometri, med hög robusthet hos de uppmätta värdena mot emissionerna i processen, så är systemet perfekt kvalificerat att ge industrin de mätningar som man har efterfrågat i decennier.

Som en ledande tillverkare av processhuvuden för laserbearbetning är Precitec kapabel att erbjuda en lösning som är enkel att integrera i existerande optik. Och som en ledande tillverkare av kontaktfria mätsystem är företaget också kapabel till att reducera hårdvaran till den mest kompakta storleken. Båda har visat sin industriella lämplighet i hundratals applikationer.

En stor anledning till den ökade användningen av laser i många områden inom industriell produktion är den ökade effektiviteten i jämförelse med andra tekniker. En annan anledning är laserstrålen som ett unikt verktyg i sig. För att verkligen dra nytta av att använda detta verktyg, så är en högt automatiserad kvalitetskontroll av produktionen nödvändig.

Lasersvetsprocessen erbjuder flera möjligheter till processövervakning eller processtyrning, men komplexiteten

hos processen, vars resultat beror på ett flertal processparametrar, underlättar inte användningen.

Eftersom bara en kontinuerlig övervakning av tillverkningsprocessen kan garantera den höga kvaliteten på tillverkade delar som efterfrågas, så har processövervakningssystem blivit mer och mer standardutrustning i laserapplikationer. Det finns inget tvivel om att basen för tillförlitligheten hos on-line processövervakningssystem är möjligheten att mäta signifikanta indikatorer i interaktionszonen och dess närmaste områden.

En av de mest signifikanta bitar av information som måste mätas för att definiera hållfastheten i svetsen med hänsyn till mekanisk last och spän-

ningar är djupet på nyckelhålet. Det har gjorts många försök att hitta en sensortechnologi som på bästa sätt upptäcker en korrelation mellan djupet på nyckelhålet och den uppmätta signalen. Dessa försök har diskuterats intensivt inom forskning och utveckling och några har funnit sin väg till industriella applikationer. Det vanliga kännetecknet hos dessa lösningar är att de kräver en basförståelse av interaktionen mellan laserstråle och materialet för att korrelera signalen med kvalitetskriteriet. Dessa system ger en uppskattning och inte det verkliga djupet på nyckelhålet.

IDM systemet är kapabel att verkligen mäta djupet på nyckelhålet. Teknologin och jämförelsen mellan existerande sensorsystem och applikationsresultat är innehållet i denna artikel.

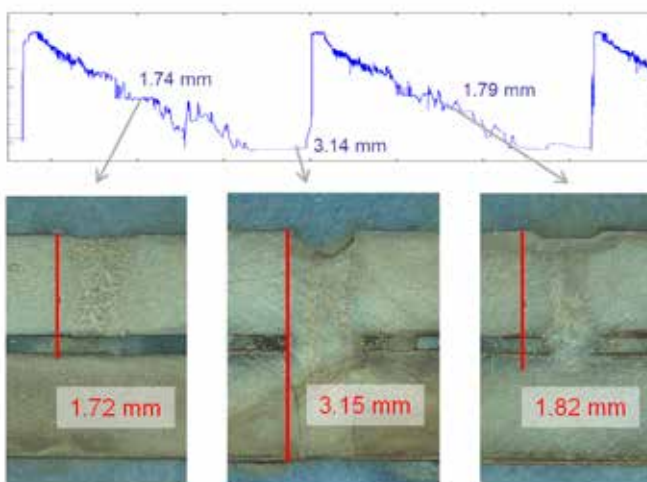


Fig.1. Uppmätt penetration (blå kurva) och resultat från svetsstvarsnitt; sågtandsvariationen i lasereffekten medför en variation av penetrationsdjupet vid överlappsvetsning av galvaniserat stål.

## Resultat av laboratorie- och applikationsförsök

Den grundläggande mätprincipen för IDM-sensorn tillåter användaren att mäta avståndet till vilken yta som helst med hög axiell och lateral (sido) upplösning. Den är sålunda oberoende av processparametrar och kan mäta svetsdjupet hos alla processer, förutsatt att det finns ett nyckelhål. Trots det så kan egenskaperna hos nyckelhålet inverka på kvaliteten hos mätsignalen. Därför testas IDM på en mängd olika applikationer för att visa dess funktionalitet. Möjligheten att mäta djupet på nyckelhålet har testats upp till 9 mm penetrationsdjup och 20 m/min svets hastighet.

Ett illustrativt exempel är överlappsvetsning av tunnplåt som t.ex. vid svetsning av karosser inom fordonsindustrin. En 1.5 mm plåt av galvaniserat stål (H340LAD) och en 1.5 mm plåt av borstål (22MnB5) som separeras med en spalt på 0.1-0.2 mm svetsas med 3 m/min med fiberlaser. För att skapa en variation av penetrationsdjupet varieras lasereffekten mellan 2800 W och 400 W med en sågtandssignal vid 1.5 kHz.

**Fig. 1** visar tre olika tvärsnitt av svetsen jämfört med IDM-resultatet. Huvudbudskapet är att IDM-signalen kan användas för att med stor noggrannhet bestämma egenskaperna hos svetsprocessen; i fallet med värden nära eller under 1.7 mm så finns inget nyckelhål i den undre plåten. IDM-värden mellan 1.7 till 3.1 mm visar på penetration i den undre plåten, medan värden större än 3.1 mm resulterar från full penetration. I fallet med genompenetration så minskar mängden av reflekterat mätljus från botten av nyckelhålet vilket dessutom tillåter detektering av genompenetration.

I **Fig. 2** visas ett tvärsnitt längs svetsen för en lasersvets i 5 mm tjock plåt med en överlagrad IDM-signal. Lasereffekten varierades med en sinusformad signal. Små avvikelser mellan det uppmätta djupet och tvärsnittet beror på en avvikelse mellan svetsens verkliga centrum och tvärsnittet. Man kan notera att nyckelhålet kollapsar vid mycket små penetrationsdjup, vilket leder till en diskontinuerlig signal. Värmeledningssvetsar har inget nyckelhål och sålunda kan inte penetrationsdjupet mätas. I kombination med Laser Welding Monitor (LWM) så kan de minsta avvikelser från ett referensdjup detekteras. Ett annat sätt att använda IDM-signalen är att sätta upp en profil

för lasereffekten med varierande parametrar, som hastighet, materialegenskaper eller fokushift. Genom att då analysera IDM-signalen så kan man göra korrekationer i laserprogrammet för att erhålla ett konstant penetrationsdjup. Adaptiv kontroll av penetrationsdjupet i realtid är i sikte.

För att visa noggrannheten hos mätsignalen så gjordes försök hos Institute für Strahlwerkzeuge (IFSW) i Stuttgart med att samtidigt detektera IDM-signalen och röntgenbilder. **Fig. 3** illustrerar IDM-signalen och on-line röntgenmätningar av nyckelhålet.

Det råder inget tvivel om att processövervakningssystem med en kombination av IDM och LWM är mycket användbar i repetitiva svetsprocesser.

**Fig. 4** visar IDM-signalen vid svetsning av galvaniserat stål. Processen i

bild a) lider av fluktuationer i lasereffekten vid arbetsstyckets yta på grund av absorption och spridning av laserljuset i metallången: Därför varierar djupet på nyckelhålet starkt, vilket leder till ore-gelbunden svetskvalitet och otillräckligt penetrationsdjup, som tydligt kan ses i IDM-signalen. Processen i bild b) har en optimerad parameteruppsättning och leder till ett stabilt penetrationsdjup. Korta variationer i svetsdjupet, vilket inträffar två gånger i denna svets kan detekteras.

Användningsområdet är stort för IDM-sensorn. Den kan användas som ett verktyg för att förstå och optimera svetsprocessen. När det optimala processfönstret är bestämt, så kan IDM-signalen användas för att detektera penetrationsdjupet med en noggrannhet som man tidigare inte har kunnat uppnå.

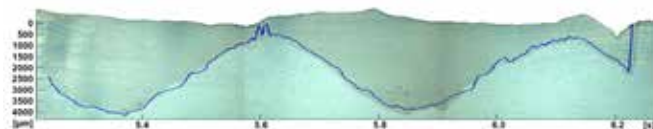


Fig. 2. Längdsektion av en lasersvets med sinusformad modulering av lasereffekten. Vid låg effekt kollapsar nyckelhålet, vilket leder till en kort period av instabil mätsignal.

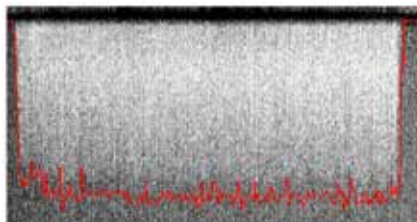


Fig. 3. Röntgenanalys av nyckelhålet med överlagrad IDM-signal ( Källa: IFSW, Stuttgart)

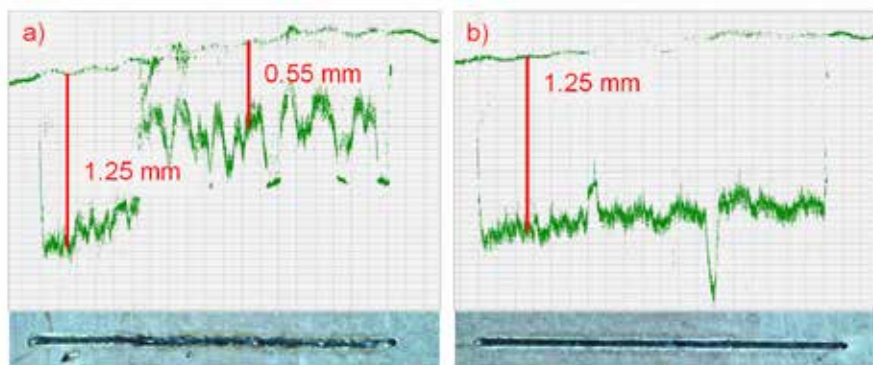


Fig. 4. Jämförelse av IDM-signalen för ett instabilt (a) och ett stabilt nyckelhål (b). Det senare ger en kontinuerlig svetsgeometri.

## Processövervakning idag

Principen för on-line processövervakning vid lasersvetsning bygger på registrering av någon indikator som beskriver situationen hos arbetsstycket i interaktionszonen och närliggande områden. En indikator är tillräcklig för övervakning och den är direkt kopplad till en bestämd förändring av situationen i processen och den resulterande svetskvaliteten. Dessutom måste ett processövervakningssystem fungera beröringsfritt så att det inte blir några störningar i interaktionszonen. De uppmätta kvalitetsindikatorerna fångas normalt ur den elektromagnetiska strålningen som emitteras från processen och de mäts med enkla fotodioder eller

pyrometrar. För att utvärdera processens verkliga situation måste sensorsystemets optimeras för varje ny applikation. Optimeringen kan uppnås genom systematisk upplärning av systemet som för expertsystem eller neurala nätverk. En nackdel med denna procedur är att inställningarna för ett operativt processövervakningssystem måste ske genom tidsödande, successiva approximationer. Dessutom är dessa lösningar mycket känsliga för förändringar i ingående material- och systemparametrar.

Briserna med systemteknologi baserad på integralmätande sensorer är att i många fall så finns det inget klar korrelation mellan den uppmätta signal intensiteten och existerande

processtörningar, samt att det inte finns något klart samband mellan detekterad intensitet och resulterande svetskvalitet. Denna brist kan delvis kompenseras med bildsensorer och kamerateknologi. Med kamerabaserade detektorer så kan interaktionszonen och närliggande områden detekteras och sålunda fås information om processen, som är dold för integrerande sensorer. Idealt kan en klassificering av processförhållandena och i vissa fall en deterministisk uttalande om processförhållanden genereras. Beroende på applikationen så kan denna information om processen också användas för styrning av processen.

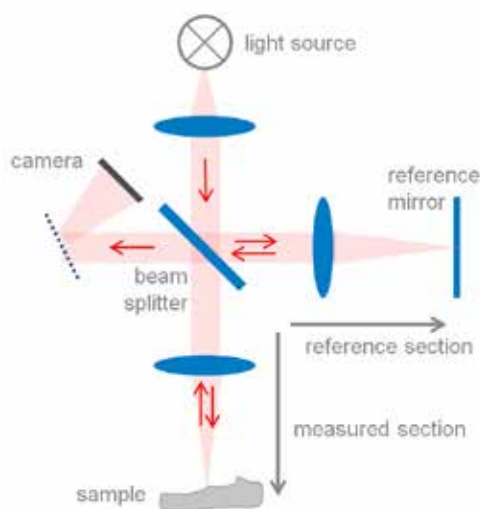


Fig. 5. Principen för lågkoherent interferometri. Skillnaden mellan referensen och den uppmätta sektionen leder till en signalmodulation som upptas av en bildsensor.



Fig. 6. Precitec svetsshuvud YW 52 med integrerad IDM-sensor.

## INBJUDAN KURS 17-18 NOVEMBER

### VÄRMEBEHANDLING – en utrustnings- och metodöversikt

Avsikten med kursen är att ge en praktiskt inriktad utbildning rörande utrustningar för värmebehandlingsindustrin. Kursen tar upp olika typer av ugnar och andra värmningsutrustningar, skyddsgaser och kylmedier samt övrig utrustning ur teknisk, ekonomisk och miljösynpunkt.

#### Plats

Elite Stora Hotellet Örebro,  
Drottninggatan 1, Örebro  
telefon 01915 69 00.

#### Medverkande

Rolf Andersson, AGA Gas AB  
Kristian Berggren, EFD Induction AB  
Lee Björkman, Preem Gas AB  
Bo Jönsson, Eurotherm AB  
Magnus Bergman, Sarlin Furnaces AB  
Sören Segerberg, Heattec Värmebehandling

#### Upplysningar och anmälan

Senast tisdagen den 20 oktober 2015  
Per Westerhult, SHTE  
telefon 08-120 304 00  
per.westerhult@svets.se

# Laser cladding hos Trio OilTec Services i Norge

Bo Williamsson,  
AGA Gas AB Region Europe North

Trio OilTec Services är ett företag beläget i Tananger, en ort som ligger nära Stavanger. Området är präglad av närheten till offshoreindustrin och många av industriföretagen är knutna till oljeindustrin som underleverantörer. (Fig. 1)

Ett av företagen är Trio OilTec Services, som förutom traditionell produktion numera också är aktiva inom laserområdet. Företaget grundades 1988 och blev en del av Castolin Eutetic Group 2007. Omsättningen är cirka 75 MNOK, och antalet anställda är 33.

Företaget är huvudsakligen verksamt underhåll och reparation av produkter till offshore- och oljeindustrin. Via modern teknologi och mångårig erfarenhet av industriproduktion har företaget etablerat sig som leverantör av reparations-, rekonstruktions-, ytbeläggningstjänster och produktionsteknologi. Kärnkompetensen täcker bl.a. renovering av s.k. stabilisatorer via hårdpåsvetsning, lödning, flamsprutning men även produktion av slitagebeständiga komponenter. (Fig. 2)

2013 investerade företaget i en laser-cell, där laserkällan är en Laserline LDF 6000 (6 kW) diodlaser. Lasern är monterad i en CNC-styrd 6-axlig maskin. Cellen används bl.a. till laser cladding för uppbyggnad av av nerslitet material i borrhälskomponenter.

Maxlängden på objekten som ska bearbetas är 18 m och diametern cirka 1,2 m. Maximal vikt är 4500 kg. (Fig. 3)

Man arbetar i såväl ”svart” som rostfria material. Beläggningmaterialet består av Volframkarbid och Castolins egna specialblandningar för att uppnå



Fig. 1.  
Trio OilTech Services



Fig. 2.  
HVOF (Flamsprutning)



Fig. 3.  
Lasercell för laser cladding



Fig. 4.  
Laser cladding hos Trio OilTec Services

rätt strukturer i de pålagda skikten. Tjockleken på skikten varierar från 2-3 mm och uppåt. I maskinen utför man såväl renovering som ny tillverkning. (Fig. 4-6) Som skyddsgas vid processen används i regel argon.

Vid bearbetningen krävs ofta förvärmning för att uppnå de önskade materialegenskaperna. Förvärmningen kan göras med hjälp av elektriska matror eller med gasbrännare. (Fig. 7)

Laserbearbetningen ger önskvärd precision och kvalitet för att matcha de höga kraven från oljeindustrin. Den låga värmeförseln vid laser cladding begränsar uppblandning med grundmaterialet till ett minimum samtidigt som slitageegenskaperna kan optimeras med hjälp av de olika legerings tillsatserna. Dessutom fås en mycket liten värmepåverkad zon vilket ger minimal deformation av de behandlade komponenterna samtidigt som de mekaniska egenskaperna inte förändras i någon större utsträckning. Laser cladding säkerställer också en hög reproducerbarhet och homogena skikt men också kontinuerligt hög kvalitet, något som är kritiskt i den krävande miljön där produkterna används. Såväl magnetiska

som icke-magnetiska komponenter av kritisk karaktär kan beläggas med optimala ytskikt.

I en intervju säger verkställande direktören för bolaget, Eirik Larsen (Fig. 8)

– ”Vi ser ett stort värde i att erbjuda våra existerande kunder laser cladding som ett komplement till övriga applikationer. Vi är också mycket nöjda med den produktivitet och kvalitet som uppnås med laser cellen. Då många av komponenterna innehåller avancerad och värmekänslig elektronik ger den låga värmeförseln större möjligheter att behandla dessa. Antalet förfrågningar angående laser cladding har ökat avsevärt sedan vi installerade maskinen och vi ser en hög tillväxtpotential hos marknaden för denna typ av applikationer. Ytterst handlar det om att uppfylla de ökande kraven från marknaden genom att investera i den senaste och bästa teknologin för applikationer inom vårt segment. För att ytterligare förstärka vår position har vi också anställt Dr Janne Nurminen, en auktoritet inom laser cladding. Janne kommer bl.a. att arbeta med utveckling och kvalitetssäkring av processerna inom Castolingroupen”. ■



Fig. 5. Detaljbild 1 av maskinen för laser cladding.

<http://www.trio-oiltec-services.com/>



Fig. 6. Detaljbild 2 av utrustningen för laser cladding.



Fig. 7. Förvärmning före påläggning av slitageskikt.



Fig. 8. Eirik Larsen, verkställande direktör för Trio OilTec Services till höger tillsammans med Kjeld Vigsö, AGA AS.

# Lasersvetsning och additiv tillverkning dominerade

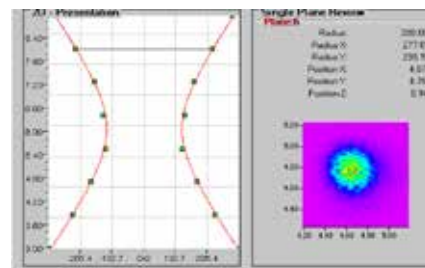
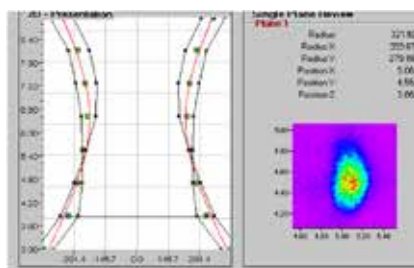
Johnny K Larsson, Volvo Cars

Under fem dagar i oktober i fjol samlades mer än 500 delegater från 30 länder till den 33:e ICALEO [International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics] -konferensen, som denna gång var förlagd till ett soligt Kalifornien. Närmare bestämt höll vi till i San Diego där evenemanget var förlagt till Sheraton® San Diego Hotel and Marina. Detta är den andra delen av artikeln, där den första publicerades i LaserNytt 1-2015.

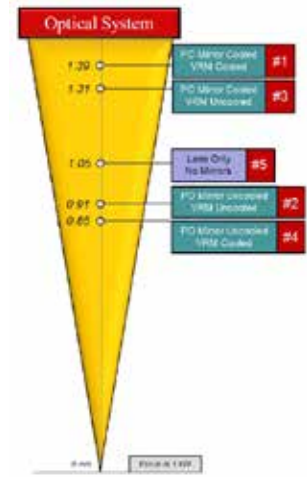
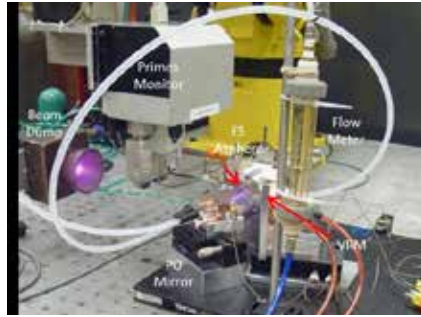
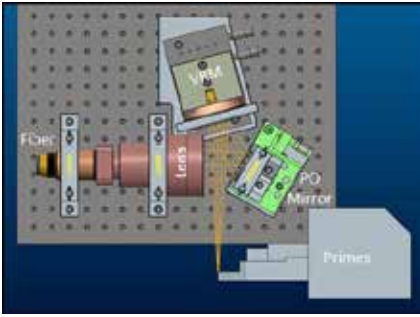
Problemet med fokalpunktsförskjutning adresserades i två skilda föredrag. Först kunde vi lyssna till Dr. Volker Brandl från Primes GmbH, vilken vissa av oss haft möjlighet att bekanta oss med redan under söndagens kortkurser. Förskjutningen beror på värmedistorser hos de optiska elementen och är mest uttalat vid höga energitätheter, något som lätt uppkommer då man använder singel mode högeffektlasrar med Rayleigh-längder > 25 mm och fokalpunkter med < 50 µm diameter. Primes har några olika verktyg för effektmätning vilka kan informera om risk för fokalpunktsförskjutning föreligger. Ett sådant är företagets numera klassiska Focus Monitor® där man med en roterande nål kan mäta effekttä-

heten [Fig. 15]. Verktøget klarar upp till 10 MW/cm<sup>2</sup> och strålradier ner till 70 µm. Ett annat verktyg är kamerabaserat och har benämningen HP-MSM-HB, och är speciellt lämpligt för laserkällor med hög briljans med effekter upp till 10 kW och fokalpunktsstorlekar i området 20 µm till 1 mm. Dr. Brandl presenterade en formel där det tydligt framgick att med bättre BPP [Beam Parameter Product] ökar också risken för fokalpunktsförskjutning. Men det är inte bara fokalpunktsläget som ändras vid detta optiska fenomen utan också laserstrålens form påverkas, och eftersom fokalpunktsförskjutningen sker linjärt med absorptionen i de optiska komponenterna är det rekommendabelt att begränsa de senares antal!

Rebecca Durfee från företaget II-VI Infrared i Saxonburg, PA hade undersökt olika optiklösningar för ett skärverktyg till en 1 µm fiberlaser med 20 kW effekt [IPG YLS-20000], 200 µm distributionsfiber och en kollimeringslins med 175 mm fokallängd. När en fokuseringslins absorberar laserstrålning ökar dess temperatur varpå linsens brytningsindex förändras såtillvida att laserstrålen fokuseras tidigare och fokalpunkten därmed flyttas närmare skärverktygets munstycke. Använder man däremot speglar blir förhållandet det omvända. Då innebär den ökade temperaturen att spegeln får en konvex form och därmed flyttar fokalpunkten bort från munstycket. Därför var idén här att kombinera en fokuseringslins med 350 mm brännvidd med två stycken speglar. I tidiga simuleringsaktiviteter hade man uppnått den önskade effekten, men vid riktiga försök genomförda vid EWI [Edison Welding Institute] i Columbus, OH hade man fått mer svårförklarliga resultat. Man hade arbetat med effekter mellan 1-5 kW och jämfört utfallen mellan att ha vattenkyllning av en eller båda speglarna eller ingen kylning alls.



Figur 15. Primes' Focus Monitor® med stråldiagnostik vid ett smutsigt skyddsglas t.v. jämfört med ett nytt sådant t.h.



Figur 16. Övan schematisk och verklig försöksupställning vid prov utförda hos Edison Welding Institute, och t.h. en sammanfattning av resultaten där kylning av båda speglarna ger störst fokalpunktsförskjutning (1,39 mm).

Fokalpunktsläget hade fastlagts med hjälp av Primes' Focus Monitor®, och här visade det sig att om båda speglarna kyldes fick man sämst resultat, d.v.s. en önskat stor fokalpunktsförskjutning [Fig. 16]. Förklaringen till detta är att avkylningen motverkar konvexiteten, men kanske också p.g.a. att fokuserlinsen inte var ordentligt rengjord. Konklusionen för att nå en minimal fokalpunktsförskjutning var: Färre linser i verktyget, vilka bör tillverkas av mindre värmeabsorberande material samt vara korrekt ytblagda.

### Lasersvetsning

Svetsning var den laserteknik som bidrog med flest presentationer vid ICALEO 2014 med en dedikerad session för svetsning av "icke-järnmetaller" i form av olika lättviktsmaterial, tre olika konferensblock om lasersvetsning i allmänhet samt en särskild session som behandlade laserhybridsvetsning.

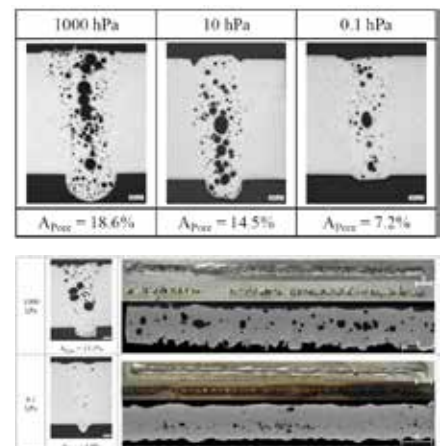
Från den första väljer jag att referera tre bidrag och börjar då med ett som handlade om att svetsa typiska flygplanslegeringar med en 4 kW multi-mode fiberlaser från IPG. Presentationen hölls av en verklig veteran i laserbranschen, nämligen tidigare Lumonics-medarbetaren Mohammed (Mo) Naem, som numera arbetar för Prima Power Laserdyne vars huvudsäte finns i Champlin, MN. Man hade utfört svetsprov med hjälp av företagets produkt Laserdyne System 795 [Fig. 17], och de material som undersökts var titanlegeringar som Ti6Al4V, Ti6242 [6% Al, 2% Sn, 4% Zr, 2% Mo] och TiCu2, nickelbaserad material som Inconel718 och Incoloy909, samt aluminiumlegeringar ur 2- och 6000-serierna. Typiska tjocklekar ligger mellan 2-3 mm och lasersvetsningen hade utförts på såväl överlapps- som

stumfogar med olika skyddsgaser vilka tillförts inuti en liten "skokartong", vilken var monterad på svetsverktyget och omgav smältan. Kvävgas gav minst porer vid svetsning i de nickelbaserade legeringarna, medan Argon var det bästa valet vid svetsning av Titan-varianterna. För blandkombinationen Titan till Inconel, vilken utförts i stumfogsgeometri, fick man bäst resultat då laserstrålen positionerades ett stycke in på Titanplåten. Vid svetsning av de nickelbaserade varianterna hade man använt en tillsatstråd i Inconel625 med 1,0 mm diameter för att undvika svetsdiken och säkerställa en tillräckligt stor svetsbredd.

Näste talare var Christian Börner från Institute of Joining and Welding vid TU [Technische Universität] Braunschweig som berättade om lasersvetsning av pressgjutna aluminiumdetaljer. Förekomsten av porer i svetsgodset är uppenbar och går att härleda dels till gasinneslutningar som uppstår under själva gjutprocessen, dels förekomsten av kvarvarande släppmedel på ytorna. I försöken hade man använt en TruDisc 6002D från Trumpf med 1.030 mm våglängd. Laserstrålen distribuerades antingen via en 200 alternativt 400 µm grov optisk fiber vilket gav en fokalpunktsstorlek på arbetsstycket på 300 respektive 600 µm. Framföringshastigheten varierades mellan 0,5-4,0 m/min med fokalpunkten placerad cirka 2 mm ner i materialet, vilket utgjordes av en AlSi10MgMn-legering med produkt-namnet Trimal®-05. Därutöver hade man provat att svetsa i en legering tillverkad av sekundäraluminium. Parametrar som visade sig gynnsamma för att reducera porbildningen var; större fokalpunkt, hög svetsastighet samt svetsning under reducerat lufttryck ner till 10-1 hPa [Fig. 18]. Även åtgärder



Figur 17. Prima Power Laserdyne modell 795 erbjuds i två varianter; XS med linjäraxlar i x-, y- och z-led på 1 m, och XL som har en x-axel förlängd till 2 m. Linjärmotorerna genererar en max. hastighet på 20 m/min, och arbetsstationen kan tillhandahållas med såväl CO<sub>2</sub>- som disk eller fiberlaser upp till 5 kW.



Figur 18. Vid lasersvetsning av aluminium kan porförekomsten avsevärt reduceras om svetsningen utförs vid ett reducerat lufttryck kring 0,1 hPa.

vid tillverkningen av själva gjutdetaljen kan reducera förekomsten av porer i svetsgodset, främst då om pressgjutningen sker med vakuumsistans, något som även gör att svetsgodset uppvisar en högre hållfasthet och bättre brottförlängning. Dessa värden visade sig vara jämbördiga med dem man får om motsvarande legeringstyper svetsas med elektronstråle [Fig. 19].

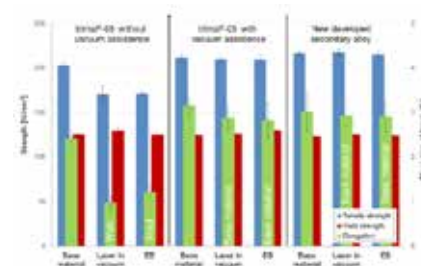
Sprickkänslighet vid lasersvetsning av aluminiumlegeringar i 6000-serien hade studerats vid IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] i Stuttgart, och detta redovisades av Daniel Weller. Materialet var AA6014 samt specialmaterialet NF Ac-200 RW från schweiziska företaget Novelis. Detta material är i grunden också ett 6000-material men med tunna ytterskal [cirka 1/10 av totala plåttjockleken] med högt kiselinnehåll. Detta minimerar sprickkänsligheten samtidigt som skalen kan tjänstgöra som tillsatsmaterial vid RLW [Remote Laser Welding]. Tre olika typer av fogar hade studerats; överlappsfog, kälffog samt flänsad stumfog [Fig. 20]. Vid överlappsfogen är det viktigt att positionera laserstrålen minst 5 mm från plåtkanten för att undvika uppkomsten av varmsprickor. Försöken hade genomförts med 5 kW lasereffekt och en 650 µm stor brännfläck, och slutsatsen var att den flänsade stumfogen är att föredra. Dels föreligger ingen risk för uppkomst av varmsprickor, dels erhåller man en svets med större lastöverförande yta eftersom förhållandet mellan svetsdjup och -bredd vid nyckelhållsvetsning alltid överstiger 1, och sist men inte minst utnyttjar man lasereffekten på ett optimalt sätt då det inte rör sig om full penetration, något som alltid medför att mycket av laserenergin slösas bort.

Den nästkommande sessionen som handlade om lasersvetsning leddes med fast hand av välkände Dr. Thomas Seefeld från BIAS, och förste talare var landsmannen Meiko Boley från IFSW vid Stuttgart Universität. ämnet kände vi väl igen från tidigare presentationer under det senaste året, nämligen s.k. ICI [Inline Coherent Imaging], där man kan fastställa penetrationsdjupet genom att med lagkoherent interferens mäta den sträcka som det aterreflekerade laserljuset tillryggalägger från nyckelhallet till en given referenspunkt. En stor fördel med denna mateteknik ar att den ar okänslig för optiska störningar från den valda laserbearbetningsprocessen. Det finns idag två snarlika kommersiella

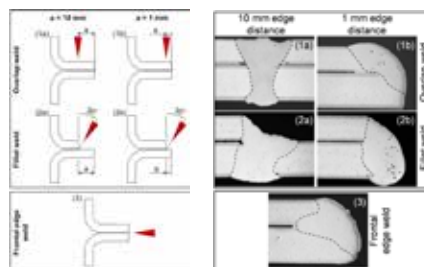
system för ICI; ett heter IDM, vilket skall uttolkas som In-Depth Monitoring och marknadsförs av Precitec, medan det andra tillhandahålls av amerikanska Laser Depth Analysis med beteckningen ID-600. Nu menade Herrn Boley att man med denna teknik, som arbetar men en datainsamlingsfrekvens på 10 kHz, även kan detektera andra defekter såsom porbildning och svets-sprut. Detta framgick av den rontgenfilmning av svetsförloppet som utförts med en bildfrekvens på 1 kHz vid svetsning av rostfritt 1.4301 och aluminiumlegeringen AlMg3. Om atersignalens bandbredd låg under 0,5 mm hade man en acceptabel svetskvalitet, men om däremot bandbredden översteg 1,0 mm kunde man konstatera en rikligare förekomst av svetsdefekter [Fig. 21]. Vid svetsning av AlMg3 med 4 kW lasereffekt var defektforekomsten betydligt mindre vid en hög svetshastighet på 12 m/min jämfört med resultatet vid 4 m/min. Porformeringen, vilken utgår från nyckelhallets botten, blockerar mätsignalen och därmed uppstår stora variationer i denna [Fig. 22], något som skulle kunna användas i ett "closed loop"-system där lasereffekten reduceras så snart

mätsignalen indikerar att en por håller på att bildas.

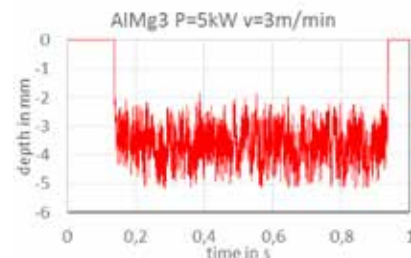
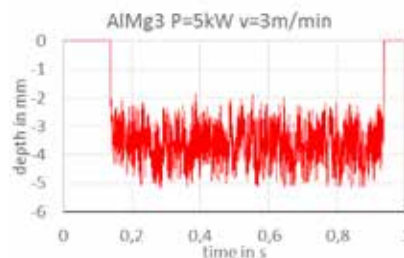
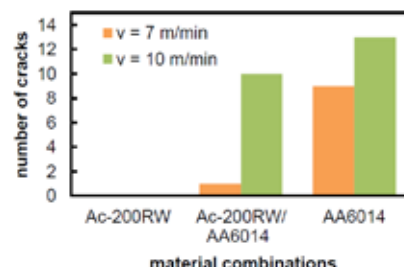
Konkurrentforetaget Laser Depth Analysis representerades av Christopher Galbraith från Queen's University i Kingston, ON. Deras koncept ar som sagt snarlikt med Precitecs, men här har man möjlighet att mäta penetrationsdjupet i såväl svetsriktningen som tvarsdensamma, vilket gör att man på ett illustrativt sätt kan visualisera det forvan-



Figur 19. Om aluminiumlegeringen Trimal®-05 vakuugjutes forbattas hållfastheten hos såväl grundmaterialet som svetsgodset, och de lasersvetsade proven som utförts vid reducerat lufttryck visade sig vara jämbördiga med motsvarande elektronstralesvetsade dito.



Figur 20. T.v. de tre fogtyper som ingick i studien; överlappsfog, kalffog samt flänsad stumfog, och i stapeldiagrammet t.h. framgår sprickkansligheten för de olika materialkombinationerna där en förhöjd svetshastighet har ett negativt inflytande.

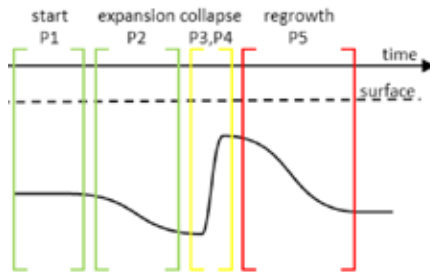


Figur 21. Responssignalen vid svetsning av rostfritt 1.4301 (t.v.) och aluminium AlMg3 (t.h.) samt därunder korresponderande svetsvarsnitt. Om signalens bandbredd överstiger 1,0 mm ar detta liktydigt med en rikligare porförekomst.

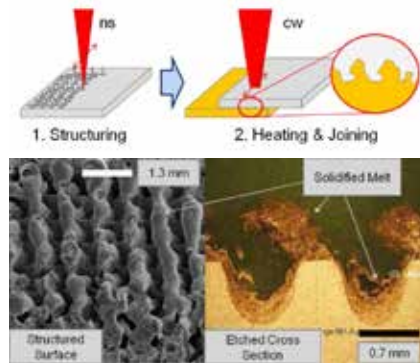
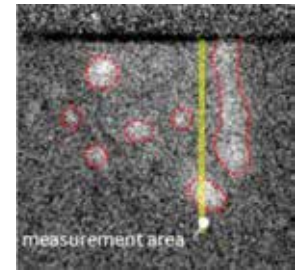
tade svetsvärnsnittet. I samarbete med företaget Nutfield Technologies har man utvecklat ett "scanner"-verktyg benämmt Qs-7 med integrerad ICI-funktion där repeterbarheten ligger kring 10 µm vid reaktionstider under 300 µs. Bildanalysen har en axiell upplösning på ungefär 10 µm och bildfrekvens kan vara så hög som 600 kHz. Svetsförsök hade genomförts på Inconel A690 med 1.100 W lasereffekt, en 210 µm stor fokalpunkt och en framföringshastighet på 25 mm/sek. Samma parametrar hade använts vid svetsning av aluminium AA2219 och här kunde man med den koherenta interferensen tydligt se då svetsstrut uppstod. Men det är inte bara vid svetsning som ICI kan vara ett hjälpmedel. Vid laserablation av såväl metalliska material som cellvävnad har tekniken kunnat användas framgångsrikt!

Thomas Harrer från Trumpf Laser & Systems GmbH berättade om svetsning av artotika material. Här hade t.ex. aluminium framgångsrikt fogats till stål med hjälp av ett aluminium/bronsbaserat tillsatsmaterial, men huvuddelen av presentationen handlade om lasersvetsning av metaller till plaster. I ett första steg struktureras metallytan med korta laserpulser, vilket hade gjorts med företagets TruMicro7240 med 515 nm våglängd alternativt TruMicro7060 med en våglängd på 1.030 nm. Laserpulserna som är i ns-regimen förångar materialet med en avverkningshastighet av 3 cm<sup>2</sup>/sek för stål och 5 cm<sup>2</sup>/sek för aluminium varigenom det bildas små gropar i ytan [Fig. 23] i vilka sedan den smälta polymeren kan flyta in för att skapa en extra stark förbindning. Polymeren fick man att smälta genom att ansätta laserstrålen från en diodlaser mot metallsidan samtidigt som man anbringade ett tryck över fogområdet. Vid ett profildjup på 300 µm blev fogens hållfasthet jämbördig med det polymera materialets [Fig. 24]. Herrn Harrer menade att det skulle vara möjligt att ansätta laserstrålen från polymersidan under förutsättning att den är transparent för laservåglängden.

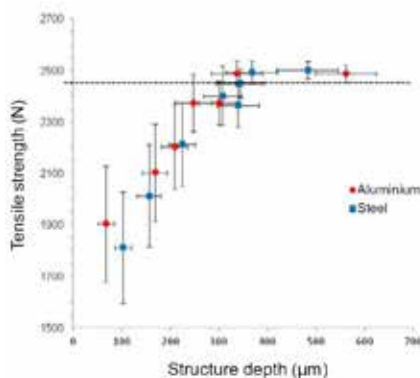
Andre Heckert [Institute for Machine Tools and Industrial Management, Technische Universität, München] adresserade en liksint teknik där man ytbehandlade aluminiumdetaljen innan denna sammanfogades med en CFRP [Carbon Fiber Reinforced Plastic] för att på så sätt förbättra fogens draghållfasthet. Med en cw-laser och 1 kW effekt skapades en struktur på mikronivå med



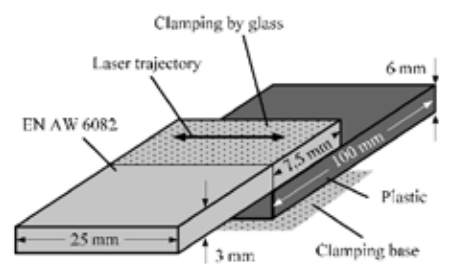
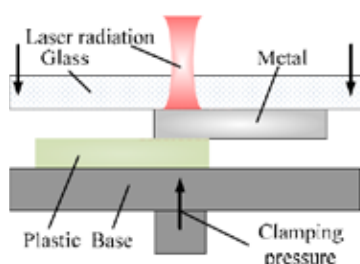
Figur 22. Schematisk framställning av hur interferenssignalen påverkas då en por håller på att bildas. Först expanderar nyckelhålets botten, varpå det momentant kollapsar då en gasbubbla, vilken senare resulterar i en por, frigörs.



Figur 23. Överst en schematisk illustration av hur en polymer fogas till en metall. Först struktureras metallytan med hjälp av ns-långa laserpulser vilka skapar en grov yta med små gropar i vilka den smälta polymeren kan flyta in för att skapa en stark förbindning. Därunder mikrofoto av ytan och ett etsat tvärsnitt som visar den strukturerade metallytan.



Figur 24. Statisk hållfasthet hos hybridfogarna som en funktion av det skapade profildjupet, där ett värde på 300 µm innebär att fogens hållfasthet är jämbördig med det polymera materialets.



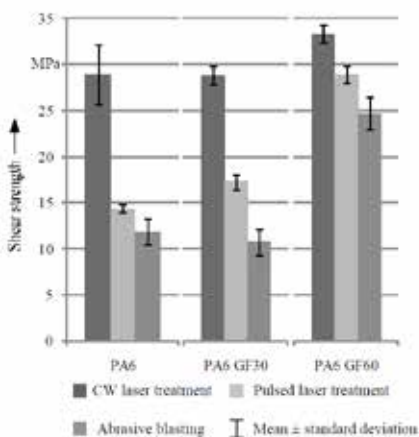
Figur 25. Principen för värmeledningssvetsning av en metall till en polymer t.v. och t.h. utseende och dimensioner för de använda provstavarna.

ett profildjup på 300 µm, och med en pulsad laser med 20 W medeleffekt gick det att göra 100 µm fördjupningar på nanonivå. Som referens hade en blåstrad yta använts. Aluminiumet var av kvalitet AA6082, vilket hade sammanfogats med olika varianter av polyamid [PA],

dels helt oförstärkt sådan, dels varianter med 30% respektive 60% glasfiberinnehåll. Värmeledningssvetsningen hade utförts med en diodlaser och mellan 700-1.100 W effekt där laserstrålen hade ansatts från metallsidan [Fig. 25].

De dragprov som därpå utfördes indikerade att mikrostrukturering medför en bättre hållfasthet jämfört med strukturering i nanoskala [Fig. 26].

Även inom skeppsbyggnadsindustrin eftersträvar man att sänka vikten för olika däckskonstruktioner och paneler där det kan ibland röra sig om radikala tjockleksminskningar från 10 till 4 mm. Med så tunna plåtar duger inte gasmetallbågs svetsning då förvriddningar p.g.a. värmeinledning i materialen medför omfattande och kostsam efterbearbetning. Här fyller naturligtvis laser svetsningen sin roll och kring detta berättade Anna Unt från Lappeenranta University of Technology. Hon hade studerat laserhybridsvetsning av T-fogar i PA [Flat position] och PB [Horizontal position, Fig. 27] -läge. Materialet var det låglegerade stålet AH36 med en tjocklek på 8 mm och som laserkälla hade man använt en YLS-10000 från IPG. Lasereffekten hade varierats mellan 4,5 och 6 kW, svets hastigheten mellan 0,5 och 2,5 m/min, medan laserstrålens infallsvinkel mot horisontalplanet skiftats mellan 6°-15° och fokalpunktspositionen mellan -2 och +2 mm. Anna kunde konstatera att man vid PA-läge erhölet en bättre penetration jämfört med svetsläge PB. Vidare gick det att fastlägga att en flackare infallsvinkel för laserstrålen ger en bättre penetration, och att vid vinklar > 8° riskerade man att få en ofylld rotsida [Fig. 28]. Vid ren lasersvetsning leder en fokalpunktspostionering ner i materialet ofta till s.k. svetsdiken, men i fallet med laserhybridsvetsning visade sig ett fokalpunktsläge på -2 vara gynnsamt. Även sträckener-

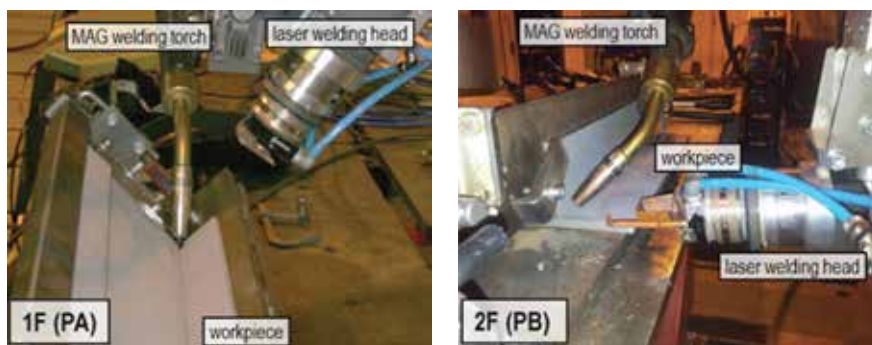


Figur 26. Resultat från statiska dragprov där strukturering av aluminiumytan på mikronivå med en 1 kW cw-laser visade sig ge högre vidhäftning jämfört med pulsad strukturering på nano-nivå.

gins inverkan på geometri och hårdhet i svetsgodset hade undersökts, och inte helt överraskande kunde Anna konstatera att en högre svets hastighet ledde till smalare värmepåverkad zon och högre hårdhet i svetsgodset, men i jämförelse med enbart lasersvetsade objekt hade de hybridsvetsade en lägre hårdhetsprofil [Fig. 29].

Xudong Zhang från Hitachi Research Laboratory i Ibaraki, Japan, hade studerat våglängdens inverkan vid svetsning av ren koppar respektive rostfritt 304-material. Det är främst vid svetsning av det förstnämnda som man får en betydligt bättre inkoppling av

laserstrålen vid 515 nm våglängd [Fig. 30]. Därför hade man i försöken använt en grön laser med denna våglängd, en BPP [Beam Parameter Product] på 4 mm\*mrad och 100 kHz pulsfrekvens. Stråldistributionen hade skett via en 100 µm optisk fiber. Resultaten hade jämförts med motsvarande svetsning utförd med en fiberlaser med 1.070 nm våglängd och en BPP på 4,5 mm\*mrad. Även här var distributionsfibern 100 µm. Genom effektmodulering hade man kunnat stabilisera nyckelhålet, och resultaten i penetrationsförmåga mellan de båda lasertyperna var slående [Fig. 31]. Med 515 nm-våglängden

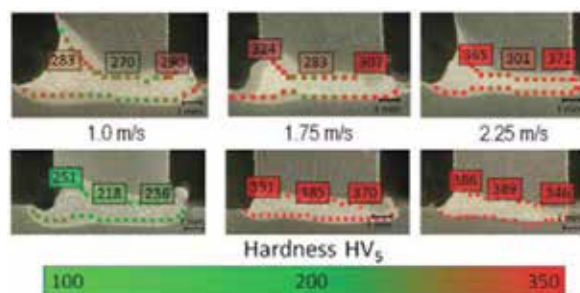


Welding speed	Flat (1F)	Horizontal (2F)
1.25 m/min		
1.75 m/min		
2.25 m/min		

Figur 27. Svetsförsöken hade utförts i lägena PA och PB, där det förstnämnda gav en bättre penetration (nederst)



Figur 28. En flackare infallsvinkel på laserstrålen ger en bättre penetration i denna T-fog. Vinkeln mot horisontalplanet är fr. v. 6°, 10° och 15°.

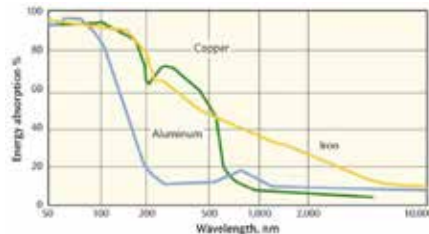


Figur 29. Hårdhetsprofiler för svetsarna i en T-fog utförda vid lika hastighet med en laserhybridprocess (överst) och en autogen lasersvetsning (underst).

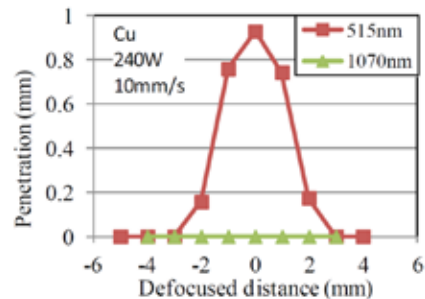
erhöll man en penetration i kopparmaterialiet kring 1 mm med 240 W effekt, medan penetrationen med motsvarande parameterinställning för fiberlasern blev 0!! Vidare hade man stumsvetsat aluminium till koppar med tämligen tillfredsställande resultat där man såg att det var fördelaktigt att positionera fokalpunkten något in på aluminiumsidan. Slutligen hade man även svetsat koppar med en 5 kW disk laser och effektmodulering där man eftersträvade att minska effekten just innan tendensen för svets sprut infann sig och där man rekommenderade en frekvens på 250 Hz för bästa processtabilitet.

En annan finländsk medborgare gjorde sig hörd i denna session i form av Miikka Karhu från VTT Technical Research Centre of Finland i Lappeenranta. Ett problem vid flersträngssvetsning av stumfogar i grövre plåttjocklekar med laserhybridteknik är att GMAW [Gas Metal Arc Welding] -svetspistolerna och trådmatningsenheten får svårt att nå ner till rotsträngarna om fogöppningen är smal.

Detta är vanligtvis nödvändigt för att gapet mellan plåtarna skall kunna överbryggas, men ett sätt att komma tillrätta med detta problem kan vara att defokusera laserstrålen. Nackdelen är att energitätheten i fokalpunkten minskar varför lasersvetsningen övergår från nyckelhållsvetsning till värmeledningssvetsning, något som skedde då fokalpunkten positionerades 20 mm ovanför de 60 mm tjocka plåtarna vilka utgjordes av rostfritt AISI 316L. Försöken hade utförts med en 3 kW Nd:YAG-laser med 200 mm fokallängd och tillsatsmaterial utgjordes av ESAB:s solidtråd O.K. Autrod 316LSi med 1,0 mm diameter. Smältsvetsprocessen använde en pulsad spraybåge och en skyddsgasblandning bestående av Helium och Argon med 2,5% CO<sub>2</sub>-tillsats. En variant som provades var att göra rotsträngarna med enbart laser och kalltråd, varpå fyllnadssträngarna gjordes med hybridteknik och en framföringshastighet på 0,35 m/min. Med detta angreppssätt krävdes totalt 20 svetssträngar. Om man istället utförde rotsträngen med hybridsvetsning och nyckelhållsteknik och fyllnadssträngarna med hybridsvetsning och defokuserad laserstrålen klarade man av att fylla fogen med enbart 10 strängar även då fogöppningen var så bred som 11 mm [Fig. 32].



Figur 30. Relationen mellan laservåglängd och absorptionsförmåga hos materialen järn, aluminium och koppar.



Figur 31. Våglängdens inverkan på penetrationsdjup och svetsbredd vid lasersvetsning av koppar med 240 W effekt och en framföringshastighet på 10 mm/sek.

Inte en laserkonferens med självaktning som inte har en dedikerad session kring laserhybridsvetsning och här utgjorde inte heller ICALEO 2014 något undantag. Anja Techel från Fraunhofer IWS i Dresden skötte ordförandeskapet och förste talare var sympatiska Dr. Thomas Seefeld från BIAS. Hans föredrag handlade om dels laserhybridsvetsning, dels laserlödning av det presshårdade materialet 22 MnB5 med AlSi-beläggning [150 g/m<sup>2</sup>]. I det första fallet rörde det sig snarast om laserunderstödd hybridsvetsning där man använt sig av en 1 kW SM fiberlaser från IPG med en 25 µm stor fokalpunkt för att stabilisera ljusbågen. För att ytterligare stabilisera svetsprocessen, höja svetskvaliteten samt överbrygga spalter på upp till 0,8 mm i en kälsvetsad överlappsfog där ljusbågen ansattes i en 30°-ers vinkel i förhållande till horisontalplanet [Fig. 33], använde man sig av scannerverktyget ILV-DC. Framföringshastigheten låg på 6 m/min och den 1,0 mm grova tillsatstråden av typ G3S13 tillfördes med en hastighet av 11 m/min. En ”scannings”-vidd på 0,7 mm visade sig ge de bästa resultaten, liksom då svetsprocessens TCP [Tool Center Point] placerades 0,5 mm in på topplåten [Fig. 33].



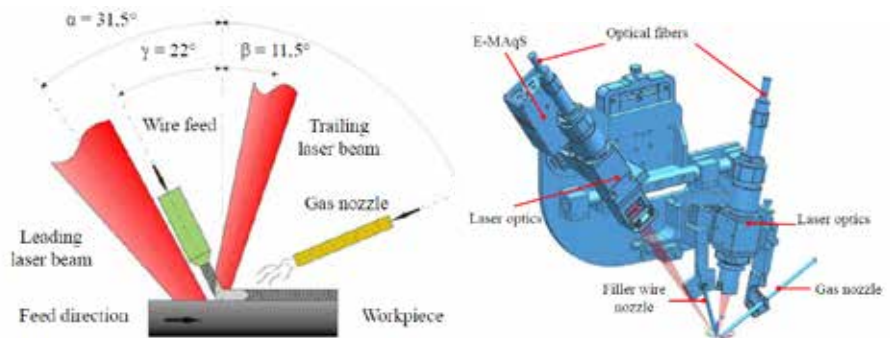
Figur 32. Överst den aktuella försöksupställningen och därintill en stumfog svetsad med tio strängar och en fogberedning med 10,2 mm:s öppning. Om däremot fogöppningen överstiger 12 mm (längst t.h. ovan) är risken för bindfel (vita pilar) uppenbar.

Weld bead appearance	dy
	-0.5 mm
	0 mm
	0.5 mm
	1 mm

Weld bead appearance	α
	0°
	15°
	30°

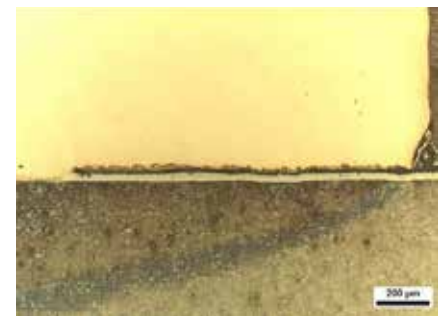
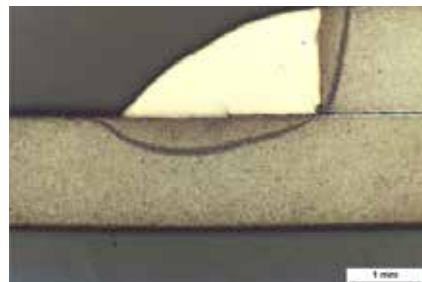
Figur 33. Vid laserhybridsvetsning av presshårdat plåtmaterial med aluminium/kisel-beläggning erhåller man bäst svetskvalitet med en 30°-ig lutningsvinkel på MAG-pistolerna och med TCP placerad 0,5 mm in på topplåten.

Det andra forskningsprojektet som rörde lasersvetsning av det varmformade materialet byggde på att man använde sig av två separata laserkällor där en lampppumpad HL4006D-från Trumpf nyttjades för att förvärma plåten med 1,27 kW och en defokuserad stråle som gav en brännfläck med 4,2 mm diameter i syfte att skapa bättre vätningsförutsättningar för det nedsmälta lodmaterialet [Fig. 34].



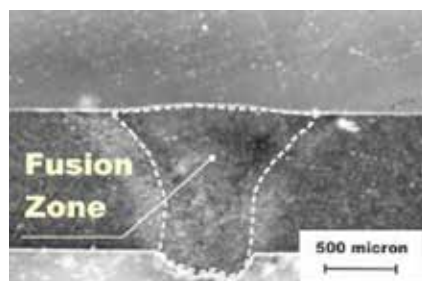
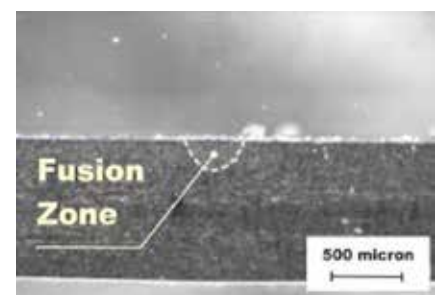
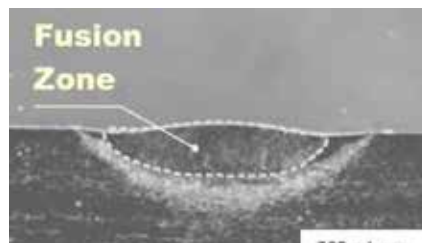
Figur 34. T.v. den principiella försöksuppställningen och närmast en illustration av det unika svetsverktyget för två olika laserstrålar; en för förvärmning av substratet och en för svetsning.

Två olika sådana hade provats, dels CuSn6 och dels det specialutvecklade höghållfasta CuMn13Al8 båda med 1,2 mm diameter. Trådmatningshastigheten hade satts till 9 m/min. Själva lödningsprocessen utfördes med hjälp av en TruDisc 8002-laser med 0,6 mm fokalkpunkt och en framföringshastighet på 3,6 m/min. CuSn6-tråden gav dålig vätning mot AlSi-ytan [Fig. 35] medan man med CuMn13Al8-lodet erhöll så pass hög brottspänning vid dragprov som 900 MPa. En efterföljande tvärsnittsanalys gav vid handen att AlSi-beläggningen tenderar att lösas in i lödgodset vilket kanske delvis kan förklara den höga hållfastheten?



Figur 35. Lodmaterialet CuSn6 ger dålig vätning mot plåtytan p.g.a. den värmeresistenta AlSi-ytan, något som tydligt framgår i förstoringen längst t.h.

Achim Mahrle från TU [Technische Universität] i Dresden tryckte på skillnaden mellan laserhybridsvetsning och laserunderstödd hybridsvetsning där den senare använder en lågeffektslaser med 100-200 W för att stabilisera svetsprocessen. Framför allt vid höga svets hastigheter erhåller man en bättre svetskvalitet samtidigt som penetrationen blir bättre jämfört med i det här redovisade fallet en plasmasvetsprocess [Fig. 36]. Han menade att det snarast är sekundära samverkans effekter såsom värmetillförsel till och värmespridning i materialet som ger de positiva effekterna från laserhybridprocessen snarare än de primära samverkansfaktorerna ljusbågens form och storlek samt intensiteten i laserstrålen. I försöken hade man använt sig an en SM [Single Mode] -fiberlaser och utvärderat två olika fokalkpunktsdiametrar 40 respektive 240 µm. En innovativ lösning av processuppställningen var att man använde en ihålig Wolfram-elektrod för plasmabågen genom vilken laserstrålen distribuerades. Då man arbetade med den mindre fokalkpunkten var det nödvändigt att öka bägspänningen, medan förhållandet var det omvända då 240 µm-brännfläcken användes. Särskilt viktig visade sig positioneringen av plasmaljubågen vara med hänsyn till svetsgeometri och penetration.



Figur 36. Tvärsnitt genom "Bead-On-Plate"-svetsar på rostfritt AISI 304-material med fr.v. plasmasvets (40 A), lasersvets (200 W) och en hybridvariant med de två processerna verkande simultant med en framföringshastighet på 0,75 m/min.

Fortsättning ICALEO DEL 3  
i LaserNytt nr 3-2015.



**Vi förser tillverkande industri med  
nyckelfärdiga robotceller för lasersvetsning**

**PERMAFLEX**  
samlad kunskap i en robotcell



**Kvalitet. Produktivitet. Lönsamhet.**  
**[www.permanova.se](http://www.permanova.se)**

## KALENDARIUM 2015

---

### OKTOBER

1	LaserNytt 2-2015	Per Westerhult
8	Laserdag II, Din Maskin, Värnamo	Per Westerhult
27-28	Lasergruppens Studieresa till Aachen-området, Tyskland. - Besök på två företag som arbetar med laserskärning och lasersvetsning; Krieg Elektronik-Gehäusebau GmbH och Steland Apparatebau GmbH & Co. KG. - Samt världsledande forskningsinstitut, Werkzeugmaschinenlabor (WZL) vid RWTH Aachen University och Fraunhofer Institut für Lasertechnik (ILT)	Per Westerhult

---

### NOVEMBER

19	Workshop Lasersvetsning, Högskolan Väst, Trollhättan	Per Westerhult
----	--	----------------

---

### DECEMBER

11	LaserNytt 3-2015	Per Westerhult
----	------------------	----------------

