

# LASER

I-2014

Lösnummerpris 85 kr

# nytt



## Laser- laboratorium med hög lasereffekt



**ICALEO  
2013**



**Mikro-  
bearbetning**



**Laser-  
trender**



**EALA  
2014**



**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)**



Vi ses i monter D01:98,  
Elmia Automation/Svets  
6-9 maj 2014 i Jönköping



# LASER nytt

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

Svetsning med 32 kW disk-laser vid Lindö Welding Technology A/S.

## Produktion: Tagg, Stockholm

www.tagg.se  
Tryck: Modintryckoffset, Stockholm  
www.modintryckoffset.se

## TANKAR FRÅN STYRELSEN

Bo Williamsson, AGA Gas AB

## EALA 2014

Europas "Big Three" satte tonen vid årets EALA-konferens

## SAMTAL KRING LASERTRENDER

Konstruera för lasersvetsning

– David Havrilla ger sin syn på konstruktionsaspekter vid fjärrlasersvetsning

## PRESSRELEASE

Forserums verktygsindustri investerar i en stans-laser-cell!

Gaser och gasblandningar för skärning och svetsning med fiber- och CO<sub>2</sub>-laser

Laserdag hos Lindö Welding Technology – Laserkraft "en masse"

## PRESSRELEASE

Permanova levererar laserstation till Volvo Cars i Kina

## REPORT FROM MICHIGAN

Home to Mi-Light – a new Photonics Industry Cluster

## FRÅGA LASERDOKTORN

Vi har ett problem vid skärning av rostfritt material med vår CO<sub>2</sub>-laser

## MIKROBEARBETNING MED LASER

Lasermärkning av krökta eller cylindriska ytor

## PRESSRELEASE

Permanova Lasersystem erhåller Volvo Cars Quality Excellence Award

## ICALO 2013

Glöm akronymen LASER – nu talar alla om DPP

## TANKAR FRÅN STYRELSEN



Tiden går fort nu, det känns som det var igår vi upplevde regn och höstmörker. Med vårvärme och solsken känns tillvaron genast mer positiv. Positiv är också ledordet när det gäller utvecklingen på lasersidan. Både

användande och laserteknik utvecklas i allt snabbare takt. Laserskärning är fortsatt den stora applikationen inom verkstadsindustrin, medan svetsapplikationerna uppvisar en något långsammare utveckling. Märkning, reparationssvetsning, rapid prototyping och lödning med laser är andra områden som också utvecklas.

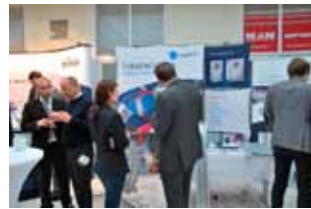
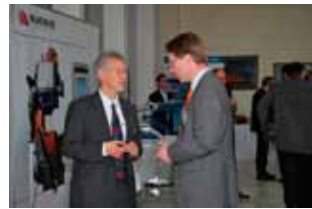
Mitt i allt detta utvecklas också laserställorna. Fiber- och disk-lasrar sätter nya standarder för skärning av tunt material. CO<sub>2</sub>-lasern utvecklas också, kanske framför allt för skärning av medietjock till lite grövre plåt. Vad händer på diodlasersidan? Ur Lasergruppens synvinkel känns det väldigt positivt med all utveckling som kommer laseranvändandet till godo.

Bo Williamsson, AGA Gas AB

Nya processgasblandningar och ökad flexibilitet hos de nya laserställorna kan påverka utvecklingen av lasersvetsapplikationer positivt framöver. Svetsning med laser går en spännande framtid till mötes.

Lasergruppen fortsätter att arbeta för spridning av kunskap om laserteknologi inom svensk verkstadsindustri. Seminarier, studieresor, utbildning och inte minst tidningen Lasernytt är några aktiviteter som drivs i gruppens regi. Utgåvan du håller i handen är som vanligt späckad med information om laserteknik. Vi önskar dig mycket nöje med läsandet av detta nummer. Glöm inte heller bort att besöka oss i Svetskommissionens monter vid Elmiamässan!

# Europas ”Big Three” satte tonen vid årets EALA-konferens



Johnny K Larsson, Volvo Cars

I traditionsenlig ordning träffades bilbranschens laserexperter till den årliga EALA [European Automotive Laser Applications] -konferensen, som i år ägde rum den 11-12 februari på anrika Dolce Kurpark Hotel i Bad Nauheim strax utanför Frankfurt am Main. Detta var något av ett jubileum då det var den femtonde upplagan av denna framgångsrika konferens som numera arrangeras av Automotive Circle International [ACI] med högkvarter i Hannover, men som ursprungligen instiftades av ”idé-sprutan” Herrn Fritz Ebert från Praxis-Forum i Berlin. Deltagarantalet var 165 personer, vilket är en siffra som varit representativ under senare år. 70% av delegaterna var s.k. OES [Original Equipment Suppliers] medan biltillverkarna eller OEMs [Original Equipment Manufacturers] uppgick till 27%. Resterande 3% bestod av representanter från universitet och forskningsinstitut. Tyskarna utgör av förklarliga skäl majoriteten av konferensbesökarna, men att EALA börjar få en alltmer internationell prägel bevisades i år av att vi hittade inte mindre än 7 deltagare från USA, 4 från Canada och ett flertal koreaner och japaner. Från svensk sida var det endast undertecknad och Björn

Lekander från Permanova Lasersystem som deltog, och man kan bara hoppas att vi nästa år kommer att hitta flera landsmän bland deltagarna då detta verkligen är ett evenemang väl värt att besöka om man vill hålla sig uppdaterad kring vad som händer i laserbranschen. Till detta bidrar inte minst den professionella ”table-top”-utställningen där i år inte mindre än 15 företag tog tillfället i akt att profilera sig genom att ställa ut sina senaste, innovativa produkter för laserbearbetning. I år hittade vi således följande utställare i kurhotellets lokaliteter:

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

Som synes idel kända aktörer, men med undantag från TeraDiode Inc., en kompakt tysk dominans även i detta hänseende.

Frau Andrea Huber från ACI hälsades oss välkomna varpå hon lämnade över ordet till Dr. Matthias Graudenz [Fig. 1] från Audi AG, som ju sedan några år tillbaka fungerar som ordföranden i den tekniska kommitté som komponerar EALA-programmet. I år var konferensen uppdelad i följande fem huvudrubriker:



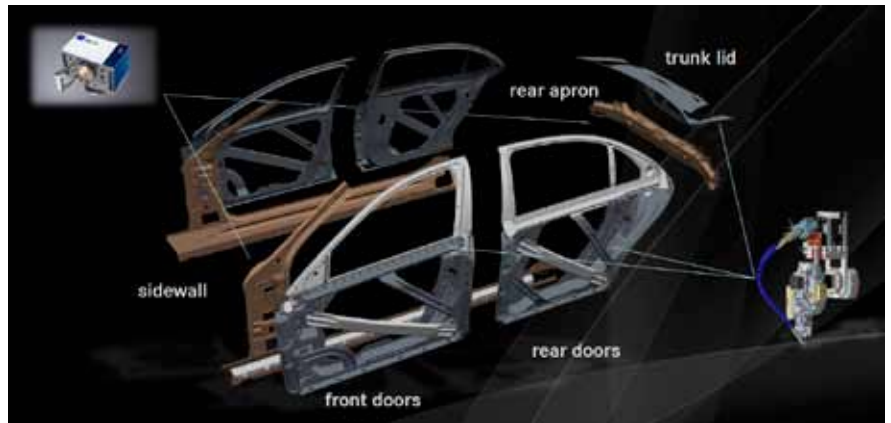
Figur 1

Dr. Matthias Graudenz och Frau Andrea Huber är de som har huvudansvaret för genomförandet av EALA-konferenserna, här under ett arbetsmöte i ”Sprudelhof”.

- Spotlight on New Materials
- Advances in Laser Manufacturing Processes
- Quality Assurance Strategies for Laser Application in Body Construction
- Examples of Laser Manufacturing apart from Bodywork
- Newest Developments in Beam Sources

I vanlig ordning avslutades sedan konferensen med den s.k. ”OEM Round Table” där de olika representanterna i kommittén får uttala sig om hur de tror att lasertekniken i framtiden kommer att användas inom det egna företaget. Sammanfattningsvis vill jag säga att det fanns en hel del ”smått och gott” att notera vid årets konferens, och jag kan nog påstå att vad det gällde antalet nya, innovativa lösningar har vi inte sett motsvarigheten under de senaste fem EALA-evenemangen. Därför kommer jag att i detta nummer av LaserNytt rapportera från valda delar av konferensen, men väljer att fokusera på några intressanta laserlösningar hos något som jag vill beteckna som Europas ”Big Three”. Vi som arbetar i bilbranschen är väl familjära med begreppet ”Big Three” vilket historiskt är liksint med de tre stora aktörerna i Nordamerika; General Motors [GM], Ford Motor Co. och Chrysler, men numera skulle jag vilja påstå att vi inom det s.k. premium-segmentet har en liknande trojka i Europa i form av Audi/VW, BMW och Daimler/Mercedes. Alla dessa tre togförde några minst sagt intressanta lasersvetsapplikationer och det är kring dessa jag avser att uppehålla mig i denna första rapportering från EALA 2014.

Jag börjar med att redogöra för den presentation som hölls av Mike Pälmer från Daimler AG, och som handlade om fyra applikationer som lasersvetsas på nya S-Klasse-modellen [Fig. 2], där kollegorna i Sindelfingen använder sig av inte mindre än 17 (!) olika fogningsmetoder vid hopsättningen av karosserna. Vid hopsättning av sidostrukturen som är tillverkad i ultrahöghållfast stålplåt använder man sig av företagets



Figur 2

Vid hopsättning av Mercedes nya S-Klasse-modell används såväl RLW som mer konventionell lasersvetsning med tryckfinger och tillsatstråd.

välbeprövade Robscan-koncept med Trumpfs PFO3D-”scanner”-verktyg. Total utförs 84 stycken svetsar per sida med en svetstid kring 400 ms. Detta innebär att cykeltiden ligger på 104 sekunder, men att man med Remote Laser Welding [RLW] hinner utföra såväl svetsningen som den förberedande noppningsoperationen i två sekventiella arbetsstationer, där utrustningen utgörs av två ”scanner”-verktyg och två stycken 6 kW disklasrar.

Även det s.k. bakstycket, eller som tyskarna väljer att benämna komponenten ”Heckmittelstück”, fjärrlasersvetsas, men här ställdes man inför ett problem då de ingående detaljerna är utförda av aluminiumplåt. För att undvika uppkomsten av varmsprickor vid svetsning i aluminium är det för det mesta nödvändigt att använda sig av ett tillsatsmaterial, men tillförseln av ett sådant stöter av förklarliga skäl på patrull vid RLW, där avståndet mellan laserverktyget och arbetsstycket ibland kan uppgå till cirka 1 meter. Detta har emellertid Mercedes löst genom att använda sig av ett speciellt s.k. ”clad”-material från aluminiumleverantören Novelis Switzerland SA med beteckningen ”Fusion 8840”. Materialet är i princip ett 6000-material men är uppbyggt som en sandwich med en kärna av AA6016 och med ”skal” av en hemlig 6000-legering som är speciellt utvecklad för att undvika varmsprickor. Även för denna svetsoperation är cykeltiden 104 sekunder under vilken man sät-

ter 60 stycken svetsar med hjälp av ett ”scanner”-verktyg kopplat till en disklasar med 6 kW effekt.

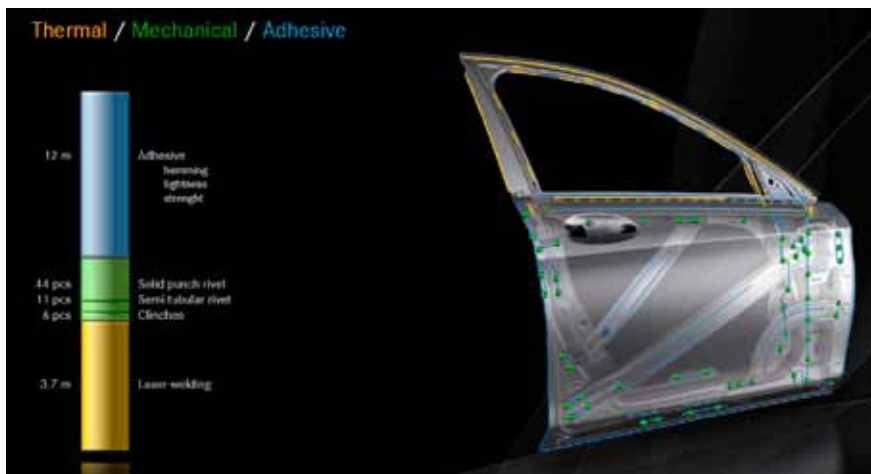
Huvudnumret under Herrn Pälmers presentation var dock lasersvetsningen av S-Klassens aluminiumsidodörrar. Särskild uppmärksamhet hade ägnats åt dörrbågen för att göra dess sektion så liten som möjligt och därigenom förbättra förarens siktinklar, men samtidigt hade man eftersträvat en hög dörrbågsstyvhet något som är nödvändigt för att förhindra utböjning av densamma med påföljande oönskat vindbrus vid höga hastigheter. Därför hade man lagt in en extruderad profil i dörrbågen vilken svetsades på plats med 9 stycken stegsvetsar. Sedan försluts dörrbågen genom addering av en innerram vilken svetsas med ytterligare 9 stegsvetsar samt två långa kontinuerliga svetsar i rutöppningens ovan- och underkant. Även glaskanal och bältbalk lasersvetsas och slutligen svetsas dörrrens ytterpanel till innerstrukturen med 7 stegsvetsar positionerade på falsens kant [Fig. 3].

Varje dörr innehåller därmed ungefär 3,7 m lasersvetsar vilka utförs som kälsvetsar med konventionell lasersvetsning och 1,2 mm grov tillsatstråd i legeringen AlMg4,5. Svetsverktyget är Scansonics välkända ALO3 och trådmatarverket är av fabrikat AbicorBinzel. Svets hastigheten ligger kring 4 m/min vilket resulterar i en cykeltid på 111 sekunder. P.g.a. den omfattande svetsningen krävs 4 olika stationer och vardera 5

stycken svetsverktyg och 4 kW disk-lasrar för tillverkning av de främre respektive bakre sidodörrarna. Tillgängligheten i produktionsflödet sades ligga kring 85%, automatiseringsgraden över 99% och den totala produktionsytan uppgår till cirka 5.000 m<sup>2</sup>. Svetskvaliteten kontrolleras med ett trianguleringsverktyg från företaget EHR, vilket förutom att kontrollera svetslängd kan detektera svetsfel som konkavitet, porer och genombränning. Systemet, som kallas "AluCheck" [Fig. 4] och presenterades av Thomas Rehmann, gör mellan 1.000-2.000 "scans" i sekunden, och resultatet visualiseras via en kameraenhet som en gråskalebild där det blir möjligt att detektera olika typer av ytdefekter. Genom att använda en dubbelsensor blir det också möjligt att finna eventuella svetsfel på rotsidan. Maximalt avstånd mellan sensor och arbetsstycke ligger kring 140 mm och EHR har idag ungefär 60 sådana system i industriell drift.

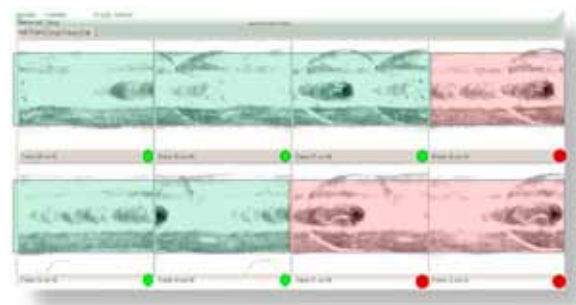
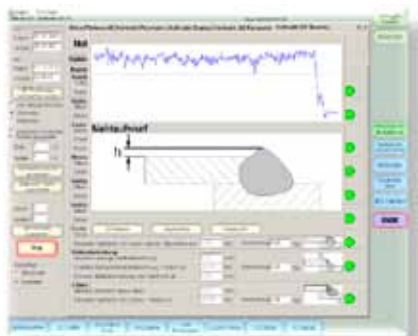
Thorge Hammer från Volkswagen AG är en av de verkliga veteranerna då det gäller "laserskrået" inom bilindustrin, och jag tror att han har deltagit vid samtliga 15 EALA-konferenser. Denna gång redogjorde sympatiske Thorge, tillsammans med Christoph Franz från Scansonic IPT, för ett nytt sätt att ytterligare reducera svetsflänsar. Idén presenterades vid EALA redan 2012 då Scansonic presenterade ett nytt verktyg i sin s.k. "Scapacs® kit"-serie med benämningen FSO. Idag är ju överlappssvetsar den gängse metoden att svetsa flänsar på karosser, d.v.s. man klämmer samman detaljerna i samma riktning som man svetsar. Med FSO-verktyget svetsar man däremot vinkelrätt i förhållande till inspänningen [Fig. 5], vilket innebär att svetsfogen snarast blir att likna vid en stumfog. Med denna teknik är det fullt möjligt att skapa så smala flänsar som 5 mm, samtidigt som man åstadkommer en större bindningsarea mellan plåt detaljerna.

Genom en fogföljningsfunktion och via galvospeglar, allt integrerat i FSO-verktyget kan laserstrålen avlänkas och växlas mellan olika fog-



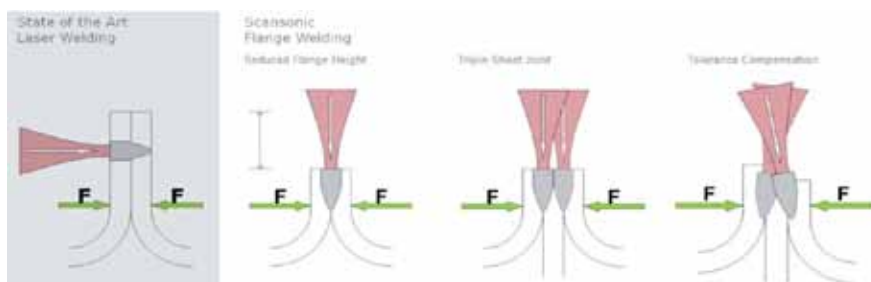
Figur 3

Vid hopsättning av S-Klasse-modellens sidodörrar används såväl strukturlim som mekaniska fogmetoder som stans- och stukknitning. Lasersvetsningen uppgår till 3,7 m per dörr och är här markerad med gult.



Figur 4

Med trianguleringsverktyget "AluCheck" från företaget EHR är det möjligt att kontrollera svetsens form, medan en gråskalebild avslöjar svetsdefekter som porer och genombränningar.



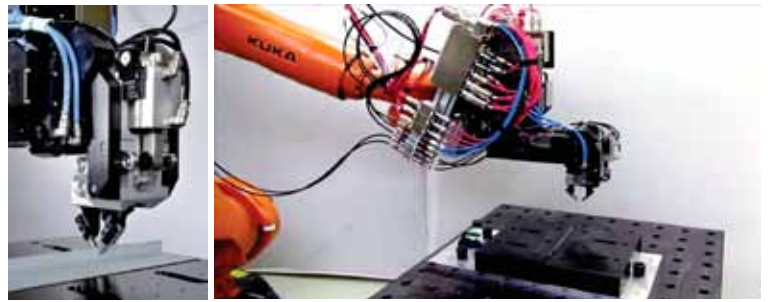
Figur 5

Scansonics FSO-verktyg, ur företagets "Scapacs® kit"-serie, möjliggör en avsevärd flänsbreddsreduktion jämfört med konventionell lasersvetsning samtidigt som man får en mycket större bindningsarea mellan plåtarna.

ytor i den händelse man arbetar med tre- eller flerplåtsförband. Galvospeglarnas antal är fyra, varav två används för positionering av laserstrålen och de två övriga till att oscillera densamma om sådana behov finns. Dessutom finns några avlänkbara speglar i verktyget vilken gör att man kan variera strålens infallsvinkel mot arbetsstycket. "Scanner"-funktionen kan också användas för att kompensera för sammansättningsstoleranser som gör att flänskanterna kan komma att ligga förskjutna till varandra. Genom att klämfixturen i form av tryckrullar eller -fingrar, vilka snabbt kan öppnas respektive slutas, är integrerat i verktyget har man skapat en kostnadseffektiv lösning, samtidigt som fixeringen sker direkt vid TCP [Tool Center Point]. En integrerad kamerafunktion finns också för övervakning av svetskvalitén i realtid. Alla dessa funktioner medför att verktyget kan uppfattas som tämligen klumpigt och åtkomsten vid mer komplexa geometrier riskerar att bli begränsad [Fig. 6]. Detta tycks emellertid vara något som Scansonics utvecklingsingenjörer är medvetna om varför det inte är otroligt att vi framgent kommer att få se varianter på mer kompakta "scanner"-verktyg av denna typ.

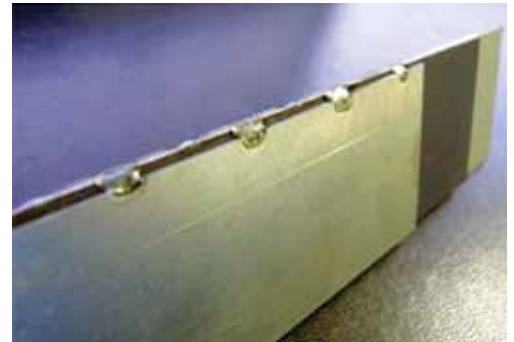
Själva svetsningen utförs i vad Herrn Franz kallade "millistep" om 5 mm längd [Fig. 7] där sträckan överfars två gånger; första gången frigör laserstrålen det aktuella området från zink för att underlätta själva svetsningen vilken genomförs som en andra passage. Detta kan också vara ett sätt att få bort aluminium ur smältan och hindra detta från att sätta sig i svetsgodsets korngränser vid svetsning av s.k. USIBOR®. Svetsdjupet och därmed det lastöverförande "s-måttet" uppgår till mellan 1-3 mm, och typiska värden för svets hastighet ligger kring 5 m/min.

Drivkraften hos VW för ytterligare flänsbreddsreduktion ligger främst i viktsbesparing på karossen vilket i vidare mening innebär lägre bränsleförbrukning och därmed reducerade CO<sub>2</sub>-emissioner. Här delgav oss Herrn Hammer några intressanta nyckeltal; 35% av en bils vikt ligger i



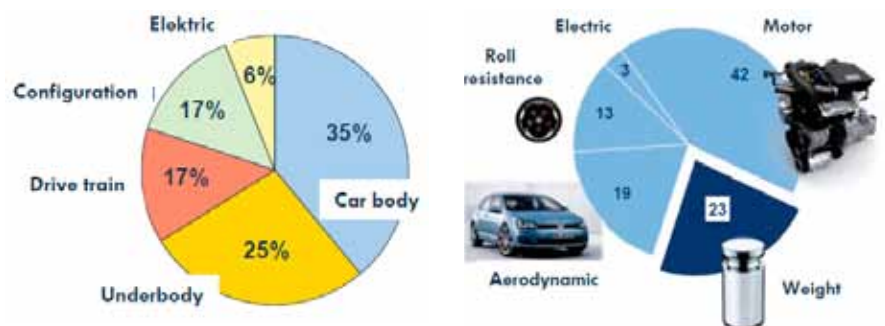
Figur 6

FSO-verktyget kan synas något klumpigt men då skall man ha i åtanke att det inrymmer en "scanner" med sex(!) galvospeglar, klämfixtur, fogföljningsfunktion samt integrerad kamera.



Figur 7

Lasersvetsning av vad som VW valt att kalla "millistep".



Figur 8

Några intressanta "tårtbitsdiagram" från VW visar viktfördelningen mellan olika komponentområden, samt hur stor inverkan vikten har för en genomsnittlig personbils bränsleförbrukning.

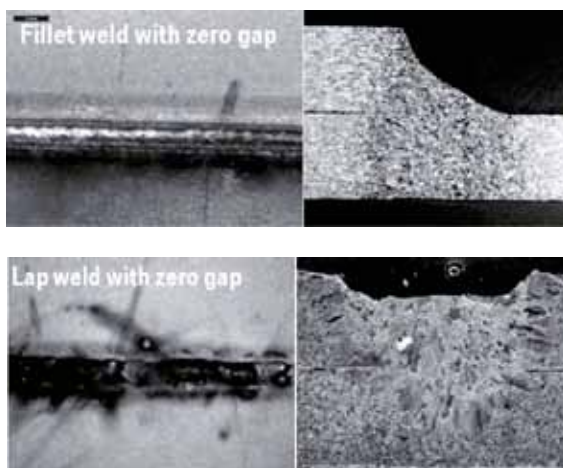
karosstrukturen, och 23% av bränsleförbrukningen går att hänföra till fordonets vikt, medan resten påverkas av drivlinans verkningsgrad,

rull- och luftmotstånd [Fig. 8]. Idag kommer 25% av koldioxiden i Tyskland från fordon under drift och därför är det rimligt att anta att dagens

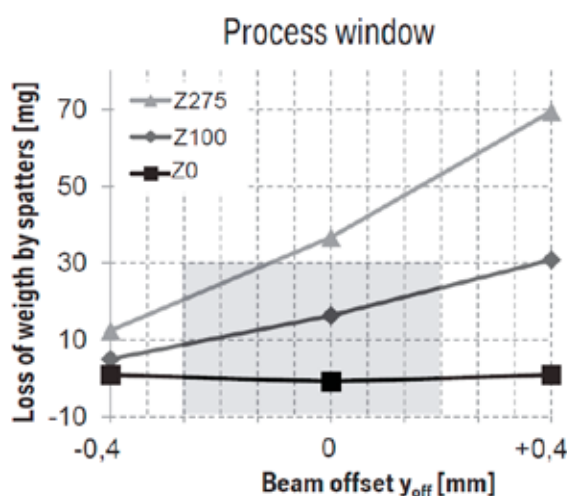
lagstiftning som pekar mot max. 95 g/CO<sub>2</sub> per kilometer för år 2020 ytterligare kommer att skärpas. Siffror som nämns i detta sammanhang är maximalt 20 g/CO<sub>2</sub> år 2050!

Vid fjolårets EALA-konferens berättade ju Dr. Florian Oefe om ett nytt sätt att med lasersvetsning foga sidodörrarnas ytterpanel till innerstrukturen på modellserien 1-Reihe. I år återkom han tillsammans med kollegan Christian Roos för att berätta om lasersvetsning av sidodörrarna till Mini-modellen. Här handlade det delvis om "remote laser welding", men då utförd som en kantsvets med hjälp av ett sofistikerat verktyg från Scansonic IPT. Fördelen med denna positionering av svetsen är att man underlättar zinkavgasningen, även vid s.k. "nollspalt" [Fig. 9], och därmed slipper den annars nödvändiga dimplings- eller noppningsproceduren, vilket i sin tur innebär avsevärda tids- såväl som kostnadsbesparingar. I en experimentell studie som redovisades kunde vi vidare konstatera att med laserstrålen positionerad på bottenplåten, cirka 0,4 mm från toppplåtens klippkant, kunde svets-sprut i princip elimineras [Fig. 10]. En annan välbekant fördel med kälsvetsar är att processhastigheten kan hållas något högre jämfört med vad som är fallet vid en överlappssvets.

Hjärtat i processupplägget är det tidigare omtalade "scanner"-verktyget där Scansonic agerat som en form av systemintegrator och där Scanlab utvecklat optikkomponenterna, Lessmüller processövervakningen och Blackbird Robotics styrprogrammet för robot och "scanner" [Fig. 11]. Arbetsavståndet ligger på 660 mm och verktyget klarar att hantera upp till 8 kW lasereffekt transporterad i en 100 µm grov fiber. Relativt den inkommande laserstrålens diameter kan denna uppförstoras till en sex gånger större fokuspunkt. Arbetsvolymen angavs till 370×370×200 mm. Fogföljningen bygger på klassisk triangulering med hjälp av Scanlabs "intelliweld 30FCV", och processövervakning sker med Lessmüllers numera välbeprövade WeldEye®-system. Dess kamera är försedd med autofocus längs



**Figur 9**  
Som framgår ovan är det en avsevärd skillnad i svetskvalitet mellan kant- (överst) respektive överlappssvetsning (underst) av zinkbelagd plåt med "nollspalt".



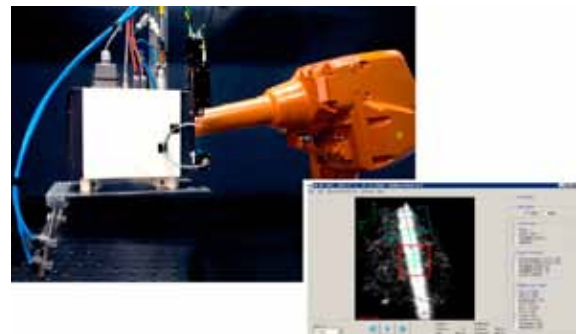
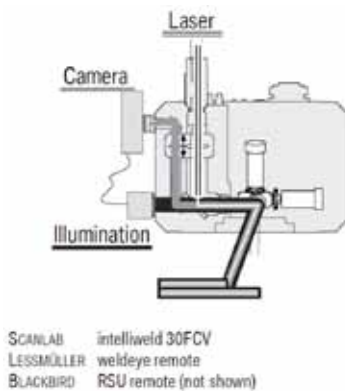
**Figur 10**  
Med laserstrålen positionerad på bottenplåten (-) cirka 0,4 mm från toppplåtens klippkant blir det i princip möjligt att svetsa "sprutfritt".

Z-axeln, och bildupplösningen kring den plåtkant längs vilken fogföljningen sker ligger omkring 0,1 mm. Den dynamiska korrigeringen av svetsläget utförs med över 100 Hz. I en efterföljande presentation av Dr. Wolfgang Vogel från Blackbird Robotersysteme "knöt denne samman säcken" genom att beskriva hur deras RobotSyncSystem fungerar. Med dess mjukvara korreleras robot- och "scanner"-rörelserna, och operatörsgränssnittet är synnerligen användarvänligt då det gäller att programmera robotbanan, svetspositionerna, laserparametrarna, samt att undersöka kollisionsrisker/åtkomst och optimera fogsökningen.

För efterkontroll av svetskvaliteten använder man sig av ett system från företaget W+R, vilket beskrevs i detalj av Jochen Sander. Metoden är

en kontaktlös, 3D-ytmätning, vilken visualiserar svetsarnas toppyta i en gråskala, varvid man kan detektera ytporer, svets-sprut och kantförskjutning [Fig. 12]. Porer ner t.o.m. 0,2 mm i diameter går att hitta, medan BMW-kollegorna menar att mindre porer än så kommer att tillslutas under ytbehandlingsprocessen. Tekniken är okänslig för processtörningar som rök, smuts, pressolja etc. och fungerar på såväl blanka som matta ytor.

Drivkraften för lasersvetsade sidodörrar har precis som hos VW varit möjligheten för kortare flänsar och därmed minskade komponentvikter. Innan dörren skickas in i laserkabinettet har dörrbågen fixerats till innerstrukturen, där båda detaljerna är tillverkade i 0,8 mm tjock, mjuk pressplåt DX54D zinkbelagd med 100 g/m<sup>2</sup>, med ett antal punktsvets-



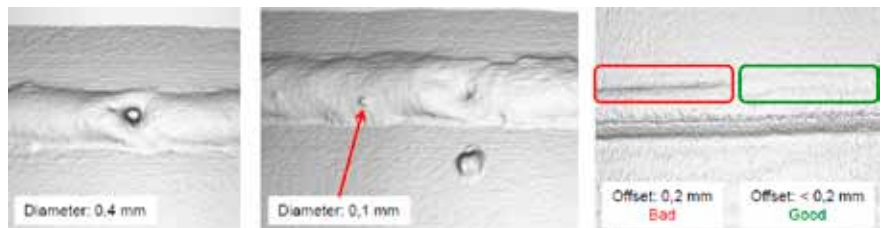
Figur 11

T.v. en principalskiss över det "scanner"-verktyg som BMW använder vid kantsvetsning med RLW för Mini-modellens sidodörrar och längst ner t.h. en visualisering av fogföljningen med Scanlabs "intelliweld 30FCV".

sar. Därefter sker fjärrlasersvetsningen med 1,8 kW lasereffekt från en Trumpf TruDisc4001, vilket resulterar i 27-31 korta laserstygn med en sammanlagd svetslängd av 1,1 meter. Svets hastigheten ligger kring 3 m/min vilket innebär en cykeltid för "remote"-operationen på endast 28 sekunder. Därefter transporteras dörrstrukturen till en andra laser cell där ytterpanelen adderas och svetsas till innerstrukturen med fyra längre, kontinuerliga svetsar och konventionell laserteknik med taktill fogföljning.

Detta är en lösning som är liksamt med den vi såg i fjol för 1-Reihe-modellens dörrar och där lasersvetsningen förutom viktsbesparing bidrar till en ökad vridstyvhet hos dörren. Avslutningsvis lät Dr. Oefele meddela att BMW har för avsikt att tillsammans med Scansonic IPT vidareutveckla sensorssystemet och integrera fler funktioner för kvalitetsövervakning så att man kan använda verktyget för andra material och till nya karosseriapplikationer.

Förutom de ovannämnda tyska föredragen rönkte också Renaults presentation av den lasersvetsade bakdörren till fjärde generationens Clio-modell, tillverkad i en glasfiberförstärkt termoplast, stor uppmärksamhet. Detta inte minst beroende på att den åtföljdes med en frågestund omkring några fysiska objekt där Hichame Roumadni fick möjlighet att i gammal god fransk tradition få prata sig varm för denna form av teknislösning [Fig. 13].



Figur 12

Med W+R:s verktyg, som här monterat på industrirobotar, är det möjligt att detektera ytporer, svets sprut och kant-förskjutning av svetsen.

Modellen som har varit i produktion sedan 2012, är en vidaerutveckling av Renaults konceptbil "Dezir", och omfattar också en takpanel som är laserlödd till karosidorna. Varianten med den egentillverkade plastdörren tillverkas i fabriken i Flins, men Clio-modellen kommer även att fortsätta produceras i Bursa i Turkiet. Just nu är den aktuella plastdörren en s.k. "limited edition" och kommer inledningsvis bara att tillhandahållas på bilar avsedda för den holländska marknaden. Jämfört med

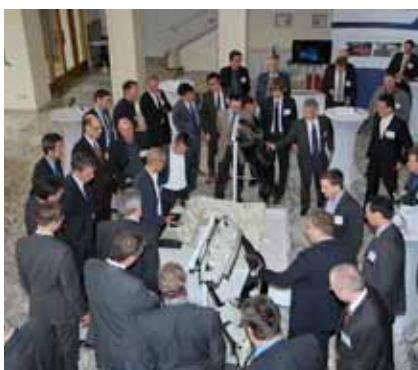
en ståldörr uppskattas viktsbesparingen ligga mellan 10-15% eller 2 kg. Andra incitament för denna teknislösning var att ha hela processkedjan "in-house" i ett flexibelt produktionsupplägg, samt att använda billiga råmaterial för att minimera produktkostnaden.

Bakdörren är en skalkonstruktion där ytter- och innerdel lasersvetsas samman med s.k. transmissions-svetsning. Detta innebär att den för laserväglängden transparenta komponenten positioneras ovanpå den

absorberande delen och fixeras till denna under högt tryck [Fig. 14]. Genom att laserljuset absorberas i den underliggande komponenten genereras värme vilket gör att de två komponenterna kan smältas samman lokalt. Intressant i sammanhanget är att den transparenta delen består av en 40%-igt glasfiberförstärkt polypropylen [PP], där man skulle kunna förmoda att fibrerna reflekterade och spred laserljuset med ty åtföljande störd svetsprocess. Emellertid kunde Monsieur Roumadni försäkra mig om att sådana risker inte förelåg då fibrerna är blott cirka 5 mm långa och har en diameter omkring 100 µm. Den absorberande delen är däremot tillverkad i ren PP. Svetscellen består av två KUKA-robotar som vardera betjänas av en diodlaser LFD 2000-10 från Laserline från vilken man tar ut 500 W, och i cellen utförs även plasmabehandling av den yta mot vilken glasrutan senare skall limmas. Svets hastigheten uppgår till 5 m/min och totalt svetsas 29 stycken överlappssvetsar, där var och en har ett dedikerat mothåll i fixturen, vilket representerar cirka 2,9 m svetslängd. Som kvalitetsövervakning "on-line" används en pyrometer som mäter temperaturen i relation till ett kalibrerat värde och efterinspektionen sker med en ultraljudsutrustning från General Electric [GE], vilken kompletteras med förstörande stickprovskontroll. Från utsidan är fogområdena helt osynliga eftersom värmen från svetsprocessen koncentreras till fogytorna och inte påverkar resterande, kringliggande områden [Fig. 15].

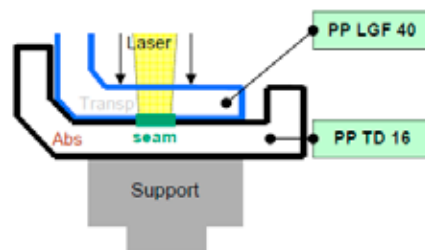
I den "live poll" som följde direkt efter presentationen, och där auditoriet fick välja mellan olika alternativ, visade sig acceptansnivån för en dylik lösning överträffa vad den gode Monsieur Roumadni hade förväntat sig [Fig. 16]

Så långt min redogörelse från EALA 2014 i detta nummer. I LaserNytt nummer två kommer jag att fokusera på de presentationer som handlade om kvalitetssäkring, nya laserkällor och -verktyg samt ytterligare några innovativa applikations-exempel.



Figur 13

Intresset var stort och frågorna många då Hichame Roumadni visade upp den lasersvetsade bakkörren till fjärde generationen av Renaults Clio-modell.



Figur 14

Bakkörren till nya Renault Clio består av två PP-skal som sammanfogas med 29 stycken lasersvetsar. Som vid all polymersvetsning med laser är fixeringstrycket mellan den transparenta och den absorberande komponenten en av de viktigaste processparametrarna.



Figur 15

Med den begränsade värmeförsel som lasertekniken erbjuder blir fogarna osynliga från bakkörrens ut- och insidor.



Figur 16

På frågan huruvida man trodde att lasersvetsade bakkörrar i plast kommer att öka i framtida produkter hade 2/3 av auditoriet en positiv inställning (30% svarade ja och 40% kanske).

# Konstruera för lasersvetsning

## – David Havrilla ger sin syn på konstruktionsaspekter vid fjärrlasersvetsning

Johnny K Larsson, Volvo Cars

David Havrilla har under många år varit en trogen medarbetare hos Trumpf Inc. i USA, men det är först under den senaste femårsperioden som jag närmare lärt känna denne sympatiska och kompetente laserföreträdare. Framförallt har jag fascinerats av hans konstruktionsinriktade presentationer, ett ämnesområde som självklart ligger mig själv varmt om hjärtat, vid diverse laserkonferenser. Under ICALEO®-konferensen i Miami förra året fann vi lite tid för ett ostört samtal kring "Dave":s synpunkter på fjärrlasersvetsning [RLW = Remote Laser Welding], något som jag i detta avsnitt av "Samtal kring lasertrender" kommer att sammanfatta.

Vid varje form av laserbearbetning, då lasern måste vänta på laddning av detaljer och följaktligen befinner sig i någon form av "vänteläge", begränsas den potential metoden erbjuder i form av hög produktivitet och finansiella intäkter. För att motverka detta och berättiga de

höga investeringskostnader som är förknippade med en ny laserinstallation skall den s.k. "beam-on time" vara så nära 100% som möjligt. Ett sätt att maximera den tid som lasern verkligen utnyttjas är att använda sig av en process som blivit bekant under namnet fjärrlasersvetsning eller "remote laser welding".

Medan man vid traditionell lasersvetsning använder industrirobotar eller portalrobotsystem för att manipulera laserstrålen eller arbetsstycket, arbetar "remote"-tekniken med relativt långa fokallängder, ibland upp till en meter (!), och galvo- eller s.k. "scanner"-speglar för att röra den fokuserade laserstrålen över arbetsstycket. Dessa speglar är lätta i vikt och går därmed extremt snabbt att röra och detta medför att indexeringstiden mellan två olika svetslägen blir näst intill noll. Därför kan man med fog påstå att lasern kommer att spendera mer tid på svetsning och mindre tid i "vänteläge", vilket resulterar i högre genomströmning



av svetsade detaljer samt att färre laserstationer krävs för den aktuella svetsuppgiften. Detta sammantaget betyder avsevärda tids- och kostnadsbesparingar.

Denna form av "scanner"-svetsning används för många olika applikationer inom bilindustrin och omfattar exempelvis stolsstommar (säten, ramar, skenor och paneler), karossdetaljer (påhångsdetaljer som sidodörrar bakluckor och skärmar samt karossidor och stolpar) och interiöra komponenter (instrumentpanelbärare och hatthyllor) [Fig. 1].



**Figur 1**  
"Remote Laser Welding" används flitigt inom bilindustrin; här exemplifierat med två applikationer – stolsstomme och karossbakstycke.

I jämförelse med konventionell lasersvetsning har ”remote”-tekniken följande fördelar:

- Reducerad cykeltid genom reducerad tid för ompositionering
- Programmerbara svetsmönster vilket gör att fogen får en optimal lastupptagningsförmåga
- Långa arbetsavstånd som ökar livslängden för skyddsglas och optikkomponenter
- Reducerat antal fixturer p.g.a. att ett mindre antal arbetsstationer krävs

Men med ”scanner”-verktyget monterat på en robotarm kan man också utföra s.k. ”welding on-the-fly”, d.v.s. svetsningen utförs via galvospeglarnas rörelser samtidigt som industriroboten befinner sig i rörelse. På detta sätt kan produktiviteten ökas ytterligare. Det tar mindre än en minut att färdigsvetsa en komplett sidodörr med mellan 60-80 högkvalitativa svetsar, där robotarmen styr svetsverktyget längs en mjuk, förprogrammerad bana cirka en halv meter ovanför detaljerna. För att kunna svetsa från detta förhållandevis långa avstånd krävs laserkällor med mycket hög strålkvalitet som exempelvis disk- eller fiberlasrar.

”Scanning”-optiken, också känd som PFO [Programmable Focusing Optics], är ansluten till den optiska fibern och utgör det centrala elementet för precis positionering av fokuspunkten på det objekt som skall svetsas. Inuti ”scannern” skickar de två galvospeglarna laserstrålen genom en planfältslins som fokuserar strålen på ett gemensamt fokalplan oavsett var man befinner sig inom PFO-verktygets arbetsområde. Den senaste generationen av dessa verktyg är också försedd med en motoriserad lins som gör att fokalplanet kan varieras i z-led. Ompositionering av den fokuserade laserstrålen från ena kanten av arbetsområdet till den andra sker på mindre än 30 millisekunder.

För att kunna genomföra en högkvalitativ ”welding on-the-fly”-process krävs tre grundförutsättningar. För det första tillgång till en fastkroppslaser vars våglängd till-

låter transmission av laserljuset via en flexibel, optisk fiber, något som krävs vid robotiserad svetsning av komplexa tredimensionella komponenter.

För det andra måste lasern ha en mycket god strålkvalitet och leverera tillräckligt hög effekt. Strålkvalitet är som ni säkert känner till ett mått på laserstrålens fokuserbarhet, och då man tar i beaktan de långa fokallängder som krävs vid fjärrlasersvetsning är en strålkvalitet mellan 4-8 mm\*mmrad en nödvändighet om man skall få en lämplig fokalpunktstorlek. Vanligtvis krävs en diameter kring 0,6 mm vid svetsning med 4-6 kW lasereffekt, vilket är representativa värden vid tillverkning med ”remote”-svetsning i bilindustrin.

Den tredje fundamentala förutsättningen för ett lyckat svetsresultat är en exakt positionering av svetsfogarna, något som kräver synkronisering av robotens och ”scanner”-verktygets styrfunktioner. Detta möjliggör att en svetsform programmerad som ett ”C” i ”scanner”-verktygets kontrollenhet verkligen får formen av ett ”C” då roboten rör sig med olika hastigheter över den

komponent som skall svetsas. Svetsmönster i alla tänkbara former och storlekar kan skapas då man svetsar ”on-the-fly” med PFO-verktyget, och oberoende av robothastigheten går det att göra väldigt precisa svetsmönster, något som skulle vara omöjligt att realisera om man endast hade att förlita sig på robotens ganska klumpiga och oprecisa rörelser.

Även om linjära lasersvetsar kräver avsevärt smalare flänsar än punktsvetsar utförda med motståndssvetssteknik kan det i vissa fall vara befogat med C- eller klammerformade svetsar för att på så sätt uppnå den ideala balansen mellan styrka och viktreduktion [Fig. 2]. Oavsett om valet faller på linje-, cirkel- C- eller S-formade svetsmönster möjliggör fjärrlasertekniken att man kan reglera storlek, positionering och orientering av svetsarna på ett sådant sätt att såväl hållfasthet som vikt kan optimeras för den svetsade komponenten.

Förutom de ovannämnda fördelarna med ”remote”-svetsning utgör lasersvetsningens enkelsidiga åtkomst en annan fördel jämfört med motståndspunktsvetsning, en



Figur 2

Fjärrlasersvetsning av en dörrpanel visar upp en blandning av linjeformiga såväl som C- och klammerformade svetsar.

metod som bekant kräver åtkomst från båda sidor av fogen. Slutna sektioner, som rör och fyrkantprofiler vilka används i ramkonstruktioner, är betydligt mer vridstyva jämfört med öppna sektioner tillverkade genom klassisk plåtpressning. Genom att använda en större andel slutna sektioner i karosstommen kan man avsevärt öka dess styrka och styvhet, samtidigt som såväl vikt som tillverkningskostnader reduceras!

Jämfört med motståndsvetsning representerar ”scanner”-svetsning ”on-the-fly” ett avsevärt effektivare alternativ vid hopsättning av ett ökande antal komponenter inom bilindustrin. Den relativt långa ompositioneringstid som hänger samman med punktsvetsstångens förflyttning från ett svetsläge till ett annat elimineras mer eller mindre vid fjärrlasersvetsning. Med ”scanner”-verktyget i oavbruten rörelse, kombinerat med den snabba omställningen av fokuspunkten via galvo-speglarna, får man en dramatisk minskning av genomloppstiden vid svetsning. Det blir m.a.o. möjligt att skapa en lasersvets som har en hållfasthet jämbördig med en punktsvets – men utförd under bråkdelen av tiden. I en karosfabrik, där detaljernas plåttjocklekar ligger mellan 0,6-1,8 mm, är tiden för att applicera en punktsvets cirka två sekunder medan en motsvarande lasersvets kan skapas på mindre än 0,4 sekunder med ”remote”-tekniken – sålunda en reduktion av svetsstiden med en faktor fem.

Daimler AG var den första biltillverkare som introducerade ”remote laser welding on-the-fly” i serieproduktion [se ”Samtal kring lasertrender” i LaserNytt #2-2009]. Detta skedde 2007 då man presenterade sitt RobScan-koncept som används vid svetsning av komponenter till C-Klasse-modellen i fabriken i Bremen, Sindelfingen och East London [RSA]. Idag har Daimler mer än 70 RobScan-system installerade med Trumpfs PFO 33 ”scanner”-verktyg kombinerade med diodpumpade disklasrar på 3 alternativt 4 kW. Daimler använder sig numera av andra generationens RobScan-verktyg där

de huvudsakliga förbättringarna ligger i en ytterligare optimering av svetskvalitet och kostnadseffektivitet genom förkortade cykeltider och förbättrat utnyttjande av tillgänglig lasersereffekt. Detta har man åstadkommit genom fyra olika innovationer:

- Variabel fokuspunktspositionering av laserstrålen längs z-axeln
- Kontrollerat penetrationsdjup
- Vidareutveckling av en ”on-line”-kontroll av svetskvaliteten
- Off-line simulering vid programmering av laserinstallationen

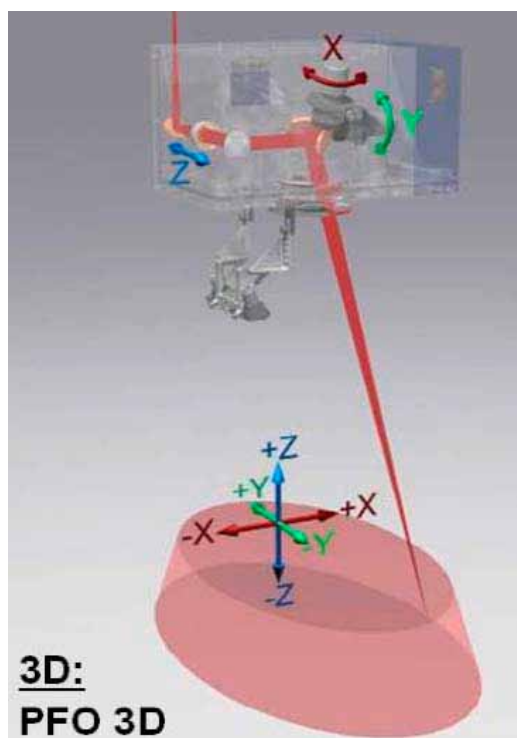
Den extra z-axeln i PFO 3D-verktyget gör det möjligt att svetsa på olika avstånd från ”scanner”-optiken, eller att svetsa uppför eller nedför ett lutande plan, utan att ändra robotbanan utefter z-axeln [Fig. 3]. Vidare har kollegorna i Sindelfingen konstaterat att genom att reducera penetrationen kan man avsevärt minska andelen svetsrut, samtidigt som man ökar processhastigheten utan att för den skull göra avkall på svetsarna hållfasthet.

Robotbanan kan programmeras ”off-line” med nya simuleringsverktyg. Med dessa kan man undersöka åtkomsten vid varje svetsläge, undersöka kollisionsrisker med fixturdelar samt optimera koordinationen mel-

lan robot- och ”scanner”-rörelser. Allt detta sammantaget minskar installationstider och tider för verktygsbyten, förkortar cykeltider och supporterar vid planering av utrustningar för komplexa installationer. ”Off-line”-programmeringen säkerställer också att robotbanor och framföringshastighet kan optimeras.

Tjugo system av den nya RobScan-generationen med PFO 3D-”scanner” har adderats för E-Klasse-produktionen i Sindelfingen. Om man tittar i stort på C- och E-Klassekarosserna så har ungefär 15% av de tidigare punktsvetsarna ersatts med svetsning ”on-the-fly” med den förbättrade RobScan-processen. Sju stycken 6 kW disklasrar används vid E-Klasse-produktionen i Sindelfingen. Genom att använda det förbättrade ”scanner”-verktyget och avancerade simuleringsprogram för robotbanor och processtyrning hävdar Daimler att man kunnat minimera det antal ”remote”-installationer som krävs vid tillverkningen av E-Klasse-modellen.

En ”remote welding”-cell kan ersätta upp till fem konventionella punktsvetsstationer. Samtidigt krävs kanske bara en eller två fixturuppsättningar för att svetsa samman olika strukturella karosskomponenter.



**Figur 3**

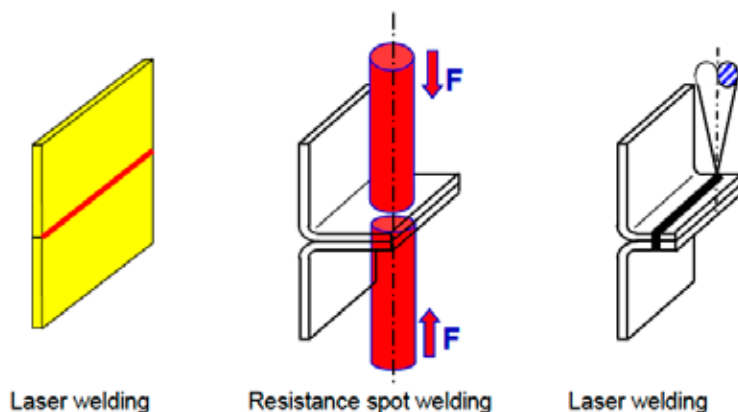
Principskiss över fjärrlasersvetsning med PFO 3D-verktyget där man kan få en uppfattning om det tredimensionella arbetsområdet.

Genom att olika komponenter kan lasersvetsas i samma cell eller att olika processer, som laser-”dimpling” [tillverkning av distanshållande noppor med en pulsad laser] och RLW kan utföras i samma station, frigörs ytor i karosfabriken. Jämfört med en punktsvetsad sammansättning av dörrstrukturen har tillverkningstiden reducerats med 80% vid införandet av fjärrlasersvetsning.

Men fördelarna vid lasersvetsning är inte bara av kvantitativ art utan även kvalitetsmässiga då ”remote”-tekniken minimerar produktionstoleranser. Först och främst genom att lasersvetsningen tillför mindre värme och mekaniska spänningar är andra svetsmetoder, men också genom att man vid fjärrlasersvetsning minskar antalet fixturer och därmed förflyttningar mellan dessa. Detta resulterar i en förbättrad dimensionsstabilitet hos såväl de svetsade komponenterna som för hela karosstrukturen.

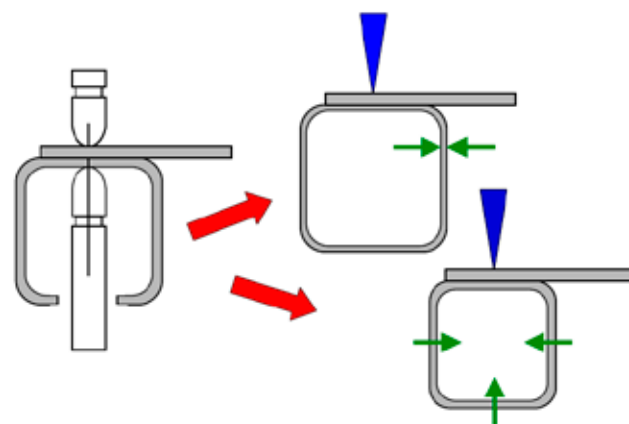
Genom de förbättringar i karosprestanda som ”remote”-tekniken möjliggör kan man sammanfattningsvis påstå att de sammanvägda kostnaderna för ett ”remote”-system jämfört med motståndspunktsvetsning är gynnsamma trots de relativt höga investeringskostnaderna för ”scanner”-verktyg och laserkälla. De besparingar man kan göra hör samman med en avsevärt ökad flexibilitet då det är möjligt att ”remote”-svetsa olika karossvarianter i en och samma cell. Användningen av RLW begränsas inte till sidodörrar, karosidor och bakstycken i stålplåt. Fler och fler underleverantörer till bilindustrin använder tekniken vid tillverkning av s.k. delsammanställningar i form av stötfångare, bottenställare, reservhjulbaljor och instrumentpanelbärare.

Lasersvetsning kommer även i fortsättningen att utgöra ett avsevärt inslag vid sammansättning av personbilskarosser. Hur snabb tillväxten av lasersvetsade applikationer kommer att vara beror primärt på konstruktörernas ökade medvetenhet om lasersvetsningens förträfflighet. De verkliga fördelarna, i form kostnadsbesparingar och produktivitetökning i jämförelse med mot-



Figur 4

Med lasersvetsning kan man reducera eller helt eliminera svetsflänsar jämfört med vad som är möjligt vid motståndspunktsvetsning.



Figur 5

Vid lasersvetsning krävs endast åtkomst från en sida av fogen, vilket förutom viktsreduktion bidrar till en ökad hållfasthet jämfört med en punktsvetsad lösning.

ståndspunktsvetsning, när man först när komponenterna medvetet konstrueras för lasersvetsning. Här följer några rekommendationer:

Reducera komponentvikt och -kostnad genom att minska eller t.o.m. eliminera flänsbredder, vilket möjliggörs genom enkelsidig bearbetning och god åtkomst för laserstrålen [Fig. 4].

- Reducera komponentvikt och -kostnad genom att använda tunnare material, vilket möjliggörs genom att använda skräddarsydda svetsgeometrier eller kontinuerliga lasersvetsar i högt påkända områden i komponenten
- Reducera komponentvikt och -kostnad och öka sektionshållfastheten genom att eliminera de åtkomsthål för elektroder som är nödvändiga vid en punktsvetsad lösning [Fig. 5]

- Reducera distorsioner som ett resultat av svetsprocessen och därmed eliminera efterbearbetning eller riktning genom att utnyttja fördelen med den låga värmeförselelsen vid lasersvetsning, eller genom att reducera antalet processteg med tillhörande fixering
- Eliminera alla former av efterbearbetning som t.ex. slipning genom lasersvetsens tilltalande estetiska utseende
- Ta tillvara de unika designmöjligheter som lasersvetsning eller -lödning erbjuder, där fogar inte behöver döljas av kostsamma tätningoperationer eller tillkommande prydnadslister

Den som helt och fullt beaktar dessa punkter är på rätt väg för att fullt ut dra nytta av lasersvetsningens fördelar.

# Forserums verktygsindustri Investerar i en stans-lasercell!



Den nya Prima Power LPe8 med operatörerna fr. v. Mattias Hedin och Kjell Johnsson.

**Allt sedan verksamheten startade vid mitten av 40-talet har de haft rykte om sig att göra bra jobb, levererade i rätt tid till vettiga priser. Då handlade det nästan uteslutande om verktygstillverkning. Idag förser de kunder i södra Sverige och framförallt kunder i Småland med legotillverkade detaljer i plåt och rostfritt. Man pressar, laserskär, stansar och bockar, svetsar och slipar, bearbetar aluminiumprofiler och erbjuder, lackering och ytbehandling – ja, listan blir lång!**

Maskinen som Forserums Verktygsindustri nu investerar i är en Prima Power servoelektrisk stanslasercell, LPe8, som ger en enastående flexibilitet, snabbhet, noggrannhet och produktivitet. Maskinen installerades till semestern förra året. Richard Fagerstrand förklarar;

– Nu kan vi laserskära själva i egen regi och sänka våra leveranstider ytterligare. Vi hoppas också att våra kunder skall bli

uppmärksamma på vår nyinvestering och det försäljningsarbetet är nu igång. Vi har aldrig jobben i huset innan vi investerar i en ny maskin och det har vi inte haft någon gång.

– Här står vi idag med en toppmodern maskinpark, utökade produktionsytor till över 6 000 kvm och 25 högst motiverade medarbetare där vi samtliga arbetar enligt kvalitetssystem ISO 9001 och följer de miljömål som finns specificerade i ISO 14001, säger vd Torbjörn Andersson som tillsammans med Richard Fagerstrand leder verksamheten.

Den servoelektriska Prima Power LPe8 laserstansmaskinen integrerar stansning och laserskärning i en flexibel plåtbearbetningscell. Programmering sker genom inläsning av CAD-geometrier, automatisk verktygsutläggning och nesting. Denna metod ger en oerhörd flexibilitet och kombinerar fyra tempon i en maskin; stansning – laserskärning – formning – gängning.

# Gaser och gasblandningar för skärning och svetsning med fiber- och CO<sub>2</sub>-laser

Bo Williamsson, Application manager  
AGA Gas AB, Region Europe North

Utvecklingen av nya laserkällor ger nya möjligheter när det gäller skärning och svetsning. De kortvågiga disk- och fiberlasrarna (i artikeln benämnda fiberlasrar) förändrar också till viss del synen på de gaser som skall användas i de olika processerna. Artikeln är ett försök att, på ett begripligt sätt klargöra skillnaderna mellan de olika lasertyperna sett ur ett gasperspektiv.

## Laserskärning med fiber respektive CO<sub>2</sub>-laser

Vid inertgasskärning av konstruktionsstål och rostfria stål minskar skärfrontens vinkel vid ökad hastighet, **figur 1**. För CO<sub>2</sub>-lasern nås den optimala vinkeln vid relativt låg hastighet. Även om hastigheten kan ökas genom att öka lasereffekten kommer skärfrontens vinkel att avvika från den s.k. Brewstervinkeln varvid en stor del av laserljuset reflekteras.

Brewstervinkeln för en fiberlaser är mindre än för en CO<sub>2</sub>-laser. Detta betyder att maximal absorption nås vid en mindre brant skärfront, dvs. vid en högre skärhastighet. Skillnaden i Brewstervinkel mellan lasertyperna innebär rent praktiskt att en fiberlaser kan skära upp till 3 gånger snabbare än en CO<sub>2</sub>-laser i tunnplåt, **figur 2**. Skärprocessen blir mycket effektivare genom den mindre vinkeln (och därmed den ökade absorptionen i snittet).

För tjockare material måste hastigheten minskas varvid vinkeln ökar. Detta betyder att CO<sub>2</sub>-lasern producerar högkvalitativa snitt i dessa tjocklekar. Fiberlasern arbe-

tar här bortom Brewstervinkeln och skärprocessen påverkas av multipla reflektioner i snittet. Processen är fortfarande effektiv, men snittkvaliteten påverkas negativt.

Laserskärning av konstruktionsstål med oxygen är inte beroende av våglängden i samma utsträckning. Med ökande plåttjocklek kommer en större andel av den nödvändiga

energin för skärningen att komma från förbränningen av järn i snittet. Skärhastigheten påverkas således inte av valet av lasertyp. Sammanfattningsvis kan sägas att Fiberlasern är ett bra val när det gäller skärning av tunt material (4-6 mm) med nitrogen, medan CO<sub>2</sub>-lasern ger fördelar vid skärning av tjockare material.

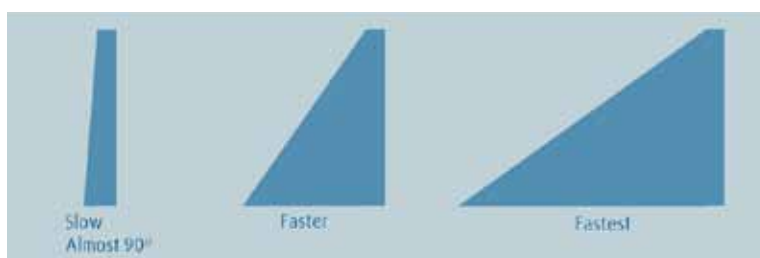


Fig. 1  
Skärfrontens variation med hastigheten.

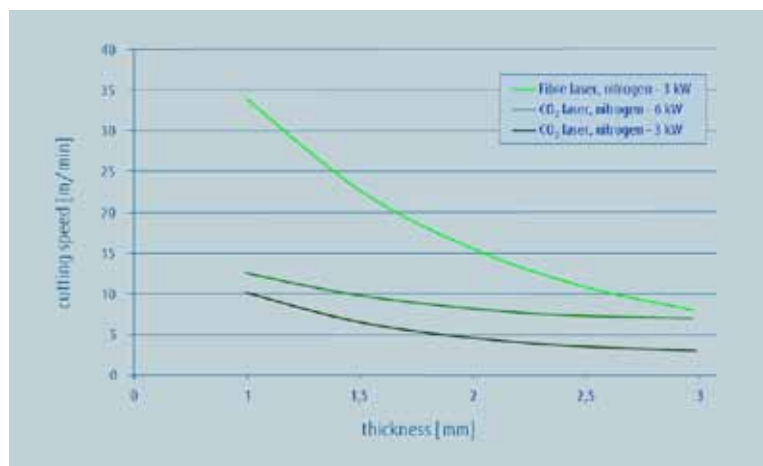


Fig. 2  
Exempel på skärhastigheter vid nitrogenskärning med fiber- och CO<sub>2</sub>-laser.

## Lasersvetsning

Den största skillnaden vid svetsning med de två olika lasertyperna är att plasmabildningen inte är något problem med fiberlasern beroende på den korta våglängden. Plasmabildningen vid svetsning med CO<sub>2</sub>-laser är avsevärt större p.g.a. den ökade absorptionen. För att uttrycka det hela i enklare termer så genererar CO<sub>2</sub>-lasern ett plasmafyllt nyckelhål vid svetsningen medan fiberlasern inte gör det. Konsekvensen är att fiberlasern producerar en smalare svets med en mindre värmepåverkad zon vid högre hastighet. En nackdel är att fiberlasern tenderar att generera mer svetsnsprut i vissa material. Anledningen till detta är att strålen träffar väggarna i nyckelhålet direkt, och inte indirekt via värmeöverföring från plasmat som är fallet med CO<sub>2</sub>-lasern. Plasmaegenskaperna hos fiberlasern påverkar också valet av processgas.

## Gaser för laserskärning

### Skärning med nitrogen

#### (konstruktionsstål, rostfria stål)

Här är skärningen beroende av mekaniska processer för att avlägsna den smälta metallen ur snittet. Högt gstryck är nödvändigt för att tillföra tillräckligt med energi till processen. Oxygenhalten i gasen måste hållas på låg nivå för att undvika oxidation av snittyorna. **Figur 3a och 3b** visar exempel på skärresultat med olika nitrogenkvaliteter. För att få oxidfria snitt genom hela tjockleksregistret krävs ofta en nitrogenkvalitet på 99.996%. Ju tjockare material, desto högre krav på gasens renhet.

### Skärning av konstruktionsstål med oxygen

Här styr den exoterma reaktionen mellan järn och oxygen en stor del skärprocessen.

Fiber- och CO<sub>2</sub>-lasern uppvisar inga stora skillnader vid skärning med oxygen. **Figur 4** visar att det är liten skillnad i skärhastighet mellan de två lasertyperna. Ökning av laser-effekten ger ingen signifikant skillnad i skärhastighet eftersom denna



Fig. 3a

Laserskärning i 3 mm plåt med olika nitrogenkvaliteter.

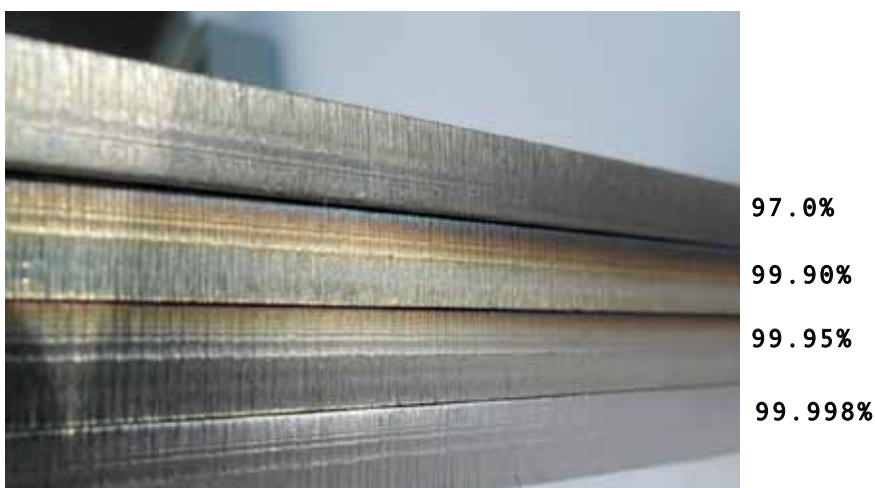


Fig. 3b

Laserskärning i 6 mm plåt med olika nitrogenkvaliteter.

till stor del styrs av reaktionstiden mellan järn och oxygen.

En viktig parameter vid skärning med oxygen är gaskvaliteten. Huvudföroreningen i oxygen är ofta argon (viss del nitrogen). Vid skärning i tjockare material förbrukas en stor del av oxygenet i skärgasen vid förbränningen av järnet. Detta innebär att ju djupare ner i snittet man kommer, desto mer ökar koncentrationen av argon. Vid en viss halt av argon påverkas hastigheten negativt

vilket till slut utgör en begränsande faktor för processen. I klartext betyder detta att den maximala hastigheten kan ökas upp till 30% vid övergång från 99.5% till 99.95% renhet på oxygenet.

Högre renhet på oxygenet ökar inte bara skärhastigheten, även effektiviteten förbättras vilket ger synbara resultat vid skärning i material nära tjockleksmaximum för lasern.

I och med introduktionen av fiberlasern har användandet av oxygen för skärning kommit att bli mer och mer avgränsad till skärning av tjockare material, och det är just här som renheten på gasen spelar störst roll.

### Gaser för lasersvetsning

Processgasen vid lasersvetsning har flera uppgifter, bl.a. att optimera svetskvalitet och prestanda. Skydd mot oxidation och minimering av sprut är andra viktiga uppgifter för processgasen. Vid svetsning med CO<sub>2</sub>-laser ska dessutom gasen undertrycka plasmabildningen ovanför nyckelhålet. Plasmabildningen är inget problem vid svetsning med fiberlaser. Valet av gas styrs här av bl.a. laserljustes våglängd och det svetsade materialets egenskaper. Tillsats av aktiva komponenter kan påverka såväl svetsmältans rörelse som de metallurgiska egenskaperna, exempelvis genom att påverka smältans ytspänning och introducera kol och syre i svetsgodset.

Den vanligaste gasen för svetsning med högeffekts CO<sub>2</sub>-laser är helium eller heliumbaserade blandningar. Valet styrs oftast av gasens förmåga att minimera plasmabildningen. Helium ger också fördel i form av hög termisk ledningsförmåga vilket förbättrar kylningen av det svetsade materialet. Rent helium fungerar i de flesta fall när det gäller att skapa en stabil svetsprocess. Vid inte alltför höga lasereffekter (upp till 6-8 kW) kan helium blandas med andra gaser för att minska heliumförbrukningen, men även för att förbättra svetsprestanda. Vid höga effekter hos CO<sub>2</sub>-lasern (över 10-12 kW) används i regel rent helium för att undvika överdriven plasmabildning.

Figur 5 visar effekterna från olika processgaser. Tydligt är att argon i detta fall ger så mycket plasma att bara en bråkdel av energin kommer svetsprocessen till nytta.

Helium ger god svetskvalitet och ett stort parameterfönster. Processgasen kan justeras genom att blanda i argon i gasen. Tillsats av koldioxid påverkar viskositeten hos smältan och tillför energi till processen ge-

nom frigörande av oxygen. Exemplet visar på 30% ökning i svets hastighet då argon och CO<sub>2</sub> tillsätts.

I fiberlaserfallet är plasmabildningen inget problem. Valet av gas styrs istället av processegenskaper och interaktion med materialet. Helium ger inga stora fördelar, normalt används argon eller argonbaserade gaser. Helium kan tillsättas för att utnyttja den höga värmeledningsförmågan, eller för att reducera sprut.

### Sammanfattning

Användningen av fiberlaser för skärning och svetsning i tunnare material ökar, till viss del på bekostnad av CO<sub>2</sub>-lasern. Vid skärning drivs

förändringen av ökade prestanda, och vid svetsning av möjligheten att överföra laserstrålen via fiber. En fördel med fiberlasrar vid svetsning är att argonbaserade gaser kan användas, något som ökar kostnadseffektiviteten.

Prestanda och ekonomi vid svetsning med CO<sub>2</sub>-laser kan förbättras genom att byta ut delar av det traditionellt använda heliumet mot argon och små mängder CO<sub>2</sub>.

CO<sub>2</sub>-lasern kommer även i framtiden att spela en betydande roll när det gäller skärning med oxygen i lite tjockare material. CO<sub>2</sub>-lasern har också sin givna plats när det handlar om skärning med nitrogen i tjockare rostfritt material.

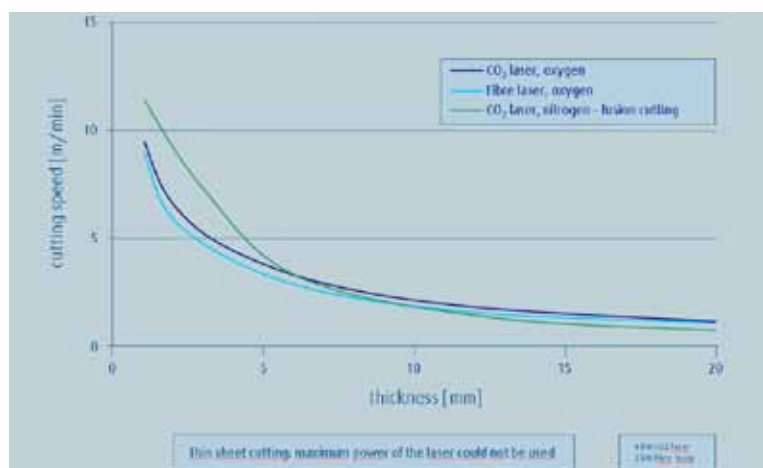


Fig. 4 Skärhastighetsjämförelse vid laserskärning med oxygen

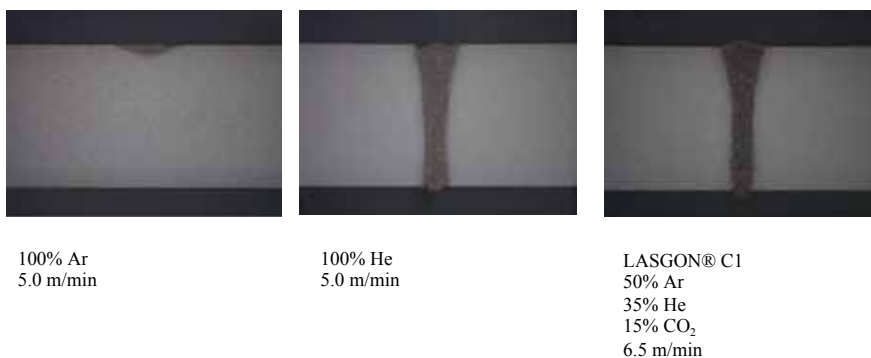


Fig. 5 6 kW CO<sub>2</sub>-lasersvetsar i 3 mm plåt.

# Laserdag hos Lindø Welding Technology

# Laserkraft ”en masse”

Hans Engström, Luleå tekniska universitet



Bild 1

På studiebesök i LWT:s laserlaboratorium där man har kopplat samman två 16 kW disklasrar till en robotbaserad arbetsstation.

Lindø Welding Technology A/S har investerat i ett system med två 16 kW disklasrar för att kunna hjälpa sina kunder att testa och utveckla laserteknologi i en ”open-lab” miljö. Man finns i Lindø Industrial Park, som en gång var Odense Steel Shipyard, och som erbjuder faciliteter och utrustning för stora infrastruktur- och vindkraftsprojekt. Här har man skapat ett attraktivt laserlaboratorium, vars signum är hög laser-effekt och att man kan hantera stora produkter och komponenter på ett rationellt sätt. Här arrangerade LaserGruppen tillsammans med den danska Laser-ERFA-gruppen och ATV-SEMAPP ett gemensamt höstmöte den 29 oktober 2013, vilken lockade 38 deltagare.

Programmet var en mix av danska och svenska presentationer där bl.a. laserytbehandling, kvalitetssäkring vid lasersvetsning, lasersäkerhet, laserapplikationer, och en betraktelse om hur lasern som ett mångsidigt verktyg i små och medelstora företag.

## Kvalitetssäkring i fokus hos Danfoss

Danfoss A/S är ett välkänt och världsledande företag med 56 000 anställda och verksamhet i 18 länder med 56 fabriker. Man är en stor användare av laserteknik och har ett 30-tal lasrar i effektområdet 1000-

3000 W i produktion. Man har många produkter som tillverkas i volymer upp till 1 miljon styck per år. Komponenterna väger mellan 0.1 till 5 kg. Och med dessa volymer är det viktigt att minska kostnaderna för ombearbetning och kassationer i samband med lasersvetsningen.



Bild 2

Danska föredragshållare vid det dansk-svenska lasermötet i Lindø. Fr. v. Michel Honoré, FORCE Technology, Erik Dohn Laursen, Danfoss A/S samt Aage Søndergaard, JPBC A/S. På bilden saknas Steen-Erik Nielsen, FORCE Technology.

– Vi arbetar mycket med studera felmekanismer och att eliminera dessa i svetsprocesserna, berättar Erik Dohn Laursen, som arbetar som chef på svetsavdelningen på Danfoss. Därmed så söker vi uppnå optimal kvalitet och minskar omkostnaderna.

På Danfoss svetsar man bl.a. rostfritt stål, aluminium, platina, mässing i tjocklekar mellan 0.2 till 3 mm. Man arbetar kontinuerligt med att skapa kunskap om lasersvetsprocessen inom prototyp tillverkning och serieproduktion, samt att svetsavdelningen också kan fungera som ”back-up” för produktionen.

Vi har identifierat ett flertal felmekanismer som påverkar svetskvaliteten berättar Erik:

- Personal (utbildning och attityder)
- Material
- Metod
- Maskiner
- Miljö
- Mätning

Man arbetar mycket systematiskt och använder metoden FMEA (Failure Mode and Effect Analyses) som ett av flera viktiga verktyg i kvalitetsarbetet. Där ingår också att göra en målsystemanalys (MSA), att upprätta standard operations process (SOP), samt en ”Control Plan” där man beskriver vad som ska mätas, hur ofta och med vilken utrustning. Och allt dokumenteras i en loggbok.

I produktionen använder man sig av statistisk produktionsstyrning (SPC) och flera andra metoder för kvalitetskontroll.

– Vårt mål är att ha mindre än 100 ppm (part per million) i returerna från våra kunder. Vi har dock ingen on-line processövervakning utan litar till vårt förebyggande kvalitetsarbete och kvalitetssystemen i produktionen, avslutar Erik Dohn Laursen.

### 32 kW lasereffekt hos Lindø Welding Technology

Lindø Welding Technology A/S (LWT) är ett ”non-profit” företag som ägs gemensamt av FORCE Technology och Lindø Offshore Renewables Center (LORC), berättar Michel Honoré, som huvudsak-



**Bild 3**

Två mycket välkända produkter, radiatortermostat och radiatorventil, ur Danfoss mycket stora produktsortiment.



**Bild 4**

Michel Honoré visar innandömet i en av de två 16.kW disklasarna. Arbetsstationen är byggd kring en 70 kg Fanuc robot.



**Bild 5**

Lasersvetsning med 2x16 kW disklasrar vid LWT.

ligen arbetar som projektledare vid FORCE Technology i Brøndby, men som också är engagerad i LWT. LWT etablerades för att hjälpa kunder och ägare att utveckla sina affärer och för att klara detta vill man ligga i fronten för teknologisk forskning. Därför har man avsatt 15% av tiden

till att arbeta med just forskning, utveckling, innovationer och industrialiseringsprojekt. Och här spelar det nya 32 kW disklasersystemet en framträdande roll. Den ger två 0.2 mm stora fokuspunkter med ett inbördes avstånd på 0,36 mm.

## Fem gånger lägre svetskostnad med laserhybridsvetsning

LWT startade sin verksamhet i januari 2013 och har börjat att utvärdera möjligheterna för lasersvetsning med det nya lasersystemet, som förutom de två lasrarna består av en 70 kg Fanuc robot. Man koncentrerar arbetet till lasersvetsning och laserhybridsvetsning av tjocka material med potentiella applikationer inom t.ex. vindkraftsindustrin.

Vi har gjort en kalkyl för en 14 m lång svets i 40 mm tjockt material, berättar Michel, för att undersöka potentialen för laserhybridsvetsning. Den visar att kostande per svets blir € 81 för laserhybridsvetsning medan kostnaden för pulverbågsvetsning blir € 435 per svets. En kostnadsminskning på drygt 5 gånger!!

Vid LWT har nu 1,25 anställda på plats i Lindø, men personalstyrkan förstärks vid behov av personal från FORCE Technology för att leda och arbeta i projekt.

Mera information finns via:  
<http://www.lwt.dk/>

## Trögt med lasersvetsning i Sverige

Bengt Johansson, LaserCentrum i Gnosjö AB berättade om hur man som underleverantör, ser på lasersvetsning och hur den kan utvecklas i de små företagen. Lasercentrum i Gnosjö har 22 anställda och arbetar med tre skärlasrar och har två stationer för lasersvetsning.

Lasersvetsning är fortfarande ovanligt inom underleverantörsbranschen säger Bengt, och konkurrensen är hård om de objekt som kommer ut på marknaden.

## Lasersvetsning exotisk

Vilka faktorer hämmar då lasersvetsningen utveckling i Sverige?? Bengt pekar på några:

- Få lämpliga jobb
- Små serier – pressade priser
- Få ”repeat”-ordrar, osäkra ordrar
- Svår fixturering
- Okänd teknik – kunskap saknas hos konstruktörer
- Hög investeringskostnad

Hur kan man komma runt dessa ”problem”? Bengt menar att man kan använda begagnad laserutrustning t.ex. Nd:YAG-lasrar (tyvärr så har dessa lasrar hög elförbrukning). Man kan också kombinera laserskärning/lasersvetsning. Introduktion av nya lovande lasersvetsmetoder kan också ge möjligheter. Billigare laserkällor i framtiden, som t.ex. diodlasrar kan också bidra till en ökad lasersvetsning.

Trenden är att smältsvetsning med laser och laserskärning ökar. Även fiberlasern ökar i användning. Men lasersvetsning är fortfarande exotiskt, avslutar Bengt Johansson.

## Gott och blandat under dagen

Dagen innehöll också ett föredrag av Steen Erik Nielsen, som presenterade tekniker och möjligheter med laserserytbehandling; Johnny K. Larsson, Volvo Cars, som berättade om ”state-of-the-art” inom laserbearbetning i bilindustrin. Och onekligen har utvecklingen av lasertekniken inom den branschen utvecklats starkt sedan mitten på 1980-talet när man började med renskärning av pressade plåtar för prototyp tillverkning av karosser. Vi som läser LaserNytt har glädjen att få ta del av den utvecklingen genom Johnnys många detaljerade och initierade artiklar.

Ulf Sandström, Permanova Laser-system AB presenterade två extrema applikationer som man har arbetat med. Dels s.k. ”weld spacers” (en hållare som fixerar bränslerören i en kärnreaktor) på uppdrag av Westinghouse i Västerås, och svetsning av ”foder” i rostfritt stål till tankar för flytande naturgas (LNG). Applikationen hos Westinghouse är i produktion och där utvecklade Permanova bl.a. en ny optiklösning med vision system för att hitta fogen och räkna ut start och slutpunkter för svetsningen. Det finns en idé att radikalt förkorta tillverkningstiden för de stora LNG-tankarna (200 000m<sup>3</sup>) genom att ersätta tjock rostfri plåt där svetstiden är 1-1.5år med en tjockare betongkonstruktion som sedan tätas med ett 0.8 mm tjockt rostfritt foder för att täta tankarna. Svetsning i projektet skedde utomhus



Bild 6

Bengt Johansson, Lasercentrum i Gnosjö AB berättade om hur han som underleverantör ser på lasersvetsningens möjligheter.

med en 2 kW disk laser med svetshastighet 2.5 m/min. Detta skulle ge en kalkylerad svetstid på ca 24 timmar för en 40 m hög tank – en oerhörd tidsbesparing! Den nya tillverkningsprocessen har dock ännu inte börjat att användas.

Michel Honoré, FORCE Technology redogjorde också för lasersäkerhet vid industriella högeffektlasrar som arbetar i öppna miljöer.

Med detta nya lasercentrum i Danmark har man skapat fina möjligheter att stödja industrin att utveckla nya konkurrenskraftiga produktionsmetoder och produkter med hjälp av laserteknik. Miljön passar utmärkt för den tyngre industrin som arbetar med t.ex. offshore och vindkraft och på Lindø Industripark finns redan flera stora aktörer inom dessa områden.

# Permanova levererar laserstation till Volvo Cars i Kina



Volvo modell S60L

**Permanova Lasersystem AB har kört igång en laserstation i Chengdu för lasersvetsning och -skärning av kaross. Volvo Cars startade officiellt produktionen i början av november, med en "Sea-shell-beige" Volvo S60L som första bil ut från bandet.**

#### **Lasersvetsning och laserskärning i samma station**

Stationen körs i helautomatik i karossflödet, vilket gör att det är en nyckelstation. Svetsningen av tak mot sida är numera känd beprövad teknik, där Permanovas integrerade fogföljning i svetsverket ingår. Nytt och viktigt för Kina är struktursvetsarna i A- och B-stolpe. Permanova har också tagit fram processdokumentation enligt Volvos svetsstandard (JQAP). En liten robotburen xy-rörelse med ett skärverktyg används för skärning av fjäderbenstallrik och referensplåtar i sida och tak. Här utnyttjas flexibiliteten att tack vare fibertekniken momentant kunna växla laserstrålen mellan två olika laserprocesser i samma station.

#### **Väsentligt för Permanovas internationalisering**

–Vi ser detta som ett viktigt steg i vår fortsatta internationalisering, inte bara inom bilindustrin. Samtidigt är förmågan att klara leveranser av nyckelfärdiga laserstationer till just bilindustrin en godkännande-stämpel för vilken annan industri som helst, säger Permanovas VD Ulf Sandström.

–Vi kombinerar en systematisk standardisering av grundmoduler i våra laserstationer med effektiv projektledning och engagerade, kompetenta projektingenjörer. Detta lägger grunden för framgångsrika projekt, oberoende av geografiskt läge.

#### **Permanova Lasersystem AB**

är en svensk integratör av robotiserade lasersystem för metallbearbetning, framför allt för lasersvetsning, 3D skärning, hårdlödning och påsvetsning med laser. Engagemang, kompetens, innovation och kundfokus är våra verktyg för att höja våra kunders produktivitet, produktkvalitet och lönsamhet.



Permanovas svetsverktyg WT03 STDW

#### **För ytterligare information**

Se vår hemsida: [www.permanova.se](http://www.permanova.se)  
Kontaktperson: Björn Lekander; telefon 031-706 19 71,  
[bjorn.lekander@permanova.se](mailto:bjorn.lekander@permanova.se).

## REPORT FROM MICHIGAN

# Home to Mi-Light – a new Photonics Industry Cluster

Dr. Michelle L. Stock,  
Mi-Light, the Michigan Photonics Industry Cluster

### From a land of bridges

For many people, Michigan is a place that they may have heard of, somewhere in the United States. But the state that is comprised of two peninsulas connected by the mighty Mackinac Bridge (with one peninsula that looks like a mitten on the map), surrounded by the largest system of fresh-water lakes in the world and best known for its beautiful coastlines and automotive industry also can boast of being home to a thriving photonics industry – one of its best kept secrets.

Michigan is home to a growing number of companies and academic institutions playing critical roles in the global photonics economy, covering the full spectrum from basic and advanced research to product development and manufacturing for diverse industries including advanced manufacturing, energy, defense, telecommunications, and health and medicine.

### A rich history of innovation

Many people have heard of Henry Ford, an innovative automotive engineer and entrepreneur. In the same state that supported the growth of what became the hub of the automotive industry, innovations in photonics have been occurring. During the 1960's, the development of an optical processing system for synthetic aperture radar (SAR) at Willow Run Laboratory in Michigan led to the development of practical holography based on lasers by Emmett Leith, Adam Kozma and Juris Upatnieks. Companies such as Data



Photo caption: Image of Michigan from Google Earth (Imagery: Landsat, NOAA; Map data: Google)

Optics (Ypsilanti, Michigan) have a history linked to this development and still (after more than 40 years) provide precision optical research equipment and optical test equipment to serve both emerging and established companies. The results of the Willow Run work led to holography becoming ubiquitous, used in many fields from anti-counterfeiting to entertainment. One important application was developed by a Michigan company, EOtech (now L-3 EOtech) – the Holographic Weapon Sight (HWS). Since the early 1990's, the technology has been applied to target acquisition systems, recreational sport optics, and sighted automation environments.



Dr. Michelle L. Stock

## Leading the way for advanced manufacturing and cutting edge technology

In large part due to the Automotive Industry, Michigan has a strong manufacturing sector, both in terms of manufacturing facilities and R&D to support innovation, with more than 300 R&D facilities for the automotive sector alone. The need to meet challenges in building cars, such as automation of assembly and inspection, led many companies to either form and grow in Michigan, or set up operations to support advanced manufacturing activities, including Mi-Light member companies IPG Photonics, TRUMPF, Visotek, Laser-Mech, Precitec, Electro-Optics Technologies, Fraunhofer USA, Coherix, Contour Metrological and Manufacturing, and micro-LAM technologies.

As a case in point, IPG Photonics has provided fiber lasers to the automotive industry in Michigan for nearly ten years. In that time fiber lasers have grown to be the dominant laser for Body In White (BIW) welding, seat welding, HS Steel cutting, battery processing, and aluminum joining. This lab near Detroit also is a hub for technical and safety training for all high power laser users. IPG's Michigan applications laboratory is fully equipped with robot labs, a high speed laser cutter, a precision gantry machine and three cells showcasing the new Laser Seam Stepper. This exclusive technology is widely accepted for BIW welding to replace resistive spot welders.

While companies in Michigan have been supplying macro-material processing solutions for cutting and welding, the innovative spirit for R&D both in industry and academia has provided the foundation for Michigan to be a hub for cutting-edge laser development for micro-material processing, through the University of Michigan Center for Ultrafast Optical Science and companies such as Mi-Light members Clark-MXR and IMRA America, leaders in research and development of ultrafast laser technology. Ultrafast (also known as femtosecond) lasers enable high-

precision material removal for feature sizes on the order of microns or less and can work on virtually any material, very controllably and repeatably.

For example, IMRA's technology development, headquartered in Ann Arbor Michigan, has enabled commercial femtosecond fiber laser products for use in industrial applications, manufactured in high volume manufacturing and under rigorous quality control. IMRA America has expanded its research into nano-biotechnology and has recently introduced i-colloid samples for potential commercial launch. IMRA's materials science and technology team has taken the novel approach of utilizing ultrafast pulsed laser ablation to create a stable colloidal suspension without the use of a chemical stabilizing agent. Today, with solid business in industrial ultrafast lasers accompanied by strong research activity, IMRA continues its commitment to introducing enabling products by cutting-edge technology development.

### Mi-Light bridges the gaps

Optics and photonics are strategic fields and offer innovative solutions in every sector of commercial and defense activity. It is also evident

that clusters are a driving economic force for the state, region, and nation. Michigan has an outstanding innovation chain in photonics that includes world class fundamental and applied research institutions and universities, product development and manufacturing capabilities, and commercialization and marketing expertise.

In order to support Michigan's burgeoning photonics-based ecosystem, Mi-Light was created to promote photonics as a significant industry in Michigan. It was incorporated at the end of 2012 and launched in early 2013, funded by a grant from the Michigan Economic Development Corporation (MEDC) matched by funds from founding sponsors to support its first endeavors.

Mi-Light's current 29 members represent the supply chain ranging from material suppliers such as Dow Corning and Nanocerox, to software and hardware solution providers such as EMAG Technologies, to subsystem and instrument suppliers such as Aerotech (precision motion control) and Ophir-Spiricon (optical radiation measurement instruments). While many of our members provide lasers and laser accessories for advanced manufacturing, our members also support a full range of industry



From a Mi-Light Members Meeting.

segments, including Lumenflow (advanced lighting and medical devices), Advanced Photonics (telecommunications, defense, and health and medicine), and Rigaku (semiconductors/electronics and life sciences). The rest of our membership is comprised of Colleges and Universities across the state, including the Lurie Nanofabrication Facility at the University of Michigan, Grand Valley State University, Baker College, and Northwestern Michigan College. We also work closely with International Societies such as SPIE and the OSA and are involved in the National Photonics Initiative ([www.lightofuture.org](http://www.lightofuture.org)). Mi-Light's stakeholders recognize that it is necessary to build on the ad-hoc nature of the relationships between these resources in Michigan to deliver the competitive advantage necessary to play in a global market. By forming as a cluster here in Michigan, Mi-Light can promote Michigan's already healthy but relatively unknown ecosystem.

Mi-Light is working to connect and coordinate Michigan's photonics assets, and one of the main ways we are doing this is by promoting stronger communications between industry and academia. Michigan is home to excellent universities and colleges, and many of them have some photonics and laser related programs that can be further developed to meet industry needs. For instance, Northwestern Michigan College has an Engineering Technology degree that includes a focus area of in Photonics. The school of Engineering at Grand Valley State University offers two courses in the photonics area to both undergraduate and graduate students, one on Fiber Optics and the other on Photovoltaic Systems. In addition, students are provided with opportunities to conduct research in the area of optoelectronic devices, an example of which was a project to build a photovoltaic emergency backup system for Embangweni hospital in Malawi, Africa. And a recent development is the introduction of the first full-fledged two-year Photonics and Laser Technology program at Baker

College in the fall of 2013. The new program has received strong support from Mi-Light, as well as the National Science Foundation through a program development grant. The program teaches students optics and light fundamentals followed by a full immersion in lasers and photonic devices and systems and includes a capstone project at the end of the program and a work experience/internship with a photonics company. Mi-Light is looking forward to continued growth of the various academic programs supporting the expanding photonics industry in our state.

By connecting and coordinating Michigan's photonics assets and by collaborating with other industry groups and public-private partnerships, Mi-Light will be able to achieve its mission to leverage our strong industrial and academic capabilities and grow our highly competent talent pool in order to expand the industry, attract funding, create jobs and stimulate photonics innovation in Michigan.

#### For more information

In this article, you have heard about many of Mi-Light's current members. For a complete listing of Mi-Light members (along with contact

information) and to find out more about us, please visit [www.Mi-Light.org](http://www.Mi-Light.org). And when you have the opportunity, consider visiting Michigan and our many photonics related businesses and institutions. You may discover that the next innovation you need can be found in a place that you might have overlooked while visiting the United States – a place that can no longer be considered a fly-over zone for lasers and photonics.

#### About the Author

A co-founder and first chairperson of Mi-Light, the Michigan Photonics Industry Cluster, Dr. Michelle L. Stock is currently a business development and marketing services consultant with a focus on the fiber and ultrafast laser markets. After graduating from the Center for Ultrafast Optical Science at the University of Michigan, Dr. Stock worked for ultrafast fiber laser specialist IMRA America before co-founding Arbor Photonics, a leader in large mode area high-brightness optical fiber, which was recently acquired by nLight. She has over 45 publications and 3 patents and is involved with OSA, SPIE, SME's Industrial Laser Community and the US-based National Photonics Initiative. —



**MEDC Statement:** Funds for this initiative were provided by the 21st Century Jobs Fund, a Michigan Strategic Fund program designed to accelerate the growth and diversification of Michigan's economy. The MEDC, a public-private partnership between the state and local communities, provides administrative support for the 21st Century Jobs Fund. The MEDC markets Michigan and provides the tools and environment to drive job creation and investment. For more information on the 21st Century Jobs Fund initiative, visit [www.MichiganAdvantage.org](http://www.MichiganAdvantage.org). For more on MEDC visit: [MichiganAdvantage.org](http://MichiganAdvantage.org).

# FRÅGA laserdoktorn Bo Williamsson



Hej,

Vi har ett problem vid skärning av rostfritt material med vår CO<sub>2</sub>-laser. Lasern är relativt ny och fungerar bra när vi skär med oxygen i "svart" material. Problemet är att vi får oxiderade snittytor vid skärning med nitrogen och högtryck i rostfritt material. Det verkar som om problemet blir värre ju tjockare plåt vi skär. Nu har vi fått reklamationer på de skurna detaljerna. Vi har egentligen tre frågor:

1. Varför får vi oxider på snittyterna?
2. Varför accepteras inte lite oxider i snitten? Det ser ju bra ut om än lite guldfärgat?
3. Vad kan man göra för att lösa problemen?

Martin Sitberg

**SVAR** Hej Martin,

De problem du beskriver är inte unika på något sätt. De förekommer relativt ofta, och är i regel ganska lätta att komma till rätta med.

1. Högtrycksskärning med nitrogen är en ren smältprocess där gasens huvuduppgift är att blåsa ut det smälta materialet ur snittet. Gasens oförmåga att reagera med omgivningen skapar förutsättningar för att få ett blankt snyggt snitt. Vid smälttemperaturen reagerar det rostfria materialet väldigt lätt med eventuellt oxygen(syre) i omgivningen. Oxygenet kan komma ifrån läckande komponenter i lasern, otäta gasförsörjningssystem men även från små mängder oxygen som förorening i själva skärgasen. Det krävs väldigt små mängder oxygen för att du ska få det resultat du beskriver. För att illustrera detta bifogar jag en bild som visar hur oxidationen ökar med ökande oxygeninnehåll i gasen. Att oxidationen ökar med ökande plåttjocklek är inte så konstigt, den lägre skärhastigheten gör att mer värme tillförs till materialet vilket ger ökad oxidation.



Bild 1.

Oxidation av rostfria snittytor med olika gaskvaliteter.

Det är dock inte enbart gasrenheten som påverkar resultatet. Av större intresse är det faktiska oxygeninnehållet i gasen. Som tumregel kan man säga att man bör ligga under 50 ppm för att vara säker på att få ett bra resultat i tunnare material. Vid skärning av tjockare material ligger gränsen ofta under 25 ppm oxygen.

2. Oxidation av rostfria material bör undvikas eftersom oxiderna påverkar korrosionsegenskaperna hos snittyterna. I extrema fall kan man också få problem med svetsbarheten hos materialet. Kromoxider är högttemperaturoxider som flyter upp och lägger sig som brottanvisningar i svetsgodset.
3. För att lösa problemet bör man lokalisera felkällan. Kontrollera att gasförsörjningssystemet är tätt och att rekommenderat slangmaterial används. Kontrollera också att ni använder rätt nitrogenkvalitet. Ju tjockare material, desto renare nitrogen krävs för skärningen. I många fall räcker s.k. industrikvalitet på nitroget, men om problemen upplevs som bestående kan man prova laserkvalitet på skärgasen. Om dessa åtgärder inte räcker till kan det slutligen finnas anledning att gå igenom lasern och leta efter läckage.

Jag hoppas att ni kommer tillrätta med problemet efter detta.

Laserdoktorn Bo Williamsson

PS. Jag ser gärna att ni läsare skickar in frågeställningar som kan vara intressant att ta upp i detta forum. Skicka in era frågor till redaktionen så ska vi se till att de blir besvarade. Det finns inga "dumma" frågor i dessa sammanhang.

# Lasermärkning av krökta eller cylindriska ytor

Johnny K Larsson, Volvo Cars

Lasermärkning av krökta ytor kan vara svårt av många skäl. Ett är att laserstrålen riskerar att tappa fokus längst ut vid kurvaturen, ett fenomen som till viss del kan motverkas med ett större skärpedjup hos fokuseringsoptiken. Det andra skälet kan hänföras till laserstrålens åtkomst p.g.a. geometriska begränsningar, då märkning längs hela omkretsen på ett cylindriskt objekt är omöjligt att utföra med en stationär, treaxlig märkningsutrustning. Emellertid kan man med en ny specialfunktion i WinMark Pro:s programvara, kombinerad med en enkel stegmotor, med lätthet överföra bitmap [.bmp] – bilder på krökta ytor.

För att demonstrera denna nya funktion lasermärktes en PVC [Poly Vinyl Chloride] -cylinder med ett dekorativt mönster som omsluter hela den 320 mm långa omkretsen [Fig. 1]. En Synrad 25 W laser användes vid dessa prov tillsammans med ett Flyer märkverktyg försett med en lins som ger en 125 mm lång fokallängd, samt version 6 av WinMark Pro:s unika mjukvaruprogram för lasermärkning. Med denna utrustning kunde en fokalfunkt med 180 µm diameter projiceras på PVC-röret. Därpå roterades röret med hjälp av den ovan nämnda stegmotorn vars hastighet kontrollerades via ett kretskort kopplat till märkverktyget.

Märkningsfilen bestod av ett 338×19,6 mm stort importerat bit-

map-objekt som skalades upp så att det exakt kom att omsluta rörets omkrets. Märkningen genomfördes med 25 W lasereffekt och hastigheten 5.080 mm/sekund. Upplösningen sattes till 300 slpi [scan lines per inch] för att matcha den här använda stegmotorn som har en utväxling på just 300 steg per inch [~ 25,4 mm]. Det är viktigt att dessa två parametrar överensstämmer med varandra annars riskerar man att erhålla en förvriden bild.

Resultatet blev att det kompletta mönstret runt röret kunde färdigställas på 70 sekunder. Varje ”scannings”-linje av bitmap-bilden sker direkt under märkverktyget och med röret i ett stationärt läge, varpå röret roteras marginellt till nästa ”scanning”-operation. Emellertid sker det hela med så hög hastighet att ögat uppfattar det som att röret roterar kontinuerligt under hela märkningsprocessen.

## Laserskärning av ett laminat av nylon med skumkärna

Laminat av nylon med en skumkärna används i ett flertal produkter där man önskar såväl mothåll som energiabsorption vid belastning. Materialet används ofta inom hälsovården som foder i ortopediska produkter såsom olika stödhjälpmedel. Nylon/skum-laminat hittar vi också i form av fodral för musikinstrument och andra känsliga verktyg, samt i



Figur 1

Ett dekorativt mönster lasermärktes runt detta PVC-rör, vars omkrets uppgår till 320 mm, med hjälp av en ny specialfunktion i version 6 av WinMark Pro:s mjukvara.

stoppade väskor för bärbara datorer, kameror och andra ömtåliga produkter.

Materialet som använts i de här refererade skärningsförsöken består av ett vävt nylontyg som limmats på båda sidor om en skumkärna, vilket resulterar i en total materialtjocklek på 7 mm. För att utvärdera snittkvalitet och skärhastighet användes en försöksuppställning bestående av ett X-Y-bord med en konvexkonkav lins med 63,5 mm brännvidd som ger en fokalfunkt diameter på 100 µm och

ett skärpedjup omkring 1,8 mm. Ren och torr luft med 20 psi [pound per square inch ~ 1,4 bar] användes som assistgas och tillfördes koaxiellt med laserstrålen.

Vid en lasereffekt på 100 W erhöll man en skärhastighet på cirka 4 m/min. Som framgår att **Figur 2** är skärkanterna rena utan minsta spår av kvarstående, förångade partiklar. En extra bonus vid denna form av laserskärning är att textilens fiberändar tätas, vilket förhindrar att dessa fransas upp, och därmed bidrar till det vackra snittkantsresultatet.

### Märkning av vinylmaterial

Vinyl, även känt under beteckningen PVC är ett av de allmänt förekommande material som man hittar överallt i sin vardagliga miljö, delvis beroende på dess egenskaper såsom vatten- och flambeständigt. Å ena sidan av vinylspektrat hittar vi produkter som kabelisolatorer, vinylbeslag och PVC-rör, medan å andra sidan materialet även förekommer i produkter som vinylskor, regnkappor och tapeter. Vinylmaterial används också i utomhusapplikationer och då speciellt då krav på UV- och vattenbeständighet förekommer. Denna kategori inkluderar produkter som sitsar och kuddar till utomhusmöbler, båtar, bilar eller fyrhjulingar s.k. ATV [All Terrain Vehicle].

Samtliga dessa vinylprodukter uppvisar en gemensam egenskap, nämligen den att de ger en snygg kontrast då de märks med hjälp av en CO<sub>2</sub>-laser. Under senare år har vi sett exempel på dylik framgångsrik märkning av PVC-material eller PVC-belagda produkter som rör och kabelisoleringar. Men som framgår av **Figur 3** uppvisar vinyltyger samma högvisuella märkning med hög kontrastverkan.



**Figur 2**

Med 100 W lasereffekt gick det att erhålla fullt avtätade och rena skärtytor vid en skärhastighet strax under 4 m/min.



**Figur 3**

Både svarta och gråa vinylprover märktes med 25 W lasereffekt från en CO<sub>2</sub>-laser, och resultatet blev skarpa logotyper med hög kontrastverkan.

Dessa märkningar har skapats med hjälp av ett märkverktyg ur FH-serien försett med en lins med 125 mm brännvidd. Denna skapar en 180 µm stor fokuspunkt och täcker in ett märkområde på 85×150 mm. Logotypen skapades i programvaran WinMark Pro genom att använda Ariel True Type som font och en texthöjd på ungefär 11 mm. 25 W lasereffekt

användes för båda objekten i **Fig. 3**. Det svarta vinylprovet märktes med en hastighet av 50 IPS [Inch Per Second = 1.270 mm/s] och en cykeltid på 0,47 sekunder, medan märkningen av den grå vinylen skedde på 0,38 sekunder (!) och med en hastighet av 75 IPS [= 1.905 mm/sek].

# Permanova Lasersystem erhåller Volvo Cars Quality Excellence Award



Volvo XC90.

Utdelning av Volvo Cars Quality Excellence Award.  
Fr.v. Kjell-Åke Eriksson, VCC Inköp, Ulf Sandström, Permanova Lasersystem AB,  
Lars Johansson, VCC Inköp, Sofia Petersson, VCC Inköp.

**Permanova Lasersystem AB har uppfyllt kraven för Volvo Cars Quality Excellence (VQE) Award. Ett ihärdigt kvalitetsarbete under många år, som resulterat i certifiering för både ISO 9001 och ISO 14001, får här ytterligare en bekräftelse på att vi är på rätt väg. Vi strävar efter att finslipa våra processer, att ständigt förbättra oss, med värdeorden innovation, kompetens, engagemang och kundfokus som ledstjärnor.**

## Ceremoni i Göteborg

VQE-utmärkelsen delades ut till Permanovas VD Ulf Sandström under en ceremoni i Göteborg den 18 december 2013. "Detta är ett kvitto på att vårt arbete uppskattas av våra kunder", säger Ulf. "Engagemang och kundfokus lägger grunden till att gång på gång få fram de resultat och innovationer våra kunder förväntar sig genom att anlita vår kompetens."

## Lång relation med flera milstolpar

En tidig milstolpe var leveransen av laserstationen till Autonova i Uddevalla år 1997, där den första Volvo C70 byggdes. Två laserprocesser (skärning av fjäderbenstallrik och svetsning av tak) i samma station i ett karossflöde var troligen världsunikt, med automatisk växling av laserprocessverktyg.

## Success-storyn Volvo XC90

En riktig ömsesidig "success story" var också lasersvetsstationen till Volvo XC90 (taksvetsning). För första gången skulle tak mot sida svetsas med överlapp kantfog (tidigare användes

överlappsfog). Man fick då en svets som enkelt kunde täckas med ett PVC-skikt. Därmed kunde bilen lackas som vanligt i vilken kulör som helst, utan att en kostsam taklist av plast i matchande färg behövde tas fram. För denna fogtyp krävdes att flera meter taksvets kunde positioneras med en banprecision bättre än +/- 0,1 mm. I ett gemensamt utvecklingsprojekt tog Permanova fram det nödvändiga lasersvetsverktyget med integrerad robotoberoende fogföljning.

För Permanova blev detta lasersvetsverktyg en av våra kraftfullaste produkter någonsin. Idag används det av Volvo Cars som standard world-wide, och också i många av våra övriga lasersvetsceller till andra kunder. Och för Volvo Cars blev SUV:en XC90 en formidabel världssuccé. En planerad årsvolym på 45 000 bilar kunde, i takt med efterfrågan, ökas till över 90 000 bilar per år, med samma lasersvetscell!

**Permanova Lasersystem AB** är en svensk integratör av robotiserade lasersystem för metallbearbetning, framför allt för svetsning, 3D skärning, hårdlödning och påsvetsning med laser. Engagemang, kompetens, innovation och kundfokus är våra verktyg för att höja våra kunders produktivitet, produktkvalitet och lönsamhet.

## För ytterligare information

Se vår hemsida: [www.permanova.se](http://www.permanova.se)  
Kontaktperson: Ulf Sandström, VD, telefon 031-706 19 84,  
[ulf.sandstrom@permanova.se](mailto:ulf.sandstrom@permanova.se).



## TYDLIGT BUDSKAP VID ICALEO 2013

# Glöm akronymen LASER – nu talar alla om DPP (Digital Photonic Production)

Den 32:a ICALEO [International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics] -konferensen hade LIA [Laser Institute of America] valt att förlägga till Miami, FL. Det var ett kärt återseende för oss som deltog 2005, då Miami senast stod som värd för detta event. Vid det tillfället hade ju, veckan innan konferensen startade, orkanen Katrina drabbat delstaten, och många viktiga samhällsfunktioner var den gången utslagna. Nu kunde ICALEO genomföras under ordnade och mindre kaotiska förhållanden, och vi delegater fick uppleva fem spännande och intensiva dagar i ett soligt Miami där temperaturen sällan kom att understiga 30°C.

Vi som haft förmånen att delta vid tidigare ICALEO-konferenser börjar känna igen det traditionella konceptet med "Welcome Celebration", "President's Reception", "Awards Luncheon" och den alltid lika populära "table-top"-utställningen "Laser Industry Vendor Reception". Denna gång hade arrangörerna valt att göra en mindre förändring i programmet i så måtto att de kortkurser som brukar ingå hade förlagts redan till söndagen, d.v.s. innan konferensens officiella

öppnande, vilket gjorde att dessa kurser inte kom att kollidera med det ordinarie konferensprogrammet och följaktligen lockade fler intresserade än vad som vanligtvis är fallet. Det var Kerstin Kowalick från Ruhr University i Bochum som hade komponerat detta kursutbud, men då hon själv inte hade möjlighet att närvara blev det i stället Christian Nölke från LZH [LaserZentrum Hannover] som fick "hålla i trådarna", något som han gjorde med den äran. Inalles gavs sex entimmars kortkurser med följande teman:

- Essential Considerations for Laser Welding – from Component Design to Implementation
- Remote Laser Welding in Automotive Applications – Views on Technologies and Economics
- Laser Beam Shaping – From Source to Application
- Impact of Motion Technology on High Precision Micro Processing Applications
- Fundamentals and Applications of the Ultrafast Laser Materials Processing
- Lasers in Medicine and Biology

För mig var det naturligt att lyssna på föreläsningen om fjärrlasersvets-

ning i bilindustrin, vilken hölls av Christoph Franz från Scansonic GmbH. Han definierade processen som svetsning med en fokallängd > 300 mm, där man använder en laser-källa med hög strålkvalitet och små och snabba rörelser i optiken för att ompositionera laserstrålen över arbetsytan, vilket innebär en ökad produktivitet. Nackdelar med denna process är komplexa fixturer, synkronisering av robot- och "scanner"-rörelser samt lasersäkerheten. Det finns fem olika huvudtyper för RLW [Remote Laser Welding]:

- Fast "scanner"-box
- Robotburet "scanner"-verktyg, typ Precitec:s YW50
- Robotintegrerad lösning där "scanner"-funktionen utförs av robotens handledsaxel, typ KUKA
- Robotanpassade system där robot- och "scanner"-rörelser har synkroniserats, som hos Trumpf:s PFO3- och HighYag:s RLSK-verktyg [Fig. 1]
- Robotanpassad lösning som ovan, men med automatisk fogföljningsfunktion som i verktyget RLW-A från Scansonic

I optiken kan "scanner"-speglarna placeras antingen framför eller efter fokuseringslinsen, varför man här talar om "pre"- respektive "post-optic"-lösningar, där den senare möjliggör tredimensionell bearbetning, men också ett begränsat arbetsområde med snedare infallsvinkel för laserstrålen. Med Scansonic:s RLW-A blir det möjligt att ytterligare minimera flänsbredder vid överlappssvetsning, då man inte längre behöver ta hänsyn till positioneringstoleranser, samt att utföra kantsvetsar. Herrn Franz visade också upp företagets numera välkända FSO-verktyg för svetsning av flänsade stumfogar där flänsbredden vid lasersvetsning kan minimeras till 4-6 mm. Avslutningsvis förklarade han att strålpendling, s.k. "beam oscillation", är möjligt vid fjärrlasersvetsning, men kräver fyra stycken galvospeglar, två för "scanning" och två för pendling, för att kunna arbeta tillräckligt snabbt.

Förutom den ovannämnda kortkursen valde jag att lyssna till alltid lika inspirerande David Havrilla från Trumpf Inc. i Plymouth, MI. Sympatiska Dave, som även förekommer i "Samtal kring lasertrender" i detta nummer av LaserNytt, har alltid några nya tips att ge då det gäller att konstruera för laser. Denna gång beskrev han vilka fördelar man kan



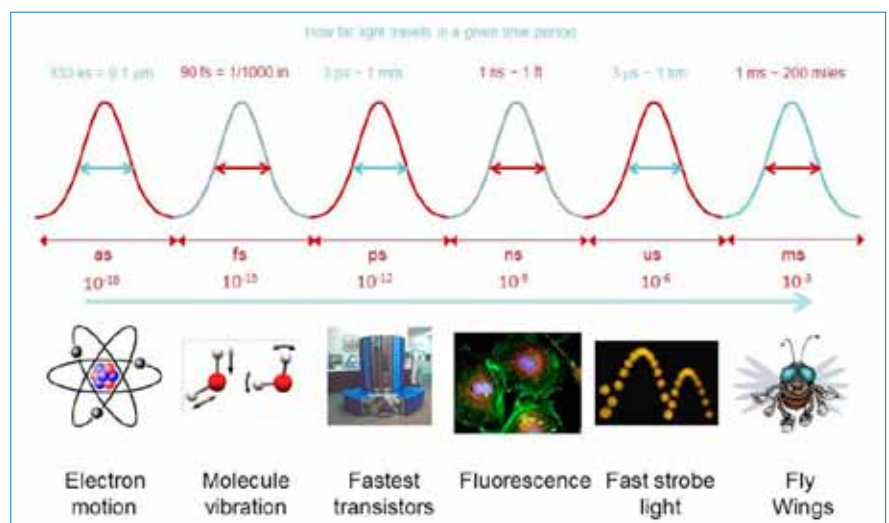
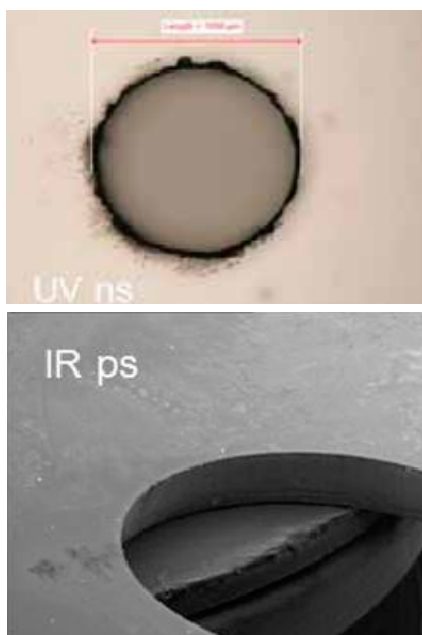
Figur 1

Två exempel på "scanner"-verktyg vars rörelser kan synkroniseras med hanteringsroboten; t.v. Trumpfs PFO 3D och t.h. HighYags RLSK.

vinna genom att endast svetsa med partiell penetration. Förutom den uppenbara möjligheten att kunna skapa "osynliga svetsar", är den ett sätt att skapa plana anliggningsytor vid efterföljande montering, där en rotsvets som blir resultatet vid full genombränning kan upplevas som en störning. En rekommendation för lasersvetsning inom bilindustrin är att genom en kontinuerlig lasersvets i den nedre delen av A-stolpen åstadkomma en styvare gångjärnsinfästning och därigenom eliminera risken för dörrnedhängning.

Slutligen spenderade jag också lite av min tid på kursen kring ultrasnabb laserbearbetning [ULP =

Ultrafast Laser Processing] där Ilya Mingareev [Townes Laser Institute, CREOL, University of Central Florida i Orlando, FL] berättade om grunderna. Vid denna bearbetningsform med ps- [picosecond =  $10^{-12}$  sekund] och fs- [femtosecond =  $10^{-15}$  sekund] långa pulser är pulslängden kortare än elektronernas kollisionstid varför det bearbetade materialet går direkt från fast form till gasform [Fig. 2]. M.a.o. har det skett en temporär frikoppling mellan den tillförda energin och dess mekaniska och termiska inflytande på materialet, varför det inte sker någon uppsmältning och inte heller uppstår någon plasmaformering. Ett resultat



Figur 2

T.v. snittkvaliteten vid laserskäring med ns- respektive ps-långa laserpulser; och t.h. kan man få en uppfattning om olika pulslängder ställda i relation till andra fenomen.

av detta är t.ex. de extremt vackra snittkanter man får vid precisionshålbörning med ultrasnabba lasrar. Andra användningsområden är s.k. ISLE [In-volume Selective Laser Etching] där man inuti en glasskropp kan skapa olika mönster, samt kan kortpuls-lasrarna också användas för att släta till ytan för komponenter tillverkade med LAM [Laser Additive Manufacturing] -tekniken.

Efter väl förrättat värv var det så dags att under mera gemytliga former träffa gamla kollegor och nya bekantskaper vid den traditionella "Welcome Celebration" [Fig. 3]. Lika traditionellt är det att vi vid dessa tillfällen blir underhållna av Beer's Law Band där bl.a. Ron Schaeffer och Henrikki Pantsar ingår i besättningen. I år hade man dessutom förstärkts med gamle bekantingen Matt Henry, som jag lärde känna under ICALEO 2003 då han representerade Powerlase Ltd. i Crawley U.K., och som nu valt att förlägga sin privatsemester till just Florida i akt och mening att få träffa några av sina gamla laserkollegor.

På måndagen drog sedan den egentliga konferensen igång och som vanligt hälsades vi drygt 500 delegater välkomna av LIA:s CEO [Chief Executive Officer] Peter Baker, som riktade ett speciellt välkomnande till dem som deltog i en ICALEO-konferens för första gången, och som kanske hade förvånats över de avslappnade umgängesformer som rådde under välkomstmottagningen kvällen innan. Näste talare var LIA:s avgående president, alltid lika sympatiska Klaus Löffler [Fig. 4] från Trumpf GmbH, som riktade ett stort tack till de sponsorer som till stora delar möjliggör att ICALEO-konferenserna kan genomföras. Guldsporsorer detta år var IPG, SPI, Trumpf och Fraunhofer IWS. På silvernivån hittade vi ELI [European Laser Institute], Coherent, Time Bandwidth och NSF [National Scientific Foundation], och slutligen var Newport och SpectraPhysics s.k. bronssporsorer. Därpå tog årets huvudordförande Stefan Kaielerle [Fig. 4] från LZH över och presenterade konferensens upplägg.



**Figur 3**  
Glada miner vid ICALEO:s traditionella "Welcome Celebration". Artikelförfattaren och Axel Bauer från ILT Aachen bekantar sig med Paola De Bono, nyanställd "laserexpert" vid TWI i Cambridge, U.K.



**Figur 4**  
Två hårt upptagna gentlemän under de fem ICALEO-dagarna; LIA:s avgående president Klaus Löffler (Trumpf GmbH) t.v. och Stefan Kaielerle (LaserZentrum Hannover) som detta år fått förtroende som huvudordförande under konferensen.

Numera består ju ICALEO av tre olika konferenser:

- Laser Materials Processing, som i år leddes av Silke Pflueger [DirectPhotonics, Los Gatos, CA]
- Laser Micro Processing, under ledning av Henrikki Pantzar [Cencorp Corporation, Canton, MI]
- Nano Manufacturing, med ordföranden Yongfeng Lu [University of Nebraska, Lincoln, NE] och Xianfan Xu [Purdue University, West Lafayette, IN]

Därutöver omfattar ICALEO de ovannämnda kortkurserna, den relativt nyinstiftade "Business Forum & Panel Discussion" samt en posterutställning som inkluderar en "Student Paper Award Contest".

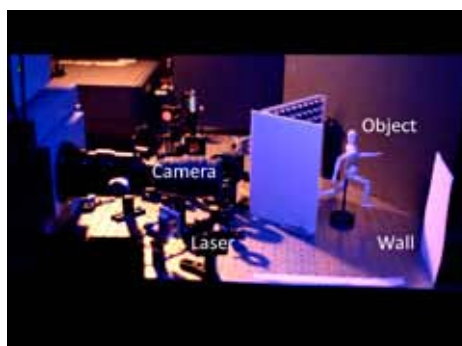
Under den efterföljande plenarsessionen, som för övrigt hade rubriken "Photonic Applications in All Dimensions", fick vi några utsökta exempel på laserteknikens många olika användningsområden och tillämpningar. Huvudtalare var denna

gång Dr. Ramesh Raskar från MIT [Massachusetts Institute of Technology] Media Lab, som berättade om höghastighetsfilmning i en helt annan dimension än den som vi är vana vid idag. Femto-fotografering innebär en bildhastighet på 1015 bilder per sekund och med vars hjälp man faktiskt kan visualisera ljusets rörelse. Med dessa möjligheter avser man att vid MIT utveckla kameror som enligt Dr. Raskar kan se runt hörn! I projektet CORNAR har man utarbetat en sådan femdimensionell lösning med två sändare, två mottagare och en tidsdomän. Populärvetenskapligt kan man beskriva det som att man emitterar laserpulser som får reflekteras mot ett snedställt objekt, som exempelvis en halvöppen dörr, och härifrån träffar det dolda objektet. Därifrån återkastas fotonerna samma väg och registreras av kameran som en ganska suddig bild som sedan via avancerad bildmanipulering kan fås att närma sig det dolda objektets utseende [Fig. 5].

För den som vill veta mer om femtofotografering kan jag rekommendera web-sidorna [www.cornar.info](http://www.cornar.info) och [www.raskar.info](http://www.raskar.info). Ett exempel där tekniken med återkastade laserpulser redan har resulterat i en produkt för användning i Tredje världen är projektet NETRA [[www.eyenetra.com](http://www.eyenetra.com)]. Genom att placera en liten enhet med integrerad laserälla på mobiltelefonen, och sedan titta i denna, kan man diagnosticera synfel och därmed på ett enkelt och billigt sätt prova ut glasögon [Fig. 6]. Andra tänkbara användningsområden för denna spännande teknik kan man finna inom trafiksäkerhet och invärtes kirurgi.

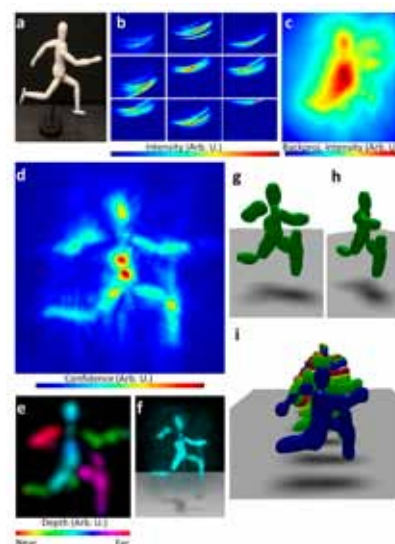
Näste talare var Boris Chichkov från nanoteknologiavdelningen vid LZH. Här handlade det om att bygga cellstrukturer för biomedicinska implantat och kroppsvävnader. Med s.k. LIBT [Laser Induced Back Transfer] -teknik kan man flytta celler från en givarstruktur till en mottagare med 40-50 nJ kraftiga laserpulser och på detta sätt bygga upp tredimensionella vävnadsstrukturer med vad som i branschen kallas två-photon-polymerisation. Den rumsliga upplösningen för strukturer som skapats med laserpulser ligger på sub-mikro-nivå. I och med att cellerna transfereras genom vätska kommer de aldrig i kontakt med luft och riskerar inte att därigenom degraderas. Såväl blodkärl som ben och fettvävnad skulle i framtiden kunna byggas upp på detta sätt. Ett annat spännande framtidsscenario skulle vara att bygga cellstrukturer med hjälp av laserformning [3D-printing/SLM (Selective Laser Melting)]. Initiala försök har visat att levande celler kan sättas samman till organ genom att använda en hydrogel som stödstruktur. "Beaktat att en människa består av 1014 celler skulle det med 3D-printing vara teoretiskt möjligt att bygga en människa på 2 timmar och 47 minuter" blev Dr. Chichkovs hisnande slutord.

Plenar-sessionen avslutades med en State-of-the-Art rapport över additiv tillverkning med laser i Kina, vilken framfördes av Dr. Xiaoyan Zeng från Wuhan National Labo-



Figur 5

Med en kamera med en bildupplösning på 2 ps (= så lång tid som det tar ljuset att färdas 0,2 mm) och laserpulser blir det möjligt att "se runt hörn".



Figur 6

I projektet NETRA använder man tekniken med återreflektat laserljus för att på ett billigt sätt kunna utprova glasögon åt personer med synfel.

ratory. Här kände man igen många av de applikationsexempel som Dr. Minlin Zhong förevisade vid LAMP-konferensen i Niigata tidigare under året, som exempelvis en fem meter lång vingsektion till Airliner C919 [Fig. 7], vilken liksom många andra tunnväggiga och komplexa flygplan-komponenter tillverkats med hjälp av SLM i material som Titan, rostfritt 304 och 316L samt Nickelbaserat Inconel718. En intressant upp-

gift var att de Ti-komponenter som byggts upp genom additiv tillverkning uppvisade en 30-50% högre utmattningshållfasthet jämfört med de som tillverkats genom smidning.

Avslutningsvis gav oss Dr. Zeng en intressant datajämförelse mellan de två additiva metoderna LMD [Laser Metal Deposition] och SLM [Selective Laser Melting].

## Laser Additive Manufacturing [LAM]

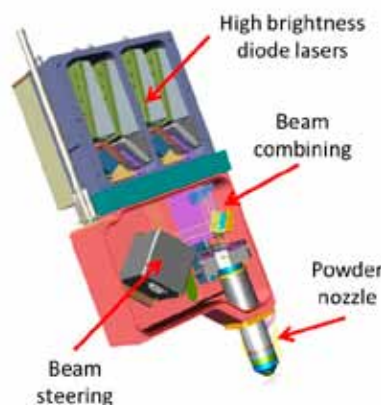
Intresset för additiv tillverkning med hjälp av laser är verkligen på modet och befinner sig i ett dynamiskt utvecklingsskede. Detta återspeglade sig inte minst i att hela tre(!) sessioner vid årets ICALEO-konferens hade dedikerats åt detta ämnesområde. Sessionerna leddes på ett professionellt sätt av respektive Ingomar Kelbassa [RWTH (Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen)], Amelia Almeida [Instituto Superior Tecnico, Lissabon] och M Angeles Montealegre [AIMEN (Asociación de Investigación Metalúrgica del Noroeste) Centro Tecnológico, Porriño]. Tyvärr tvingades jag välja bort den förstnämnda då jag med hänsyn till våra läsares intresseområden fann det viktigare att bevaka laserhybrid-sessionen som gick parallellt. Nedan följer dock en kort sammanfattning av de intressantare presentationerna i ämnet LAM.

Här hittade vi tre presentationer som måste hänföras till kategorin nyheter och där den första hölls av Rahul Patwa från Fraunhofer CCLA [Center for Coatings and Laser Applications]. Vid laserpåläggning med endast en laserstråle blir processfönstret förhållandevis litet samtidigt som man riskerar en alltför hög värmeförsel. Därför har kollegorna i Plymouth, MI utvecklat ett kompakt processverktyg som väger 10 kg och där man kombinerar två laserstrålar, en med 967 nm våglängd och en med 972 nm [Fig. 8]. Fördelen med detta är att man har en huvudsaklig processtråle, men där den andra används för att skraddarsy intensitetsprofilen i den förstnämnda. Denna andra laserstråle kan dessutom roteras för att åstadkomma en ännu mer precis energifördelning och den kan även oscilleras i två riktningar. En högre oscilleringsfrekvens kring 160 Hz visade sig ge de rakaste pålägningsprofilerna och resulterade i mindre utspädning av det pålagda materialet, medan en större pendlingsbredd som väntat gav en bredare men lägre påläggning. Detta nya "Multi Beam" [MB] -verktyg har ett arbetsområde på 175×125×425 mm



**Figur 7**  
Välkommen ombord på det kinesiska lyxplanet Airliner C919 som bl.a. består av denna fem meter långa vingsektion tillverkad i Titan med additiv laserteknik.

	LMD	SLM
Bestrålningstid (sek)	$10^{-2}$ - $10^{-1}$	$10^{-5}$
Avsvlningshastighet ( $^{\circ}\text{C}/\text{sek}$ )	$10^3$ - $10^5$	$10^6$ - $10^7$
Deponeringshastighet (kg/tim)	1,0-6,9	0,05-0,3



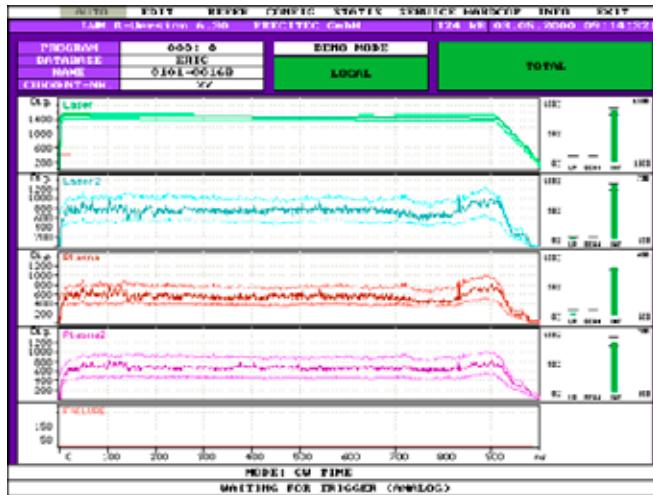
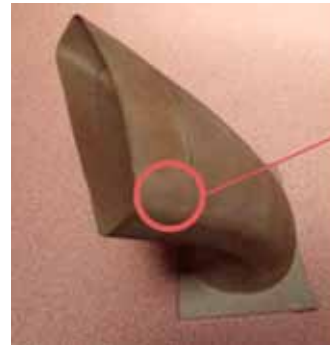
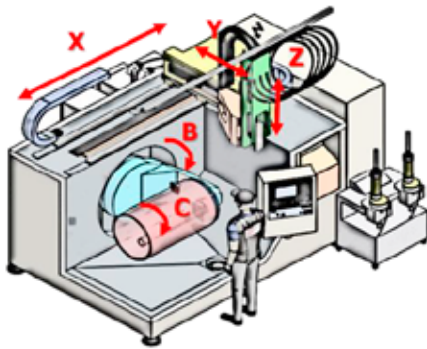
**Figur 8**  
Närmast principen för Fraunhofers "Multi Beam"-verktyg för laserpåläggning, med två integrerade diodlasrar med något olika våglängd, och längst t.h. det 10 kg lätta verktyget under drift.



och i försöken, där 4340-stål belagts med Inconel738, hade man använt 280 W lasereffekt och en fokallängd på 100 mm som gav en fokuspunkt på 200  $\mu\text{m}$ .

Nästa nyhet handlade om sprickfri påläggning av skraddarsytt, s.k. "functional graded", material i form av NiCr med olika inblandningar av

Wolframkarbid [WC]. Föredraget hölls av Armando Yañez från Laboratorio de Aplicaciones Industriales del Láser [LAIL] vid universitetet i Coruña. Till sin hjälp under försöken hade forskargruppen använt en DY022 YAG-laser från RofinSinar, Precitec:s pålägningsverktyg YC50 monterat på en IRB2400-robot från



**Figur 9**  
Med hjälp av en femaxlig CNC-maskin blir det möjligt att manipulera objektet vid LAM och därmed kunna skapa sneda och lutande komponenter. Övervakning av lasereffekt, hastighet och acceleration (t.h.) blir kritisk då en kurvformig geometri skall skapas och framföringshastigheten av laserstrålen reduceras momentant.

ABB samt pulverblandaren "Twin 10C" från företaget Sulzer Metco. Pulverstorleken låg mellan 40-150 µm och lasereffekten varierades mellan 1,4 och 2,0 kW då AISI1025-stål belades med ovannämnda pulverblandning. Påläggningen gjordes såväl vertikalt som horisontellt med en hastighet kring 40 mm/sek, och för att just undvika uppkomsten av sprickor förvärmades substratmaterial till 400 °C. Dock visade det sig att vid hög andel WC, kring 60%, uppstod sprickor trots förvärmningen, och det var här innovationen kom in i bilden. Genom att först lägga på ett mellanskikt där WC-andelen endast uppgick till 15% och därpå lägga på den 60%-iga inblandningen kunde man åstadkomma ett sprickfritt resultat även utan förvärmning av AISI1025-substratet.

En liknande effekt hade konstaterats vid laserhybridsvetsning av artolika material vid Huazhong University of Science and Technology i Wuhan. Xiaoyan Zeng berättade om hur man stumsvetsat aluminium AA6061 till rostfritt stål 304, titan

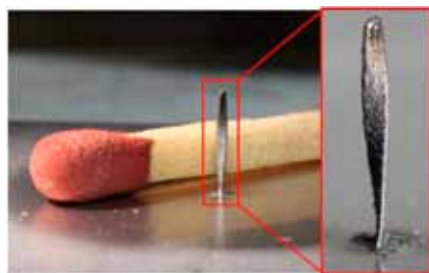
[Al6Ti4V] respektive koppar. Det var främst i det senare exemplet som man hade konstaterat att ett tjockare intermetalliskt skikt [IMC = Inter-Metallic Compound], vilket går att relatera till en högre värmeledning då det gäller att hindra uppkomsten av varmsprickor. Laserkällan var en YLR-6000 från IPG, vilken kombinerats med en CMT-strömkälla typ TPS4000 från österrikiska Fronius. Valet av CMT grundades främst på att man med en dylik strömkälla bättre kan undertrycka den höga reflexionen från aluminiumdelen. Laserstrålen hade positionerats 0,4-0,8 mm in på aluminiumsidan eftersom detta material har den lägre smälttemperaturen i alla de provade kombinationerna. Dock är det intermetalliska skiktet den svaga länken i svetsförbandet, även om detsamma är så tunt som 25 µm vilket var fallet i aluminium/titan-svetsarna, något som visade sig i genomförda dragprov vilka gav som resultat brottspänningar på 112 [Al/Cu], 168 [Al/Fe] respektive 217 MPa [Al/Ti].

Den tredje och sista nyheten från LAM-sessionerna presenterades av Didier Bossilier från IREPA Laser. Företaget tillverkar LMD-maskiner och nyheten här låg i att utveckla en femaxlig maskin som i kombination med en manipulator kan bygga upp mycket sneda strukturer [Fig. 9]. Vid konventionell laserpåläggning ligger gränsen kring 15° lutning, vilket åstadkoms genom att man förskjuter överlappet en aning mellan de olika påläggningslagren, men med IREPAs nya angreppssätt kan som sagt betydligt större lutningar åstadkommas då objektet alltid kan manipuleras i optimalt läge i förhållande till påläggningsmunstycket. Annars handlade mycket av presentationen om att kontrollera robothastighet och -acceleration, genom den egenutvecklade programvaran PowerCLAD, för att få en så jämn påläggning som möjligt. För processkontrollen använde man LWM [Laser Welding Monitor] från Precitec som arbetar med fyra fotodiodsensorer för registrering av temperatur, plasma, reflekterad effekt och reflekterade strålning.

Christoph Leyens från IWS i Dresden är en välkänd profil i LAM-sammanhang och denna gång inledde han med några exempel på miniaturisering med hjälp av LMD där man använt en 200 W "single mode"-laser som kunde åstadkomma påläggningar med 100 µm bredd och 5,5 mm i höjd. Annars adresserade huvudparten av hans presentation påläggning i reparations syfte av lättviktslegeringar i Titan och högtemperaturlegeringar i Nickel. Två olika tekniker blir då aktuella, antingen koaxiellt tillförd pulver eller dito trådmatning i kombination med en tvådelad laserstråle. Huvudnumret var reparation av framkanten till ett ventilblad i Titan för en jetmotor, där komponenten i övrigt tillverkas i ett kompositmaterial. Experimenten var en del i det s.k. IMPALA [Intelligent Manufacture from Powder by Advanced Laser Assimilation] -projektet, och reparationen hade utförts genom additiv lasertillverkning med Ti6Al4V i kombination med förvärmning genom induktion för att motverka uppkomsten av sprickor [Fig. 10]. Just att kombinera pulverpåläggning med induktionsvärmning är också ett sätt att öka deponeringshastigheten då normalt endast 20% av lasereffekten utnyttjas för nersmältning av tillsatsmaterialet. Detta hade jämförts vid påläggning med Inconel625 där denna kombinationsmetod resulterade i 3,1 kg/tim i produktivitet, att jämföras med 1,9 kg/tim för varmtrådspåläggning eller 1,3-1,4 kg/tim vid normal pulverpåläggning eller beläggning med kalltråd. Avslutningsvis berättade Dr. Leyens om ett nyligen uppstartat, sexårigt BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] -projekt för additiv tillverkning med hjälp av laser kallat Zwanzig20. Projektet består av 40 stycken partners som tillsammans investerar 45 miljoner euros, vilket motfinansieras av BMBF med ett lika stort belopp. Man kan inte annat än känna en viss avundsjuka för de väsensskilda förutsättningar som tysk laserforskning ges i jämförelse med exempelvis våra svenska förhållanden.

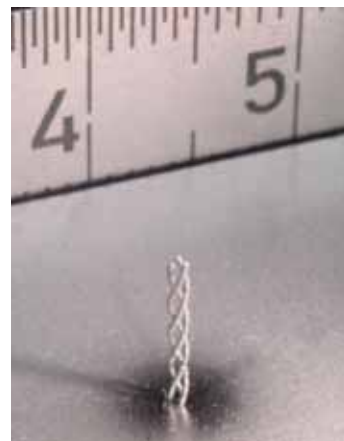


**Figur 10**  
Tillverkning i reparations syfte av ett turbinblad i form av LMD (Laser Metal Deposition) av den 600 mm höga framkantsdelen utförd i Ti6Al4V.



**Figur 11**  
Miniaturiserad tillverkning med LAM av ett 120° vridet mikroblad med 0,1 mm vägg tjocklek och höjden 5,5 mm, samt en s.k. stent-struktur för blodkärlsförstärkning.

Frank Brueckner, även han från IWS, beskrev bredden på LMD-teknikens användning, från mikroskala [Fig. 11] där pulverstorlekar <50 µm smälts ner med 200 W lasereffekt och bildar spårbredder på 30 µm till påläggning med 20 kW och spårbredder <20 mm. Han uppehöll sig sedan med att presentera ett av de många påläggningsverktyg som utvecklats vid IWS under årens lopp, nämligen COAX16 med en utvändiga munstycksdiameter på 15 mm [Fig. 12]. Optiken i verktyget erbjuder en 0,5 mm stor fokuspunkt och pulvret kan tillföras antingen kontinuerligt eller diskret genom tre utlopp. En innovativ lösning som torgfördes var den att med LMD skapa små pinnar på



**Figur 12**  
COAX16-verktyget, utvecklat av Fraunhofer IWS, är med sin utvändiga diameter på blott 15 mm ett exemplariskt verktyg vid laserpåläggning inuti trånga rör och utrymmen.

en metalltyta, vilka var avsedda för montering av en plastkomposit till metallen. 60-120 W effekt hade använts i kombination med en fokalpunktsdiameter på 400 µm, och avståndet mellan pinnarna var 2 mm. Denna teknik kan också användas för att skapa knoppar till blindskrift på metalltytor, något som vi ser blir allt vanligare förkommande i samhället.

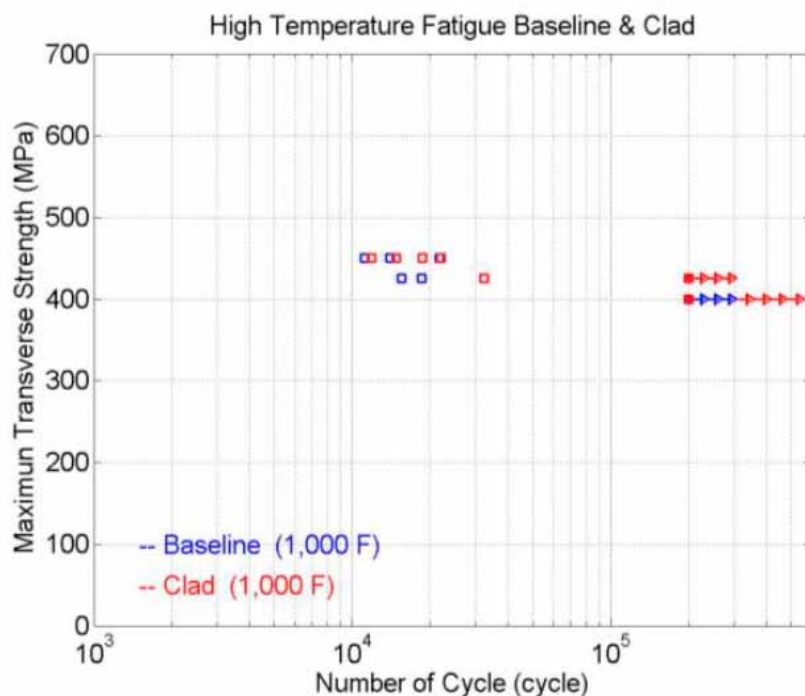
Bränsleinsprutningsrör till gasturbiner är utsatta för kraftig erosion under drift p.g.a. höga temperaturer. Vid National Research Council Canada [NRC] har man i samarbete med UTC Aerospace Systems studerat möjligheterna att reparera dessa insprutningsrör med hjälp av LMD [Fig. 13]. Föredragande var Lijue Xue från just NRC som berättade att som objekt hade man valt bränsleröret till en RollsRoyce 501K-motor. Man hade först med en laser-”scanner” mätt upp den skadade komponentens geometri för att kunna jämföra denna med originalformen och därigenom kunna programmera pålägningsprocessen på ett optimalt sätt. Substratmaterialet var smitt L605 och samma material hade använts i det tillförda pulvret. För påläggningen användes en 500 W pulsad Nd:YAG-laser och pulvertillförseln uppgick till mellan 5-15 g/min vilket gav en påläggningstjocklek på 1,3 mm, medan penetrationen ner i substratmaterialet understeg 0,1 mm. Hårdheten i såväl det pålagda skiktet som substratet var omkring 400 Hv0.3. Efter pålägningsprocessen härddas insprutningsrören vid en temperatur på 732 °C under 400 timmar. I den efterföljande utmattningsprovningen, vilken utfördes vid 1000 °F [= 538 °C] visade sig reparationsbeläggningen ha en högre hållfasthet än originalmaterialet vid spänningar  $\geq 425$  MPa [Fig. 14]. Slutklämmen blev att reparation i form av laserpåläggning är såväl snabbare som billigare än konventionella reparationsmetoder för dessa insprutningsrör.

Markus Franz från University of Applied Sciences Jena informerade om hur LMD kan användas vid tillverkning av formverktyg. Huvud-



Figur 13

T.v. ett eroderat insprutningsrör typ RR501K, och t.h. samma komponent efter reparation med laserpåläggning och efterföljande maskinbearbetning.

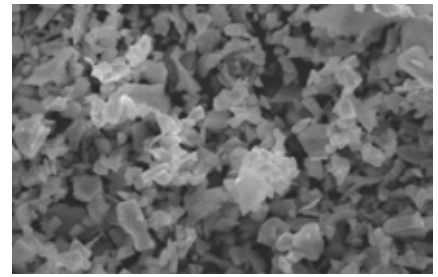
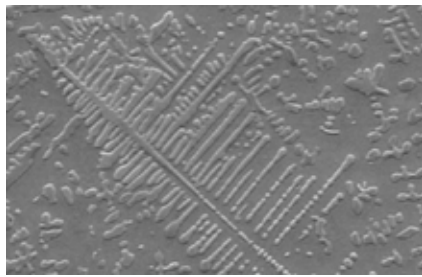
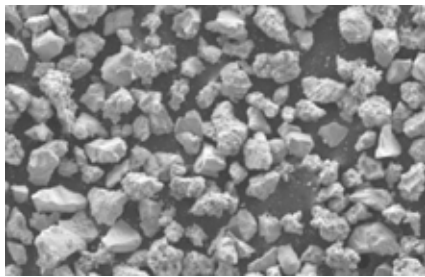


Figur 14

Vid utmattningsprovning under hög temperatur (1000°F) visade sig de reparerade insprutningsrören ha en bättre livslängd i jämförelse med originalrören!

delen av hans presentation handlade däremot om att belägga en Nickelbaserad matris med WC-pulver och inverkan av olika skyddsgaser. Försöksutrustningen bestod av en Tru-Disc4002 disk-laser och en pulvermatningsenhet från företaget GTV, och pålägningsprocessen hade övervakats med såväl pyrometer som kamera. Man kunde konstatera att skyddsgasen påverkar smältans

temperatur och därmed dess ytspänning, vilket i sin tur medverkar till hur karbidpartiklarna fördelar sig i smältan. Herrn Doktorand Franz menade att man på detta sätt skulle kunna kontrollera pålägningsprocessen och därmed skapa lokala koncentrationer av karbidpartiklar i områden där dessa bäst skulle tillföra egenskapsförbättringar i form av ökad slitållighet.



Figur 15

Vid pulverbeläggning med Titankarbid (Ti) och en partikelstorlek strax under 100  $\mu\text{m}$  (t.v.) riskerar man att få en storskalig dendritstruktur (mitten) vilket är negativt ur hållfasthetssynpunkt. Detta kan man motverka genom att använda en finare kornstruktur under 10  $\mu\text{m}$  (t.h.).

Siste talare i LAM-sessionerna var Simon Pouzet från Laboratoire PIMM [Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux] vid CNRS [Le Centre National de la Recherche Scientifique] Arts et Métiers Paris Tech. Här hade man arbetat med s.k. TMCs [Titanium Matrix Composites], vilka är vanligt förekommande inom rymdindustrin, och där man hade byggt upp raka strukturer av en pulvermatris bestående av Ti6Al4V med en inblandning av 10% TiC [Titankarbid]. Pulverstorlekarna låg på 45-75  $\mu\text{m}$  för matrismaterialet och <100  $\mu\text{m}$  för TiC. I försöken hade man använt sig av en Yb:YAG-laser med 1,03  $\mu\text{m}$  våglängd och en "top hat"-strålfprofil, som med defokusering gav en 1,8 mm stor brännfläck. Lasereffekten hade varierats mellan 450-500 W och framföringshastigheten mellan 200-400 mm/min, medan pulvermatningen hållits konstant till 2 g/min. Tyvärr visade de initiala försöken på mindre lyckade resultat i så måtto att såväl hållfasthet som förlängningsvärden reducerades markant vid inblandning av TiC p.g.a. uppkomsten av större TiC-dendriter. Dock trodde man sig kunna komma till rätta med detta problem genom att använda sig av betydligt mindre [2-9  $\mu\text{m}$ ] partikelstorlekar av TiC. Däremot hade TiC-inblandningen en positiv inverkan på ytfinheten då dessa partiklar spelar en aktiv roll i smältans ytspänning. Sålunda hade man mätt upp Rz-värden på 30  $\mu\text{m}$  vid TiC-inblandning, att jämföra med 75  $\mu\text{m}$  för de objekt som tillverkats i ren Ti6Al4V.



Figur 16

Fantastiska miniatyrer tillverkade med hjälp av SLM; 8 mm höga avbildningar av bekanta byggnadsverk som "Statue of Liberty" och "Tour Eiffel".

Att additiv tillverkning är ett "hett" ämnesområde inom laserbearbetning bevisades ytterligare genom att årets ICALEO-konferens avslutades med en dedikerad avslutningssession kring LAM, där ett antal internationellt välkända auktoriteter framträdde som talare. Stefan Kaieler från LaserZentrum Hannover fungerade som moderator och sessionen inleddes av Ingomar Kelbassa från ILT i Aachen. Idag är det möjligt att med SLM [Selective Laser Melting] skapa strukturer med näst intill 100%-ig densitet, men tekniken möjliggör också tillverkning av tunnväggiga gallerstrukturer med mycket låg specifik vikt. Detta exemplifierades av en dylik sådan som påstods utgöra världens lättaste material med en densitet på 0,9 mg/cm<sup>3</sup>, och som till 99,99% bestod av luft. Med hjälp av topologi-optimering kan principen nyttjas vid tillverkning av mer användbara lättviktskomponenter för transportsektorn. Ett intressant exempel här var att skapa karossdetaljer i aluminium

med hjälp av SLM, där komponenten uppvisade en högre hållfasthet jämfört med om den tillverkats av konventionella aluminiumhalvfabrikat. Tekniken med "3D-printing" där ett CAD [Computer Aided Design] -underlag matas in i en SLM-maskin förutspås ju kunna bli var mans egendom i framtiden för att i hemmet kunna tillverka olika användbara objekt. I stället för att distribuera fysiska produkter kommer företagen att skicka datafiler för egentillverkning. Det finns ett antal företag, som t.ex. Shapeways och i.materialize, som tillverkar och levererar produkter tillverkade utifrån datafiler tillhandahållna av kunden. Och att detta är "big business" förstår man då Shapeways levererade mer än 1.000.000 "3D-printade" produkter under 2012. Detta är ett lysande exempel på vad professor Poprawe från Fraunhofer ILT uttrycker i sentensen "Individualization for free – Complexity for free"!

Hong-Bo Sun från Jilin University [Changchun] berättade om tillverk-

ning i nano-skala med hjälp av fs-lasrar. Hans presentation handlade om hur man med hjälp av fotonenergin i laserpulserna man flytta material och skapa detaljer med extremt hög upplösning. Huvudnumret var tillverkning av små "fläkthjul" i polymert material, som kunde aktiveras med hjälp av magnetism, och som var avsedda att opereras in i blodkärl för att kunna skapa ett bättre blodflöde.

Additiv tillverkning i mikroskala [SLμM = Selective Laser Mikro Melting] var temat för Christian Nölkes [LZH] presentation. Han visade upp 8 mm höga exempel på Frihetsgudinnan och Eiffel-tornet [Fig. 16], vilka tillverkats i rostfritt 316L-pulver med kornstorlekar mellan 5 och 25 μm. Laserkällan var en SM [Single Mode] -fiberlaser med 50 W effekt, fokallängden var satt till 100 mm vilket gav en fokuspunktsdiameter på 19,4 μm.

Additiv tillverkning inom flyg- och rymdindustrin var temat för Milan Brandts föredrag. Vid RMIT [Royal Melbourne Institute of Technology] University [Bundoora Victoria] har man under många år bedrivit forskning inom området både vad det gäller nytillverkning och reparation av framförallt Titan-komponenter såsom HPT [High Pressure Turbine] -höljen och rotorblad [BLISKS = Bladed Discs]. Kvaliteten på de pulver som idag används vid LAM lämnar en del övrigt att önska ansåg den gode Milan, eftersom de egentligen är utvecklade för att användas vid termisk sprutning och därför kanske inte är optimala för laserpåläggning. Här finns utrymme för förbättringar menade professor Brandt. Ett annat önskemål som han nämnde var att ha tillgång till någon form av "closed-loop"-system för att i första hand undvika porositet i det pålagda materialet.

Siste talare i denna avslutningssession var Tim Morris från företaget EOS, som är en stor tillverkare av SLM-maskiner, vilka tidigare mestadels använts för prototypframtagning, men som i allt högre grad tas i bruk för volymtillverkning. Tyngdpunkten vid denna tillverkningsteknik ligger fortfarande på polymert



Figur 17

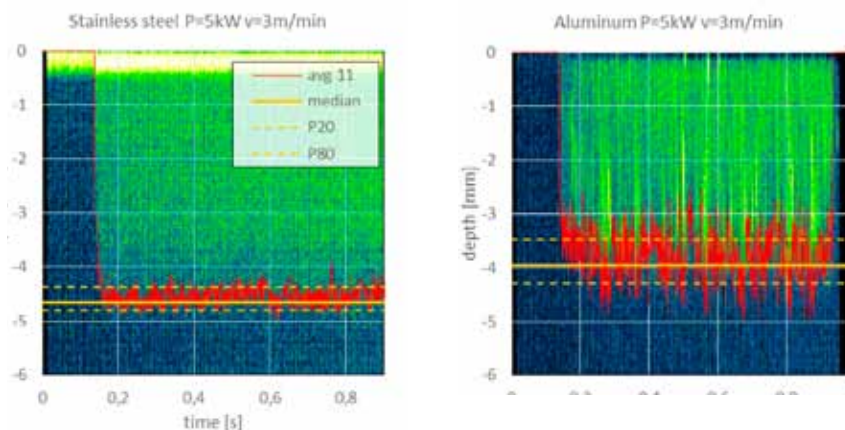
De ökända drönerattackplanen består till stora delar av additivt tillverkade komponenter, och Airbus' numera klassiska Nacelle-gångjärn indikerar en 60%-ig viktsbesparing tack vare använd LAM-teknik.

material som PA [PolyAmid], PEEK [PolyEther Ether Ketone] och polystyren. De numera välbekanta "drönarna", eller UAVs [Unmanned Aerial Vehicle] innehåller sålunda ett flertal komponenter där additiv tillverkning använts [Fig. 17]. Men allt fler metalliska detaljer tillverkas numera med LAM och här visades på det numera klassiska A320 Nacelle-gångjärnet där man når en 60%-ig viktsbesparing jämfört med traditionell tillverkningsteknik [Fig. 17]. Andra exempel är insprutningsrör och blandarhjul till flygplanskomponenter, verktygsinsatser, bromshandtag och styrväxlar till cyklar och t.o.m. hållare för läppstift. Men det är framförallt inom medicinteknik som vi ser den stora tillväxten, menade Mr. Morris. Implantat som höftledkolor tillverkade i en struktur som skall gynna benvävnadsinväxt

och tandersättning är mer eller mindre State-of-the-Art idag. En avslutande fråga gällde huruvida keramer kan användas i LAM-processen och här fick vi veta att detta låter sig göras under förutsättning att materialet värms upp till cirka 2.000 °C.

### Blandade nyheter

Under en av sessionerna för svetsning presenterades en intressant variant av processövervakning kallad "Inline Coherent Imaging" [ICI], vilken bygger på den spektrala interferensen från nyckelhålet då den förstärker reflexionen från detta. Queen's University och företaget Laser Depth Dynamics [LDD] har utvecklat en sensor för ICI som kan mäta de geometriska förändringarna av nyckelhålet med en frekvens > 300 kHz. Metoden tycks vara ett utmärkt hjälpmedel för att kontrollera



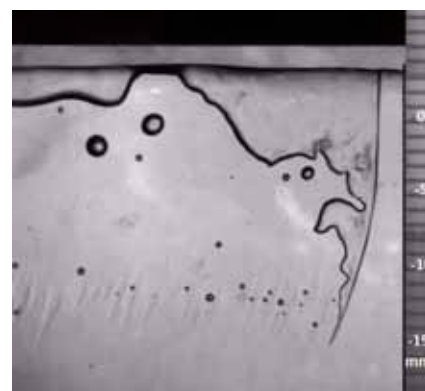
Figur 18

Ett tillförlitligt sätt att mäta penetrationsdjupet on-line vid lasersvetsning är att använda sig av ICI (Inlight Coherent Imaging) som bygger på återreflektat ljus från nyckelhålet. Här visualiseras penetrationsdjupet vid svetsning i rostfritt respektive aluminium med 5 kW lasereffekt vid en svetshastighet på 3 m/min.

penetrationsdjupet vid lasersvetsning [Fig. 18], och adresserades i två på varandra följande föredrag. Först berättade Meiko Boley från IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] i Stuttgart hur metoden hade använts vid svetsförsök på rostfritt 1.4301-material och aluminiumlegeringen AlMg3. Laserkällan var en TruDisc 5001 med 200 µm distributionsfiber och 200 mm brännvidd hos såväl kollimerings- som fokuseringslins. Svets hastigheten uppgick till 3 m/min och resultaten hade validerats med jämförande röntgenanalys. ICI-tekniken har emellertid en högre upplösning jämfört med röntgen; 10 µm mot 100 µm. Som avslutning visade man en spektakulär jämförelse mellan de två analysmetoderna där man "svetsade" i is [Fig. 19]!

Den andra föreläsningen kring ICI hölls av Pauls Webster från just företaget Laser Depth Dynamics. Han berättade om ett praktikfall där denna metod för kontrollerat penetrationsdjup vid lasersvetsning använts vid tillverkning av batterihöljen. ICI-tekniken kan detektera dynamiska avvikelser som inte är möjliga att upptäcka med traditionell trianguleringsteknik. Då den dessutom är koherent till sin natur påverkas den mindre av optiskt brus från t.ex. laserstrålen.

Välkände Paul Hilton från TWI repeterade den presentation som kollegan Ali Khan höll vid NOLAMP-konferensen i Göteborg 2013. Den handlade om hur man med hjälp av laserskärning tog isär kontaminerade komponenter från uttjänta kärnkraftsanläggningar, vilka utgör ett växande destruktionsproblem i England. Idag spenderar man 2 miljarder pund om året för denna verksamhet varför innovativ och effektiv särtagningsteknik som laserskärning är välkommen. Begreppet "LaserSnake" innebär att det robotburna skärverktyget kan ta upp åtkomsthål i strålnings säkra kabinett och väggar och sedan som en orm sträcka in verktyget tack vare en "offerfiber" med 6-25 mm diameter [Fig. 20]. Därpå sker sönderskärningen av kontaminerade rör och dylikt med 4,8 kW effekt från en fiberlaser och



Figur 19

Validering av penetrationsförmåga och nyckelhålsrörelser genom att "lasersvetsa" i is! T.v. med fokuspunkten positionerad 2 mm över ytan och därjämte en placering 3,5 mm under densamma.

där variationer i arbetsavstånd på mellan 15-75 mm klaras. Kvävgas används som skyddsgas och man har utvecklat två olika skärverktyg; ett med 250 mm fokallängd och 300 µm optisk fiber, och ett annat med 500 mm fokallängd och en fiberdiameter på 150 µm. Den längre fokallängden tillåter självklart större variationer i arbetsavstånd, men resulterade också i högre skärhastigheter. I laboratorieförsök hade metoden validerats på rostfritt 304-material, och eftersom det här inte föreligger några krav på skärnittet hade 25 mm tjockt material kunnat skäras med en hastighet på 0,15 m/min [Fig. 21]. Timide Paul visade också hur en välskyddad operatör kunde utföra denna långtifrån riskfria laserskärning med hjälp av ett handhållet verktyg!

Det är inte alltid som det i dessa konferenssammanhang presenteras en praktisk lösning på ett allmänt förekommande problem, och därför uppskattade jag verkligen Peter Stritt [IFSW, University of Stuttgart] och hans presentation kring uppkomsten av varmsprickor då man lasersvetsar magnesium eller sprickkänsliga aluminiumlegeringar ur den kiselinnehållande AA6000-serien. Föredraget var baserat på simuleringar varför det hade hamnat i sessionen som leddes av en av auktoriteterna på området, professor Remy Fabbro från PIMM Laboratory CNRS i Paris. Modellen som kunde beräkna spänningarna i alla svetsens koor-

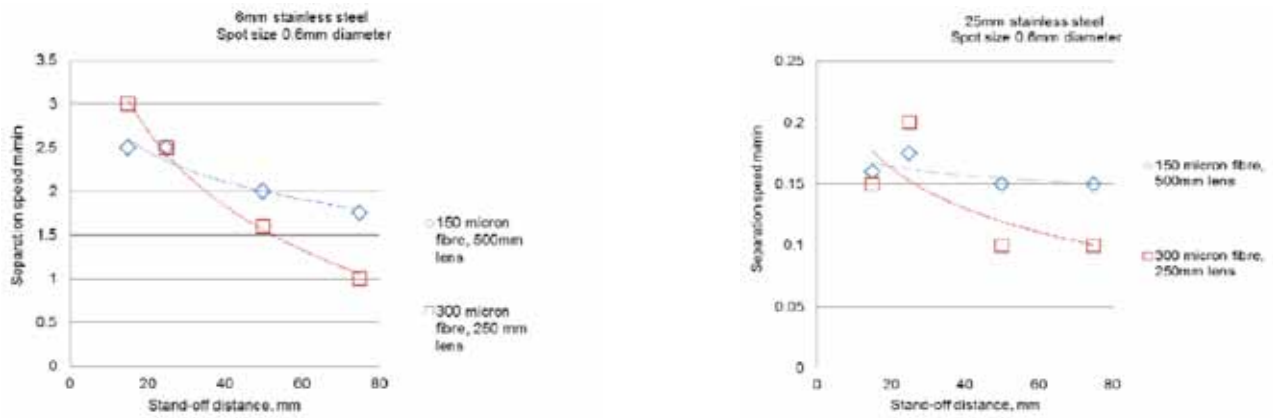


Figur 20

"LaserSnake in action!" Den flexibla robotarmen gör att "ormen" kan utföra håltagning i strålnings säkra väggar för att därpå stickas in och separera exempelvis kontaminerade rostfria rör i kärnkraftsanläggningar.

dinater grundade sig på termiska temperaturfältsberäkningar kombinerade med strukturmekaniska analyser. Problemet med varmsprickor blir speciellt accentuerat då svetsen utförs nära en plåtkant, varför ett avstånd till denna rekommenderas till minst 4-8 mm. Simuleringarna avslöjade vidare att spänningarna i svetsmältan varierar över tid, en kunskap som bidrog till den strategi som använts för att motverka sprickuppkomst, nämligen att använda s.k. effektmodulering. Detta hade sedan validerats genom experimentella försök, men dock måste man beakta att svetsbredden påverkas vid dylik variation av lasereffekten.

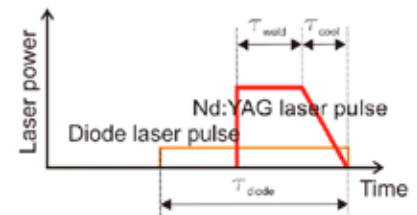
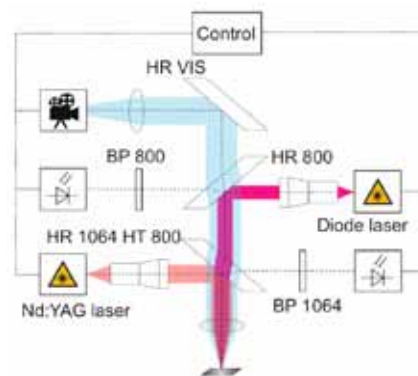
Varmsprickor vid lasersvetsning av aluminium var temat också för Ludger Overmeyer från LaserZentrum Hannover. Ett vanligt sätt att undvika detta är att använda sig av



Figur 21

I såväl 6 mm (t.v.) som 25 mm (t.h.) tjockt rostfritt material överglänses en 500 mm lång fokallängd med 150  $\mu\text{m}$  fiber den kortare fokallängden 250 mm (fiberdiameter 300  $\mu\text{m}$ ) i skärhastighet.

en pulsad stav- eller disk laser, men genom pulsmod och den låga absorptiviteten i aluminium för dessa laserkällors våglängder blir produktiviteten alltför låg. Därför hade kollegorna vid LZH superpositionerat en diodlaser med 100 W effekt och en våglängd på 808 nm vars laserpulser synkroniserats med dem från en Nd:YAG-laser [Fig. 22]. Försöksuppställningen hade en fokallängd på 120 mm vilket resulterade i fokuspunkter på 620  $\mu\text{m}$  för Nd:YAG-lasern och 1.440  $\mu\text{m}$  för diodlasern. Puls längderna varierades mellan 12,5-20 ms för den förstnämnda och 12,5-200 ms för den senare. Svetsförsök gjordes på 0,5 mm tjockt AA5005- och AA6082-material, och med den här "hybrid"-tekniken blir det möjligt att överstiga värdet för den kritiska avsvalningshastigheten på 13,5  $\text{ms}/^\circ\text{C}$ . Dessutom tycks det bakåtlösa av svetsmältan som diodlasern skapar ha en självläkande effekt på defekter som t.ex. ytporer, samtidigt som penetrationsdjupet ökar. Med denna uppställning gick det att svetsa sprickfritt även vid så höga topp effekter från Nd:YAG-lasern som 1,6 kW!



Figur 22

T.v. principskiss över den experimentella uppställningen vid lasersvetsning med två superpositionerade laser källor; och ovan för väl avvägda pulsprofilerna för Nd:YAG-respektive diodlasern.

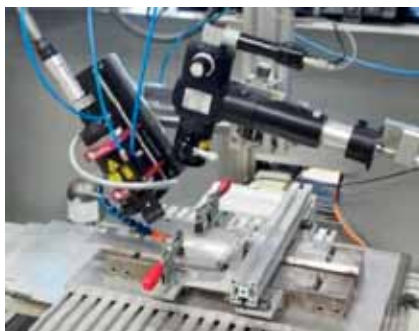
Superpositionering av två laserkällor adresserades också av Martin Stambke [Ilmenau University of Technology] även här med syftet att undvika varmsprickor vid lasersvetsning av legeringen AA5754. Skillnaden mot den tidigare presentationen var här att diodlasern med 980 nm våglängd arbetade i cw-mode. Nd:YAG-lasern pulsadades däremot med 5 Hz och en topp effekt på 2,3 kW. Genom att konfigurera diodla-

serns fokalfunkt hade BOP [Bead-On-Plate]-försök genomförts på 0,5 tjockt material. Tre varianter av fokalfunktsgometri hade undersökts; cirkulär punkt med 2 mm diameter, en linjeformig typ med måtten 17x1 mm, och en ringformad variant med en ytterdiameter på 5,0 mm och en innerdiameter som mätte 3,5 mm. Initialt kunde man konstatera att processfönstret ökades med en faktor sex jämfört med då enbart den

pulsade Nd:YAG-lasern användes. För den ringformiga fokalfunktssvaret krävdes 300 W diodlasereffekt för att kunna svetsa sprickfritt, medan den linjeformiga varianten uppnådde det önskade målet redan vid 200 W [Fig. 23]. Vidare hade man också arbetat med pulsformen hos Nd:YAG-lasern för att på detta sätt minska temperaturgradienten och därmed undvika uppkomsten av varmsprickor.

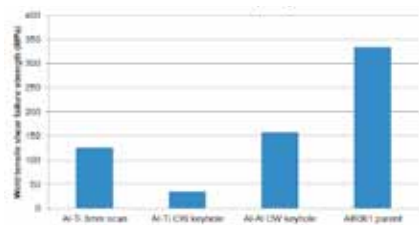
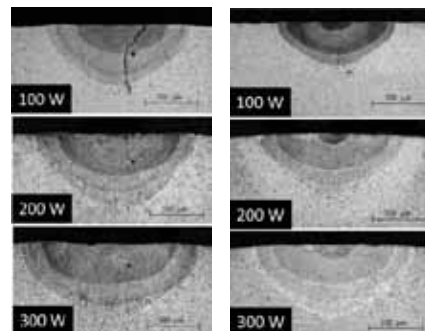
Italienskan Paula De Bono, tåmligen nyanställd vid TWI, var en ny, angenäm bekantskap. Hon hade studerat hur man kunde lasersvetsa artolika material med god kvalitet genom att rotera laserstrålen och därmed hålla nere värmeförlusten i konduktiva material som aluminium och koppar. Materialkombinationerna som undersökts var AA6061 till antingen Ti6Al4V eller CW004A [kopparlegering], alltid med aluminium som topplåt. Utrustningen som använts var en "single mode"-laser från IPG, YLS-1000 SM och "scanner"-verktyget 3D Elephant från Arges. Fokaldiametern var 46 µm och man hade skapat 25 mm långa överlappssvetsar via cirkelmönster med 0,5, 3,0 och 5,0 mm diameter med 0,2 mm överlapp mellan cirklarna. Fokalpunkten hade positionerats i interfacet mellan plåtarna för att åstadkomma en kontrollerad penetration i underplåten och ett begränsat intermetallsikt skikt. 3,0 mm "scanner"-cirkel gav högst hållfasthet för båda materialkombinationerna, och Al/Ti-kombinationen svetsades med en "scanner"-hastighet på 450 mm/sek, medan Al/Cu klarades med den lägre hastigheten 250 mm/sek. Hållfastheten vid dragprov låg mellan 80-90% av vad man fick vid rena aluminiumförband som nyckelhålssvetsats, men dubbelt så starka jämfört med vad som gick att åstadkomma med nyckelhålssvetsning av de mixade materialkombinationerna [Fig. 24].

Vår finske kollega Anti Salminen [Lappeenranta University of Technology], med väl numera nästan 30 års erfarenhet från laserbranschen, beskrev ett nyvaknat intresse för laser-TIG-hybridsvetsning. Den minnesgode läsaren kanske minns att det var med just den här varianten som Bill Steen & Co. uppfann laserhybridtekniken. Fördelen med just denna kombination är att man separerar kontrollen av trådmatning och bågsvetsparametrar. Dessutom ger de nya strömkällor som introducerats på marknaden under senare år en ännu bättre och mer sofistikerad kontroll av sagda parametrar. Anti redogjorde för försök där en Kemp-



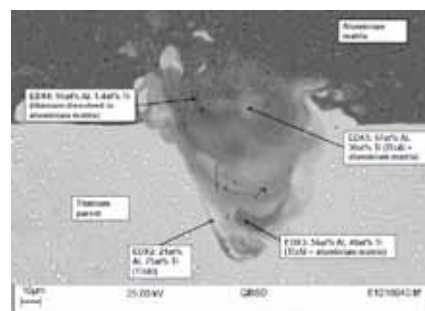
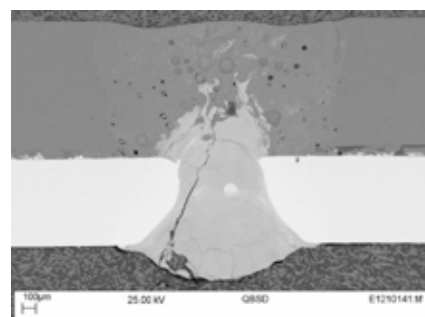
Figur 23

Experimentell uppställning vid superpositionering av en Nd:YAG- och en diodlaser. Vid svetsning med en cirkulär fokalpunkt krävs 300 W lasereffekt för att resultera i sprickfri svetsning medan en linjeformig brännfläck uppnår samma lyckosamma resultat redan vid 200 W effekt.



Figur 24

Tvärsnittsbilderna t.h. visar en aluminium/titan-kombination som lasersvetsats med nyckelhålls- (överst) respektive "scanning"-teknik (underst). I stapeldiagrammet ovan framgår det att draghållfastheten för en mixfog utförd med den senare tekniken är jämbördig med en nyckelhålssvetsad aluminium/aluminium-kombination.

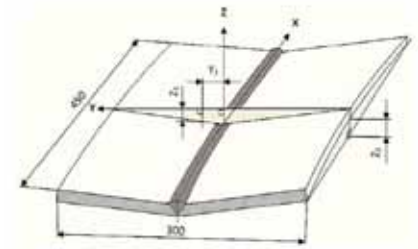


pi-strömkälla [ProTIG410A] kombinerats med en laser för stumsvetsning av 6-8 mm tjockt S355K- och Laser 355MC-material från Ruukki. Lasereffekten varierades mellan 2-8 kW och framföringshastigheten från 0,5 till 1,5 m/min. Fokallängden var 300 mm vilken gav en brännfläck med 600 µm diameter och svetsförsöken hade utförts med både lasern och TIG-pistolerna som ledande. Reduktionen av svetsnsprut var avsevärd med denna metod jämfört med

konventionell MAG, liksom värmeförvridningarna vilka var blott en tredjedel jämfört med automatiserad MAG-svetsning och en femtedel jämfört med manuell sådan [Tab. 2]. Minst distorsion erhöles man då TIG-pistolerna placerades som ledande/släpande. En annan observation var den att om man svetsade simultant från båda hållen blev hårdheten i svetsgodset lägre jämfört med ett ensidigt angreppssätt.

Tabell 2. Distorsionsmätning vid stumsvetsning med några olika svetsmetoder.

Svetsprocess	Z1 [mm]	Z2 [mm]
Laser-stickande TIG	0,90	1,00
Laser-släpande TIG	0,20	0,50
Automatiserad MAG	2,70	2,10
Manuell MAG	4,15	4,65

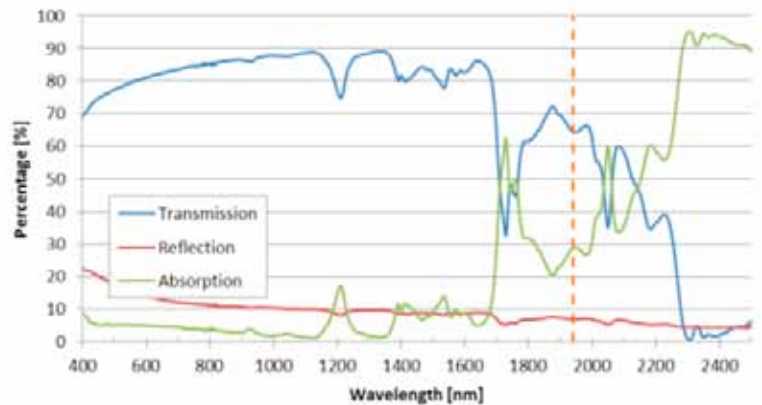


## Nya laserkällor

För plastsvetsning presenterade gamle bekantingen Tony Hoult från IPG Photonics Silicon Valley Technology Center i Santa Clara en ny produktserie av lågeffektlasrar med våglängder i SWIR [Short Wavelength Infra-Red]-området. Dessa är baserade på kristaller av Erbium [ $\lambda = 1.530-1.620$  nm], Thulium [ $\lambda = 1.800-2.100$  nm] eller Holium [ $\lambda > 2,1$   $\mu\text{m}$ ] och har lägre foton-energi än UV-lasrar. Idag kan man erbjuda Thulium-lasrar med upp till 120 W cw-effekt, 1.940 nm våglängd och en strålkvalitet på  $M2 < 1,05$ ! Vid effekter över 50 W är vattenkylning standard.

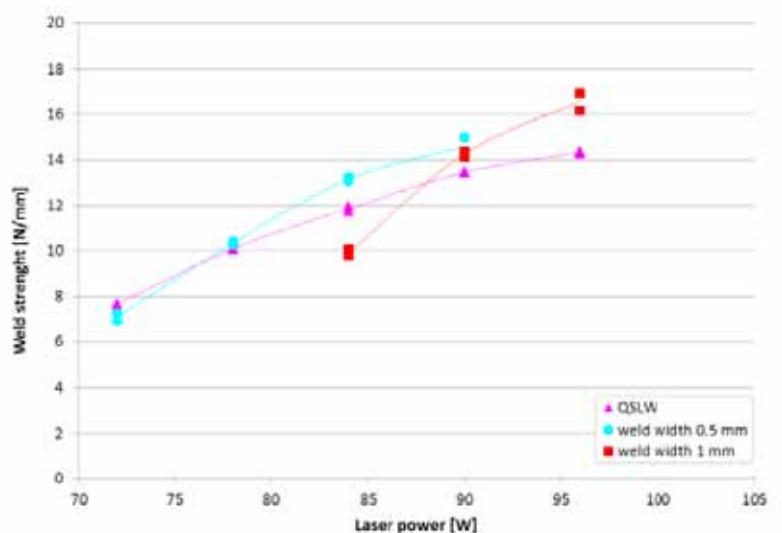
Just laservåglängder kring 2  $\mu\text{m}$  har hög absorptionsgrad i H<sub>2</sub>O och OH, men är transmissiva i halvledarmaterial som exempelvis Silikon. Detta gör att man kan svetsa överlappsfogar av helt genomskinliga polymerer, och alltså inte behöver lägga in ett absorberande skikt mellan komponenterna vilket är ett måste då man arbetar med 1  $\mu\text{m}$ -lasrar och genomskinliga material.

Detta att lasersvetsa polymerer med längre våglängder var något som även Saara Ruotsalainen från VTT i Lappeenranta hade studerat och då använt sig av en Thulium-laser från IPG [TLR-120WC] med 1.94  $\mu\text{m}$  våglängd. Hon hade utfört svetsförsök på TPE-A [ThermoPlastic Elastomer]-material [Fig. 25] genom att använda s.k. kvasi-simultan lasersvetsning [QSLW = Quasi-Simultaneous Laser Welding] med den nyheten att man försköt laserstrålens läge vid varje "scanning"-varv. Detta kan vara ett sätt att skapa bredare svetsar och därmed högre hållfasthet i fogen även om de här genomförda experimenten inte gav några sådana indikationer [Fig. 26]. Om däremot



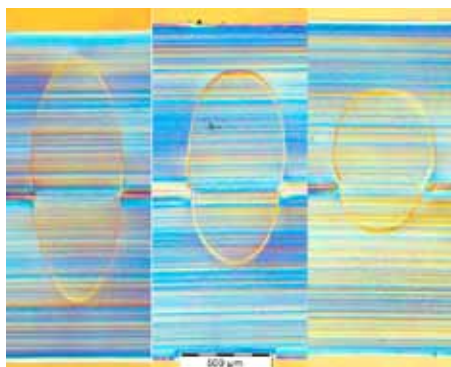
Figur 25

Absorptionspektra för polymermaterialet TPE-A där den i försöken använda våglängden på 1,94  $\mu\text{m}$  är markerade med en streckad, orange linje.



Figur 26

T.v. tvärsnitt av lasersvetsar utförda med QSLW med 0, 0,5 och 1,0 mm förskjutning mellan "scanner"-varven, och t.h. relationen mellan dessa, använd lasereffekt och statistik draghållfasthet.

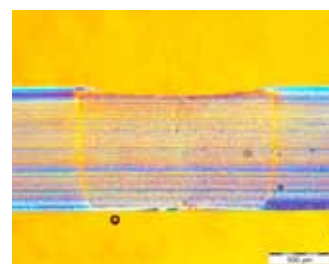
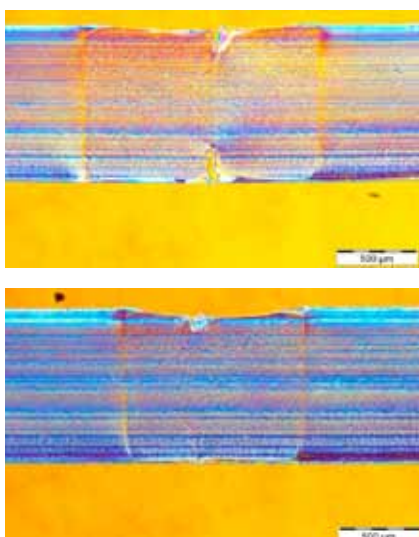


förskjutningen vid varje repetition är tillräckligt stor kan man använda en högre lasereffekt, vilket i sin tur är gynnsamt för att öka svetsens hållfasthet.

Att lasereffekten är avgörande för hållfastheten i lasersvetsade polymerfogar hade även observerats av Saaras landsman, den i ICALEO-sammanhang välbekante Petri Laakso [VTT Technical Research Centre of Finland]. Denne hade stumsvetsat 1 mm tjocka, helt transparenta PA11 [PolyAmid] -brickor, vilket är fullt möjligt om man har tillgång till en fiberlaser med cirka 2  $\mu\text{m}$  våglängd. Vidare hade den s.k. TWIST-metoden använts, vilken innebar att laserstrålen, med en fokuspunktsdiameter på 260  $\mu\text{m}$ , oscillerades i ett cirkelmönster med hjälp av Scanlab-verktyget Intellicube10. Dr. Laakso menade att en 30%-ig absorption av laserenergin i substratet är idealiskt vid plastsvetsning, något som man i det här fallet nådde vid en framföringshastighet på 20 mm/sek [Fig. 27]. För högre svets hastigheter krävs mer lasereffekt, men då riskerar man samtidigt att snarare bränna upp polymeren än smälta densamma, något som i de här refererade experimenten skedde kring 80 W lasereffekt.

Diodlasrar med extremt hög strålkvalitet presenterades redan vid "Lasers in Manufacturing" i München våren 2013 av de två företagen TeraDiode Inc. och DirectPhotonics och därför kändes det naturligt att deras representanter fick möjlighet att beskriva tekniken bakom sina produkter i den session som handlade om nya laser källor, vilken modererades av Oliver Suttman från LaserZentrum Hannover.

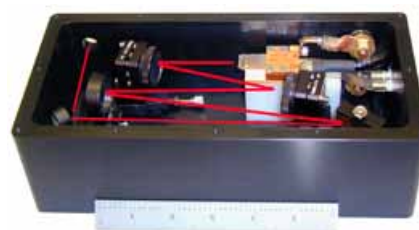
Först ut var Jay Liebowitz från TeraDiode som är ett amerikanskt företag med huvudsäte i Littleton, MA. Företaget grundades 2009 och är en avknoppning från MIT [Massachusetts Institute of Technology], där tekniken med WBC [Wavelength Beam Combining] uppfanns. Ett antal dioder med annan våglängd än den utgående, som är på 970 nm, seriekopplas, varpå man bygger samman dessa till moduler om 9 diodstänger och en total utteffekt på



**Figur 27**

Tvärsnitt genom lasersvetsade stumfogar i PA11 där 20 mm/sek i framföringshastighet tycks vara ett optimum.

Överst från t.v. 0,7 mm/66 W (oscillation och lasereffekt), 0,7 mm/75 W och längst ner t.v. 0,5 mm/75 W men där man ökat svets hastigheten till 30 mm/sek.



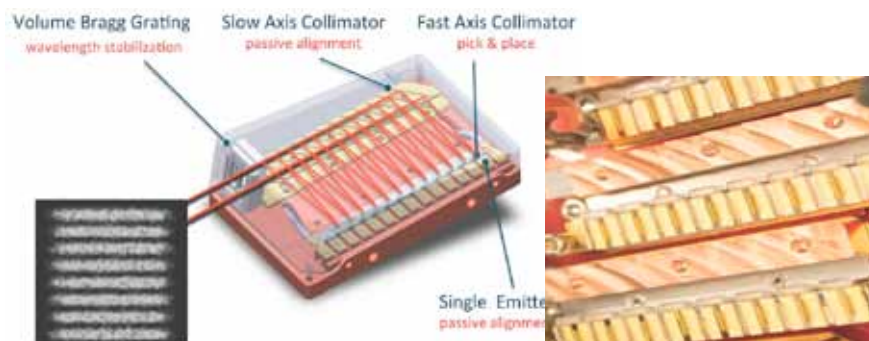
**Figur 28**

TeraDiodes direktverkande diodlasermodell TeraBlade™ 500W är knappast större än skokartong (t.v.). När vi lyfter på locket ser man de förhållandevis få komponenter som ingår och där strålgången är indikerad i rött.

500 W [Fig. 28]. Genom att kombinera flera moduler kan man idag erbjuda en diodlaser [TeraDrive™] på 2 kW med 4 mm\*mrad i strålkvalitet och 100  $\mu\text{m}$  distributionsfiber. Verkningsgraden [WPE = Wall Plug Efficiency] ligger på det för diodlasrar typiska värdet kring 40%. Dr. Liebowitz redogjorde avslutningsvis för framgångsrika skärresultat i rostfritt 304, kolstål 4041 och aluminium AA5052, liksom nyckelhållsvetsning av det rostfria materialet.

DirectPhotonics har ett annat angreppssätt vid uppbyggnaden av diodlasrar med hög strålkvalitet och detta berättade välkända Silke

Pflueger om. Efter tidigare anställningar hos SPI, IPG, Laserline and ULO Optics tycks hon känna för nya utmaningar inom diodlasertekniken. DirectPhotonics bygger upp sina högeffektlasrar via 90 mm breda halvledarelement på 10 W, vilka sammankopplas i den s.k. "fast axis"-riktningen varpå man använder en monolitisk kollimering i den vinkelräta riktningen ["slow axis"]. Den utgående våglängden begränsas sedan med hjälp av ett s.k. Bragg volymgaller, vilket medger multiplexing av våglängden via dikroma speglar [Fig. 29]. De kompletta modulerna har en utteffekt på 500 W och kan



Figur 29

DirectPhotonics koncept för diodlasrar med hög strålkvalitet åstadkommer man bl.a. genom kollimering av laserstrålarna i två riktningar samt ett Bragg volymgaller. T.h. ses inkrämet i en multi-KW-laser där flera 500 W-moduler sammanbyggs.

byggas samman så att man idag kan erbjuda produkter som är likvärdiga med TeraDiodes, i såväl max. 2 kW uteffekt och strålkvalitet. Dock förutspådde Frau Pflueger att DirectPhotonics snart kommer att lansera en 4 kW diodlaser på marknaden med en strålkvalitet på 7,5 mm\*mrad.

Det är väl sällan som det förekommer några s.k. "kioskvältare" vid denna typ av konferenser, men det går alltid att vaska fram några "guldkorn". För mig personligen var det emellertid intressant att återknyta bekantskapen med gamla kollegor, i synnerhet som min senast besökta ICALEO-konferens låg så pass långt tillbaka i tiden som 2009. Det är åtskilliga intressanta personligheter inom "laserfamiljen", som inte bara uppvisar en hög teknisk kompetens, men en inte minst lika stor social dito. Samtidigt måste man känna en befogad ödmjukhet inför denna mångfald av "superintelligenta" individer, där en av dessa var årets mottagare av det prestigefyllda Arthur L Schawlow Award, profes-

sor Ursula Keller från ETH [Eidgenössische Technische Hochschule] i Zürich [Fig. 30]. Priset har delats ut sedan 1982, men detta var första gången som en kvinnlig forskare belönades. Vid den högtidliga prisceremonin under "LIA Annual Meeting" med "Awards Luncheon" tryckte prisöverlämnaren professor Reinhart Poprawe [Fraunhofer ILT] på att Frau Kellers forskning varit banbrytande inom området ultrasnabb laserbearbetning, vilket bl.a. lett fram till industriella tillämpningar som t.ex. "Remote Laser Welding". Ursula Keller tog sin doktorexamen vid Stanford University 1989 då hon forskade inom fotonväxling, ultrasnabba lasrar och halvledarspektroskopi vid AT&T Bell Laboratories. Idag inriktar hon sitt och forskargruppens arbete på områden som ultrasnabba fastkropp- och halvledarlasrar, ultrakort pulsgenerering, frekvenskombinering, attosekundteknik samt instrumentering för våglängdsgenerering från EUV [Extreme UltraViolet] till röntgen.

Detta var några smakprov från 2013 års ICALEO-konferens och i nästa nummer av LaserNytt fortsätter min rapportering därifrån. Då kommer det att handla om svetsning av lättviktsmaterial, laserhybridsvetsning, svetsning av höghållfasta stål samt laserskärning och -börning. Alltså på återseende i oktober-numret! —



Figur 30

Mottagaren av 2013 års Arthur L. Schawlow Award och tillika den första kvinnan som förärats denna prestigefyllda utmärkelse, professor Ursula Keller i sin vardagliga miljö i laboratoriet vid ETH i Zürich.



Laser Institute  
of America

Laser Applications and Safety



**BESÖK DIN MASKIN DEN 13-15 MAJ**



Ett revolutionerande evolutionssteg  
inom plåtbearbetning

# AUTOMATION 2D LASER



I industrialiseringens början gjordes allt manuellt. Så var fallet även med all materialhantering när de första stans- och laserskärmaskinerna såg dagens ljus. Efter hand insåg man nödvändigheten av att automatisera hanteringen av material in och ut ur bearbetningsmaskinerna. Fram till idag har ett av de största problemen vid automatisering av 2D laserskärmaskiner varit att plundra och stapla de färdigskurna detaljerna på ett driftsäkert sätt. Nu finns lösningen!

**Besök Din Maskin den 13-15 maj då vi visar den allra senaste tekniken**

Lösningen heter RALC (Robot Assisted Last Cut). Detta innebär att detaljerna hålls fast av plockroboten precis innan sista snittet och plockas därför med 100 procents säkerhet ur skelettet utan någon möjlighet att fastna. Denna lösning eliminerar manuell separation, ökar kvalitén och ger högsta processsäkerhet vid obemannad drift.

Sätt en bock i almanackan och boka direkt. Lönsamma applikationer, fantastiska maskiner, trevliga kollegor och lunchbuffé väntar!

**Anmälan senast onsdag den 7 maj**

Tid: Tisdag 13 maj, onsdag 14 maj, torsdag 15 maj

Klockan: 10.00-15.00

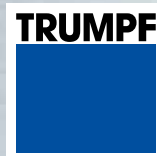
(Klockan 10.00 serveras kaffe och fralla)

Plats: Silkesvägen 22, Värnamo

Anmälan till: Marie, telefon 0370-69 34 07 eller marie@dinmaskin.se

Glöm inte att meddela hur många ni är som kommer.

**Välkommen!**



# Säkra Dig för framtida behov



## TruLaser Cell 3000. Unikt universell.

Det senaste inom kostnadseffektiv laserbearbetning av små och mellanstora detaljer har ett namn: TruLaser Cell 3000. Denna mångsidiga femaxlade maskin är kapabel att leverera 2D och 3D skärning och svetsning i toppkvalitet, inom allt från prototyper till hög volymproduktion. Modulär design och innovativa tekniska funktioner ger maximal flexibilitet att anpassa detta allt-i-ett system till dina skiftande behov samt en kontinuerlig produktivitetsfördel.

Säkra Dig för framtida behov med nya affärsmöjligheter och konkurrensfördelar inom 2D och 3D laserbearbetning.

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

# KALENDARIUM 2014

## MAJ

6-9

Elmia Svets och Fogning,  
Seminarium Konstruera smart – tjäna pengar I

Per Westerhult

## JUNI

5

Disputation "Laserhybridsvetsning"  
Jan Frostevarg, Luleå tekniska universitet

Alexander Kaplan

## OKTOBER

3

Lasernytt 2-2014

30

Laserdag

Per Westerhult

## NOVEMBER

Workshop Lasersvetsning  
Preliminärt Volvo Cars, Olovström

Per Westerhult

## DECEMBER

5

LaserNytt 3-2014

