

# Lasernytt



2-2016



Tiltrotator – en  
laserhärddad  
hydraulisk handled



COAXwire  
från IWS  
i Dresden



Jack-The-Ripper



Laser – för perfekt  
skurna kanter



## Ett enkelt val för en perfekt yta

Varför skall du välja Oerlikon Metco som er leverantör av lösningar inom laserbeläggning? Våra MetcoClad pulvermaterial är utvecklade speciellt enligt de krav som ställs för laserbeläggning och dess applikationer. Dessa inkluderar nickel- och koboltbaserade superlegeringar, stål, karbider för slitageskydd, och karbid matrix material för unika materialkombinationer. Med ett MetcoClad™ system framtaget för er samt MetcoClad material, så kan ni producera beläggningar för mycket höga krav och belägga mycket komplexa geometrier i en uppsättning. Utnyttja vår mer än 20 års expertis inom laserbeläggning.

**Med Oerlikon Metco, så är ditt val enkelt!**



[www.oerlikon.com/metco](http://www.oerlikon.com/metco)

**oerlikon**  
metco

**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: 070-626 90 96  
E-post: hans.engstrom@levitronics.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**

Engcon tillverkar tiltrotatorer  
- en hydraulisk handled

**Produktion:** Ineko Creative, Stockholm

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

**Annonsörer**

Oerlikon Metco, Permanaova, Trumpf

**LASER**  
LASERGRUPPEN

**INNEHÅLL**

**LASERGRUPPENS ÅRSMÖTE**

Historiska återblickar av laserutvecklingen i Sverige och internationellt 2

**RAPPORT FRÅN 34RD ICALEO - DEL 2**

Det var dags för "damernas" under ICALEO:s plenarsession 7

Lasern som stärkte företaget och produkten 15

Jack the Ripper (J.T.R) - ny metod att hantera skrotet vid tillverkning av metallband 16

**RAPPORT FRÅN 17TH EUROPEAN AUTOMOTIVE LASER APPLICATIONS - DEL 2**

Senaste nytt om laserverktyg och utrustningar för laserbearbetning 17

Laser för kolfiberapplikationer 22

**SAMTAL KRING LASERTRENDER - DEL 24**

Christoph Franz beskriver ett intressant Scansonic verktyg 25

Lasergrupp FoU 28

**LASER PROCESSING AROUND THE WORLD - DEL 2**

Lasersvetsning vid tillverkning av paneler för järnvägsvagnar 29

Mikrobearbetning med laser - del 19 33

**PRESSRELEASE**

Prima Power lanserar sin egen fiberlaser, CF3000 35

**RAPPORT FRÅN INTERNATIONAL LASER SYMPOSIUM - DEL 1**

Högklassig tysk laserkonferens med flera internationella inslag 36

## Lasersvetsning av 3D-utskivna detaljer är framtiden



**TANKAR FRÅN STYRELSEN**

BJÖRN LEKANDER, PERMANOVA LASERSYSTEM AB

I förra numrets "Tankar från styrelsen" konstaterade Bengt Johansson att skärningen är en mogen process men att det finns en hel del kvar att arbeta med på svetsviden. Detta är något vi konstaterat förut och det gäller tyvärr fortfarande. För hårdningen ser vi att vi har kommit mycket längre. Med hjälp av en pyrometer kan man styra processen med mycket hög noggrannhet och systemen är mycket lätta att köra i gång och underhålla.

Vad är det då som krävs för att svetsningen skall lyfta? Är det att vi går över till ren 3D-printning? Själv sitter jag bara tre meter från företaget Arcam som just fick ett bud på nästan sex miljarder kronor från GE. Är det den vägen vi alla skall vandra? Skall alla strukturer skrivas ut? Kommer framtidens industri vara ett enda stort kopieringsrum där man kan stå med en kopp kaffe i handen och övervaka?

Om jag tittar på de system som finns ute i industrin idag så är de inte hotade av 3D-tekniken. Det verkar vara helt nya tillämpningar som drar nytta av den. De största begränsningarna är givetvis cykeltid och storlek på detaljer men också till viss del toleranser. Jag ser nog att en kombination av att kunna svetsa ihop 3D-utskrivna detaljer är framtiden. Då kan vi kombinera hög komplexitet på vissa ytor med en enklare stomme utan att tappa för mycket cykeltid.

Och då var vi tillbaka på det där med svetsparametrar. Det pågår flera EU-projekt där vi har med deltagare från Lasergruppen där de utreder möjligheten att automatisera styrningen av svetsparametrar. På pappret ser det mycket intressant ut. Jag återkommer när jag har en lösning...

Bo Williamsson,  
Application manager AGA Gas AB,  
Region Europe North  
Johnny K. Larsson, Autokropolis Engineering (f.d. Volvo Cars)

# Historiska återblickar av laser utvecklingen i Sverige och internationellt

För att ge lite extra krydda åt Lasergruppens årsmöte följdes de ordinarie årsmötesförhandlingarna av två intressanta föredrag som båda belyste den utveckling som skett vad gäller laserbearbetning såväl i Sverige som internationellt.

Bo Williamsson inledde med några spännande exempel på tidig svensk laseranvändning, och därefter gav Johnny Larsson en bred exposé över laseranvändningen inom hans bransch, nämligen bilindustrin.



Fig. 1. Utvecklingen av materialbearbetning med laser i Sverige.

## Laserteknik i Sverige sett ur ett personligt historiskt perspektiv

### Bo Williamsson ger några highlights från 29 år i branschen

Materialbearbetning med laser har utvecklats med en rasande fart i Sverige sedan de första skärmaskinerna installerades i mitten på 80-talet. Denna artikel är ett sammandrag av mitt lätt kåserande presentation under Laserdagen på Elmia 11 maj 2016, och tar upp några höjdpunkter under mina snart 30 år i branschen, som av en händelse med en liten vinkling ur ett gasperspektiv.

### Hur började det?

De första lasrarna för skärning installerades i mitten av 80-talet. Lasereffekterna var ytterst moderata, några hundra watt att jämföras med dagens effekter på upp till 6 kW för skärning. I samtliga fall handlade det om CO<sub>2</sub>-lasrar. Inte turbo-maskiner som de flesta moderna resonatorer, utan en typ som kallas ”slow-flow”-laser, där det krävdes flera meter långa glaströr för att

krama ut några hundra watt. Det har sannoligen hänt en del på utvecklingssidan sedan dess. Vid denna tidpunkt fanns en handfull lasrar på den svenska marknaden, men i slutet på 80-talet förmligen exploderade marknaden, möjligen sammanhängande med att standardmaskiner med högre effekter (och därigenom högre produktivitet) för laserskärning nu fanns tillgängliga i kombination med att marknaden hade mognat. Applikationen gick här, ifrån att (för att prata modernt språk) ”nice to have” till att fylla ett reellt behov bland svenska industriföretag. **Fig 1** visar utvecklingen i

grova drag, med några milstolpar markerade (ur mitt perspektiv). Den dominerande applikationen var laserskärning. Lasersvetsning och andra applikationer förde så här långt en slumrande tillvaro.

Genom att CO<sub>2</sub>-lasern var den dominerande lasertypen för skärning kom mitt eget engagemang till början att handla om resonatorgas (företrädesvis kvalitetsfrågor) och skärgaser (nitrogen och oxygen). Utvecklingsprojekt bedrevs för att utreda vilka föroreningar som påverkade resonatorn och dess komponenter negativt. Diffusionsproblem tvingade också fram

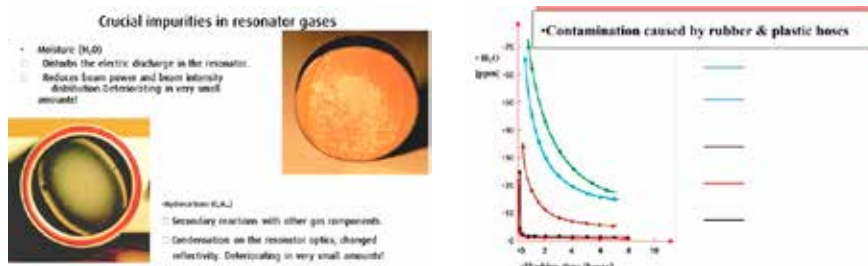


Fig. 2. Inverkan från föroreningar och slangmaterial vid laserinstallationer.

nya slangmaterial för att ge stabil funktion hos lasrarna. I tidernas begynnelse myntades uttrycket ”monday morning problems” vilket innebar att lasermaskinen ofta krånglade på måndag morgon efter att ha stått still över helgen. Problemen härleddes till felaktiga slangmaterial och medföljande indiffusion av föroreningar p.g.a stillastående gas i ledningarna. I värsta fall startades maskinen upp med luft i ledningarna. Val av korrekt slangmaterial rättade på ett enkelt sätt problemen, **fig 2**.

### Lasereffekter

Utvecklingen mot högre lasereffekter har pågått konstant sedan slutet av 80-talet. Numera ligger effekterna på upp till mer än 6 kW för skärlasrar. Drivande för utvecklingen har varit krav på skärning av allt tjockare material och högre produktivitet. För svetslasrar finns ännu högre effekter tillgängliga idag.

### NOLAMP

1987 startade de nordiska laserkonferenserna, NOLAMP för att sprida kunskap kring forskning, utveckling och applikationer inom laserområdet. Första konferensen hölls i Lysebu i Oslo och har hållits i de olika nordiska länderna med jämna mellanrum fram till dags dato. Under tecknad har haft förmånen att bidra med föreläsningar på NOLAMP-konferenser vid några tillfällen, **fig 3**. Jag kan rekommendera ett deltagande i kommande konferenser för att få en uppdatering inom området.

Pionjärer inom applikationsutveckling, förutom de stora lasertillverkarna, var vid denna tid bl.a. IPU i Lyngby. En verksamhet under prof. Fleming Olsens ansvar. Många är de kurser i praktisk laserskärning som har avhållits hos våra danska vänner, **fig 4**. Tillgänglig lasereffekt var här begränsad, varför huvuddelen av skärningen utfördes i tunt material.

### Bildande av lasergruppen

Lasergruppen bildades 1988 för att främja verkstadsindustrins användning av laserteknik, främst för skärande bearbetning och svetsning, samt för att utgöra en plattform för kunskaps- och erfarenhetsutbyte. Lasergruppen företräder branschen, främjar dess intressen och utgör ett kontakt-/informationsnät för denna gentemot nationella och internationella myndigheter, organisationer samt forskningsorgan.

### Tekniska högskolan i Luleå

I samma veva drog också laserverksamheten under prof. Claes Magnusson igång i

Luleå. Tekniska högskolan som sedermera bytte namn till Luleå Tekniska Universitet var pionjärer på den svenska sidan, med tillgång till högre lasereffekter än i Danmark. Förutom undervisning bedrevs ett stort antal utvecklingsprojekt och förstudier för industrins räkning. LTU har spelat en väsentlig roll i laserutvecklingen i Sverige, **fig 5**. Efter hand kom också laserlaboratoriet att kompletteras med en 6 kW CO<sub>2</sub>-laser och så småningom, även en 15 kW fiberlaser. Under tecknad har även här haft förmånen att få delta i en del projekt, framför allt gasrelaterade sådana.

Volvo Personvagnar har också spelat en stor roll för utvecklingen av lasertekniken i Sverige, här med fokus på framför allt lasersvetsning. Den första bilmodellen med



Fig. 3. Exempel på föredrag vid NOLAMP.



Fig. 4. Coherentlaser som användes på IPU.



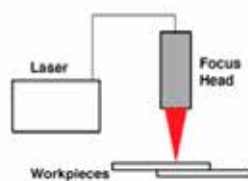
Fig. 6. Volvo 850, den första lasersvetsade bilen i Sverige.

delvis lasersvetsad kaross, Volvo 850 släpptes 1991, **fig 6**. Inledningsvis handlade det om svetsning av taket, en applikation som senare kom i produktion även för andra bilmodeller. Till en början skapade den förzinkade plåten stora svetsproblem. Jag deltog i ett projekt i Luleå där vi försökte hitta en lösning på problemet, dock utan att lyckas fullt ut. Numera svetsas tak och andra detaljer utan problem. Bilindustrin har för övrigt varit deltagande i, och starkt drivande av utvecklingen, framför allt vad gäller lasersvetsning, men även applikationer som laserhårdning, laserlödning, hybridsvetsning och additive manufacturing mm. Svetsning av rotationssymmetriska detaljer exempelvis i transmissionsdetaljer, tailored blank-svetsning osv. är applikationer som funnit fotfäste inom bilindustrin globalt.

Lasersvetsningen har kanske inte fått den utveckling man förutspådde i början på 90-talet. I Sverige svetsas dock en hel del produkter förutom ovan nämnda i Sverige. Som exempel kan nämnas bakaxeltappar till lastbilar, plattvärmväxlare, rostfria rör, komponenter för militärt bruk, finmekanik, komponenter i ABS-bromsar osv. Listan blir alltför lång om man ska nämna alla applikationer här. Fortfarande är det ändå så att övervägande delen av antal produktionstimmar med laser i Sverige läggs på laserskärning.



Fig. 5. Laserlabbet i Luleå. Nestor Hans Engström lyckades fastna på bild denna gång.



## Nya lasertyper

På senare år har nya lasertyper vunnit terräng på den svenska marknaden, framför allt fiber och disklasern har till stora delar tagit över marknaden för nya skär- och svetslasrar, **fig 7**. CO<sub>2</sub>-lasern kommer som det ser ut nu ändå att finnas kvar som bästa alternativ för vissa applikationer. Det blir också spännande att följa diodlaserns utveckling på marknaden.

## Framtiden då?

Undertecknad har haft nöjet att följa och i viss mån varit delaktig i laserbearbetningens utveckling i Sverige. Det har varit fantastiska 29 år där utvecklingen gått från ”hemmabygga” små utrustningar till dagens multikilowattmaskiner med integrerad materialhantering. I artikeln har av utrymmesskäl bara nämnts ett fåtal av milstolparna i utvecklingen. Skulle jag ta med allt så behöver jag skriva en hel roman i ämnet. Många personer som har spelat en stor roll för utvecklingen har passerat revy, nu tar nya förmågor vid för att driva processen vidare. Jag har inte nämnt Lasercentrum i Gnosjö, Ferruform (f.d Scania), Lasertech, Alfa Laval med flera företag. Inte heller personer som Bertil Pekkari, Lutz Hanneke, Claes Magnusson, Hans Engström, Johnny K Larsson, Tore Salmi, Åke Merckell, Hubert Wilbs med flera. Tillgången till högre lasereffekter har gjort det möjligt att även svetsa och ytbehandla med laser med stor precision, kvalitet och produktivitet. Nu ser vi ett tekniskifte där CO<sub>2</sub>-lasern delvis fasas ut till förmån för fiber- och disklasern. Vad händer i framtiden? Det är svårt att sja om, nya laserkällor kanske? Vad händer med diodlasern? Produktionsökonomi är en viktig del av utvecklingen. Ytterligare förfining av materialhantering och mjukvara kommer definitivt. Additive Manufacturing är också en applikation som är på gång. En sak är säker, det blir mycket intressant att följa utvecklingen i framtiden.

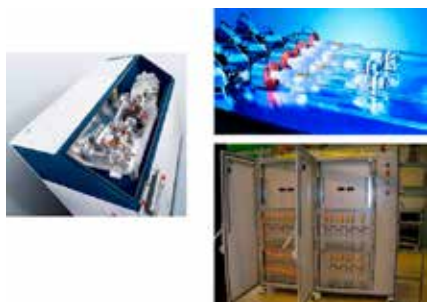


Fig. 7.  
Fiber- och disklasern.



## Laserutvecklingen och användning inom bilindustrin – Johnny Larsson ger en bred exposé

Jag tog ”avstamp” med att berätta om Volvo Cars’ senaste laserinstallation vid den nya karosfabriken TA3 i Torslanda där man producerar företagets senaste produkter XC90, S90, V90 och V90CC [Cross Country], samtliga byggda på den nya SPA [Scalable Platform Architecture]-plattformen [Fig. 8]. I den dedikerade lasercellen arbetar hela 4 stycken ABB-robotar simultant med både skärning och svetsning, och varje robot är kopplad till en diodlaser [LDF-4000-30] från Laserline. Laserskärningen sker i form av bortkapning av referenshålsplattor samt varianthållsskärning för CC-modellen, medan takpanel och vindrutes Stolpar svetsas med för lasertekniken den unika fördelen med ”enkelsidig bearbetning.” De laserverktyg som används är Precitecs ”Formcutter” för skärningen och Permannovas WT04 ST DW vid svetsoperationerna där den senare utförs med 6 m/min för taksvetsningen respektive 3,2 m/min för de tjockare, presshårdade detaljer som formar vindrutes stolparna.

Därefter gav jag en historisk tillbakablick som lyfte fram några milstolpar [Fig. 9] beträffande Volvo Cars’ laseranvändning såsom;

- Europas första ”in-line” lasersvetsning med CO<sub>2</sub>-laser i form av taklasersvetsning av 850-modellen i Gent-fabriken i Belgien 1991
- CO<sub>2</sub>-lasersvetsning med teleskopiska rör vid tillverkningen av samma modell i Torslanda 1994
- Företagets första nd:YAG-laserinstallation i dåvarande Uddevallafabriken för svetsning och skärning vid tillverkning av C70 coupé- och convertible-modellerna 1997
- Det europeiska ”Laser Picker”-projektet som kan sägas vara en föregångare till dagens fjärrlasersvetsning



Fig. 8.  
Volvo XC90 (t.v.) och Volvo S90 (t.h.) är några av de modeller som laserskärs- och svetsas i Torslandaverkens nya karosfabrik TA3, vars lasercell här ses schematiskt illustrerad.



Fig. 9.  
Fr.v. Lasercellerna i Gent, Torslanda respektive Uddevallafabriken.

För att sedan avsluta med ”flaggskeppet” XC60 [Fig. 10], en modell som från början är konstruerad för lasersvetsning och som innehåller inte mindre än 10 meter sammanlagd svetslängd.

### Internationell återblick

Den internationella delen av presentationen startade med att beskriva laserhybridsvetsning av bakaxelbryggor hos Daimler AG till C-, E- och S-Klasse-modellerna där den huvudsakliga drivkraften för införande av denna teknik främst ligger i en ökad produktivitet, men också till viss del i en bättre svetskvalitet i jämförelse med GMAW [Gas Metal Arc Welding] eller tandem-GMAW.

Därpå följde ett flertal exempel på den just nu så ”heta” fjärrlasertekniken eller RLW [Remote Laser Welding, Fig. 11], vilket exemplifierades med;

- Kälsvetsar på BMW Minimodellens sidodörrar där svetsarnas positionering löser problemet med zinkavgasning men samtidigt kräver ett sofistikerat svetsverktyg med exakt fogföljning
- Fjärrlasersvetsning och dimpling med en pulsad laser vid tillverkning av sidodörrarna till Audi A3-modellen
- En alternativ dimplingsprocess i form av blindsvetsar utvecklad av Nissan och använd på deras Infinity Q30, där den ”dimplade” detaljen inte behöver flyttas i fixturen, något som är nödvändigt vid konventionell RLW-process
- Strukturella och semistrukturella fjärrlasersvetsar på Fordmodellerna Mondeo, Fusion och Mustang, där man för produktionen av den senare modellen använder hela 12 RLW-system baserade på 6 kW fiberlasrar från IPG och HighYags RLSK-verktyg

Rengöring av aluminiumytor innan svetsning med hjälp av en pulsad 500 W laser hos Audi AG, lasersvetsning av aluminium utan tillsatsmaterial genom att antingen använda sig av en kontrollerad energitillförsel eller laminatmaterialet ”Fusion 8840” från företaget Novelis, samt transmissionslasersvetsning av plastbakdörren till Renaults Clio-modell är några andra innovativa laserapplikationer som används vid högvolymproduktion av personbilar idag.



Fig. 10. Volvo XC60 med världens första bilkaross exklusivt konstruerad för lasersvetsning.

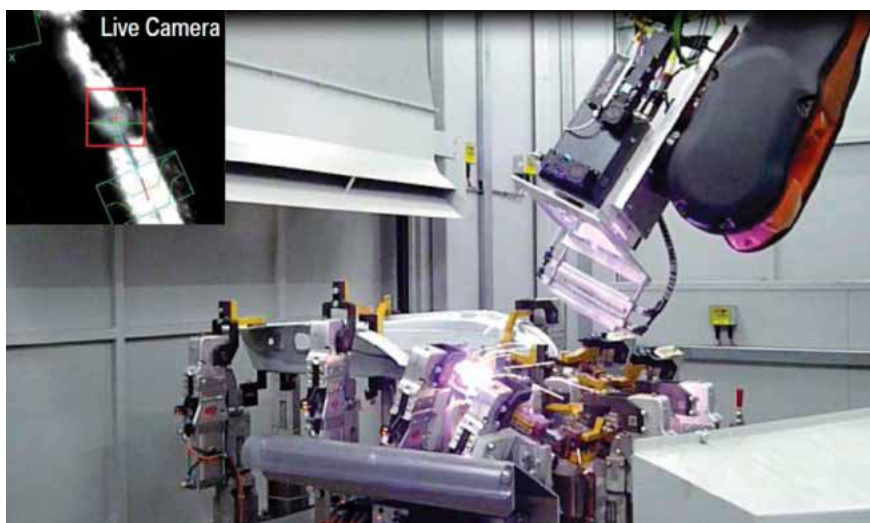


Fig. 11. Bland otaliga exempel på fjärrlasersvetsning ses här dörrsvetsning på BMW Mini (ovan) och Audi A3 (t.v.) modellerna.

## Laserlödning

Laserlödningen ägnades ett speciellt avsnitt och inleddes med exempel från Volvo Cars' egen produktion i form av bakluckelödning av S60- och S80-modellerna i en dedikerad lasercell i fabriken i Olofström. Bakluckornas design är sådan att ytterpanelen inte kan formas ur en enskild plåt utan man måste lägga in en s.k. split-line varför panelen måste tillverkas som två detaljer vilka sedan sammanfogas med laserlödning för att ge en visuellt acceptabel fog [Fig. 12]. Därpå beskrevs de två olika koncept för s.k. trifokal laserlödning som syftar till ett ytterligare förbättrat utseende hos lödfogen speciellt om densamma appliceras på varmförzinkade karossartiklar. Som bekant är det IPG, i samarbete med VW, respektive Laserline som presenterade dessa lösningar vid EALA [European Automotive Laser Applications] -konferensen tidigare under året, och om vilket det finns mer information att finna i föregående nummer av LaserNytt.

Till sist presenterades några innovativa laserverktyg [Fig. 13], såsom IPG:s "Seam Stepper" som bl.a VW använder sig av vid ett antal svetsapplikationer på 7:e generationens Golf-modell, vidare en lasersvetstång från Düring Schweißtechnik GmbH, samt Scansonics FSO-verktyg, som möjliggör svetsning av extremt korta svetsar.

Sammanfattningsvis menar jag att alla dessa exempel visar på att laserbearbetning, i ett flertal former, är fullt accepterat inom personbilsbranschen idag, och är att betrakta som mer eller mindre "State-of-the-Art". Utöver etablerade metoder som svetsning, skärning och lödning förutspår jag att ytmodifiering med hjälp av laser, som exempelvis texturering, påläggning, härdning och lokal mjukgörning, kommer att bli nästa stora användningsområde inom fordonsindustrin. Därtill kommer naturligtvis det växande intresset för 3D-printning eller additiv tillverkning även att påverka bilbranschen, och det finns redan idag ett företag i Phoenix, AZ, Local Motors, som specialiserat sig på att 3D-printa hela bilar [Fig. 14]. Som synes; den gamla "klyschan" att det endast är fantasin som sätter begränsningar vad gäller laserbearbetning tycks fortfarande vara relevant. ■

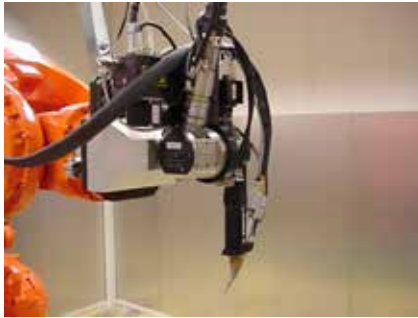
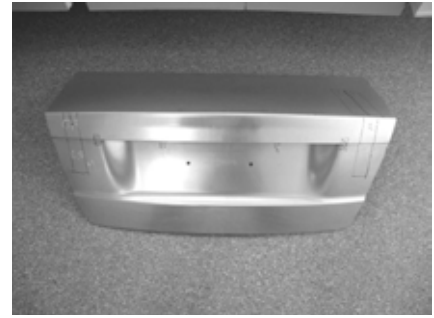


Fig. 12. Bakluckan till Volvo V60 (mitten) har en sådan design att den måste tillverkas i två delar som sedan sammanfogas i en dedikerad cell i Olofström (t.v.) med ett laserlödningssystem från Scansonic (t.h.).



Fig. 13. Exempel på några innovativa laserverktyg; fr.v. IPG:s "Seam Stepper", en lasersvetstång från Düring Schweißtechnik GmbH och Scansonics FSO-verktyg.



Fig. 14. Hos Local Motors i Phoenix kan man få sin egen specialdesignade personbil tillverkad genom s.k. Selective Laser Melting.

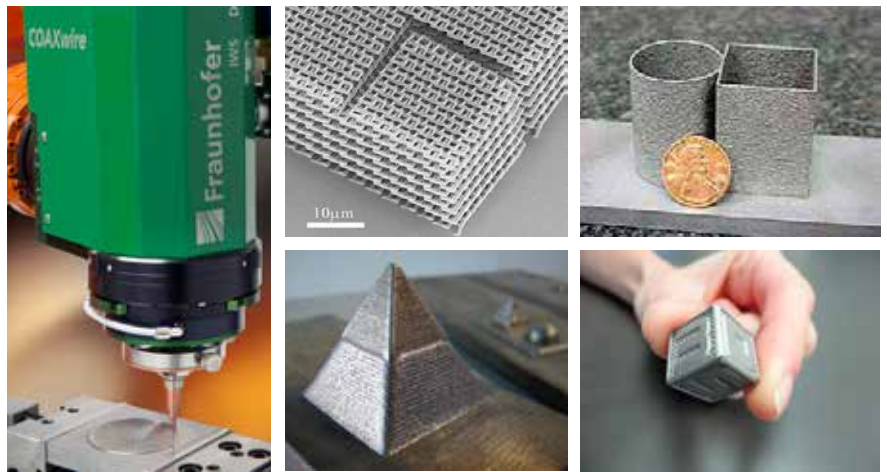
# Det var dags för "damernas" under ICALEO:s plenarsession

Johnny K Larsson  
Autokropolis Engineering  
(f.d. Volvo Cars)

För 34:e gången arrangerades den traditionella ICALEO [International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics] -konferensen under tiden 18-22 oktober 2015. Denna gång hade LIA [Laser Institute of America] valt att förlägga evenemanget till soliga Atlanta i delstaten Georgia där temperaturen kom att ligga på cirka 25 plusgrader under samtliga konferensdagar. ICALEO har ett tämligen statistiskt upplägg med ett välkomstpårty kvällen innan konferensen startar, följt av "President's Reception" på måndagskvällen, den populära "table-top"-utställningen under tisdagskvällen och den traditionella "Awards Luncheon" på onsdagen. Det blir mycket "snacks" och dryck under dessa sociala umgängesformer där man får möjlighet att "mingla" med gamla laserbekanta men också träffa nya, unga och idérika laserforskare från hela världen. Detta är Del 2 där Del 1 presenterades i LaserNytt 1-2016.

## Additiv tillverkning

Additiv tillverkning är numera ett stående inslag på de flesta laserkonferenser, men personligen hade jag väntat mig mer av den varan vid ICALEO. Dock fanns några exempel värda att lägga på minnet, och ett handlade om mikro-LMD [Laser Metal Deposition] och hölls av Dr. Christoph Leyens [Fraunhofer IWS, Dresden], vilken måste anses vara en auktoritet på området. Denna typ av additiv tillverkning hittar vi



Figur 21. Med det hos IWS i Dresden utvecklade processverktyget "COAXwire" kan man inte bara reparera slitna maskindelar utan även bygga mikrostrukturer även om de flesta exemplen ovan är utförda med s.k. SLM (Selective Laser Melting).

främst inom rymd- och medicinteknik, men också vid tillverkning av små formverktyg. Med en fokuspunkt på 0,5 mm och en munstycksstorlek på cirka 15 mm diameter hade vissa basala försök gjorts. Ju tätare spåren för det nersmälta pulvret ligger desto mer energi krävs beroende på att man har en tredimensionell avkylning jämfört med en tvådimensionell sådan då spåren läggs glesare. Olika parametrars betydelse hade utvärderats och man hade kommit fram till att då det gäller spårbredden finns här en direkt relation till lasereffekten. Höjden på påläggningen beror förutom av effekt på pulvertyp och avstånd mellan munstycke och substrat. De två senare är de faktorer som mest påverkar graden av vågighet hos påläggningen, men även framföringshastigheten kan spela roll. Några exempel på mikro-LMD, vilket förutsätter god strålkvalitet kring  $M^2 = 1,1$ , var en 5,5 mm hög

struktur tillverkad i CoNi med 40 W och en processhastighet på 8 m/min. Andra exempel var i form av "bikake"-strukturer, mini-pyramider och kobolt-baserade gripdon tillverkade med s.k. överhäng och 80 W lasereffekt. Den andra halvan av presentationen handlade om mer bekanta makro-tillämpningar som reparation tredimensionella kontaktytor på turbiner avsedda för beläggning med TBC och reparation av elektriska urladdningsmaskiner. Den senare hade gjorts i form av tillsatstråd av 1.4718 [X45CrSi9-3] på SSC355-stål och med hjälp av det hos IWS utvecklade processverktyget "COAXwire" [Fig. 21]. Påläggningen gjordes med en bredd av 100 µm och byggdes upp till 1,5 mm tjocklek. Vid hårdhetsmätning av tvärsnittet uppvisade topplaget den högsta hårdheten, vilket förklarades av att här sker inte någon omsmältning i motsats till de underliggande lagren.

Reparation av verktygsstålet H13 som används i extruderings- och smidesverktyg, samt som i det här aktuella fallet formverktyg för gjutning, var temat för Yung Shin från Purdue University, West Lafayette, IN. Materialet har en specifik struktur för att kunna motstå höga temperaturer och korrosionsskador, men trots detta krävs det återkommande reparationer, vilka med konventionella reparationsmetoder tenderar att bli kostsamma, varför en lösning med laserunderstödd additiv tillverkning blir ett tilltalande alternativ. Dr. Shin redogjorde för två praktikfall där det första handlade om att med LMD åstadkomma mindre förändringar av verktygets geometri. Man ville öka höjden hos en av verktygsinsatserna med 0,25 mm och för detta ändamål användes en 500 W IPG-laser där man utnyttjade 350 W av effekten. Processen skedde i Argonmiljö i en kammare levererad av företaget Optomec och man satsade på att göra uppbyggnaden 0,5 mm hög för att senare bearbeta den till önskad höjd. Uppbyggnaden skedde i två steg med en pulvertillförsel av 8,5 g/min och med 14,8 mm/sek i processhastighet. Detta resulterade i 0,30 mm breda och 0,28 mm höga påläggningsspår.

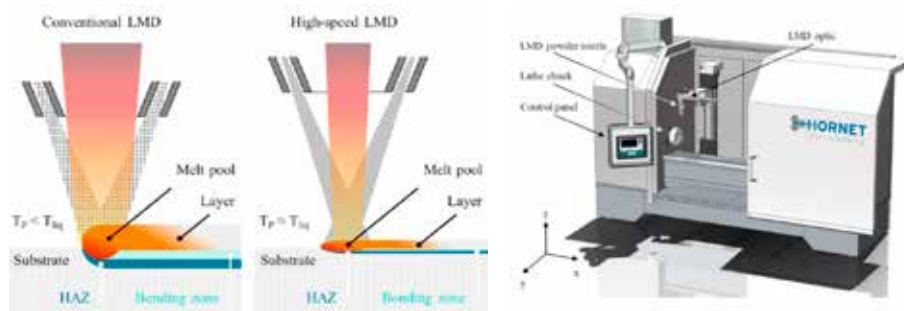
Det andra exemplet handlade om reparation av en skadad del av formverktyget. Här ”scannades” först den deformerade detaljen varpå den jämfördes med originalformen för att på så sätt bestämma volym och geometri för LMD-tillverkningen. Dessutom gjorde man en analys av materialets mikrostruktur för att kunna specificera korrekt pulvermaterial. Pulverstorleken låg mellan 10-50 µm och lades på i spår som var orienterade 45° mot varandra. Hårdheten visade sig bli högre i det pålagda materialet [630 Hv] jämfört med grundmaterialet, detta beroende på en förhållandevis snabb avkylning. Denna har emellertid den positiva effekten att kylningsförloppet bygger in tryckspän-

ningar, vilket gjorde att man vid dragprov fick brott antingen mellan de pålagda lagren eller i grundmaterialet men aldrig i kontaktytan mellan dessa. Dessutom låg brotthållfastheten 15-20% högre för påläggningen jämfört med grundsubstratet. Avslutningsvis presenterade Dr. Shin några avancerade simuleringshjälpmedel för LMD, såsom simulering av deponeringsprocessen, simulering av materialkinematik såsom fasomvandlingar, samt simulering av mekaniska egenskaper som exempelvis restspänningar.

Produktiviteten för additiv tillverkning med laser har hittills bedömts som alltför låg varför vi med spänning såg fram emot Thomas Schopphovens [Fraunhofer ILT, Aachen] presentation kring ultra-höghastighetspåläggning. Här pratar vi om processhastigheter kring 200 m/min genom att belägga rotationssymmetriska detaljer där dessa roteras medan laserverktyget är helt fixerat eller har en långsam tvådimensionell linjerörelse. Detta skall jämföras med konventionell LMD där normalhastigheten ligger kring 2 m/min. För att påläggningen skall fungera vid dylika höga hastigheter krävs att pulvret mer eller mindre befinner sig i smält tillstånd redan då det träffar substratet, varför laserstrålens fokuspunkt inte enbart måste värma upp substratyten [Fig. 22]. Det senare är dock nödvändigt för att erhålla den metallurgiska bindning mellan påläggning och substrat som är unik för laserpålägningsprocessen jämfört med andra metoder som t.ex. termisk sprutning, där man endast får en mekanisk bindning mellan pulver och substrat. Herrn Schopphoven visade på resultat där Inconel625 hade lagts på rostfritt 1.4301-material. Den rostfria cylindern roterades med 2.000 rpm [revolutions per minute] vilket innebär att man kan belägga 500 cm<sup>2</sup>/min och man deponerar 1,5 kg pulver per timme. Man hade använt 4 kW lasereffekt från en Laserline 4000-400 där skiktjockleken låg på 25

µm och utfördes i en Hornet-maskin med Argon-miljö [Fig. 22]. Penetrationen ner i substratet låg på 5 µm och ytjämnheten hade utvärderats som funktion av lasereffekt och pålägningshastighet. Avslutningsvis fick vi veta att man vid ILT avser att vidareutveckla höghastighetspåläggningen och beräknar att man 2017 kan genomföra sådan även på icke-symmetriska detaljer.

Alexander Barroi [LaserZentrum Hannover], presenterade en nyhet då det gäller laserpåläggning med tillsatstråd som man valt att benämna LDNA [Laser assisted Double wire with Non-transferred Arc]. Vid en vanlig laserpålägningsprocess matas tråden in i smältan vilket kan störa laserstrålen. Därför använde man sig här av två tillsatstrådar som matades fram av två individuella svetsmunstycken positionerade strax ovanför substratet [Fig. 23]. På så sätt skapas en ljusbåge mellan de två trådarna och smälter dessa, varför det är redan uppsmält tillsatsmaterial som faller ner på substratet vilket då har förvärmats av laserstrålen. I försöksuppställningen hade man använd en linje-”scanner” som hade pendlat laserstrålen vinkelrätt mot framföringsriktningen. Laserkällan var en diodlaser på 2,2 kW ur vilken man använt 1 kW, och fokallängden var 400 mm vilket gav en fokuspunkt med 1,6 mm diameter på arbetsstycket. Den jonisering av elektronerna som uppkommer i plasmaljubågen innebär att man p.g.a. polariteten måste ha olika hastigheter för matningen av de två trådarna, i detta fall 7,6 respektive 6,4 m/min. Huvudsyftet var att öka deponeringshastigheten vid laserpåläggning med trådmaterial då denna idag annars är för långsam för industriell användning. Med en spårbredd på 5,5 mm uppgick deponeringen till 7,5 kg/tim och med < 5% inlösning i grundmaterialet [Fig. 23]. Provobjekt pålagda med rostfritt material hade genomgått saltvattenstest enligt DIN EN ISO 9227 utan anmärkningar.



Figur 22. Principen för höghastighetspåläggning bygger på att fokuspunkten befinner sig åtskilliga millimeter ovanför substratets yta så att det tillförda pulvret redan befinner sig i smält tillstånd då det träffar ytan. Därtill en speciellt utvecklad maskin för höghastighetspåläggning från företaget Hornet, och t.h. den rostfria cylinder som under experimenten belades med Inconel625.

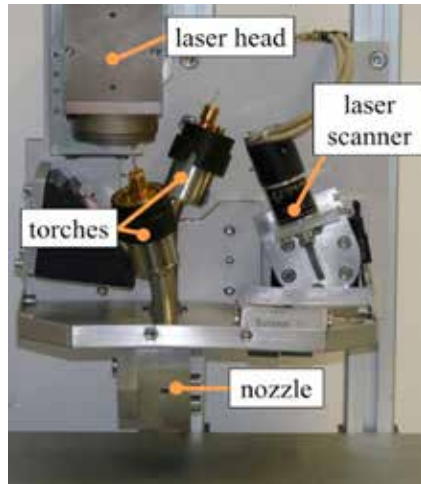
## Nya laserverktyg för processövervakning och kvalitetskontroll

Ett regelbundet återkommande ämne vid alla laserkonferenser med självaktning är processövervakning vid laserbearbetning. Även vid ICALEO var detta på agendan även om en del av systemen var kända sedan tidigare. Sålunda fick vi på nytt höra Markus Kogel-Hollacher [Precitec GmbH & Co. KG, Gaggenau] tala sig varm över företagets IDM® [In-process Depth Meter] -verktyg [Fig. 24]. I motsats till andra kommersiella system på marknaden som utger sig för att kunna övervaka penetrationsdjupet vid laser-svetsning mäter Precitecs verktyg detta direkt genom interferometri, s.k. LCI [Low Coherence Interferometry]. Man skickar in en laserstråle med 1.550 nm våglängd och den väg som det återreflekterade ljuset tillryggaligger jämförs med ett referensvärde som motsvarar det önskvärda penetrationsdjupet. Andra system kan bara mäta penetrationen indirekt genom att t.ex. korrelera smältans storlek eller intensiteten i laserplasmot mot penetrationen. IDM®-verktyget har en upplösning < 1 µm vid 70 kHz frekvens och är robust gentemot emissioner från svetsprocessen eller andra störningar som kan uppträda i en verkstadsmiljö. Den höga upplösningen är dessutom oberoende av fokallängd. Den gode Markus visade på några högtintressanta resultat från svetsning av rostfritt material med 3 kW lasereffekt. Man hade varierat svets hastighet och oscilleringsfrekvens och sedan jämfört sensorsignalen med röntgen av svetsen, och resultaten visade en näst intill 100%-ig överensstämmelse. Systemet erbjuder dessutom något som vi i branschen länge har efterfrågat, nämligen en form av "closed-loop"-lösning. För svetsning är IDM®-verktyget idag kvalificerat ner till 8 mm penetrationsdjup vid svetsning, men det kan med fördel också användas för att övervaka laserprocesser som ytstrukturering och skärning.

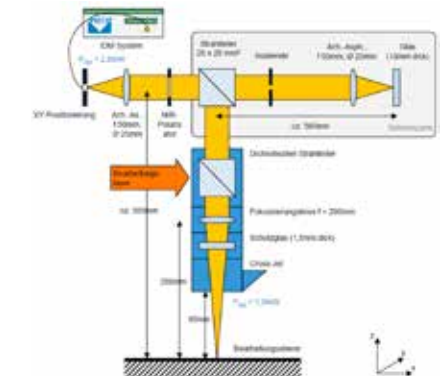
Ett annat sätt att kontrollera lasersvetsars kvalitet är att använda akustisk emission, en metod som emellertid visat sig mindre lämplig i verkstadsmiljöer med hög ljudvolym. Dock har hittills använda system arbetat vid förhållandevis låga frekvenser som < 20 kHz vid användning av mikrofoner och < 100 kHz då piezoelektriska mottagare används. Nu presenterade emellertid Matthias Bastuck från Fraunhofer IZFP [Institut für ZerstörungsFreie Prüfung] i Saarbrücken ett verktyg som arbetade i frekvensområdet 400-1.200 kHz för stomburet ljud och

mellan 700-1.000 kHz för luftburet dito. Han hade genomfört svetsförsök på zinkbelagt S235-material där effekten varierats sinusformat mellan 0 och 2 kW vid en framföringshastighet av 20 mm/sek [Fig. 25]. Det av svetsprocessen genererade ljudet registrerades av en sensor placerad ungefär 70 mm från smältan. Sensorn

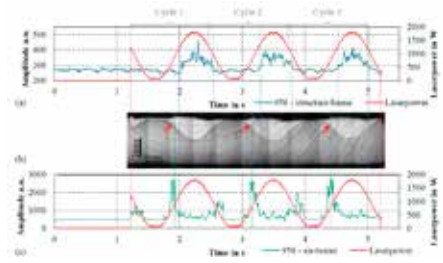
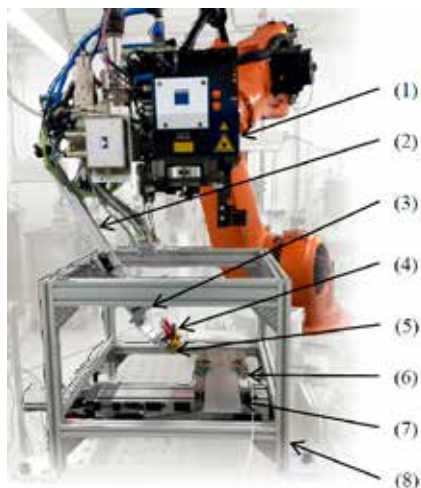
var infattad i en keramisk hållare för att undvika magnetisk påverkan. Ljudsignalen kunde med god överensstämmelse korreleras mot processparametrar som lasereffekt, svets hastighet men också mot svetsegenskaper som penetrationsdjup. Bland annat kunde man tydligt urskilja övergången mellan värmelednings- och



Figur 23. Närmast försöksuppställningen för LDNA-processen med två separata svetsmunstycken som resulterar i en ljusbåge som smälter tillsatsstrådarna varför laserstrålens enda funktion är att förvärma substratets yta. T.h avslöjar SEM-bildens gränsskikt en minimal inlösning av tillsatsmaterialet i substratet.



Figur 24. Den alltid lika gemytliga Markus Kogel-Hollacher, här samtalande med Annette Klotzbach (IWS) under ICALEO:s "table-top"-utställning, fick på nytt möjlighet att göra reklam för Precitecs IDM®-verktyg, vilket kan mäta svetsdjupet med en näst intill 100%-ig noggrannhet.



Figur 25. Försöksuppställningen t.v. bestående av laseroptik (1), linjäraxel (2), goniometer (3), pilotlaser (4), piezoelektrisk sensor för luftburet ljud (5), dito för stomburet (6), linjärmanipulator (7) och monteringsram (8). Ovan tvärsnitt genom lasersvetsat zinkbelagt S235-material (b), stomljudsuren signal (a) och luftburen dito (c) vid effektmodulering mellan 0 och 2 kW.

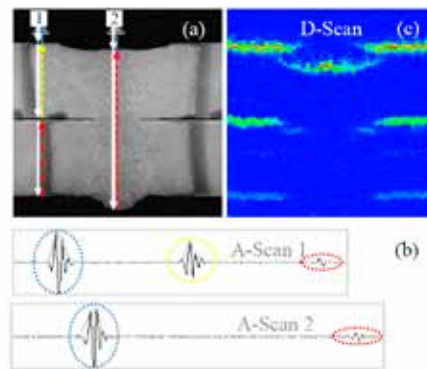
nyckelhållsvetsning, samtidigt som man konstaterade att det luftburna ljudet stämde bäst överens med förångningen av smält material, medan det stomburna ljudet korrelerade mot penetrationsdjupet. Som en komplettering redogjordes för en OFP [oförstörande provning] -metod av lasersvetsar som baserades på att en ultraljudssignal med 100 MHz frekvens "scannades" via en liten vattenbehållare med en hastighet av 80 mm/sek för att erhålla en s.k. D-scan-profil [Fig. 26]. Verktøget bygger på samma princip som en produkt från företaget AmsTech i Zwinderen i Holland, vilket vi använder vid Volvo Cars. Fördelen med denna form av provning är att den ger en komplett bild av hela svetsvolymen med avseende på svetsbredd, bindfel, porer och s.k. False Friends.

Thomas Harrer [Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH] adresserade ämnet sensorstödd fjärrlasersvetsning. För att åstadkomma ytterligare viktsbesparingar i form av reducerade flänsbredder i bilkarosser är trenden bland olika tillverkare att byta ut traditionella överlappssvetsar mot kälssvetsar. Detta kräver någon form av fogföljningssystem och erbjuder speciella utmaningar vid RLW [Remote Laser Welding].

Trumpf erbjuder sedan tidigare sitt kamerabaserade "SeamLinePro" för fogföljning, processövervakning och efterkontroll av svetsens geometri. Verktøget har nu anpassats för fjärrlasersvetsning

genom att detekteringen av fogens läge är direkt kopplat till "scanner"-enhetens kontrollenhet. En CMOS [Complementary Metal-Oxide-Semiconductor] -kamera, som arbetar med över 500 Hz bildfrekvens, kan med hjälp av triangulering identifiera plåtkantens läge men även eventuellt förekommande gap mellan plåtarna, och i realtid anpassa relevanta processparametrar [Fig. 27]. Verktøget kan följa fogen även om laserstrålen skulle ha en infallsvinkel på 45°, och vid en svets-hastighet på 8 m/min ligger den laterala noggrannheten på 50 µm.

Sagde Thomas Harrer agerade också i en session rörande ytmodifiering. Att använda tunnväggiga, presshårdade karosskomponenter är ett vanlig åtgärd för viktminskningar. Materialet hettas upp till cirka 920 °C varpå det snabbt kyls ned för att erhålla en stark martensitisk struktur. Nackdelen med ett sådant hårt material är att det försvårar efterföljande bearbetning, såsom håltagning och vikning i form av "toy-tabs" för geometrisäkring. En idé kan då vara lokal mjukgörning av kritiska områden, något som kan göras på olika sätt varav "scanning" med en laserstråle kan vara en lösning. Med en TruDisc laserkälla och en optik som gav en 20 mm bred fokallinje hade man kunnat uppnå en processhastighet på 0,83 cm<sup>2</sup>/sek där materialets hårdhet gått att reducera från 480 Hv till 220 Hv [Fig. 28]. Övergångs-zonen mellan det uppmjukade området och

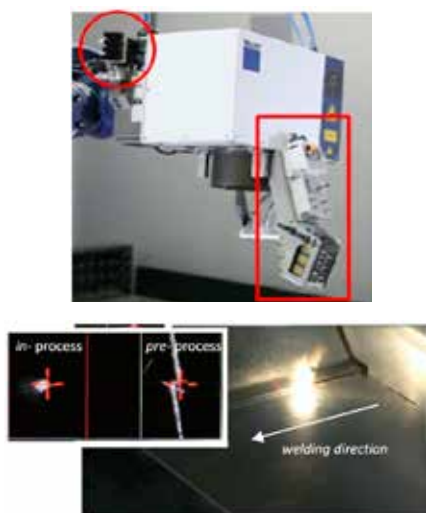


Figur 26. Generering av individuella ultraljudssignaler, s.k. A-scan (a och b) kan summeras i en gemensam bild, s.k. D-scan.

det opåverkade substratet begränsades till 15 mm. De flesta presshårdade artiklar har en AlSi-beläggning som korrosions skydd och därför var det inte förvånande att Dr. Simon Olschok från if i Aachen ställde frågan hur denna beläggning påverkas av mjukgörningsprocessen. Detta är något som ännu inte studerats, men Herr Harrer menade att påverkan torde vara minimal.

### Olika Trumpf-föredrag visade på laserteknikens många användningsområden

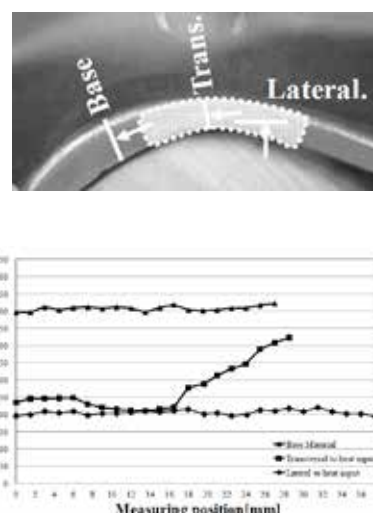
De ovannämnda presentationerna var bara två av ett flertal Trumpf-presentationer vilka samtliga var av hög kvalitet och hade någon form av nyhetsvärde. De



Figur 27. Trumpfs "scanner"-verktyg PFO 3D försett med CMOS-kamera (inringad) och fogföljning byggd på samma principer som företagets välkända "SeamLinePro".



Figur 28. Thomas Harrer (t.v.), här tillsammans med Trumpf-kollegan Rüdiger Brockmann höll en initierad föreläsning kring lokal mjukgörning av karosskomponenter med hjälp av laser, vilket exemplifierades med områden på en presshårdad B-stolpe där hårdheten kunnat sänkas från 500 till strax över 200 Hv1.



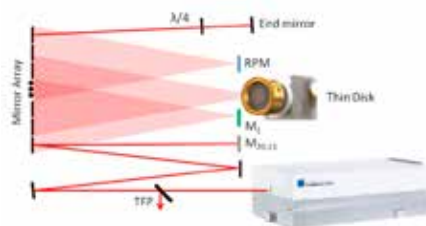
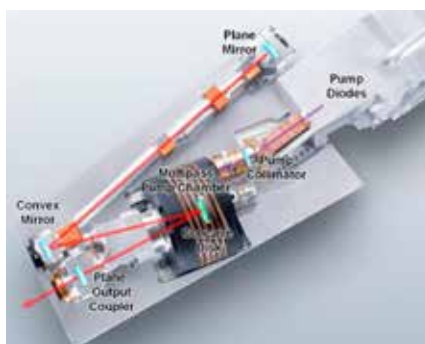
visade i hög grad på laserns diversifierade användningsområden, och därför kommer jag nu att redogöra för några ytterligare presentationer som hölls av medarbetare från Trumpfs världsomspännande organisation.

Först i tur blir Tracey Ryba [Trumpf Inc., Plymouth, MI] som berättade om företagets senaste produkter rörande disk- och diodlasrar. Tjockleken på den Ytterbium-dopade skivan i den förstnämnda lasertypen är endast 0,2 mm och diametern inte större än en ”dime” [= 25 centsmynt] enligt den gode Tracey. Ungefär 97% av laserljuset reflekteras inuti kaviteten varför det är blott 3% som släpps ut i form av en genererad laserstråle. I laboratoriemiljö har man lyckats få ut ungefär 10 kW ur en enda disk eller skiva, men idag tillhandahåller man kommersiellt diskar som kan leverera 6 kW, även om det som det påpekades skulle vara teoretiskt möjligt att generera hela 30 kW från en enskild disk. Man bör då beakta att år 2000 kunde man som mest få ut 1 kW ur en disk för att förstå den exponentiella utveckling som skett. Samtidigt är priserna för pumpdioder på väg ner, varför prognosen är att disklasrar i framtiden kommer att förbli en konkurrenskraftig produkt i förhållande till övriga laserkällor [Fig. 29]. Det föregående tekniksprånget, vilket innebar 4 kW från en enskild disk, har vidareutvecklats mot bättre strålkvalitet varför Trumpf

idag kan erbjuda dylika laserkällor med en BPP [Beam Parameter Product] på 4 mm\*mrad, motsvarande  $M^2 = 1,38$ . Med en frekvensdubblad [SHG = Second Harmonic Generation] disklasrar med 1 kW medeleffekt går det nu att nå topp effekter överstigande 6 kW vid pulslängder i millisekunder, men Mr Ryba höll det inte för osannolikt att vi i framtiden kan se pulstoppar i TW-området med bibehållen strålkvalitet kring  $M^2 < 1,1$ . I diskussionen kring strålkvalitet fick vi följande intressanta tumregler; 3 mm\*mrad för skärning och ”remote”-bearbetning, 10 mm\*mrad för svetsning och 25 mm\*mrad för lödning. Då det gäller pulssade laserkällor kommer Trumpf att under 2016 lansera TruDisc Pulse 421 i det gröna våglängdsområdet [ $\lambda = 515 \text{ nm}$ ] med 400 W medeleffekt och 4 kW toppdito. Puls-längden kan varieras mellan 0,3 och 10 ms och högsta pulsenergi ligger kring 40 J. Lasertypen är främst avsedd att användas vid bearbetning av reflektiva material som koppar för elektronikindustrin. Den kortare våglängden ger en bättre inkoppling i kopparmaterialet och därmed reduceras mängden sprut vid svetsning. För mikrobearbetning finns TruMicro 5000-serien med pulskapacitet i ps [picosecond = 10-12 sekund] – och fs [femtosecond = 10-15 sekund] -områdena. Medeleffekten ligger kring 300 W och vid 800 kHz pulsfrekvens innehåller de 750 fs långa pulserna cirka 30 mJ med en strålkvalitet  $M^2 < 1$

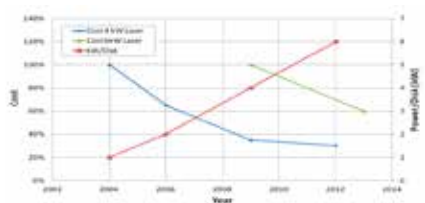
[Fig. 30]. Vidare har Trumpf numera breddat sitt sortiment av direktverkande diodlasrar och kan erbjuda produkter i multi-kW-området. Exempel på detta är en variant med 6 kW effekt och 50 mm\*mrad i strålkvalitet, en annan har 4,5 kW effekt och den något bättre strålkvaliteten 30 mm\*mrad, alltså klara konkurrenter till Laserlines produkter!

En ny bekantskap för mig var Matthias Koitzsch [Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH, Ditzingen] som bidrog med flera presentationer varav jag hade möjlighet att lyssna till två. Den första hade satt fokus på energibesparing vid laserbearbetning och här jämfördes verkningsgraden för gamla lamp-pumpade lasrar som låg på omkring 3% med vad som idag erbjuds för moderna disk- och diodlasrar med en WPE [Wall Plug Efficiency] på 35 respektive 40% [Fig. 31]. Med ett bättre energiutnyttjande ger detta också skaleffekter på kringutrustning såsom kylare och transformatorer. Sålunda kan samma spänningstransformator som tidigare betjänade 5 stycken lampumpade lasrar numera försörja 50 direktverkande diodlasrar med energi. Beträffande kylsystem har Trumpf numera separerat interna och externa vattenkanaler från varandra och man använder sig av passiv kylning av pumpdioderna. Men Trumpf har även vidtagit andra åtgärder för att minska energiförbrukningen i form av ”wake up”- och ”sleep”-funktioner i mjukvaruproces-



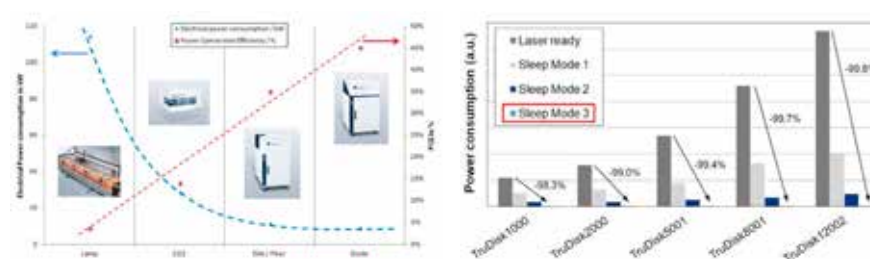
Figur 30.

En TruMicro5050 kan med fördel användas som pumpmodul för en disklasrar (t.v.) med en fjärdedels våglängdsplatta (λ/4), en tunnfilm polarisator (TFP) och ett återreflekterande spegelpar (RPM). Med 300 W medeleffekt, 800 kHz frekvens har Trumpf i laboratoriemiljö lyckats få fram 750 fs långa pulser med 30 mJ energiinnehåll (t.h.).



Figur 29.

8 kW från en enda disk avslöjas om man lyfter på locket till ovanstående TruDisc-variant. Med strålkvaliteten  $M^2 = 1,4$ , den numeriska aperturen (N.A.) 0,1 kan den 940 nm långa laservåglängden transmittas genom en 75 μm grov optisk fiber. Intressant är samtidigt att konstatera senare års fallande kostnader för högeffektlasrar (närmast)!



Figur 31.

Samtidigt som den elektriska verkningsgraden hos moderna disk-, fiber och diodlasrar förbättras sjunker den elektriska energikonsumtionen (t.v.). Via PROFEnergy kan tre olika ”sleep”-funktioner väljas vilka kraftigt reducerar energiförbrukningen om laserkällan inte är i kontinuerlig användning.

sern TruControl, kallade PROFIenergy, då lasern inte används [Fig. 31]. En annan finess är den s.k. PFC [Power Factor Correlation] -funktionen vilken reglerar "ett är-värde" för lasereffekten mot ett "bör-värde". I jämförelse med andra svetsmetoder går det att visa att lasersvetsning är mer miljövänligt än andra vad gäller överkan på ozon-lagret och global uppvärmning. I det senare fallet är påverkansgraden mellan gasmetallbågsvetsning- och laser 3:1! Avslutningsvis redogjorde Herr Koitzsch för "Street Scooter"-projektet där man i samarbete med RWTH i Aachen utvecklat ett litet fordon avsett för tyska postväsendet och där konstruktionen helt anpassats till lasersvetsning. Det innebär att designen saknar flänsar, utan fogarna är utformade som "tappar i hål", vilka källsvetsas med fjärrlaserteknik. Antalet processteg för sammanfogningen har därmed kunnat sänkas från 102 till 55 stycken och den unika designen har möjliggjort en viktsreduktion på 8%.

Herr Koitzschs andra presentation handlade mer handgripligt om sprutfri svetsning av elektroniska kopparkomponenter. Det är allmänt känt att en kortare våglängd än 1  $\mu\text{m}$  är gynnsamt då det gäller koppar och därför tillhandhåller Trumpf numera en disk laser med beteckningen TruPulse "Green Edition", som har en våglängd på 515 nm. Det är inte bara då det gäller inkopplingen av laserstrålen i materialet, där den kortare våglängden uppvisar en sex gånger så hög absorptionsförmåga jämfört med 1  $\mu\text{m}$ -våglängden, utan även under själva svetsförloppet är absorptionen högre [Fig. 32]. Jämfört med 1  $\mu\text{m}$ -våglängden är absorptionen av laserljuset 2-3 gånger högre vid värmeledningssvetsning, dubbelt så

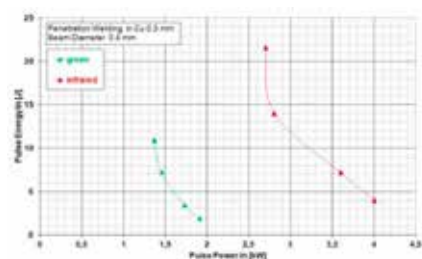
högt vid pulsad nyckelhålssvetsning och cirka 1,3 gånger högre i de fall man använder kontinuerlig nyckelhålssvetsning. Ett annat stort problem vid lasersvetsning av koppar är vanligen förekommande svets-sprut, vilket bl.a. kan leda till kortslutningseffekter hos de svetsade elektroniska komponenterna. Vid försök hade man jämfört sprutbenägenheten då koppar svetsades med den "gröna" laserkällan och en konventionell, pulsad laser [TruPulse 62] båda med 5 ms pulstid. Med den "gröna" lasern tog det alltid samma tid att uppnå smälttemperatur samtidigt som det inte förekom något svets-sprut så länge fokuspunktsdiametern  $< 410$  nm, medan svets-sprut var oundvikligt då 1  $\mu\text{m}$ -lasern användes [Fig. 33]. Dessutom krävde 515-våglängden lägre pulseffekt och därmed också mindre energi i pulserna, och för att ytterligare "gardera sig" för svets-sprut rekommenderade Herr Koitzsch en nedrampling av effekten vid pulsens slut.

### Nya laserkällor

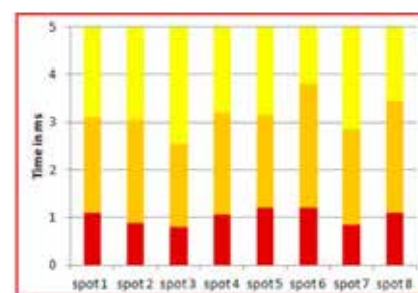
Inom ämnesområdet alternativa laserkällor föll också den intressanta presentation som Andrew Held [Coherent, Bloomfield, CT] höll under avslutningssessionen, vilken leddes underöverinseende av årets konferensordförande Dr. Silke Pflüger. Den handlade om en relativt gammal lasertyp som under åren fört en ganska anonym tillvaro, nämligen CO<sub>2</sub>-lasern. Den utvecklades redan 1968 [Fig. 34] och är en gaslaser med en blandning av CO<sub>2</sub>, He och O<sub>2</sub>.

Då man tillför energi separeras atomerna och CO-molekyler vibrerar upp i ett högre energitillstånd. När dessa sedan vill återgå till sin initiala energinivå avsöndras fotoner och laserljuset skapas. Som synes ingen större skillnad att generera laser-

strålning jämfört med andra laserkällor, men effektstabiliteten bedöms vara tio gånger större jämfört med en CO<sub>2</sub>-laser. Våglängden hos en CO-laser ligger kring 5  $\mu\text{m}$  vilket gör det möjligt att liksom för fastkroppslasarna distribuera laserstrålen via en optisk fiber. Jämfört med CO<sub>2</sub>-lasern uppvisar denna laserkälla högre absorption i ämnen som metaller, keramer, plast och biologisk vävnad, men sämre i exempelvis glas. Men det senare kan utnyttjas som en fördel vid skärning av glas, då man får en mer volymrelaterad uppvärmning jämfört med den ytuppvärmning med efterföljande diffusion vilket är fallet vid CO<sub>2</sub>-skärning. Den relativt kortare våglängden innebär också att man kan arbeta med en fokuspunktsdiameter som är hälften av vad som är fallet vid CO<sub>2</sub>-bearbetning och därmed erhålla en högre energitäthet, alternativt arbeta med ett större skärpedjup. Hittills har det varit svårt att erbjuda CO-lasrar med hög effekt, men Coherent har idag ett utbud som sträcker sig från 30W till 1 kW. Vid pulsning kan man nå effekttoppar på 2,5 kW och verkningsgraden ligger generellt kring 15%. Förutom skärning i glas visade Mr. Held på borrning i detta material där man hade borrat 33  $\mu\text{m}$  stora hål i 50  $\mu\text{m}$  tunna glasfolianter. Det krävdes 6 pulser för att penetrera materialet, men det var främst den lilla hålstorleken som poängterades. Med en CO<sub>2</sub>-laser hade man inte kunnat tillverka hål med mindre diameter än 80  $\mu\text{m}$ . Vidare hade en 20  $\mu\text{m}$  tjock PE-film skurits med 5 W och en hastighet av 3 m/min. En annan imponerande mikroskärning gällde utskärning av metalliska gem vilka skars med 29 W och 300 mm/sek. Det ytterst fina skärnittet säkerställde en ökad hållfasthet vid böjning av gemet. Vid



Figur 32. För att åstadkomma 0,3 mm penetrationsdjup vid lasersvetsning av koppar krävs betydligt lägre effekt och därmed energikonsumtion om man använder en "grön" ( $\lambda = 515$  nm) laser jämfört med en 1  $\mu\text{m}$ -laser!



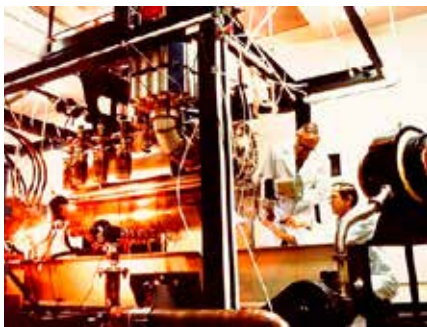
Figur 33. Vid pulsad svetsning av koppar får man ett betydligt stabilare resultat då man använder en "grön" laser (t.v.) istället för en IR-dito. I staplarna ovan anger rött tiden till dess att smältpunkten uppnåtts och orange motsvarande då förångningstemperaturen nåtts för de olika punkterna.

slutet av presentationen kom som alltid frågan om prislapp för produkten upp, men här påstods CO-lasern ligga i samma prisklass som en CO<sub>2</sub>-dito med jämbördig effekt. Man skall dock ha i minnet att 5 µm-våglängden kräver en speciell optisk fiber, varför de fibertyper som används för fastkroppslasrar inte kan användas!

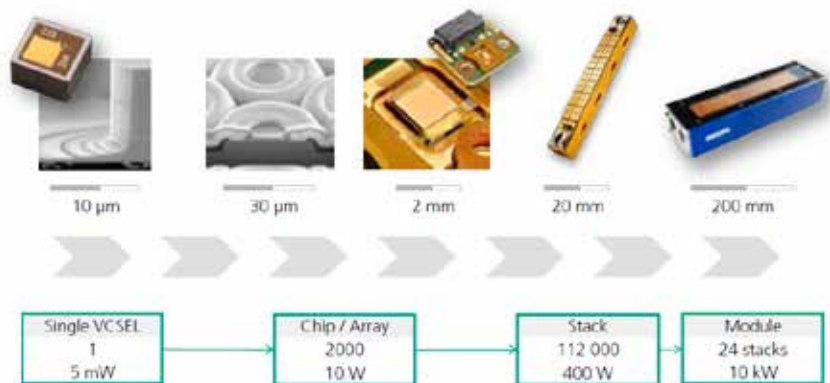
Av betydligt nyare datum är diodlaser-varianten VCSEL [Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser diodes], vilken jag beskrev i min rapportering från fjolårets ICALEO-konferens. I motsats till konventionella diodlasrar byggs dioderna samman vertikalt och laserljuset strålar då ut från halvledarelementens ytor. Sådan element avger omkring 5 mW lasereffekt och byggs samman till stavar [2,2 mm] om 10 W, vilka består av 2.288 enskilda dioder. Dessa kombineras i sin tur till staplar [8,5'40 mm] på cirka 400 W, som sedan byggs samman så att resultatet kan bli en laserkälla med en total uteffekt på 2,4-4,8 kW, vilket kan omsättas i en energitäthet på 104 W/cm<sup>2</sup> [Fig. 35]. Idag tillhandahålls denna lasertyp i våglängderna 808 och 980 nm, men i framtiden kommer andra våglängder som exempelvis 940 och 1.065 nm att kunna erbjudas. WPE ligger strax under 40% och garanterad diodlivslängd påstås vara cirka 11.000 timmar. Armand Pruijboom

från Philips GmbH Photonics i Aachen beskrev här hur sådana laserkällor kan användas vid olika uppvärmningsprocesser, där vanliga högeffektlasrar är mindre lämpade, när det föreligger krav på en väldigt exakt temperatur och energifördelning över stora ytor. Ett sådant exempel är utplacering av kolfibrer på ett matrismaterial vilket kräver minst 100 W/cm<sup>2</sup>. Vid Fraunhofer IPT [Institut für Produktions-Technologie] i Aachen har man skapat en dedikerad utrustning för detta där laserbestrålningen sker från fyra separata VCSELs, vardera med 1,6 kW effekt. Ett annat användningsområde är metallisering av solceller där denna lasertyp minimerar oönskad temperaturhöjning, och andra användningsområden som omnämndes var svetsning av plaster, härdning och torkning. Slutligen presenterades "spin-off"-företaget Imalux som med en VCSEL-källa som bas tillhandahåller nyckelfärdiga maskiner för sömlös kantförsegling av paneler till möbelindustrin. En användare av sådana maskiner är IMA Klessmann GmbH Woodworking Machines, där man hävdar att laserprocessen är bättre än den vanligtvis använda "hot-air"-metoden, då den endast förbrukar ¼ energi i jämförelse med "hot-air", samtidigt som den är avsevärt tystare sett ur arbetsmiljösynpunkt.

Avslutnings-sessionen sista föredrag gav oss en inblick i framtiden då den handlade om laserns roll i "ExoMars Mission". Talare var Dietmar Kracht från LaserZentrum Hannover, som utförligt beskrev den farkost som är planerad att landa på Mars 2018 och som har fått namnet "Rover". Den kommer att vara fullpackad med olika mätutrustningar, bl.a. MOMA [Mars Organic Molecule Analyzer, Fig. 36] med vilken man på plats avser att undersöka planetens geologi, och därigenom hoppas finna organiska molekyler som skulle vara ett tecken på att det finns eller funnits liv på Mars. Detta kommer att ske medelst LIBS [Laser-Induced Breakdown Spectroscopy] och LDMS [Laser Desorption Mass Spectroscopy], och därför är fordonet utrustat med en diodpumpad, Q-"switchad" diodlaser med en 266 nm våglängd i UV-området. Laserstrålen har en diameter på 400 µm vilket ger en strålkvalitet M2  $\leq$  4. Pulserna ligger strax under 2,5 ns och har ett energiinnehåll på 130 µJ vid 100 Hz. Kraven på lättvikt är stora i aerospace-industrin, varför kaviteter, pumpmoduler och elektronik sammantaget väger blott 950 g. Lägg därtill 170 g för själva analysverktyget vilket är försett med oscillator och en harmonisk stråldelare.



Figur 34. En hel del har skett då det gäller att bygga kompakta CO-laserkällor då man jämför den första från 1968 med dagens smäckra Coherent-produkter (ovan).



Figur 35. Principupbyggnaden för ett s.k. VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting diodes)-system, där man genom att kombinera 24 diodstaplar kan generera en sammanlagd uteffekt på cirka 10 kW!



Figur 36. "ExoMars"-projektet avser att landa farkosten "Rover" (t.v.) på mars någon gång under 2018. Med i fordonet finns en liten q-"switchad" diodlaser avsedd för LIBS och LDMS-tekniker, som kan tala om vilka grundämnen som finns i planetens ytskorpa. Spännande!

Allt är hermetiskt tillslutet, det huvudsakliga konstruktionsmaterialet är Titan och tillverkningen skedde i en kliniskt ren miljö. Dr. Kracht redogjorde för all den provning som MOMA måste genomgå för att godkännas för rymdfärden till Mars, vilket bl.a. omfattade termisk cykling mellan -50° och +50°, proton- och gammastrålningsprov, samt vibrations- och chock-kontroll inom frekvensområdet 5-100 Hz. Låt oss nu bara hoppas att "Rover" fullbordar sitt uppdrag och sätter lasertekniken även på "Mars-kartan"!

### Några ord om "Awards Luncheon" och vad som avhandlades där

Under onsdagen var det dags för LIA:s sedvanliga årsmöte med tillhörande "Awards Luncheon". Medan vi konferensdeltagare lät oss väl smaka av lunchmenyn öppnade nuvarande ordförande Robert Thomas mötesförhandlingarna. Han beskrev i korta ordalag vad som hänt under verksamhetsåret, varpå han lämnade över ordet till Stephen (Steve) Capp, som i egenskap av kassaförvaltare beskrev det finansiella läget. Tyvärr var det inte några glada nyheter han hade att förmedla då årets rörelseresultat var negativt. Detta förklarade han med att man bl.a. tvingats

inställa årets LME [Lasers for Manufacturing Event] -utställning eftersom man p.g.a. det klena deltagarantalet föregående år bestämt att avhålla evenemanget endast vartannat år. Därför är nästa event planerat att hållas i Atlanta, GA, 26-27 april. Tyvärr har arrangörerna emellertid inte observerat att detta är under just de dagar som den stora laserkonferensen AKL16 [Aachener Colloquium Lasertechnik] går av stapeln, något som kan "stjäla" deltagare från LME. Emellertid är Mr. Capp en alltid positiv och gladlynt herre, varför han med optimism sade sig räkna med ett betydligt bättre ekonomiskt utfall för 2016. Det som till stora delar bär upp LIA:s ekonomi är dess omfattande kursutbud då det gäller lasersäkerhet, och här verkar intresset bland amerikanska laseranvändare fortfarande vara stort.

Därpå följde några kloka ord från Peter Baker innan det var dags att avslöja vem som kommer att bli LIA:s president under år 2016. Valet hade fallit på professor Lin Li från University of Manchester [Fig. 36], med vilken jag senare fick goda möjligheter att kommunicera då det visade sig att vi båda var inbokade på samma flyg för hemresan till Europa. Efter detta kanske föga överraskande tillkännagivande följde

de traditionella prisutdelningarna vilka förrättades av tidigare LIA-presidenten professor Yongfeng Lu [Fig. 36]. Bästa student-"paper" gick till Tianqi Dong från University of Cambridge [Fig. 36] för hennes bidrag "Evaluating Femtosecond Laser Ablation Graphene on SiO<sub>2</sub>". Utmärkelsen för bästa "poster"-presentation tilldelades en av professor Seiji Katayamas lärjungar vid JWRI [Joining and Welding Research Institute vid Osaka University], nämligen Yuji Sato [Fig. 36] för hennes forskning betitlad "Experimental Investigation on Crystal Orientation on Ti6Al4V Plate Fabricated by Vacuum SLM Process". Det mest prestigefyllda priset som överlämnas vid ICALEO-konferenser är emellertid "Arthur L. Schawlow Award", uppkallat efter nobelprisvinnaren 1981 och en av de verkliga laserpionjärerna. Precis som tidigare år måste jag säga att det tillföll en synnerligen väl värd laserforskare, nämligen Dr. Keming Du [Fig. 36, se LaserNytt 3-2010 för ytterligare information], uppfinnaren av InnoSlab-lasern och tillika grundare av det mycket framgångsrika företaget EdgeWave GmbH. Det blev också Dr. Du som fick avsluta sammankomsten med ett spirituellt föredrag kring sin laserforskning. ■



Figur 36. Fr.v.; en strålande lycklig Tianqi Dong flankeras av Michelle Stock och Silke Pflüger, "poster"-vinnaren Yuji Sato med Yongfeng Lu, Gail Loiacono (LIA ser till så att nejlikan sitter på plats hos Dr. Keming Du, och därjämte ses denne med tre LIA-presidenter; Thomas, Lu och tillträdande professor Lin Li.



## Lasern som stärkte företaget och produkten

Håkan Grubb,  
vd Permanova Lasersystem AB

Robotiserad laserhårdning gjorde att engcon AB kunde öka sin lönsamhet.

– Tekniken innebar sänkta produktionskostnader samtidigt som vi fick en jämnare kvalitet på produkten tack vare automationen, säger Tobias Sjölund på engcon.

I jämtländska Strömsund tillverkar engcon sina tiltrotatorer – en hydraulisk handled som gör grävmaskinen till en flexibel och kompetent mångsysslare. Produkten har gjort att engcon kunnat växa globalt, i dag omsätter de närmare 650 miljoner kronor.

En del i framgångskonceptet hänger ihop med tiltrotatorns funktionalitet och slitållighet. Bland annat kräver vissa detaljer av stommen slitstyrka och andra seghet.

För att öka slitålligheten monterades förr slitbrickor på utsatta delar av stommen.

– Det gjordes för hand av vår underleverantör Strömsunds Kvalitetslego. Men en manuell process gjorde att kvaliteten blev ojämn, säger Tobias Sjölund, inköpschef på engcon.

Därför började vi leta efter andra metoder för att härda specifika detaljer.

Efter en tid fick vi upp ögonen för en ny hårdningsmetod, som med hjälp av robotiserad laser stärker ytan med precision ned på en tiondels millimeter.

Efter att ha provat metoden med resultat över förväntan bestämde sig engcon för att investera i en robotiserad laserhårdstation tillsammans Strömsunds Kvalitetslego.

– Det är alltid spännande med nya tekniker. Och vi har ett konstant behov av att härda slitytor på våra rörliga produkter, säger Tobias Sjölund.

Göteborgsbaserade Permanova Lasersystem AB som är pionjärer inom robotiserade lasersystem fick uppdraget att tillverka stationen för laserhårdning på plats i Strömsund.

– Det känns bra att vi kunde hjälpa dem att ta fram en bättre slutprodukt och samtidigt öka deras lönsamhet. Vi tror det är många företag som skulle kunna förbättra sin lönsamhet med egen laserhårdning, säger Håkan Grubb, vd, Permanova.

Tobias Sjölund på engcon är också nöjd med investeringen som var i bruk vid årsskiftet.

– Om vi jämför med slitbrickorna så har vi sparat elva procent i produktionskostnader. Dessutom har vi fått en jämnare kvalitet på vår produkt i och med att

### Om laserhårdning

En teknik där man värmer upp materialet till 1 000°C för att göra det hårdare och mer slitstarkt. Istället för att härda hela stycket i en ugn selektivt härda Permanova den specifika ytan med precision ned på en tiondels millimeter. Det betyder att det övriga materialet i stycket som inte härdas behåller sin seghet/hållfasthet.

### Om Permanova

Svenska Permanova Lasersystem integrerar robotiserade lasersystem för metallbearbetning, framför allt för svetsning, laserhårdning, 3D-skärning, lödning, på svetsning och märkning med laser. Permanovas lösningar höjer kundernas produktivitet, produktkvalitet och lönsamhet.

vi robotiserat tillverkningen, säger Tobias och fortsätter:

– Eftersom vi inte kommer behöva lagrhaålla slitbrickor framöver minskar vår lagersituation med en halv miljon kronor.

För fler frågor och bilder, kontakta:

Håkan Grubb,

vd Permanova Lasersystem AB

Tel: +46 31 706 19 98

Mob: +46 730 88 11 98

Mail: [hakan.grubb@permanova.se](mailto:hakan.grubb@permanova.se) ■



Bild 1.  
T.v. tiltrotator på grävmaskin, t.h. tiltrotator



Bild 2.  
Laserhårdad slityta  
på rotatorkomponent



Bild 3.  
T.v. Håkan Grubb, Permanova Laser-  
system AB,  
T.h. Tobias Sjölund, engcon AB

# Jack the Ripper (J.T.R)

## – ny metod att hantera skrotet vid tillverkning av metallband

Bengt Johansson Teknikcentrum  
i Gnosjö AB/LMI AB

Tillverkning av bandstål är alltid förknipat med att ta hand om skrotet från råmaterialens kanter. Från ett valsat ämne blir råmaterialens kanter alltid avvikande från nominellt mått. Därför måste de kapas bort en bit in. Dessutom blir skrotkanten också olika bred beroende på de färdiga bandens storlek. Detta skrot måste tas om hand på ett lämpligt sätt.

De vanliga metoderna att ta hand om skrotet är att rulla upp skrotremsan på en bobin eller köra remsan in i en mekanisk sax så att man får korta skrotbitar. Korta skrotbitar är naturligtvis bra eftersom de är lätta att hantera och passar direkt i smältugnarna medan skrotbopinerna innehåller betydligt mer luft och kan kanske behöva komprimeras före smältning.

Vid tunnare band används oftast upprullningsmetoden med bobin medan vid grövre eller styvare band används ofta en mekanisk höghastighetsax som klipper skrotbanden i små bitar. Saxen behöver mycket underhåll med byte av skär dessutom kan problem uppstå med att vibrationer från saxen sprider sej tillbaka och orsakar ojämnheter i de färdiga bandens kanter. Den mekaniska saxen för dessutom mycket oväsen i verkstaden till skillnad från den i övrigt tysta slitsningen av banden med rullknivar.

### Ny laserskärmaskin utvecklad

För att komma till rätta med dessa problem har en helt ny laserskärmaskin för uppskarvning av skrotband tagits fram av LMI AB i Nås i samarbete med Beamic AB. Den har fått sitt namn efter den legendariske och ökände mördaren ”Jack The Ripper”.

Lösningen är enkel och brutal, fast på ett mera fredligt sätt! Den går helt

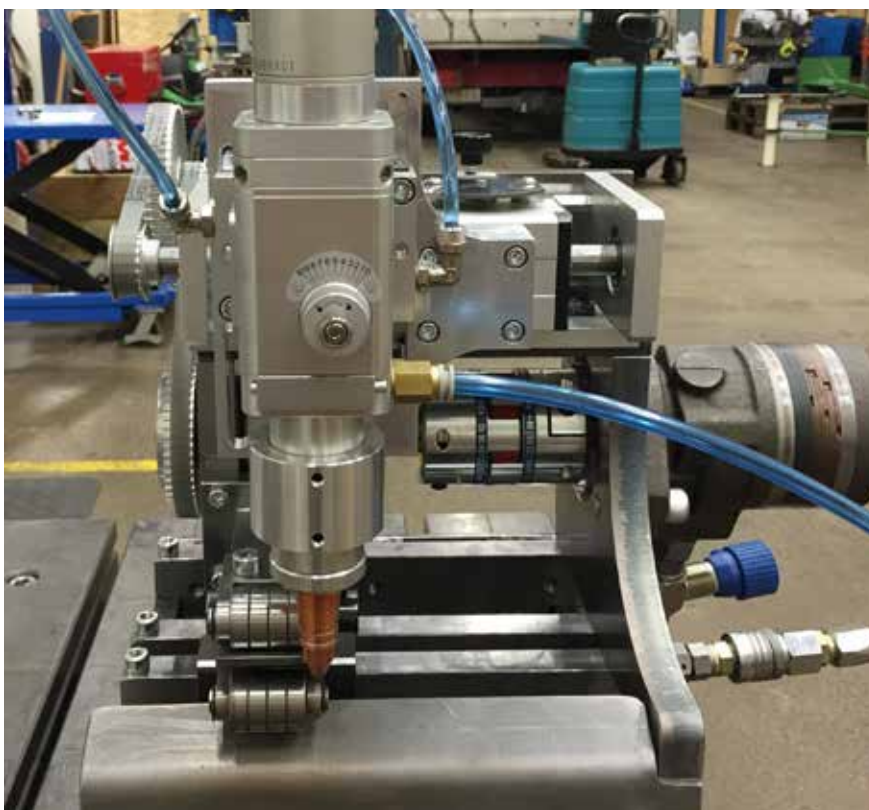


Bild 1.  
Jack-the-Ripper, ny metod och utrustning för kapning av skrot vid tillverkningen av metallband.

enkelt ut på att sätta ett laserhuvud på en oscillerande axel vars slaglängd ungefär motsvarar skrotbandens bredd.

Oscillationen styrs i detta fall helt mekaniskt med remdrift från slitsverkets axlar. Möjlighet finns också med hydraulmotor eller från pulsgivare via servomotor. Rippern synkroniseras då så att de skurna skrotbitarna får samma längd oavsett hastighet på slitsverket.

Skrotbitarnas längd är enkelt mekaniskt inställbar mellan 50-500mm. Ingen

programmering behövs. Naturligt vis får man två remsor från höger respektive vänster sida av råmaterialet. Dessa remsor leds från slitsverket via guide rullar så de kommer in parallellt in i rippern. Maskinen kapar sedan banden ”on the fly” helt kontaktlöst. Inget stopp av bandet sker till skillnad från saxmetoden och därmed elimineras risken för märken i den färdiga produkten.

Forts. sidan 47

# Senaste nytt om laserverktyg och utrustningar för laserbearbetning

Johnny K Larsson  
Autokropolis Engineering  
(f.d. Volvo Cars)

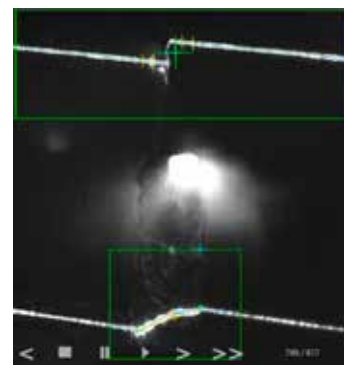
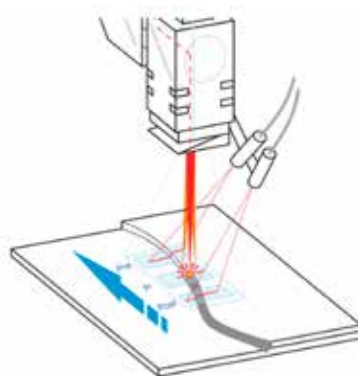
Som alltid i samband med EALA [European Automotive Laser Applications] -konferenserna tog många av leverantörerna av laserverktyg och annan för laserbearbetning relevant utrustning tillfället i akt att marknadsföra sina produkter, antingen genom att visa upp hårdvaran under den välbesökta, ”table-top”-utställningen eller med ett informativt föredrag under själva konferensen. Här vill jag presentera några av de mest intressanta nyheterna och börjar med en Precitec-presentation som handlade om processövervakning och kvalitetskontroll vid fjärrlasersvetsning och som hölls av Thorsten Lorenz. Denne inledde med att presentera företagets produkt WeldMaster som är ett processövervakningsverktyg som monitorerar fogen innan svetsning, men också själva svetsförloppet samt den färdiga svetsens utseende och kvalitet [Fig. 1]. Fogens läge identifieras med triangulering och visualiseras i en gråskala. Svetsprocessen övervakas genom fotodioder med analoga signaler, olika kameror samt lågkohärent interferometri för att fastlägga penetrationsdjupet. Lasersvetsens slutgiltiga utseende avbildas med hjälp av triangulering och gråskaleanalys. Olika varianter av denna produkt kan tillhandahållas såsom Weld Master Track med både koaxiell och extern sensor, WeldMaster ScanTrack som kan kompensera för spalter genom pendlning av laserstrålen i kombination med effekttökning. Vidare WeldMaster Inspect för kombinerad 2D/3D-inspektion under lasersvetsning eller -lödning, samt WeldMaster Monitor med vars hjälp man kan fastlägga nyckelhålets position och geometri.

WeldMaster ScanTrack presenterades redan under förra årets EALA-konferens,



då Dr. Jan-Phillip Weberpals från Audi AG redogjorde för fjärrlasersvetsning av aluminiumsidodörrar utan tillsatsmaterial, en process som numera används i produktion sedan augusti 2014 [Fig. 2]. Genom att undvika full penetration vid denna svetsoperation eliminerar man uppkomsten av de varmsprickor som annars brukar uppstå då man svetsar aluminiumlegeringar ur 60000-serien. Självklart slog Dr. Lorenz också ett slag för Precitecs IDM [In-process Depth Meter] -verktyg

som ju mäter penetrationsdjupet vid lasersvetsning i realtid genom låg kohärent interferometri. Numera går det att koppla denna penetrationsmätning direkt till den levererade lasereffekten och på så sätt få ett ”closed-loop”-system. Detta exemplifierades med ett praktikfall där mjuk stålplåt svetsats med en 400 µm stor fokuspunkt, 3 m/min i framföringshastighet och en samplingsfrekvens på 70 kHz, och där man växlade mellan två penetrationsdjup (2,5 och 4,5 mm).



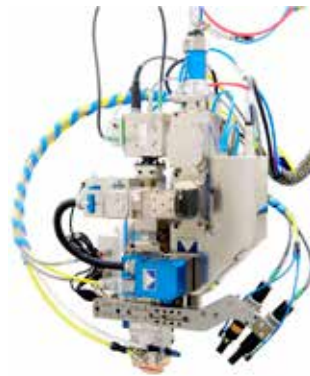
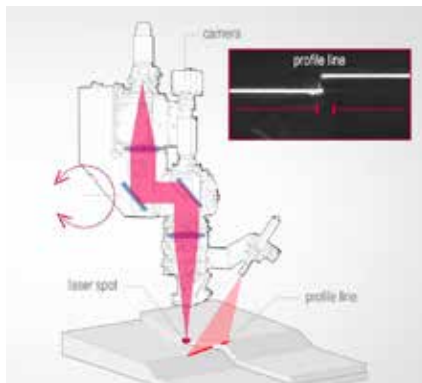
Figur 1. Närmast principen för Precitecs verktyg WeldMaster som identifierar fogens läge, visualiserar svetsförloppet och registrerar den färdiga svetsens utseende. T.h. ser man de gråskalebilder som tjänar som processövervakning; före, under och efter svetsförloppet.

Scansonic erbjuder ju sedan en tid ett kamerabaserat processövervaknings-verktyg kallat SCeye®, där vi för övrigt kommer att få se en ny design bli presenterad under året. En snarlik lösning har tagits fram av Fraunhofer ILT [Institut für Lasertechnik] något som vi nu fick beskrivet för oss av Dr. Michael Ungers. Den använda höghastighetskameran har en bildfrekvens på upp till 350 fps [frames per second], ett synfält på 19 mm och en optisk upplösning om 40 µm. Illumineringsmodulen klarar effekter upp till 32

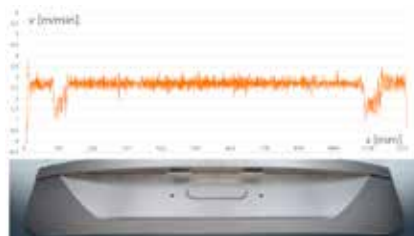
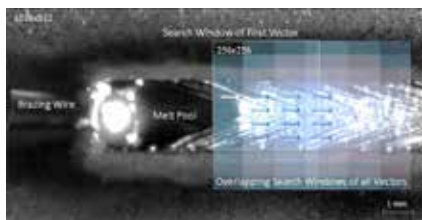
W och är oberoende av framföringsriktningen. Vid lasersvetsning alternativt laserlödning mäts hastigheten i smältan i 16 av varandra oberoende vektorpunkter, och med en beräkningsalgoritm transferas resultaten till en FPGA [Field Programmable Gate Array] med vars hjälp det går att räkna fram den korrekta processhastigheten. [Fig. 3] Om denna då avviker från den programmerade hastigheten anpassar verktyget lasereffekten vid svetsning, och vid laserlödning såväl effekt som trådmattningshastighet. I det senare fallet kan

kameran dessutom kontrollera att tillsatsmaterialet tillförs inom givna toleranser.

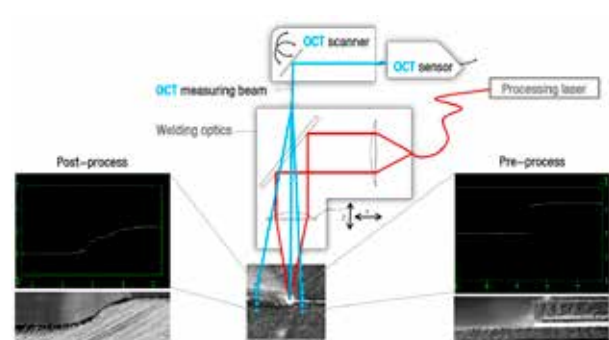
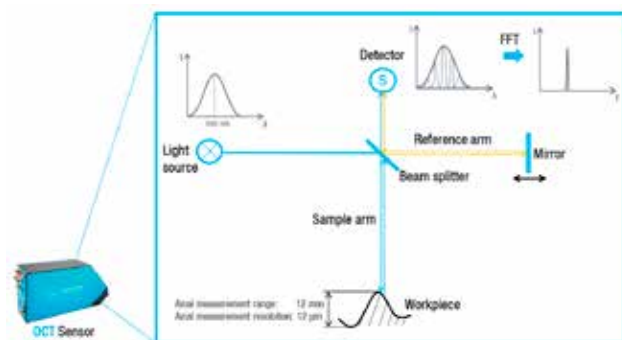
Ett alternativ till triangulering kan vara att med 100 kHz frekvens ”scanna” en avståndsmätande ljusstråle från en fotodiod över det område som svetsas och analysera återreflektat ljus med s.k. OCT [Optical Coherence Tomography], alltså en princip liksint med Precitecs IDM-lösning. Ett sådant system marknadsförs av Lessmüller Lasertechnik under beteckningen WeldEye®, och under EALA-konferensen beskrev Nataliya Deyneka Dupriez och Chris-



Figur 2. T.v. principen för verktyget WeldMaster ScanTrack som bl.a. används av Audi AG vid fjärrlasersvetsning av kälfogar på sidodörrar tillverkade i aluminium.



Figur 3. Fraunhofer ILT har utvecklat ett verktyg som är snarlikt Scansonic's SCeye® och som mäter hastigheten i smältan i 16 av varandra oberoende vektorpunkter. Då hastigheten momentant går ner, såsom i exemplet nedan vid en riktningssändring av fogen på en baklucka, anpassar systemet lasereffekten därefter.



Figur 4. T.v. grundprincipen för Optical Coherence Tomography och t.h. en schematisk systemlösning med integrerad ”scanner” och sensor.

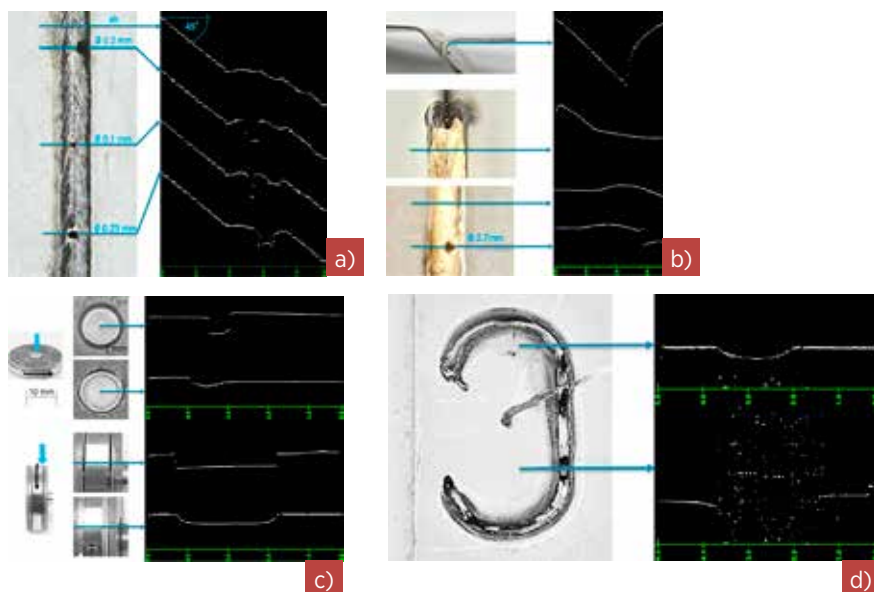
tian Truckenbrodt hur metoden fungerar [Fig. 4]. Såväl ”scanner” som OCT-sensor är väl inkapslade varför dessa inte riskerar att kontamineras, och då mätstrålen infaller koaxiellt med den bearbetande laserstrålen undviker man påverkan från spännen och fixturer vilket är begränsande då man använder sig av trianguleringstekniken. OCT-signalen är okänslig för mätstrålens infallsvinkel mot objektet och påverkas inte av sekundära ljusreflexioner.

Några exempel från taktill lasersvetsning av stål och aluminium visade en god överensstämmelse mellan svetsens fysiska profil och OCT-profilen. Vid fjärrlasersvetsning i zinkbelagd stålplåt kunde dessutom ytporer avslöjas med OCT-mätning [Fig. 5a]. Då det gällde laserlödda fogar kan WeldEye®-verktyget användas både för fogföljning men också vid kvalitetskontroll då OCT-profilen kan jämföras med en artificiellt genererad perfekt lödfog [Fig. 5b]. Ett praktikfall visade just på hur OCT-tekniken använts för fogföljning vid svetsning av transmissionskuggjul där den laterala upplösningen låg under 30µm, men påstods i framtiden kunna skärpas till omkring 5 µm! Att mätstrålen inte påverkas av infallsvinkel illustrerades med s.k. radialsvetsar på små provcylindrar [Fig. 5 c]. Genombränningar vid korta ”remote”-svetsar var också lätta att hitta med denna teknik [Fig. 5d]. Som avslutning visade man ett exempel på hur WeldEye® kan konfigureras vid fjärrlasersvetsning. Här användes 35 stycken 0,05 mm stora mätpunkter med 0,08 mm c/c avstånd positionerade i en linje vinkelrätt mot svetsriktningen att tjäna som fogföljning. Själva svetsmältan kontrollerades av 30 stycken likartade mätpunkter men nu arrangerade på rad i svetsens riktning. Slutligen 35 mätpunkter placerade tvärs svetsen i två rader med 0,16 mm avstånd för att mäta svetsens profil och detektera eventuella svetsfel. Den experimentella svetshastigheten var 10 m/min, vilket med en samplingsfrekvens på 100 kHz innebär en bild på var 0,16 mm längd av svetsen!

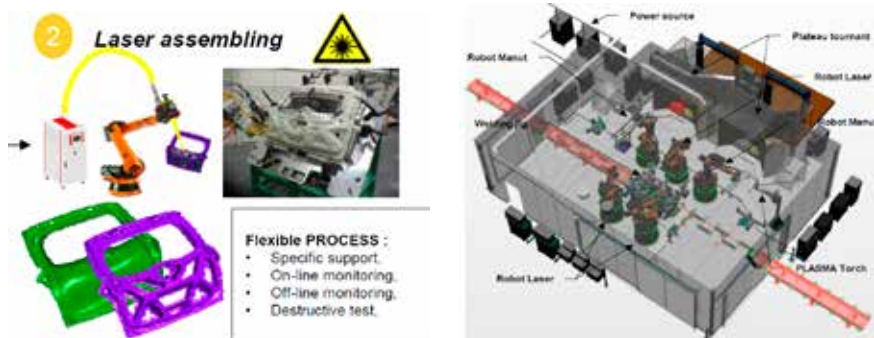
Låt mig få avsluta denna rapportering med några franska ”primörer” då det gäller laserapplikationer i bilindustrin. Jag har ju tidigare redogjort för den framgångsrika lasersvetsningen av plastbakdörren till 4:e generationens Clio-modell. Nu avslöjade Hichame Roumadni att samma koncept används för nya Espace-modellen [generation 5], vilken tillverkas i fabriken i Douai i norra Frankrike, tillsammans med modellerna Scénic, Mégane och Talisman. Även för dessa modeller kommer det i framtiden att bli aktuellt med

lasersvetsade bakdörar och -luckor i plast. Monsieur Roumadni poängterade fördelen med att hela tillverkningen, inklusive formsprutningen av de 3 mm tjocka PP [PolyPropylen] -baserade och glasfiberförstärkta dörrdetaljerna, sker internt inom Renault-koncernen. Själva lasersvetsningen av förstärkningsramen till innerstrukturen sker på klassiskt lasersvetsmanér då det gäller plaster, med en för laservåglängden genomskinlig komponent och en absorberande dito. Produktionscellen är utrustad med tre

stycken diodlasrar från Laserline [LDF-2000-10], tre svetsrobotar försedda med pyrometrar för temperatursövervakning ”on-line”, två hanteringsrobotar samt två rotationsbord [Fig. 6]. Robotarna är av KR C4-typ från KUKA. För svetsningen, som utförs med en hastighet kring 5 m/min, använder man endast 500 W laser-effekt för att undvika värmedistortioner [Fig. 7]. På Espace-modellen utförs 20 svetsar med en sammanlagd längd av 3,3 meter, att jämföras med 24 svetsar och 2,9 m lasersvets på Clio-bakdörren. Efterföl-



Figur 5. Några olika exempel där OCT-metoden använts:  
a) Detektering av ytporer vid svetsning av zinkbelagd plåt  
b) Fogföljning och detektering av ytporer vid laserlöddning  
c) Fogföljning och analys av svetskontur vid radialsvetsning av små stålcyllindrar  
d) Identifiering av genombränning vid fjärrlasersvetsning



Figur 6. Lasersvetsning av den glasfiberförstärkta plastbakdörren till nya Espace-modellen utförs i en välutrustad produktionscell vars principiella layout framgår av bilden t.h.

jande kvalitetskontroll av svetsarna sker genom ultraljudsprovning med en utrustning från GI Technology.

En kollega till Monsieur Roumadni är doktorandstuderande Guillaume Filliard vilken vi fick stifta bekantskap med redan under fjolårets EALA-konferens. Denna gång var hans tema laserlödning av aluminium AA6030 till mjuk stålplåt, men han inledde med att beskriva vilka laserkällor som används inom företaget. Jämfört med andra biltillverkare används lasertekniken i tämligen begränsad omfattning. I produktion finns idag 5 diodlasrar i Douai, vardera 3 diodlasrar i Palencia- och Valladolid-fabrikerna i Spanien och en CO<sub>2</sub>- och två disklasrar i Novo Mesto i Slovenien. För forskning och utveckling har man tillgång till en disk- och en diodlaser i sitt Techno Centre i Guyancourt söder om Paris.

Drivkraften för att undersöka blandmaterialkombinationer är att begränsa vikten på karosstrukturen. Experimenten hade utförts med en diodlaser som genererade en smälttemperatur på 920 °C, och utvärderingen som skedde på tvärsnitt genom lödfogen analyserade fogbredd, uppsmältning av aluminiumplåten samt de olika intermetalliska faser [IMC = InterMetallic Compound] som bildades. Tre olika tillsatstrådar hade undersökts; AlSi3Mn1, AlSi5 och AlSi12. Lasereffekten hade varierats mellan 3-5 kW, trådmatningen mellan 4,5-6,5 m/min och framföringshastigheten mellan 4-6 m/min. Även inverkan av spalter upp till 0,15 mm och förvärmad tillsatstråd [150 A] hade studerats. Högst hållfasthet och tillika tunnaste intermetalliska skiktet [1,7 µm] fick man då AlSi5-tråden användes [Fig. 8]. Att förvärma tråden hade endast inverkan på lödfogens visuella kvalitet, men påverkade inte hållfasthet eller IMC-uppbyggnad. Den huvudsakliga konklusionen var att lödfogens styrka minskar med tilltagande intermetalliska skikt, och att tillväxten av de senare undertrycks om man använder hög lasereffekt och processhastighet.

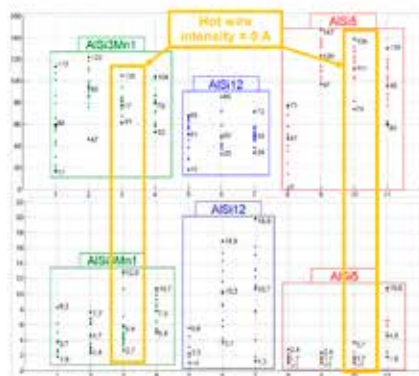
Den andra franska biltillverkaren, d.v.s. PSA Peugeot-Citroën, representerades av gamle bekantingen Dr. Mathieu Kielwasser som tillsammans med Christoph Engelmann från Fraunhofer ILT redogjorde för en annan form av blandmaterialfogning, nämligen plastkomposit till metall. PSA har sådana materialkombinationer i produktion redan idag, som exempelvis bakkörrarna till modellerna DS3, 308, 508, 807 och C4 Picasso. Här kombineras termoplaster [PA och PP] och hårdplaster tillverkade med SMC [Sheet Moulding

Compound] -teknik med metallartiklar, och där olika skruvtekniker är de dominerande sammansättningsmetoderna. För den nya EMP2-plattformen använder man ett annat koncept för att foga det polymera bakre golvet [SMC UP-GF29-MD30] till kringliggande stålstruktur. Här har man gjutit in små stålbrickor i polymermaterialet, vilket gör att fogningen mot ståldetaljen kan ske med existerande utrustning för motståndssvetsning. Ett

liknande koncept har valts för att montera en sidokrockbalk av glasfiberförstärkt PA [PolyAmid] i sidodörrarna i kommande modeller [Fig. 9]. Alternativa fogmetoder som hade undersökts var självgående skruvar [FDS = Flow Drill Screws] och stansnitar [SPR = Self-Piercing Rivets]. Båda metoderna uppvisar emellertid nackdelar i form av utstickande skruvspets i FDS-fallet och delaminering av plastkompositen då den stansnitas.



Figur 7. Genom att använda så pass låg lasereffekt som 500 W undviker man värmedistorsioner och får helt osynliga svetsar.



Figur 8. I en omfattande studie hade olika processparametrar kombinerats med tre olika tillsatsmaterial för att på ett optimalt sätt laserlöda stål till aluminium. Som framgår av diagrammen t.h. gav en tillsatstråd i AlSi5-legering den högsta hållfastheten (överst) och tillika det tunnaste intermetalliska skiktet (underst).



Figur 9. Några exempel från PSA Peugeot Citroën där plastkomposit fogas till metall redan idag men då med lim i kombination med mekaniska förband; fr.v. C4 Picasso bakkörr och bakre golv på EMP2-plattformen. För sidodörrar i kommande modellprogram (t.h.) överväger man dock att använda sig av laser för att foga den fiberförstärkta sidokrockbalken till metallstrukturen.

Därför har PSA börjat studera huruvida laserfogning kan vara ett alternativ. Man har studerat ett tvåstegskoncept som vi känner igen från tidigare Trumpf-presentationer där man först med en pulsad laser strukturerar metallen och skapar rillor i densamma. Sedan läggs de två materialen mot varandra varpå en laserstråle ansätts från metallsidan och genom värmeledningseffekten får man plasten att smälta och fylla ut de tidigare skapade rillorna i

metallartikeln [Fig. 10]. För struktureringen användes en SM [Single Mode] -laser med strålkvalitén  $M2 < 1,07$  och en maximal effekt på 1 kW. Med den optik som användes blev fokuspunktsdiametern 20  $\mu\text{m}$  varför processhastigheten kunde sättas till svindlande 12,5 m/sek vid skapandet av de 300  $\mu\text{m}$  långa rillorna. Genom att utföra struktureringen med såväl 700 som 1.000 W fick man två olika djup på rillorna vilket medför olika stora bindningsytor mellan

polymer och metall. För den efterföljande sammansättningen använde man Laserlines LDM 3000-10 med 3 kW effekt och en optik som gav en rektangulär [15'25 mm] fokuspunkt på plåtytan. Dörrar som tillverkats med noggrant optimerade parametrar provades sedan i fullskaleprov där det gick att konstatera att kraven på statisk hållfasthet och dynamiska dörrstängningskrafter uppfylldes, men däremot inte kraven för sidokrock. Det senare gick emellertid att härleda till en ogynnsam design som begränsade laserstrålens åtkomst.

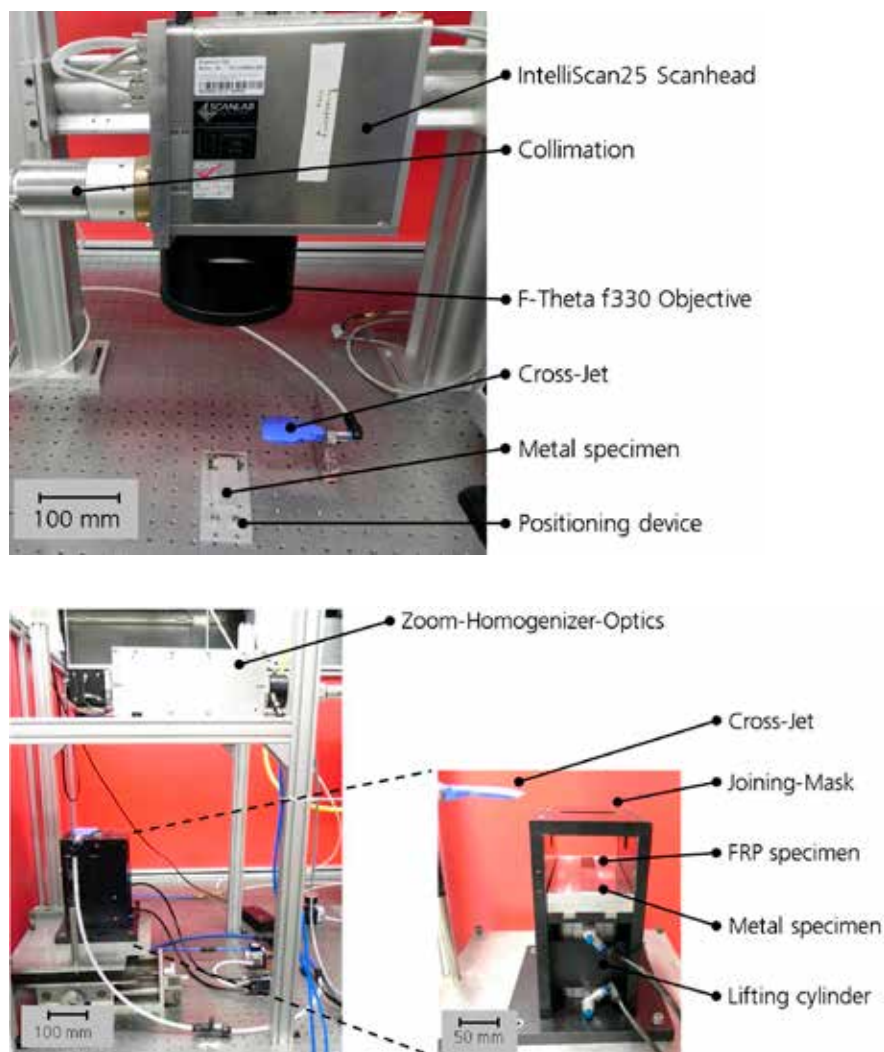
Under den avslutande OEM [Original Equipment Manufacturer] -diskussionen mellan biltillverkarna ventilerades några intressanta ämnen:

Då det gäller laserskärning handlar debatten mycket om fiber- kontra  $\text{CO}_2$ -laser. Visst har den förra visat sig vara snabbare vid samma lasereffekt, men man skall då beakta att det rör sig om mer eller mindre hela raka skärmönster. Vid komplexa geometrier blir det i stället robotens kinematik som sätter gränserna och då kan en  $\text{CO}_2$ -laser fortfarande vara ett kostnadseffektivt alternativ. Idag handlar mycket om laserskärning av varmformade detaljer, men för att cykeltidsmässigt korrespondera kräver en varmformningslinje fyra(!) laserskärceller. Därför kan framtida kombinationer av mekanisk klippning och laserskärning bli en tänkbar lösning.

Många upplever laserprocesserna som alltför störningskänsliga vid högvolymproduktion och mindre robusta i jämförelse med punktsvetsning och gasmetallbågsvetsning. Tidigare var det främst biltillverkarnas produktionsansvariga som drev på implementeringen av laserteknik, men med nämnda problem märker man att laserapplikationerna i nya karossmodeller främst är valda utifrån konstruktiva krav eller fördelar.

Då det gäller fjärrlasersvetsning är denna teknik mer eller mindre State-of-the-Art för påhängsdetaljer, som dörrar, motorhuvar och bakluckor, i stål. Strävan efter viktsbesparingar gör att dessa komponenter i framtiden med all sannolikhet kommer att tillverkas i aluminium, och då ställs denna speciella laserteknik inför nya utmaningar.

Slutligen blir biltillverkarna alltmer globala, vilket även gäller för Volvo Cars, som snart kommer att producera bilar i såväl Europa som Kina och USA. För att säkerställa en hög kvalitet vid alla former av laserbearbetning är utbildning, liksom utrustning och kongruent produktionslayout nödvändig, liksom 24/7-support från systemleverantörerna. ■



Figur 10. De två laserutrustningar som krävs vid plast/metallfogning. T.v. en "scanner"-utrustning från Scanlab för strukturering av metallytan och t.h. uppställningen för värmeledningssvetsning vilken här utförs med en diodlaser från Laserline som värmekälla.

# Laser för kolfiberapplikationer

Mikael Olsson,  
Trumpf Maskin AB

Fiberförstärkta kompositmaterial blir ett allt populärare designelement inom många industrisegment, men materialet för med sig en del utmaningar. Framförallt när det kommer till maskinbearbetning. På grund av detta har allt fler produktionstekniker fått upp ögonen för laser som ett produktivt val av verktyg för förädling med hög precision.

Kolfiberarmerad plast (CFRPs) blir ett allt vanligare konstruktionsmaterial särskilt inom fordons-, flyg- och vindkraftssektorn. Det utgör en viktig del av lösningen på några av de mest angelägna frågorna i vår tid, bland annat klimatskydd, e-mobilitet, resurseffektivitet och hållbarhet. Dessa trender är viktiga drivkrafter för lättviktskonstruktion och användning av fiberförstärkta kompositmaterial.

Konstruktörer är väldigt begejstrade över dessa vävda lättviktsmaterial för sin styrka och styvhet. Produktionstekniker är något mindre entusiastiska tack vare komplexiteten att arbeta med en blandning av fibrer och polymerer som ger en mångbottnad karaktär. Utmaningen är att dessa två material beter sig helt annorlunda i bearbetningsprocessen. En mekanisk fräs kan lätt skära i en polymer, men verktyget kommer att bli trubbigt på grund av hårda fibrer.

Det är denna radikala kontrast mellan egenskaperna hos de två materialen som gör det så svårt att välja rätt metod och rätt verktyg, vilket är anledningen till att industriella produktionstekniker nu söker snabbare, mer tillförlitliga, och mer produktiva arbetssätt med CFRP.



Foto | TRUMPF

Bild 1.  
Laserljus möjliggör skärning av vävda delar till nära färdig form. Ingen efterbearbetning krävs för de skurna kanterna.

Lasertekniken får allt större utrymme som ett lämpligt verktyg för att hantera fiberarmerad plast i många olika delar av processkedjan. Exempelvis skärning av ämnen och detaljer, modifiering av ytlager för att förbereda arbetsstycken för limning, samt sammanfogning av metall och plast.

## Laserskärning av CFRP

Den största utmaningen att skära fiberförstärkta kompositmaterial är att materialet är både hårt och känsligt på samma gång, vilket utgör en utmaning för alla mekaniska bearbetningsmetoder. Vattensliper med slipämnen är långt ifrån idealisk, eftersom den fibrösa snittkanten lätt kan skadas av slipande partiklar och fibrer kan lossna från matrisen då materialet tar in fukt. Skärning medför betydande krafter på arbetsstycket, vilket ofta resulterar i grova skurna kanter med utskjutande fibrer.

Verktygsmaskiner utgör samma typ av risk, men den största nackdelen här är den höga kostnaden för att bearbeta arbets-

stycken. De hårda fibrerna sliter snabbt ner borrar och fräshuvuden så att de måste bytas ut flera gånger varje skift. En eventuell ändring i tjocklek eller i sammansättningen av materialet som bearbetas betyder i allmänhet också ett verktygsbyte. Processen för detta tar tid, och att ständigt köpa nya verktyg är naturligtvis kostsamt. Att garantera genomgående höga krav på kvalitetsproduktion under dessa förhållanden kräver också en ständig övervakning, vilket är ytterligare en kostnadsfaktor.

I jämförelse erbjuder laserljus klara fördelar. Likväl som att undvika slitage tack vare dess beröringsfria natur ger det också en möjlighet för tillverkare att uppnå reproducerbara resultat med en jämn och hög kvalitet. Laseringenjörer har lyckats använda förinställda parametrar för att aktivera automatiska justeringar för att tillgodose olika godstjocklekar och sammansättningar utan att avbryta produktionen. Det finns gott om skäl till varför laser är det bästa framtida skärverktyget för CFRP.

### Kontaktfri metod

Laserstrålar utsätter inte arbetsstycket för några mekaniska krafter. Det gör dem till ett bra val för bearbetning av mycket tunna eller ömtåliga CFRP delar med stor precision. En ljusstråle kan flexibelt anpassas till förändrade konturer och geometrier eftersom bearbetningsoptiken inte har kontakt med arbetsstycket. I själva verket är den mer än 150 mm bort från detaljen. Detta gör det även lättare för laser att nå in i trånga hörn.

Laserskärning av kolfibrer (CFS) och kolfiberarmerad plast är en sublimeringsprocess, vilket innebär att materialet förångas så snart den träffas av den exakta högenergistrålen. Detta innebär att det inte finns något smält material som skall matas ut och snittet blir jämnt utan några fibrer som skjuter ut från den. Den värmepåverkade zonen vid den skurna kanten är minimal och har ingen nämnvärd inverkan på de mekaniska egenskaperna hos detaljen.

### Naturligt snitt för CFRP detaljer

Högprecisionsfördelarna med lasrar omfattar även att skära förformerna. Förformer är torra, halvfabrikatsprodukter som ännu inte har härdats och är därför fortfarande flexibla. För att framställa förformarna placeras ämnena i ett verktyg som använder förhöjda temperaturer för att förvandla dem till 3D-förformarna. Förformstyckena infiltreras därefter med syntetiskt harts – till exempel med hjälp av hartssprutpressning (RTM) – som sedan torkar och härdnar. Detta skapar CFRP delar med komplexa, tredimensionella geometrier.

Laserljus skär förformarna till nära färdig form med en hastighet och kvalitet som andra separationsmetoder såsom ultraljudsskärning aldrig skulle kunna uppnå. Laserskurna förformer har en ren, klar, naturlig kant utan utskjutande fibrer. Detta förenklar hanteringen och eliminerar behovet av efterarbete såsom slipning. Detta betyder att förformarna kan placeras i RTM-formverktygen och infiltreras omedelbart efter laserskärning.

### Rätt laserkälla för att skära CF, CFRP och GFRP

Det finns många olika typer av fibermatrixmaterial – men lyckligtvis finns det också olika typer av laserkällor. Fastkroppslaser är ett utmärkt val för att skära CF förformarna och CF väv eftersom laserenergin lätt absorberas i kolfibrer. För CF mindre än en halv millimeter tjockt, är en enda kilowatt lasereffekt tillräcklig för att nå en bearbetningshastighet som överstiger 20 meter per minut – två eller tre gånger



Bild 2.  
Laser är ett bra val även för andra kompositmaterial av plast förutom CFRP. Den här bilden visar en 2 mm tjock detalj gjord av aramidfiberförstärkt polymer (AFRP) som skurits med en CO<sub>2</sub>-laser.



Bild 3.  
Skärning av en härdad CFRP detalj. Laserskärning av mindre än fyra millimeter tjockt material sker två till tre gånger snabbare än med vattenstråle eller fräsverktyg, och ger dessutom en högre kvalitet på snittet.



Bild 4.  
Ljuset från en fastkroppslaser absorberas bra i kolfibrer. Det ger en perfekt skuren kant utan utskjutande fibrer, vilket gör efterföljande hantering snabbare och enklare.

snabbare än en vattenstråle eller ett fräs-  
verktyg.

När det gäller CFRP material och glasfiberarmerad plast (GFRP), är en CO<sub>2</sub>-laser är det bästa valet, eftersom glasfibrerna och matrismaterialiet är opakt för CO<sub>2</sub>-laser ljus, och därför möjligt att bearbeta. För material med en tjocklek på två millimeter eller mer, kan en 5 kW laser skära med en hastighet av 10 meter per minut, en siffra som återigen är två eller tre gånger snabbare än konventionella metoder. Förutom CFRP och GFRP kan lasern även bearbeta många andra fiberkompositer inkluderande naturliga fiberkompositer och kombinationer av GF och CF.

### Ytbearbetning som en förberedelse till limning

Lasrar kan också användas för att behandla CFRP på andra sätt än att bara skära det. En av dess huvudsakliga användningsområde är avlägsning av ytskikt, där laserstrålar förångar det övre skiktet av materialet med stor precision.

Denna form av behandling är särskilt användbar som en förberedelse för limning eftersom detta kräver att det översta lagret av färg avlägsnas eller ruggas upp. I det här fallet gör lasrar ett utmärkt jobb med att bearbeta just det område som krävs, så att bara den mängd av material avlägsnas som är nödvändigt. Återigen är en av de stora fördelarna med laserljus den flexibilitet tekniken erbjuder.

När det gäller bearbetning av stora ytor vid höga hastigheter, är en CO<sub>2</sub>-laser det självklara valet av strålkälla för beredning för limning. Och under de senaste åren har ingenjörer har fått tillgång till ett nytt verktyg för bearbetning av små exakt definierade områden med hög kvalitet sedan ultrakorta pulslasrar avsedda för industriellt bruk kom ut på marknaden. Dessa lasrar generera ljuspulser med en varaktighet på några pikosekunder eller till och med femtosekunder.

De gör det möjligt ingenjörer att ta bort bara några nanometer material från små områden utan att uppnå smältgraden, och utan att orsaka termisk skada på materialet. Tekniken utgör ett stort steg framåt i precisionen gällande bearbetningsprocesser.

### Sammanfogning av metall och plast

Nitning och limning är för närvarande de standardmetoder som används för att sammanfoga CFRP och metall. Lasrar kan användas för att skapa hålen för nitningsprocessen och att avlägsna det översta lag-



Bild 5.  
Sammanfogning av metall- och fiberkompositer: en laser med ultrakorta pulser skapar en underskärning i metalldelen, vilket medför att polymeren och den uppvärmda metallen smälter samman ordentligt.

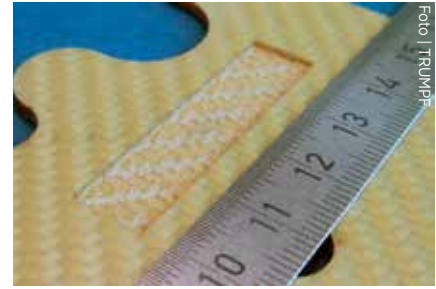


Bild 6.  
Ytbearbetning av aramidfiberarmerad polymer (AFRP).

ret av färg som förberedelse för limning. Emellertid involverar både nitning och limning ytterligare moment i produktionsprocessen och kräver användning av ytterligare material.

Dessutom lider båda metoderna av geometriska begränsningar som exempelvis behovet en delgeometri som ger enkel åtkomst för nitverktyget. Produktionstekniker har därför sökt efter mer eleganta sammanfogningslösningar. Än en gång är lasern en möjlig lösning, denna gång i form av ultrakort pulsad laser, som kan användas för att sammanfoga metall och fiberarmerad plast tätt tillsammans.

### Sammanfogning av termoplaster med metall

Med hjälp av en ultrakort pulsad laser skapas en struktur på metallen för att på ett säkert sätt sammanfoga en metall till en termoplastisk polymer.

Den strukturerade metalldelen värms upp till en temperatur över smältpunkten för termoplasten. Detta steg kan utföras genom en induktor, en ugn eller en annan laser. När detaljerna pressas samman börjar den termoplastiska plasten smälta. Smältan omger den lasergenererade strukturen, vilket skapar en säker anslutning till metalldelen när den har svalnat. Allt utan krav på ytterligare tillsatsmaterial.

Den statiska och dynamiska stabiliteten av fogen är båda högre än den som uppnås genom limning. Denna metod kan också användas för att skapa vätsketäta fogar utan ytterligare behov av tätningar, som kan vara fördelaktiga för tillämpningar såsom trycktankar.

### Strukturering

Konstruktörer från fordons- och flygin-  
dustrin utformar ofta metallkomponenter

i fiberarmerad polymer. Detaljerna kan t.ex. vara gängade hylsor eller metalldelar som används för att skapa anslutningar till andra delar, exempelvis ett gångjärn för en bagagelucka.

Återigen kan en ultra-kort pulsad laser användas för att skapa en underskärning, vilket möjliggör en snygg anslutning till värmehärdade polymerer. Innan delarna infiltreras placeras den strukturerade metalldelen i förformstycket som därefter härdas.

### Först plåt

#### - i framtiden kolfiberarmerad plast

Efter att ha etablerat sig som ett standardverktyg inom plåtbearbetning, är lasern nu redo att följa samma väg inom CFRP bearbetning. De främsta fördelarna med laserljus för CFRP är i grunden densamma som i plåtproduktion: laserljus är en snabb, slitfri och kontaktfri metod som ger konstruktörer frihet att skapa mer komplexa geometrier än vad som kan uppnås med mekaniska metoder. Lasertekniken möjliggör dessutom exakt styrning av den mängd energi som anbringas på arbetsstycket så att det går att hantera den känsliga bearbetningen av extremt tunna material.

Den industriella pulslasern med ultrakorta pulser, ger även möjlighet till kall bearbetning, med andra ord en form av bearbetning som praktiskt taget tillför noll värme till arbetsstycket. Detta har öppnat dörren till en mängd nya idéer och applikationer.

Det finns stor potential för snyggare och mer effektiv bearbetning av CFRP material i nästan alla branscher där lättviktskonstruktion spelar en viktig roll, och lasertekniken kommer att spela en allt större roll i den framtida utvecklingen inom området. ■

# Christoph Franz beskriver ett intressant Scansonic verktyg

Johnny K Larsson,  
Autokropolis Engineering  
(f.d. Volvo Cars)

Ett av de mest framgångsrika företagen i laserbranschen under senare år är det Berlin-baserade Scansonic MI GmbH, som trots sin relativt lilla storlek lyckats göra sig ett välrenommerat namn inom bilindustrin. Detta beror till stor del på en grupp eldsjälar som varit med om att bygga upp företaget från grunden, och en av dessa laserentusiaster är Dr. Christoph Franz med vilken jag haft många intressanta diskussioner under årens lopp. Då Volvo Cars just nu är på väg att implementera Scansonics FSO-verktyg, fick jag möjlighet till ett lite längre samtal med Dr. Franz under pausen i ett av våra frekventa projektmöten. Här följer en sammanfattning av vad den gode Christoph var hågad att förmedla vid detta tillfälle.

Lasersvetsning och laserlödning är etablerade metoder inom bilindustrin, speciellt för applikationer i karosstrukturen. Processerna används främst för att sammanfoga bakluckor och -dörrar där ytterpanelen består av två delar, eller att montera takpanelen till resten av karossen med en s.k. kosmetisk, osynlig fog. Därför är kraven på utseendet hos en laserlörd fog höga, varför tillgången till en tillförlitlig kvalitetskontroll är oumbärlig. I samarbete med Fraunhofer ILT [Institut für Lasertechnik] har vi utvecklat ett helintegrerat ”on-line” processövervakningssystem kallat SCeye®. Systemet är en tilläggsmodul vid lasersvetsning och -lödning av personbilskarosser. Det består av en innovativ och kraftfull illumineringsenhet kombinerad med en höghastighetskamera och är fullt integrerbart i vårt ALO3 löd- eller svetsverktyg [Fig. 1]. Belysningsenheten och kameran är koaxiellt linjerade vilket är något av nyckeln till integrerad processövervakning och uppfanns av

Fraunhofer ILT för många år sedan.

Utan att negativt påverka åtkomsten för lödoptiken är systemet kapabelt att dokumentera bilder med hög upplösning under volymtillverkning, vilka kan nyttjas för process- och kvalitetskontroll. Detta möjliggör fullständig dokumentation av processavvikelser och produktkvalitet.

SCeye® presenterades för första gången vid EALA [European Automotive Laser Applications] -konferensen i januari 2015 och har därefter succesivt förfinats för att uppfylla kraven på en kontrollerad laserlödningssprocess och detektering av ytporer. Kontrollalgoritmen för lödprocessen baseras på mätning av framföringshastigheten med återkoppling till trådmattningshastigheten i realtid, och algo-



Christoph Franz



Figur 1.  
T.v. den experimentella uppställningen vid systemutvecklingen hos ILT, vilken sedan utvecklades vidare till produkten SCeye® (närmast) av Scansonic. Båda verktygen inkluderar en höghastighetskamera och en innovativ belysningsmodul.



ritmen för kvalitetskontroll fungerar som "on-line"-detektering av porer. SCeye® är som sagt en tilläggsmodul och kommer i första hand att vara tillgänglig för vårt ALO3-verktyg av vilket mer än 1.000 enheter idag används i produktion över hela världen. Medan andra inspektionslösningar ofta kräver separat kontrollkabinett är SCeye® helt och hållet integrerbart i de flesta processverktyg som vi på Scansonic tillhandahåller.

Systemet består av en CMOS [Complementary Metal-Oxide-Semiconductor]-kamera med hög frekvens, en illumineringsmodul där en laserstråle belyser arbetsstycket och en avancerad bild- och dataanalysenhet kopplad till kameran som sitter direkt på bearbetningsverktyget. Denna enhet behandlar insamlade bilder i realtid, komprimerar data och skickar bilderna via bredband till ett web-baserat gränssnitt [Fig. 2], samtidigt som rådata lagras i en integrerad enhet.

SCeye® supporterar användningen av ALO3-verktyget i tre scenarios:

I "teach-in"-mode belyses arbetsområdet med ljusdioder vars våglängd är ofarlig för ögat. Kameran sänder en "live video" till varje klient som är nätverksuppkopplad. Robotbanan programmeras manuellt genom att positionera processverktyget relativt arbetsstycket med hög noggrannhet. Samtidigt förser systemet ALO3-verktyget med löpande aktuella värden för exempelvis robotaxlarnas position och uppmätta matningskrafter för tillsatstråden. Dessutom registreras alla de datasignaler som kommer från roboten, vilket underlättar programmeringen av densamma.

Under själva svets- eller lödprocessen kan SCeye®-systemet växla från att belysa med LEDs [Light Emitting Diode] till illuminering med en VCSEL [Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser]. Upp till 40 W optisk effekt kan därmed genereras för att belysa arbetsområdet och garantera skarpa bilder även om ljuset från laserprocessen är skarpt. Medan systemet distribuerar videobilder till nätverket i realtid, fortsätter SCeye® att läsa in rådata genom datasignaler. Varje videofilm lagras i ett bibliotek enligt regeln "först in – först ut", medan artikelnumren som tillhandahålles via datasignaler kan användas för att länka videon till respektive producerad detalj. Systemet "loggar" datasignalerna, och analoga värden från ALO3-verktyget synkroniseras med den upptagna videofilmen.

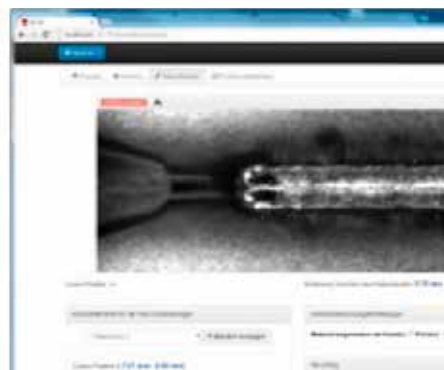
Under produktion och pågående inspelning kan användaren titta på tidigare inspelade videos och upptagna datasignaler. SCeye® kan lagra data från upp till åtta

timmars produktion, vilket möjliggör en kontroll av processen efter att fel uppstått i ett senare skede. Brukaren kan även kopiera och dokumentera all insamlad data efter varje detalj eller efter varje skift till sitt eget nätverk eller server.

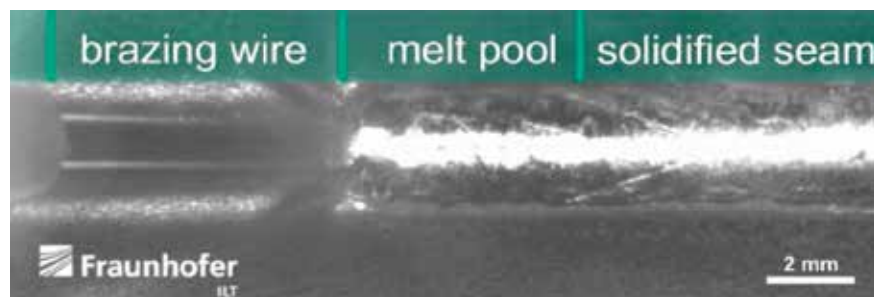
SCeye® har ännu inte funktionen av adaptiv processkontroll, men fortsatt forskning hos Fraunhofer ILT har visat att systemets realtidsövervakning kombineras med en kraftfull FPGA [Field-Programmable Gate Array] möjliggörs applicering av avancerade algoritmer för att tillgodose ett sådant önskemål. Därför har ILT byggt upp en testenhets för att utveckla, prova och utvärdera bildbearbetningsalgoritmer för övervakning och processkontroll [Fig. 3]. Man använder sig av samma kamera-"chip" och samma belysningsprinciper som finns i SCeye®. Som belysningskälla har VCSEL-teknologin visat sig vara extremt lämplig för att åstadkomma en jämn och riktningsoberoende illumination. Hela processzonen visualiseras; den inmatade tillsatstråden, smältan och den stelnade lödfogen är synliga. I motsats till SCeye® transferera-

des i dessa experiment råbilderna till en industriell PC-enhet via en standardiserad kameralänk. De insamlades och bearbetades med FPGA-teknik vilket gör beräkningsalgoritmerna lämpliga för realtidsapplikationer, såsom kontrolländamål och kvalitetskontroll under löpande produktion. Hela lödningsprocessen dokumenteras; maskinparametrar övervakas liksom produktkvaliteten genom att tillämpa dedikerade bildanalysalgoritmer på de insamlade bilderna. Två exempel på sådan bildanalys vill jag beskriva lite närmare i det följande. Ett handlar om monitorering av diskontinuiteter som porer och dokumentering av produktkvaliteten, det andra om uppmätning av verktygets verkliga rörelse i TCP [Tool Centre Point].

Laserlödada fogar används som kosmetiska designlösningar i karossproduktion. Efter lackering är dessa fogområden synliga för kunden, vilket gör att förekomsten av ytporer är oacceptabelt. Därför blir det viktigt att kunna detektera dylika defekter. Då dessa porer är öppna syns de som svarta prickar vid stark belysning. Det verkar som om enbart en



Figur 2. SCeye®:s webbaserade användargränssnitt.



Figur 3. Visualisering av laserlödningsprocessen med hjälp av en höghastighetskamera integrerad i SCeye®-verktyget.

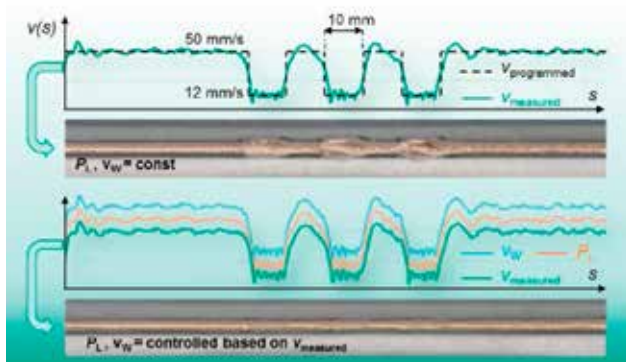
konturanalys skulle avslöja dessa defekter, men så är inte fallet då tröskelvärden och belysningsförhållanden spelar in. Ett mer lovande angreppssätt är då att använda någon form av klassificeringssystem av porerna. Signifikanta drag används för att klassificera den färdiga lödfogen som antingen acceptabel eller defekt. Här för använder vi oss av medelvärdesbildning och standardavvikelse för ljusintensitet och gradienter i bilderna. Kalibrerade värden för acceptabla och defekta fogar jämförs med FGPA-teknik, vilket möjliggör en bedömning av fogkvaliteten i realtid. Porer i storleksordning från några hundra mikrometer till några millimetrar kan upptäckas på detta sätt. Resultaten visualiseras i panoramabilder som exemplifieras i **figur 4**; där porer är markerade i rött, medan godkända områden längs fogen syns i grönt. Denna klassificeringsalgoritm drar nytta av den kraftfulla och homogena VCSEL-belysningen som utvecklats för SCeye®-verktyget. Dessutom medför den höga bildkvaliteten att det blir möjligt att skapa hela lödfogen genom att sätta samman enstaka bilder tagna just efter att smältan stelnat. Detta öppnar för möjligheten att spara en bild för varje fog under volymproduktion, medan den datamängd, som annars skulle behöva sparas för kvalitetsuppföljning över en längre tid, kraftfullt kan reduceras.

Förutom att kontrollera själva fogens kvalitet kan bildbaserad processkontroll användas för att mäta parametrar för maskindata. Således kan inte bara fogföljning och fokalpunkts läge i förhållande till fogen mätas, utan även processhastigheten baserad på de insamlade videobilderna. På grund av de homogena och av framföringsriktningen oberoende belysningsförhållandena kan algoritmerna för bildanalys användas för att identifiera tendenser mellan två närliggande bilder. Vi fastlägger då en förskjutningsvektor som kombinerad med bildfrekvensen gör det möjligt att beräkna processhastigheten. Här använder vi en blockmatchande algoritm, då denna lätt kan implementeras i FPGA-tekniken. Detta angreppssätt innebär inte bara övervakning i realtid, utan kan också användas för hastighetsberoende kontrollstrategier som t.ex. att tillförsäkra en konstant sträckenergi.

Vid laserlödning måste såväl effekt som trådmatningshastighet justeras proportionellt mot den uppmätta processhastigheten. Resultaten från en på så sätt kontrollerad laserlödningprocess framgår av **figur 5**. SCeye®-verktyget har använts under produktionslika förhållanden för att löda



Figur 4. Dokumentation av produktkvaliteten i form av med rött markerade porer i en panoramabild över lödfogens hela längd.



Figur 5. Processkontrollerad laserlödning; Lasereffekten (PL) liksom trådmatningshastigheten (VW) kontrolleras baserat på uppmätt verklig processhastighet.

en dubbelflänsad stumfog. I dessa försök varierades processhastigheten mellan 3,0 och 0,72 m/min. Trots denna förhållandevis stora hastighetsvariation förblir den kontrollerade processen stabil och förändringar i robothastighet kompenseras. Dessutom får man ett jämnt och homogent intryck av lödfogens toppyta. En relevant applikation i sammanhanget är laserlödning av bakluckor där laserverktyget måste ompositioneras under lödprocessen p.g.a. detaljernas geometrier, vilket innebär att processhastigheten minskar drastiskt då optiken rör sig över radien för nummerplåtspåglingen.

Med SCeye®-verktyget har vi en produkt som kan användas för såväl kvalitetsövervakning som "closed-loop"-kontroll vid laserlödning. Genom denna "on-line"-inspektion av lödfogens kvalitet öppnar sig möjligheten att exkludera efterkontroll och därmed minimera insatserna för kvalitetskontroll. En kontrollerad laserprocess kommer att öka processtabiliteten och därmed gagna produktkvaliteten, särskilt då processfönstren är begränsade. Speciellt kommer "teach-in"-procedurer att dra nytta av uppmätta maskinparametrar.

I det framtida utvecklingsarbetet kommer vi inte bara att koncentrera oss

på en vidareutveckling av algoritmer för mätning av processhastigheten, men också överväga nya övervaknings- och kontrollfunktioner som detektering av till-satstrådens spets eller fokalpunkts läge i förhållande till fogen. Eftersom SCeye®-verktyget ännu inte är utvecklat för automatisk processövervakning kommer några av de egenskaper som utprovats med konceptverktyget hos ILT att användas till framtida produktförbättringar.

Ett mer långsiktigt mål är att skapa en komplett processkontroll med hjälp av olika övervakningsalgoritmer, samt att integrera flera databanker med en automatisk parametreringsfunktion för att minimera komplexiteten vid användning av löd- och svetsverktyg hos våra kunder. Eftersom beräkningsalgoritmer är lätt integrerbara i FPGA-teknik behövs inget ytterligare kontrollverktyg, såsom ett komplext nätverk av sensorer och manöverdon, för att övervaka och kontrollera fogningsprocesser med laser. ■

# Lasergrupp FoU

Kjell-Arne Persson,  
Swerea KIMAB AB

För att nå hög konkurrenskraft hos svensk verkstadsindustri är det viktigt att se nya möjligheter eller hitta nya vägar som förbättrar produktiviteten, rationaliserar produkten eller minimerar risken för potentiella defekter.

Ett laserbearbetningsnätverk "Lasergrupp FoU" har därför bildats som komplement till Lasergruppen och som mer specifikt syftar till att identifiera behov av forskning i svensk industri och där möjlighet finns bilda intressegrupper för att söka och genomföra forskningsprojekt.

Lasergrupp FoU kommer, i huvudsak, ha korta web/telefon-möten. Hittills har 3 möten hållits. En lista med idéer har upprättats. Några idéer har slagits ihop och ligger som underlag för ansökningar till nationella (Vinnova) projekt. Nästa möte är planerat till 4:e oktober.

Mål och syfte med gruppen är:

- Identifiera behov av forskning i första hand inom lasersvetsområdet men även t ex skärning, borrar, värmebehandling, additiv tillverkning med laser, mm (Det kan vara relaterat till processen eller material eller till övervakning/detektering av defekter osv.)
- Upprätta och uppdatera en lista med idéer.
- Forma intressegrupper för projekt-ansökningar (i första hand nationella men även internationella kan vara av intresse).



Lasersvetsning med optik för att dela upp laserstrålen i tre strålar.

Upplägg:

- Cirka 3 webmöten per år (ett i september/oktober, ett runt januari/februari och ett maj/juni). Möjligen något större möte gärna i samband med någon annan laseraktivitet.
- Möten organiseras av Swerea KIMAB (kallelser/protokoll)
- Ordförande med brett kontaktnät från industrin.
- Möten öppna för alla företag/forskningsaktörer som vill delta
- Inga medlemsavgifter ■

## För mer information om Lasergrupp FoU kontakta:

Johnny K. Larsson/ordförande Lasergrupp FoU,  
johnny.jk.larsson@gmail.com

Kjell-Arne Persson/Swerea KIMAB,  
kjell-arne.persson@swerea.se

Fredrik Sikström/Högskolan Väst,  
fredrik.sikstrom@hv.se

Torbjörn Ilar/Luleå Tekniska Universitet,  
torbjorn.ilar@ltu.se



# Lasersvetsning vid tillverkning av paneler för järnvägsvagnar

Johnny K Larsson,  
Autokropolis Engineering  
(f.d. Volvo Cars)

Fördelarna med laserbearbetning vid tillverkning av bilkarosser är väl dokumenterad och har nu använts som mogna tillverkningstekniker under de senaste 25 åren. Detta har lett till att lasersvetsning vunnit allt större intresse vid tillverkningen av stommar för järnvägsvagnar. Ett antal lasersvetsade applikationer finns redan i produktion i Europa och Japan, och en liknande tillväxt kan förväntas i USA. Emellertid består tillverkningen av dessa nya järnvägskorgar av åtskilliga komplexa och kritiska moment där sammanställning och handhavande av stora datamängder är nödvändigt.

En del minnesgoda läsare kan kanske dra sig till minnes den succéartade studieresa som genomfördes 2010 och där vi som deltog fick möjligheten att närmare bekanta oss med Berlin-företaget Photon AG och dess dynamiske ägare Holger Alder. Photon AG hade då bistått Volvo Cars vid utveckling och införande av laserlödning i våra bakdörrsöppningar, men redan då avsåg den gode Holger att bredda företagets verksamhet och ge sig in i tillverkning av väggpaneler för vagnkorgar till höghastighetståg. Vi fick den gången möjlighet att besöka företagets första pilotanläggning, men sedan dess har verksamheten vuxit och man håller just nu på med att flytta in i helt nya och mer ändamålsenliga lokaler. Photon AG har blivit något av en pionjär inom denna bransch, och man förstod på ett tidigt stadium behovet av att använda digital processstyrning; från planering till produktion och kvalitetsövervakning, för att uppnå högsta möjliga effektivitet och kontroll över olika säkerhetsaspekter.

Tillverkningen av järnvägsvagnar har blivit en intressant och ny marknad för la-



sersvetsade applikationer p.g.a. det ökande behovet för kollektiva persontransporter, vilket också ökar antalet svetsade kilometer som måste produceras.

Några exempel på nuvarande produktion av detaljer där lasersvetsning framgångsrikt har använts är:

- Ett tak i rostfritt stål till ett pendeltåg vilket har inneburit en 15%-ig viktsbesparing [Fig. 1a]
- En sidopanel i belagt kolstål som mäter 14×3,5 m, och som kan bestå av upp till nio olika plåtar i olika tjocklek och hållfasthetsklass, allt för att uppnå en maximal viktssänkning [Fig. 1b]
- Detalj av ett skarvat ämne för en vagnsyttersida där ett tjockare material krävs för att motstå de höga laster som förekommer i hörnet på fönsteröppningarna [Fig. 1c]
- En helautomatiserad lasercell som producerar en tredimensionell sidostuktur för vagnkorgen till ett höghastighetståg där strukturen består av horisontella och vertikala förstärkningsribbor som lasersvetsas till varandra och till ytterpanelen [Fig. 1d]

Förutom att leverera svetsade artiklar och delsamansättningar förser Photon AG sina kunder med "know-how" och diverse processtöd. Ett bra exempel på detta är FokusMonitor, ett mångsidigt verktyg för processintegration, -övervakning och -diagnostik. Det utvecklades ursprungligen med avseende på Photons egna behov att utveckla och optimera komplexa processer och att övervaka deras kvalitetsutfall. Verktyget integrerar företagets interna erfarenhet och expertis har resulterat i en kommersiell produkt. För närvarande används FokusMonitor vid mer än 180 installationer över hela världen för olika ändamål. Dessa omfattar olika laserprocesser såsom svetsning, lödning, skärning och påläggning längs tredimensionella banor, med även andra processer som exempelvis limning och bågsvetsning.

Lasersvetsning av komplexa, säkerhetsrelaterade komponenter vagnkorgstillverkningen kräver att man använder sig av motsvarande CAD [Computer-Aided Design] och processdata genom hela tillverkningskedjan. Handhavandet av

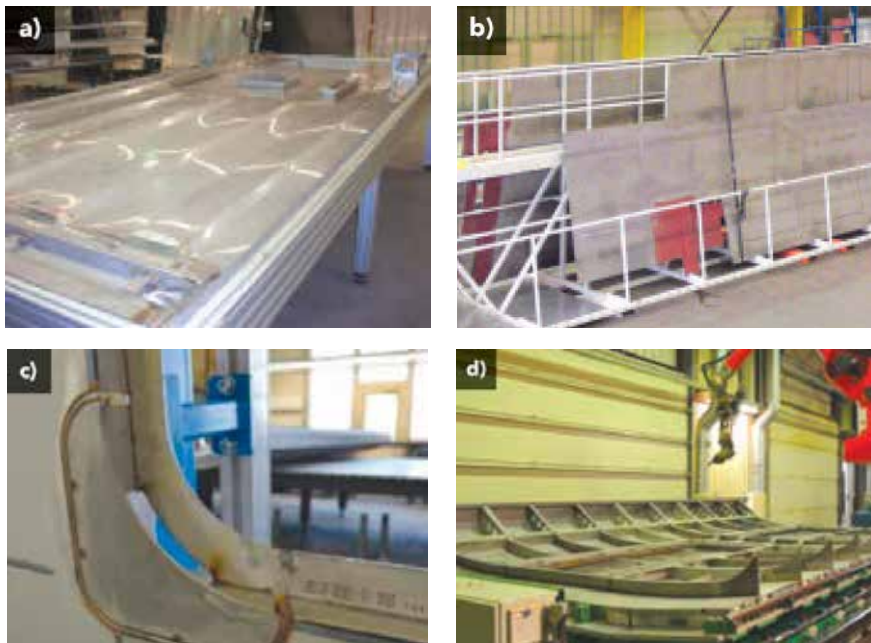
processdata blir extremt viktigt då alla produktmodeller först är skapade i form av CAD-data vilka måste transformeras till verkligheten och då ta hänsyn till alla toleranser på  $\mu\text{m}$ -nivå över en längd på kanske 16 meter. Efter att komponenten är tillverkad krävs analys eller åtminstone lagring av en stor mängd produktions- och kvalitetsdata med vars hjälp det blir möjligt för en fortsatt optimering av tillverkningsprocesserna, och i fall av kritiska komponenter tillgodose kraven på spårbarhet.

I motsats till tillverkning av bilar och medicinteknisk utrustning som produceras i höga stycketal, innebär vagnkorgstillsättning lasersvetsning av extra stora detaljer i mycket små seriestorlekar, men likväl ställs höga säkerhetskrav och hög processflexibilitet för att hantera:

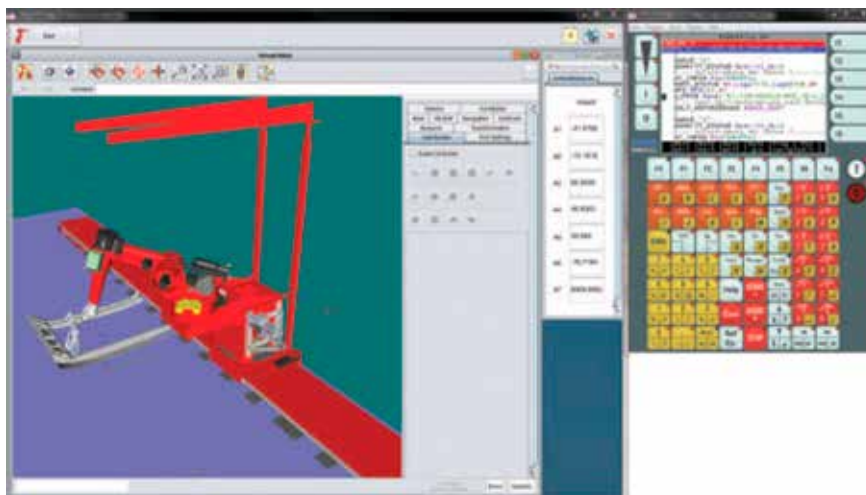
- Olika vagnstyper (änd- och mittvagnar samt specialmoduler)
- Olika komponenter (sido- och takpaneler, dörrar, förstyvningsribbor)
- Olika svetsprocesser med olika svetsföljder
- Säkerhetsdokumentation av använda svetsparametrar

Eftersom branschen domineras av små och kundstyrda order kommer varje vagnkorg att ha en unik design. Dessutom är branschen konservativ p.g.a. de höga säkerhets- och ansvarskrav som har härskat under mer än 30 år, något som gör att man hellre kopierar tidigare designen än att lansera nya. Vanligtvis skapas man ett nytt vagnkorgskoncept genom att blanda olika modeller vars kvalitet sedan tidigare validerats, men detta leder i sin tur till en långsam innovationsprocess. Trots att det finns en stor potential för ytterligare optimering kvarstår den tuffa utmaningen att anpassa lasertekniken från bilindustrins höga volymer och korta produktcykler till de nya krav som gäller vid tillverkning av järnvägsvagnar.

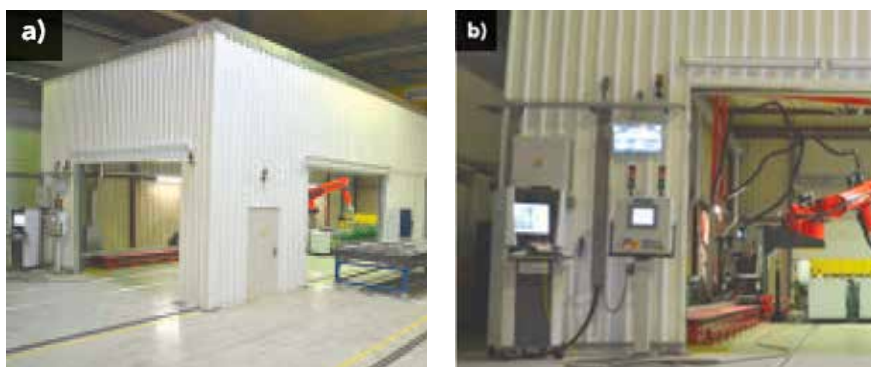
För att erhålla den höga produktivitet och svetskvalitet som eftersträvas då man lasersvetsar en komponent måste all nödvändig information matas in i ett flexibelt och automatiserat robotprogram innan den första detaljen över huvud taget kan produceras. Det bästa och mest effektiva sättet är att simulera alla robotrörelser i en virtuell tredimensionell modell vilken omfattar såväl detaljen som robot och annan kringutrustning [Fig. 2]. Simuleringen har även som mål att påverka detaljutformningen så att tillverkningsprocessen kan optimeras. Analysresultaten skickas tillbaka till konstruktören/produktledaren som därmed kan rättfärdiga ett



Figur 1. (a) ett tak i rostfritt stål till ett pendeltåg, (b) en sidopanel i zinkbelagt stålplåt till ett dubbeldäckt regionalståg, (c) detaljutformning av ett fönsterhörn i en ytterpanel för ett höghastighetståg, och (d) den kompletta, lasersvetsade sidostrukturen till samma tåg.



Figur 2. 3D-simulering av en robot som lasersvetsar ett dörrsegment.

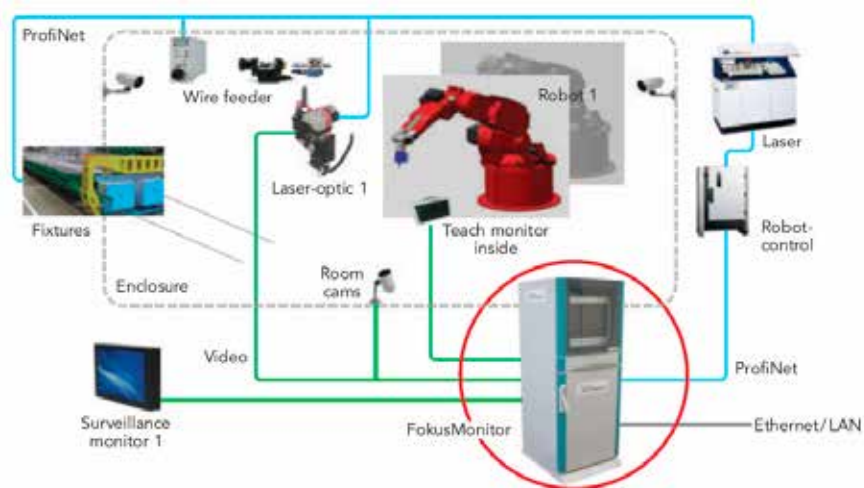


Figur 3. (a) Photons lasercell i fabriken utanför Berlin, och (b) den centralt placerade FokusMonitor-enheten.

byta av svetssekvens till en mer tids- och kostnadseffektiv sekvens.

Resultatet av denna kompletta virtuella process blir då ett robotprogram som uppfyller de specifika tillverkningskrav som kan föreligga såsom:

- Automatiseringsgrad
- Modulär programmering
- Säkerhetsaspekter
- Olika användarnivåer med personlig tillgång
- Processövervakning i form av t.ex. fokusmonitorering
- Reparationsstrategi vid enskilda svetsdefekter
- Datahantering och dokumentation av all nödvändig och relevant information



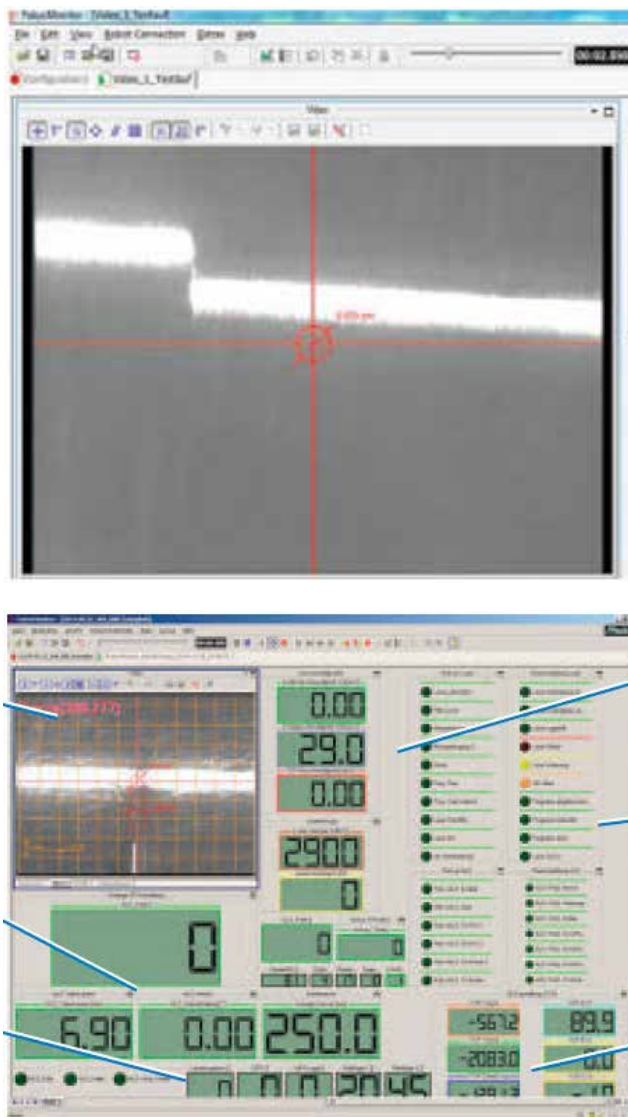
Figur 4. Detta principiella kopplingschema visar hur FokusMonitor-enheten ansluts till laserstationen.

Laserns intåg vid tillverkning av vagnkorgar illustreras i det nyligen påbörjade EU-projektet ”ICx” som är det största järnvägsprojektet i Europa för närvarande, där bort emot 160 tåg skall byggas för en kostnad av 4 miljarder euros under tiden 2017-2023. Photon AG levererar vagnkorgarnas sidopaneler vilka förekommer i cirka 30 olika varianter och som genererat datorprogram för mer än 2.400 lasersvet-sar. Tillverkningen sker i två celler i två olika fabriker, men där samma svetsprogram och svetsmetoder används. Ett 12-vagnars tågset behöver ungefär 170 sidopanelsegment vart och ett med en sammanlagd svetslängd kring 8 meter.

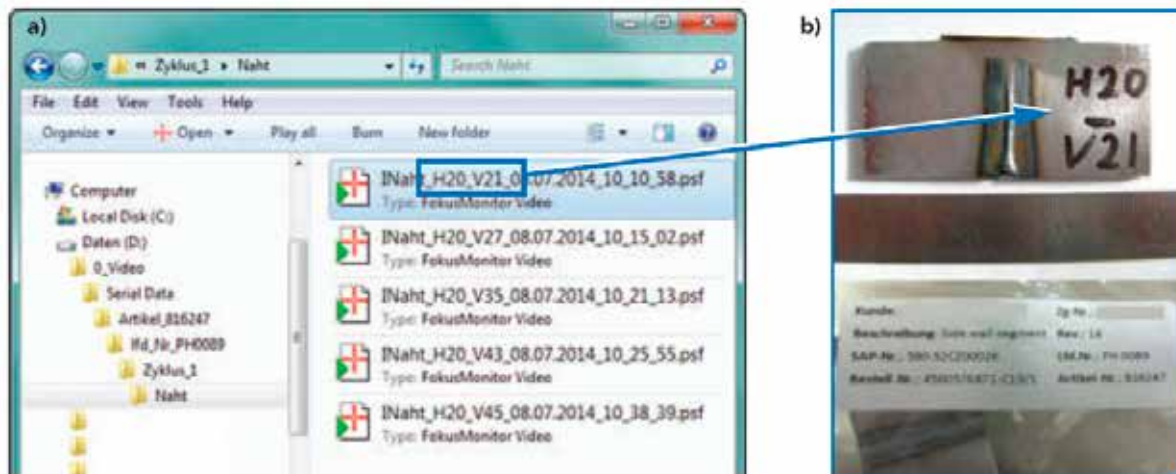
När väl processplanering och design är fullbordad i den virtuella miljön, blir nästa stora uppgift att använda överföra dessa virtuella värden till en verklig verkstads-miljö. För att lasersvetsa upp till 20 meter långa paneler måste hänsyn tas till de speciella förutsättningar som då gäller.

De system som används av Photon för tillverkning av vagnkorgar består av laserceller som mäter 25×9×7 meter. Plåtarna som skall svetsas lastas in via upprullningsbara dörrar och ligger på automatiserade rälsbundna fixturer. **Figur 3a** visar en installerad lasercell som använder en TruDisc 4002 laser från Trumpf. Förutom processsäkerhet och robusthet är den viktigaste komponenten för att nå full produktionstillförlitlighet är den centralt placerade FokusMonitor-enheten [**Fig. 3b**], vilken innefattar videoövervakning, programval, processkontroll, program- och datalagring samt datamonitorering.

FokusMonitor är kopplat till företagets nätverk och fungerar som hjärna för dataövervakningen [**Fig. 4**]. Efter att detaljer och fixturer placerats i förhållande till roboten måste styrprogrammet kalibreras för att kompensera för toleranser och av-



Figur 5. En skärmdump som visar hur FokusMonitor identifierar avvikelser mellan en fogs verkliga och programmerade lägen innan processoptimering (a) och efter justering inför starten av svetsningen (b).



Figur 6. Skärmdump av ett katalogträd (a) samt ett datalagrat foto av utsnitt ur svetsens start- och stopp-positioner (b).

vikelser som kan hänföras till skillnader mellan den fysiska utrustningen och simuleringsskeden, fixturernas positionering och detaljens placering i fixturen, samt robotens dynamiska beteende under rörelse och omställningar av tidsberoende signaler.

Även om man har tillgång till den bästa tillverkningscell och fullgoda designdata gäller det att överbygga skillnaderna mellan teori och verkliga detaljer. För att reproducerbart kunna svetsa med fokuspunkter mellan 0,5-1,5 mm diameterkrävs en noggrannhet på  $\pm 0,1$  mm för avståndet mellan fokuspunkt och toppyta över en svetslängd på 15 meter. För att klara detta kombinerades kommersiella sensorer med egenutvecklade sådana. En dylik innovation är en "offline"-kalibreringsprocess där man använder en sensor baserad på trianguleringsprincipen, och som är kapabel att på ett halvautomatiskt sätt kan kompensera en förmodad avvikelser mot en verklig sådan.

Figur 5a visar ett exempel på en fogs verkliga läge och dess programmerade värde, där steget i linjen representerar fogens verkliga läge och hårkorsen fokuspunkten. I motsats till andra kommersiella fogföljningssystem arbetar detta direkt i TCP [Tool Center Point], vilket gör att även geometrier med väldigt små radier kan följas på ett korrekt sätt. Efter kalibrering tillverkas detaljen och de använda laserparametrarna dokumenteras i Fokus-Monitor. Figur 5b visar en "skärmdump" som visualiserar en mängd svetsdata. Alla de visade värdena sammanfattas i en skrivskyddad datafil, vilken sparas som bevis och för spårbarhet av varje enskild svets på varje detalj som har producerats i den stationen.

Katalogträdet i figur 6a illustrerar sättet på vilket data lagras i mappar och datafiler som namnges efter artikelns och svetsens



Figur 7. Ett väggsegment utvecklat och tillverkat av Photon AG för Icx-projektet visades upp under InnoTrans, som är en järnvägsutställning.

beteckning. Här lagras processfiler med angivelse av produktnummer, löpnummer, svetssekvens, svetsnummer samt datum och tidpunkt då artikeln tillverkades och datafilen lagrades. Även fysiska bevis i form av utsnitt av svetsens start- och stoppositioner från den verkliga komponenten lagras enligt samma struktur och benämningar [Fig. 6b]. Denna kombinerade lagring av processdata och fysiska resultat garanterar en säker dokumentationskedja för spårbarhet av kritiska svetsprocesser. Genom att kunna hantera sådana utmaningar har Photon AG kontinuerligt kunnat leverera högkvalitativa lasersvetsade vagnssidor till sina kunder under de senaste tre åren. Figur 7 illustrerar ett sådant sidosegment utställt vid InnoTrans 2014.

Holger Alder konkluderar med följande sammanfattning: Att tillverka komplexa och säkerhetsrelaterade

komponenter med en hög andel svetsar och många produktvarianter kräver en detaljerad planering som innefattar alla avdelningar längs tillverkningskedjan såsom design, metodutveckling, programmering, svetsning, och en kvalitetssäkrad produktion. En CAD [Computer Aided Design] -modell över hela svetsstationen, inklusive utrustningar, och en simulering av alla svetssekvenser är oundgänglig för planering och programmering. Och till sist; förbättrad sensor- och kontrolltekniker är nödvändiga kompletteringar till konventionell maskinkontroll för att möjliggöra transfereringen från teori till realitet. Processövervakning är absolut nödvändig för att kunna kontrollera och optimera produktionslinjen. Och lagring av processdata är obligatorisk för spårbarhetsändamål ända ner till parametrarna för den enskilda svetsen. ■

# Mikrobearbetning med laser

Johnny K Larsson,  
Autokropolis Engineering  
(f.d. Volvo Cars)

## Lasermärkning av anvisningslinjer i träprodukter

I volymtillverkning av virkesprodukter, som exempelvis plywood och spånplattor, finns det ofta krav på utmärkning av enkla anvisningslinjer för efterföljande produktionssteg. Beroende på slutprodukten visar dessa anvisningslinjer var en skiva senare skall tillskäras, såsom externa paneler som skall kapas till av kunden speciellt önskade längder, eller så kan linjerna utgöra en visuell hjälp för att applicera en rad spik alternativt utvisa centrumläget för en bakomliggande regel. Genom att använda en laser för referensmärkning av träprodukter skapas en bestående märkning, samtidigt som man eliminerar de höga kostnader som är förknippade med det traditionella alternativet bläckstrålemärkning. Emellertid är den senare metodens förbrukning av bläck en kostnadsfaktor, och avfallsprodukterna klassificeras som riskabelt avfall. Lasermärkningen eliminerar dessa omkostnader samtidigt som metoden skapar en permanent märkning i träet. För denna typ av applikation blir investeringskostnaden förhållandevis låg då det endast krävs lasereffekter mellan 10-30 W, beroende på produktivetskrav, och stråldistributionen kan ske via en fast optik monterad ovanför ett transportband.

I det här speciella fallet skulle en synlig linje markeras tvärsöver en spånplatta. I en demonstrationsanläggning använde man ett "Flyer"-märkverktyg för att röra laserstrålen över plattan eftersom det inte var möjligt att manipulera ett så pass stort objekt under laserverktyget. Demonstrationsuppställningen bestod av en 10 W CO<sub>2</sub>-laser från Synrad och ett "FH Flyer"-märkverktyg, vilket var försett med en lins som gav en fokallängd på 370 mm



Figur 1.  
Denna spånplatta fick en tydlig märkning av en anvisningslinje för spikning vid blott 10 W lasereffekt och en processhastighet på 15,2 m/min (50 ft/min).

och en fokalpunktsdiameter på spånplattan om 540 µm. Genom att använda en så pass stor fokalfunkt blir den utmärkta linjen tydligare då mer ytmaterial bränns bort jämfört med mindre fokalfunkter vars högre energitäthet bara resulterar i energiförlösning genom förångning av trämaterial, samtidigt som märkningen får en mindre kontrastverkan. Genom att använda 10 W lasereffekt kunde spånplattorna märkas med en hastighet av 15,2 m/min [50 ft/min] och få en distinkt anvisningslinje för efterföljande spikningsoperation [Fig. 1]. I de fall då högre produktivitet krävs är det fullt möjligt att öka lasereffekten ända upp till 400 W.

## Lasersvetsning i rostfritt stål

Svetsprocesser kan delas upp i metoder med låg alternativt hög energitäthet. De förstnämnda är sådana traditionella metoder som bågsvetsning och motståndssvets-

ning som bygger på värmeledning genom materialen för att få dessa att smälta samman. Högenenergiprocesser som lasersvetsning förångar materialet och skapar vad som är känt som ett "nyckelhål", vilket djuppenetrerar materialet och resulterar i en tvådimensionell uppvärmning som medför en synnerligen effektiv värmeöverföring till svetsfogen. Lasersvetsningens huvudsakliga fördelar är en smal värmepåverkad zon [HAZ = Heat Affected Zone], precis kontroll av värmeförseln och möjligheten att med hög noggrannhet positionera laserstrålen vis-à-vis fogen. Detta innebär i sin tur att termiska distorsioner reduceras, det blir möjligt att svetsa nära värmekänsliga detaljer, samt att svetsoperationen kan utföras med extrem precision. Då det gäller svetsning används merparten av laserkällor med effekter under 1 kW för precisionssvetsning och svetsning av värmekänsliga material,

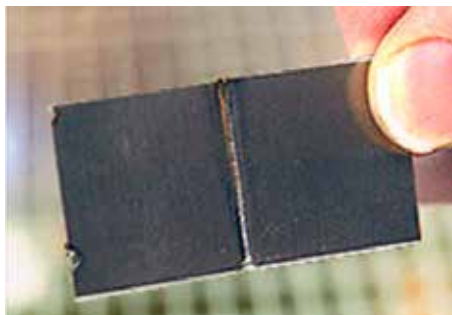
exempelvis vid hermetisk kantförslutning, då en typisk fokalpunktsdiameter på 100 µm begränsar en förhöjd temperatur kring svetsen till ett blott 1 mm brett område.

Rostfria stålkuponer svetsades med en Firestar f400-laser. De 0,9 mm tjocka kupongerna var fixerade mot varandra med hög precision i en stumfogs-konfiguration. Eftersom de flesta lasersvetsprocesser inte använder sig av tillsatsmaterial, utan förlitar sig på att enbart materialen smälts samman för att skapa en svets, måste passningen mellan plåtkupongerna vara fri från spalter och tomrum om man vill erhålla starka och sammanhängande svetsar. Liksom vid vanliga smältsvetsprocesser kan det vara lämpligt att först göra några fixeringssvetsar längs fogen för att på så sätt hindra plåtkupongerna från att separera under själva lasersvetsningen.

Full penetration genom det rostfria stålet uppnåddes vid 400 W lasereffekt och en svets hastighet på 1,9 m/min eller 75 IPM [Inch Per Minute, **Fig. 2**]. Stråldistributionen skedde via en lins med 63,5 mm [2,5"] brännvidd vilket gav en 100 µm stor fokalpunkt och ett skärpedjup på 1,8 mm. Under svetsningen tillfördes Argon som skyddsgas i en mängd av 1,0 SCFM [Standard Cubic Feet per Minute] vilket hindrar smältan från att reagera med den omgivande atmosfären. Vid svetsning av det här förhållandevis tunna materialet kunde man inte se någon skillnad mellan att använda Argon eller Helium som skyddsgas. Om man däremot skall svetsa tjockare rostfritt material med hög hastighet ger Helium-användning ett större penetrationsdjup p.g.a. gasens högre joniseringspotential och mindre benägenhet för plasmaformering.

### Laserskärning av stålror

Rör tillverkade av mjukt stål används i en mångfald applikationer från maskiner, verktyg och industriella rörsystem till vägmärken och stängsel. Väggar i dessa rör skärs, gradas eller borrar för att skapa precisionspassningar för påsvetsade detaljer eller att göra exakt positionerade skruvhål eller hål för olika typer av svetsade eller gängade kopplingar. Vanliga



Figur 2.

Dessa båda 0,9 mm tjocka rostfria kuponer sammansvetsades med 400 W laser-effekt och en processhastighet på 75 IPM. Som assistgas användes Argon med ett flöde av 1,0 SCFM, och t.h. ses en förstoring av svetsens karaktäristiska toppyta.



Figur 3.

Dessa hål trepaneringsskars genom ett 1,65 mm tjockt rör i mjukt stål med 400 W lasereffekt och en skärhastighet på 70 IPM.

mekaniska skär- eller borrarprocesser, såsom sågblad och borkronor, förslits snabbt medan termiska skärprocesser som exempelvis plasmaskärning ofta ger grova skärnitt och ojämna skärkanter. Detta gör den kontaktlösa laserbearbetningen mycket attraktiv för dylika applikationer. Precis som vid alla former av metallbearbetning måste rörens kondition innan svetsning bestämmas. Ytans renhet, stålets legeringstyp samt vägg tjockleken på rören är alla variabler som påverkar snittkvalitet och skärhastighet.

Den här applikationen, som utgjordes av rör med 50 mm och 1,65 mm vägg-tjocklek, trepaneringsskars med laser för att skapa en serie av 7,6 mm stora hål

[**Fig. 3**]. För processen använde man en Synrad 400 W-laser i kombination med ett XY-bord och ett skärverktyg försett med en lins med 2,5" fokallängd vilket gav en fokalpunkt med 100 µm diameter. Ren syrgas användes som assistgas med ett tryck på 6,9 bar eller 100 PSI [Pounds per Square Inch], vilken tillfördes genom ett munstycke med 0,9 mm öppning för att accelerera skärprocessen och skjuta bort det smälta stålet. Med denna uppställning kunde en rad hål med 0,3" diameter framgångsrikt skäras i stålror tillverkade i 1020-material med en processhastighet på 30 mm/sek eller 70 inch/min. Resultatet gav skärkanter med minimalt "skägg" och nästan ingen värmepåverkad zon. ■

## Prima Power lanserar sin egen fiberlaser, CF3000. Första lasermaskintillverkaren med egenutvecklad fiberlaserkälla

Prima Power startar nu serieproduktion för högeffektlasrar med fiberteknologi och blir därmed den första lasermaskintillverkaren som internt utvecklat en egen laserkälla med fiberteknologi.

CF3000 (3 kW), har utvecklats genom ett intensivt arbete under ett antal år och har redan, sedan mer än ett halvår, framgångsrikt varit i drift hos ett antal pilotkunder.

Tillverkning kommer att ske i fabriker; Chicopee (Massachusetts – USA), Barone Canavese (Turin – Italien) & Suzhou plant (Kina). Nästa modell för lansering, CF4000 (4 kW), kommer att börja levereras med start under senare delen av 2016.

Fram till idag har den enda leverantören av fiberlaserkällor till koncernen varit det amerikanska företaget IPG Photonics, med vilka Prima Power har en stark, långsiktig relation. Utvecklingen av en egen fiberlaser ger koncernen möjlighet till ett alternativ för denna mycket strategiska komponent för de egna produkterna. Prima Power förväntar sig en kraftig tillväxt för maskiner med fiberlaserteknik, genom introduktion av nya modeller, såsom Laser Next för 3D-bearbetning (och speciellt då inom fordonsindustrin), Platino 2.0 Fiber och Laser Genius för 2D-bearbetning, samt Combi Genius som kombinerar stansning och laserskärning.

Målsättningen under 2016, är en gradvis ökning av leveranser av CF laserkällor med upp till ca 10 enheter per månad. Den egna laserkällan kommer att effektivisera eftermarknadsaktiviteter, och ger organisationen möjlighet att med egna resurser kunna ge support till kunder för det levererade systemet i sin helhet.



Prima Power ZAPHIRO med Compact Tower, LST sortering och stapling.

Gianfranco Carbonato, ordförande för Prima Industrie Group, är mycket nöjd med denna viktiga framgång och säger:

”Med introduktionen av vår egen fiberlaser har vi tagit ytterligare ett steg i gruppens utveckling och kan erbjuda våra kunder en helhetslösning ifrån Prima Power.”

### Om Prima Power

Prima Power är en världsledande leverantör inom högteknologiska området laser och plåtbearbetningsmaskiner. Produktportföljen är en av de mest omfattande och inkluderar: lasermaskiner för skärning, svetsning och borrar, stansmaskiner, kombinerade stans/saxmaskiner och stans/lasermaskiner, kantpressar, panelbockmaskiner, kompletta tillverkningslinjer från ämnesplåtar eller coils till färdigbockade detaljer, automationssystem för minsta möjliga operatörsberoende hantering av plåtämnen, bearbetade artiklar eller färdigbockade detaljer, allt från enkla kompakta system till större FMS-system för plåtverkstadsens all internlogistik.

Prima Power är maskindivisionen inom Prima Industrie, med över 1600 anställda i världen med fabriker i Italien, Finland, USA och Kina, och ett högt specialiserat försäljnings- och service-nätverk i över 80 länder.

Återförsäljare för Prima Power i Sverige är Din Maskin i Värnamo.

### Om Din Maskin

Din Maskin är en av Sveriges ledande företag på försäljning av nya och begagnade avancerade maskiner och system för plåtbearbetning. Marknaden är Sverige och Norge. Utöver det tillhandahåller man även resurser för installation, utbildning, förebyggande och avhjälpande underhåll samt reservdelar till hela produktprogrammet. Din Maskin har idag 52 anställda.

# Högklassig tysk laserkonferens med flera internationella inslag

Johnny K Larsson,  
Autokropolis Engineering  
(f.d. Volvo Cars)

Sedan ett antal år tillbaka arrangerar Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff- und Strahltechnik] ett internationellt lasersymposium i Dresden. Arrangemanget går av stapeln vartannat år, och i februari i år var det dags för över 420 laserintressenter att träffas för att få oss till livs de senaste innovationerna i branschen. Detta tvådagarssymposium föregås av några kurser för ”lasernybörjare” samt ett kvällsarrangemang i IWS’ lokaler med handgripliga presentationer av de forskningsprojekt som för tillfället genomförs vid institutets applikationslaboratorium. Själva symposiet är sedan förlagt till ICC [International Congress Center], vilket ligger i anslutning till hotell Maritim där merparten av delegaterna var inkvarterade.

Vi hälsades välkomna till symposiet av professor Eckard Beyer [Fig. 1], som är institutionsföreståndare för IWS, och han inledde med att tacka evenemangets många sponsorer. Vidare anknöt han i sitt inledningsanförande till den aktuella flyktingsituationen i Europa och inte minst i Tyskland, och menade att IWS på sitt



sätt försöker lindra situationen för dessa människor. I ett delvis känslomässigt tal kunde han konstatera att IWS redan har anställt 10 personer med denna flyktingbakgrund. I vanlig ordning begåvades vi därpå med lite underhållning, denna gång i form av en intressant jonglör.

Därefter var det dags att inleda plenarsessionen som innehöll flera intressanta föredragshållare. Först ut var Dr. Qitao Lue från Han’s Laser i Kina som gav en bred exposé över laserutvecklingen i landet. Personligen har denne gentleman en bakgrund som anställd vid Coherent och som forskare vid BLZ [Bayerisches LaserZentrum] i Erlangen. Nu berättade han om lasertrender i Kina under den senaste tioårsperioden. 2010 lanserades ett stimulanspaket på 600 miljarder US-dollar för att säkra tillväxten beträffande laserutrustningar, och ett annat stort kliv togs 2014 då efterfrågan på fiberbaserade system, inte minst från smartphoneindustrin, exploderade.



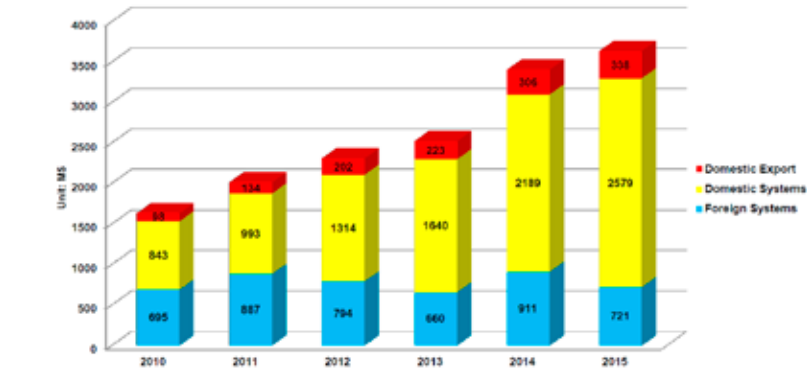
Figur 1. Gemytliga professor Eckard Beyer hälsade oss välkomna genom ett känslomässigt inledningsanförande, varpå delegaterna underhölls av en laserinspirerad jonglör.



2015 representerade den inhemska tillverkningen och marknaden för laserkällor och lasersystem 2.579 miljoner USD. Importen av motsvarande produkter utgjorde ett värde på 721 miljoner, medan exporten låg på mer blygsamma 338 miljoner [Fig. 2]. Trenden har varit att CO<sub>2</sub>- och traditionella fastkroppslasrar tappat marknadsandelar till förmån för fiberlasrar, där 43.000 enheter såldes under 2015 varav 37.000 var av typen pulsade lasrar med höga toppeffekter. De största aktörerna i detta produktsortiment är MaxPhotonics, IPG och Raycus. Allt som allt hittar vi 465 (!) lasertillverkande företag i Kina där Han's Laser, som f.ö. grundades 1996, är det särklassigt största med en försäljningsvolym på 700 miljoner USD under 2015. På andra plats kommer HG Laser som hade en omsättning kring 100 miljoner under föregående år. Dr. Lue gav sedan en historisk återblick vilken kan sammanfattas som följer:

- 2002-2006 startade man i Kina med de första märkningsapplikationerna, vilka var märkning av knappar åt beklädnadsindustrin och som huvudsakligen utfördes med CO<sub>2</sub>-lasrar med låg effekt
- 2003-2008 följde märkning av tangentbord för datorer och mobiltelefoner och här använde man företrädesvis diod- eller lampumpade fastkroppslasrar
- 2004-2010 fann lasermarknaden nya avsättningsmöjligheter då läder eller andra mjuka, polymera material skulle märkas eller skäras med CO<sub>2</sub>-lasrar med låg eller medelhög effekt
- 2009-2016 kom det stora genombrottet för industriell laseranvändning i form av olika tillverkningsmetoder vid produktionen av smartphones
- 2010-2016 kom det relativt sena införandet av laserskärning av metaller med CO<sub>2</sub>-, fiber- eller disklasrar
- 2013-2016 har fokus riktats mot bilindustrin och då främst beträffande lasersvetsning av batterier för elektriska fordon som exempelvis Teslas produkter

Numera betraktas laserkällorna mer eller mindre som förbrukningsvaror, vilket visar sig i att kunderna är mindre intresserade av leverantörserfarenhet, produktkvalitet eller eftermarknadssupport, utan enbart fokuserar på låga investeringskostnader och snabb återbetalning. Dr. Lue berättade vidare om den svaga relation som existerar i Kina mellan laserleverantör och slutanvändare, och han efterlyste ett bättre samarbete mellan europeiska leverantörer och kinesiska integratörer då de importerade nyckelkomponenterna utgör en avsevärd



Figur 2. Den inhemska marknaden för laserkällor och -system dominerar i Kina (gult), medan importen, som främst omfattar fiberlasrar med effekter över 1 kW, är av betydligt moderata omfattning (blått).

del av den totala systemkostnaden. Den starka kinesiska ekonomin har medfört avsevärda ökningar av levnadskostnaderna och därmed också ökade lönenivåer vilka gjort att vissa större aktörer på lasermarknaden valt att flytta tillverkningen utomlands och där t.o.m. produktion i Japan kan vara ett billigare alternativ. Avslutningsvis försökte Dr. Lue skåda in i framtiden där han menade att pulsade fiberlasrar kommer att dominera marknaden vad gäller märkning och gravering och överskrida 40.000 sålda enheter per år. Fiberlasrar med hög effekt kommer att ersätta CO<sub>2</sub>-lasrar vid skärning av metaller och börja penetrera applikationer för lasersvetsning. Ultrakortpulsasrar kommer att uppvisa en kraftig tillväxt då det gäller märkning av icke-metaller och mikrobearbetning, och där speciellt diodpumpade fastkroppslasrar med våglängder i UV-området kommer att dominera denna marknad tack vare sin förmånliga prisfall. Vad han däremot såg som negativt var de fortsatt minskade marginalerna vid tillverkning av lasersystem där han förutspådde en nedgång på mellan 10-30% för skärnings- och märkningsinstallationer, och motsvarande 20-40% då det gäller system för svetsning och mikrobearbetning. Den totala omsättningen för laserkällor och -system kan t.o.m. förväntas gå ner under 2016, varför det kan vara meningsfullt för de olika aktörerna att satsa på segmenterade marknader och nisch-produkter. Med detta sagt kan vi nog förvänta oss att kinesiska lasertillverkare kommer att ta marknadsandelar främst inom områden som pulsade fiberlasrar med medelhög effekt, och man bedriver numera en ganska aggressiv marknadsföring i Europa i form av olika "joint ventures", vilket framgår om man exempelvis besöker en websida som [www.baubly.de](http://www.baubly.de).

Det var tvära kast mellan olika teman under plenar-sessionen, och nästa talare var Dr. Clara J Saraceno, en av professor Ursula Kellers [se LaserNytt 1-2014] medarbetare vid ETH [Eidgenössische Technische Hochschule] Zürich. Hennes tema var UKP [UltraKurzPuls] -lasrar med hög effekt, där pulslängderna kryper ner mot pf-, fs-domänerna med effekttoppar i MW- och GW-regionerna! Idag är det främst vid mikrobearbetning som dessa lasertyper kommer till användning, och ett område handlade om att skapa funktionella ytor och modifiera ytstrukturer genom s.k. kall ablation där de extremt korta pulserna innebär att materialet förångas innan det hinner smälta. Ett annat stort användningsområde för UKP-tekniken finner vi inom biomedicinsk bildanalys. "Arbetshesten" bland dessa lasrar är av Ti-safirtyp med våglängd kring 1 µm där utvecklingen mot högre pulsfrekvenser löses med hjälp av förstärkare medan oscillatorer möjliggör den högre pulsenergin. Då den momentana värmebelastningen på de enskilda komponenterna blir hög krävs en god avkyllning varför fiber-, disk- eller "slab"-lasrar är att rekommendera. Dr. Saraceno illustrerade detta med några resultat från experiment där en Innoslab-laser tjänstgjorde som förstärkare av den tillförda laserenergin, och där man med 1,1 kW medeleffekt utvann 55 µJ ur de enskilda laserpulserna, vilka var 615 ps långa vid 20 MHz pulsfrekvens [Fig. 3]. En annan uppställning, med 1,5 kW medeleffekt och 710 fs-pulser, var en "hybrid"-lösning där en Innoslab-förstärkare kombinerats med en disk-"booster" från Trumpf. Ett ytterligare sätt att optimera laserkällan genom en ganska elegant lösning är att använda en disk med s.k. modelocked oscillator för att på så sätt undvika behovet av en förstärkare.

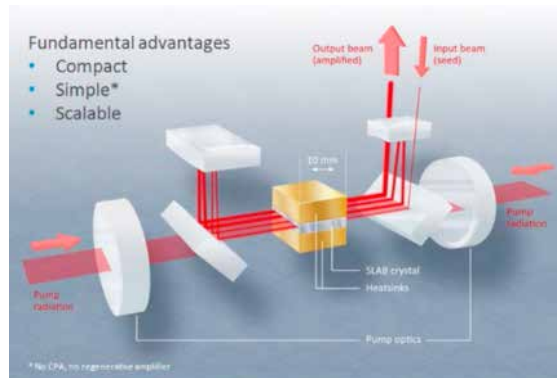
Därefter uppehöll sig Dr. Saraceno med att beskriva ETH:s ”specialitet”, det s.k. SESAM-konceptet, vilket skall uttolkas som Semiconductor Saturable Absorber Mirror för passiv ”modelocking”. Här höjs tröskelvärdena för skador som går att härleda till extrem värmetillförsel vid höga effektnivåer då skalbarheten till dessa sker genom att råstrålens diameter ökas. Men även traditionella disklasrar har visat sig vara lämpliga för ”modelocking” och Trumpf har demonstrerat en 4 kW Yb:YAG-laser med strålkvaliteten  $M2 = 1,4$  där pulsenergin är skalbar upp till mJ-nivå, dock undersöks samtidigt alternativa aktiva media som Yb:CALGO och Yb:sesquioxider. Att bygga in laserresonatoren i en vakuum-kammare har visat sig ge en högre topp effekt jämfört med traditionellt ”multi-pass”-förfarande [Fig. 4]. Och det är inte bara beträffande själva laserkällans komponenter som en god avkyling krävs vid UKP-bearbetning utan även distributionsfibrerna måste kunna motstå deformationer så att strålkvaliteten inte försämras. Här visade Dr. Saraceno på s.k. Kagome-fibrer vilka är uppbyggda med ett ”bikake”-tvärsnitt. Avslutningsvis konstaterade hon att trenden för ultrasnabba högeffekt-lasrar går mot ännu korta pulstider och andra våglängdsområden och där laserkällorna kombineras med icke-linjära optiker baserade på kompakta och mode-lästa oscillatorer.

Det är alltid intressant att lyssna på Dr. Christoph Ullmann, grundaren av DILAS och sedan 1997 VD för framgångsrika företaget Laserline, när han ”lägger ut texten” kring de direktverkande diodlasrarna. Denna lasertyp har blivit synnerligen konkurrenskraftig då prislappen minskat samtidigt som källornas effekt, livslängd och tillförlitlighet ökat. Sålunda har prisbilden minskat med 60% och storleken med 80% [Fig. 5], vilket betyder en volym på 20 l/kW för dagens diodlasrar, under den senaste tioårsperioden. Idag erbjuder Laserline sin sjätte generation av direktverkande diodlasrar, s.k. VG6, vilken bl.a. innefattar en 50 kW enhet med 200 mm\*mrad i strålkvalitet, men i produktsortimentet ingår också de s.k. konverterade diodlasrarna, vilka kan sägas vara en maskerad form av fiberlasrar, på 4 och 6 kW cw-effekt och strålkvaliteter på 4 respektive 8 mm\*mrad.

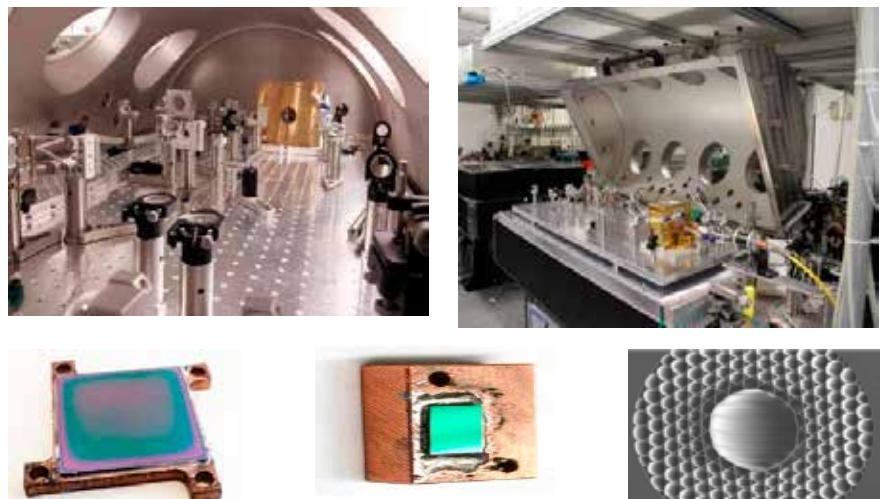
Dr. Ullmanns presentation innehöll ett flertal applikationsexempel [Fig. 6] kring bl.a. additiv tillverkning och laserpåläggning med 3 kW effekt och det hos IWS utvecklade CoaxPowerline-verktyget. Andra exempel var hämtade från laser-

lödningens värld och illustrerades med taktlödning på Audi Q5-modellen samt OR-spot-konceptet som presenterats på EALA tidigare under året, och som även går under benämningen trifokallödning. Med en 1,5\*1,5 mm stor fokalfunkt smältes tillsatstråden, medan två mindre cirkulära foki lokalt rengör den varmförzinkade ytan för att på så sätt få ett visuellt tilltalande utseende på lödfogen. Även aluminiumsvetsning adresserades och detta exemplifierades med fjärrlasersvetsning av Audi A8-modellens sidodörrar, en

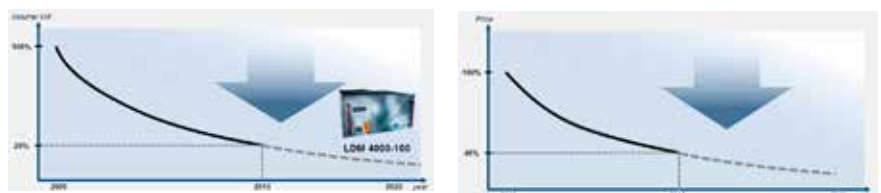
tekniklösning som introducerades redan 2014. Genom att styra svetsprocessen mot partiell penetration kan värmetillförseln minskas med 47% samtidigt som det minskade energibehovet innebär en 90%-ig driftskostnadsbesparing. Även cykeltiden reduceras med 50% jämfört med ett upplägg med taktill lasersvetsning. Slutligen meddelade Dr. Ullmann att man levererat 25 stycken laserkällor av typen LDF 6000-40 för lasersvetsning av s.k. skarvade ämnen till bilindustrin.



Figur 3. Principen där en Innoslab-laser används som förstärkare av tillförd laserenergi. Med ett sådant angreppssätt har man vid ETH-laboratoriet påvisat att det går att utvinna 55 µJ ur de 615 fs långa laserpulserna vid 1,1 kW medeleffekt.



Figur 4. Överst är laserresonatör inbyggd i en vakuum-kammare i ETH:s laboratorium ger högsta topp effekten vid UKP-bearbetning, och ovan några viktiga komponenter för dylika lasertyper; två stycken SESAM-speglar samt ett tvärsnitt genom en s.k. Kagome-fiber.



Figur 5. Såväl volym som prisbild för direktverkande diodlasrar har drastiskt minskats under den senaste tioårsperioden; en tendens som förväntas bestå även framöver.

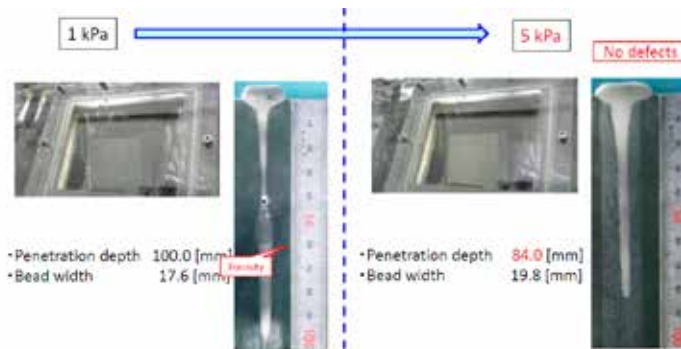


Figur 6. Några exempel på diodlaseranvändning; fr.v. additiv tillverkning hos DMG Mori, påläggning för ökat slit- och korrosionsmotstånd hos WFL och ämnesskarvning hos ArcelorMittal.

Plenar-sessionen avslutades av gamle bekantingen professor Seiji Katayama från JWRI [Joining and Welding Research Institute] vid Osaka University. Han redogjorde till en början för den 100 kW fiberlaser som sedan en tid tillbaka finns installerad vid Nadex Research Centre i Tsunuga. Vad man initialt forskat kring där är hur man skall utforma optiker som kan klara den höga energibelastning som de utsätts för vid bearbetning med denna källa som har en våglängd på 1,07  $\mu\text{m}$ . Experiment hade utförts på 70 mm tjockt SUS 304-material som kunde stumsvetsas med en enda passage från vardera sidan vid utnyttjande av den fulla lasereffekten [Fig. 7]. Svets hastigheten låg på 2 m/min och den använda skyddsgasen var kvävgas, men man kunde konstatera en kraftig förekomst av svets sprut. För att minimera detta hade svets hastigheten sänkts, men då fick man istället sprickor i svetsgodset. Därför hade fortsatt provning skett under reducerat lufttryck, en teknik som vi hört professor Katayama torgföra vid ett flertal tillfällen. Mycket riktigt eliminerades svets sprut då svetsningen skedde under 0,1 kPa tryck, men detta ledde samtidigt till en ökad pormängd vid höga lasereffekter. Genom att variera lufttrycket hade man kommit fram till att 5 kPa representerade något av ett optimum [Fig. 8].



Figur 7. Stumsvetsning av 70 mm tjockt SUS 304-material med 100 kW lasereffekt och två motstående svetssträngar klaras med en processhastighet av 2 m/min.



Figur 8. Vid lasersvetsning under reducerat lufttryck kan man få extrema djup/breddförhållanden hos svetsgodset. För att undvika porbildning tycks 5 kPa vara ett optimum även om visst avkall får göras på penetrationsdjupet. Använda svetsparametrar i det aktuella fallet var; 50 kW effekt, överhastighet 0,3 m/min, fokuspunktsplacering -30 mm och Nitrogen som skyddsgas.

### Lasersvetsning av allehanda material

Svets sessionen leddes inledningsvis av Dr. Jens Standfuß och från IWS och bjöd på en hel del intressant information. Förste talare var Dr. Andreas Mootz från EMAG Automation GmbH, vars föredrag handlade om lasersvetsning av drivlinekomponenter till bilindustrin. Därför var det naturligt att han började med att beskriva de miljömässiga förutsättningar och trender som gäller för dessa produkter. Således får kraven för tillåtna CO<sub>2</sub>-utsläpp stor betydelse för konstruktionens utformning, och nivåerna för år 2020 är satta till 95 (i Europa), 105 (i Japan) och 117 (i Kina) g CO<sub>2</sub> per kilometer. I USA kommer ett liknande krav på 109 g CO<sub>2</sub>-utsläpp att gälla från 2025. Eftersom kraven gäller



Figur 9. Några exempel på lasersvetsade transmissionskomponenter åt Audi och Mercedes; kugghjul, planetväxlar, kopplingar samt differentialväxlar och -axlar.

för bilföretagens sammanlagda produktportfölj kan vi förvänta oss att se en större satsning på s.k. hybridvarianter och rena elbilar. Enligt en prognos framtagen av mediaföretaget Schaeffler AG pekar denna på en ökning från dagens cirka 0,2% elbilar och 2,4% hybrider till 1% resp. 19% år 2020 och 9% resp. 35% år 2030. Här kommer lasersvetsning att bli en nyckel-teknik för att åstadkomma miljövänliga drivlinekomponenter, vilket illustrerades med såväl Audis 7-steps AWD [All-Wheel Drive] dubbelkopplingstransmission samt ett liknande drivlinepaket med beteckningen 7G-FDCT för Mercedes' A- och B-Klasse-modeller [Fig. 9]. För de senare växellådorna har EMAG installerat en unik produktionscell med beteckningen ELC160 och i denna utförs 8 lasersvetsar på kugghjul, 7 svetsar på kopplingen och en svets på differentialen.

Fr.o.m. 2010 kan man säga att fastkroppslasrarna har tagit över denna typ av svetsuppgifter från CO<sub>2</sub>-lasern, och här gjorde Dr. Mootz några intressanta jämförelser mellan CO<sub>2</sub>- och fiberlaser. Den senare innebär lägre energiförbrukning, inget behov av skyddsgas, och ett snabbare svetsförlopp vilket medför bättre dimensionsstabilitet och lägre driftskostnader [Fig. 10, Tab. 1]. Innan svetsningen rengörs detaljerna, också med hjälp av laser, för att därigenom minimera förekomsten av svetssprut. Till sist visade han på en komplett produktionslinje för tillverkning av ett soldrev vilken omfattade laserrengöring, sammansättning, svetsning och efterföljande kvalitetskontroll med hjälp av ultraljudsprovning.

Att svetsa i aluminiumgjutgods är en verklig utmaning för de flesta svetsmetoder, så också för laser, och Henrik Freydank från företaget Finow Automotive GmbH i Eberswalde presenterade ett intressant praktikkfall i ämnet. Företaget som ligger i närheten av Berlin har 140 medarbetare och grundades 1999. Man har lång erfarenhet av laserbearbetning och några ”milstolpar” beträffande laser-maskiner ser ut så här:

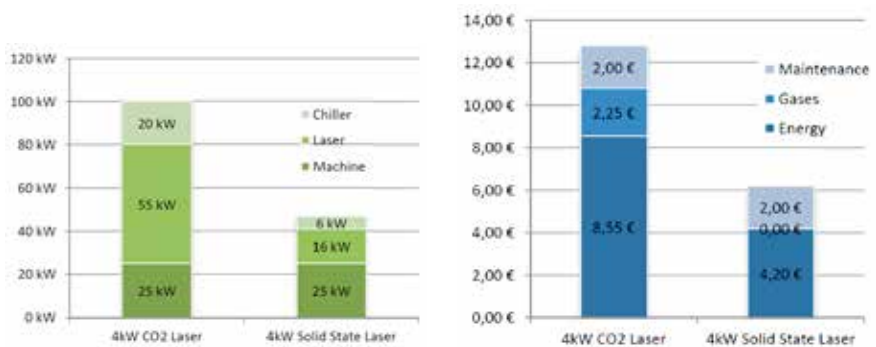
- 2002 installerades den första lasern, en TLC1005 koldioxidlaser med 2 kW effekt avsedd för laserskärning
- 2008-2009 introducerade man rörsvetsning med en ”soutube”-linje som betjänades av såväl Nd:YAG- som disklasrar i effektomfånget 4-5 kW
- 2012 utökades maskinparken med hela fem stycken TLC7040 med 3 kW disklasrar för tredimensionell skärning

- 2014 investerade man i en 1 kW SM [Single Mode] fiberlaser försedd med ett ”scanner”-verktyg avsedd för den ovan nämnda applikationen
- 2015 finns en TLC8030 med 3 kW disklasrar på plats för tredimensionell skärning av presshårdade artiklar

Praktikkfallet utgjordes av ett kylrör som består av ett aluminiumrör som är kopplat till en pressgjuten aluminiumplatta. Krav finns att produkten skall vara gastät och klara ett tryck på minst 2,5 bar, samt vara temperaturresistent upp till 150 °C. Konventionell lasersvetsning resulterade i porer och blåsbildning varför täthetskravet inte gick att uppfylla, och en lösning med lim klarade inte höga temperaturer eller vibrationer. Andra laseralternativ som pulsning eller ”twin-spot” förbättrade inte heller svetskvaliteten, varpå man hade vänt sig till IWS för hjälp. Lösningen blev högfrekvent pendling (> 1 kHz) av laserstrålen i ett elliptiskt mönster, vilket resulterade i porfria och gastäta svetsar

samt en hög processtabilitet [Fig. 11]. Därmed kunde man starta volymproduktion i februari 2015 och har under ett år nu levererat 30.000 av dessa kylrör med en skrotningsandel under 2%. Produkten har förutom svetsen mellan rör och platta ytterligare en svets där röret förbinds med en ändhylsa där båda detaljerna är tillverkade av en 5000-legering. ”Scanner”-verktyget är fixerat och man roterar komponenten.

Under några år har vi haft möjlighet att lyssna på föredrag av Dr. Dirk Dittrich [Fraunhofer IWS] och hans försök med lasersvetsning av grovplåt. Drivkraften för att ersätta gasmetallbågs svetsning eller pulverbågs svetsning med laser är att de förstnämnda metoderna kräver omfattande och tidskrävande fogberedning samt att mängden tillsatsmaterial kan uppgå till så mycket som 30 kg/tim. Andra negativa aspekter är att det oftast krävs förvärmning av arbetsstyckena samt att den höga värmeledningen i materialen skapar breda värmepåverkade zoner och kraftiga



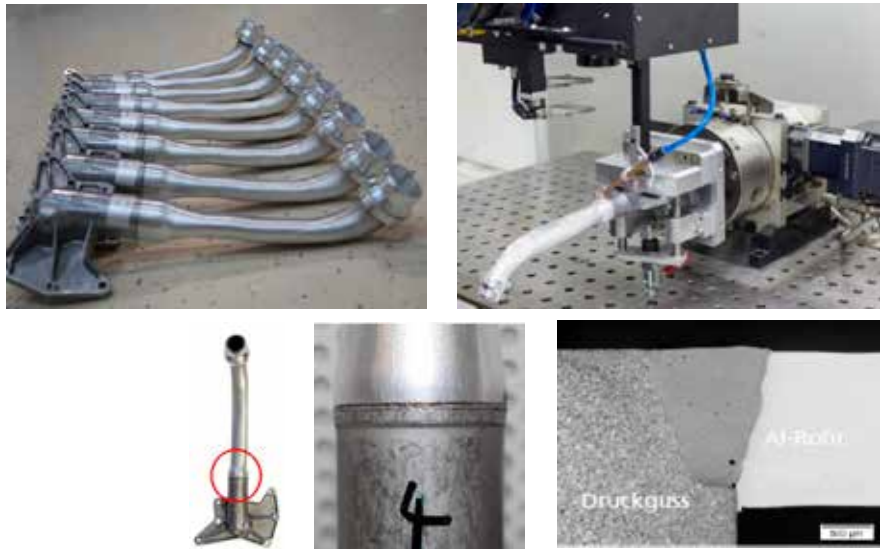
Figur 10. Vid en jämförelse av energiförbrukning och driftskostnader mellan CO<sub>2</sub>- och fiberlaser vid svetsning, pekar det mesta till fördel för den senare lasertypen.

Tabell 1. Jämförelse mellan CO<sub>2</sub>- och fiberlaser vid svetsning av transmissionskugghjul.

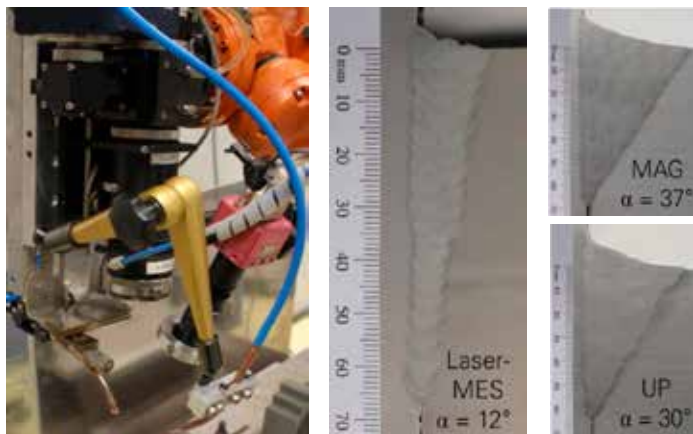
	CO <sub>2</sub> -laser	Fiberlaser
Maximal lasereffekt	2.700 W	3.100 W
Svets hastighet (häftning)	7.000 mm/min	10.000 mm/min
Svets hastighet (färdigsvets)	2.100 mm/min	3.700 mm/min
Skyddsgas	Lasgon C	Ingen
Cykeltid	5,2 sekunder	3,8 sekunder

förvridningar som i sin tur kräver omfattande riktningarbeten. Den här gången redogjorde han för försök utförda med en 10 kW diodlaser från Laserline med beteckningen LDF-10.000. Strålkvalitén för denna laserkälla ligger strax under 100 mm\*mrad och stråldistributionen hade skett via en 1.500 µm grov optisk fiber. Fokallängden var 200 mm vilket gav en fokuspunktsdiameter kring 3 mm. Tillsatstråden hade en diameter på 1,6 mm och matades med en hastighet mellan 5-7 m/min vid motsvarande svets hastigheter. Med en 12 °-ig fasvinkel på fogberedningen, vilken hade utförts med plasmaskärning, kunde deponeringsmängden begränsas till 5 kg/tim [Fig. 12]. För att stumsvetsa 60 mm grova plåtar [Tab. 2] krävdes 35 svetssträngar som lades med en sträckenergi kring 8 kJ/cm, och svetskvaliteten var genomgående klassificerad som "B" enligt ISO 13919-1, vilket innebar att svetsarna bl.a. var fria från sprickor och bindfel.

Lasersvetsning av aluminium/kopparförbindningar vid tillverkning av bilbatterier är ett "hett" ämnesområde just nu, och här kunde vi lyssna till diplomingenjören Christoph Bantel från Robert Bosch GmbH när han berättade om de svårigheter man stöter på. Vid svetsning av så artolika material som aluminium och koppar är det ofrånkomligt att det uppstår spröda intermetalliska faser i bindzonen varför det gäller att göra dessa IMC [InterMetallic Compound] så tunna som möjligt. XRD [X-Ray Diffraction] -analys hade gjorts av fogarna och man kunde då särskilja theta-, gamma-, delta- och alpha-faser från varandra och konstaterade att gammafaserna [Al<sub>4</sub>Cu<sub>9</sub>] var de hårdaste. De kopparrika faserna är de mest spröda och därför är det gynnsamt att vid stumsvetsning av materialen positionera laserstrålen på aluminiumet [Fig. 13]. Samma resonemang gäller vid överlappsfogar där man bör sträva efter att låta laserstrålen falla in mot aluminiumsidan. Hög svets hastighet visade sig öka hållfastheten och minska µ-hårdheten, och vid jämförande utmattningsprovning presterade Al/Cu-fogarna bättre än motsvarande Al/Al-provstavar men sämre än Cu/Cu-dito. Genom inblandning av silverpartiklar, i form av en 0,1 mm tunn folie, får man bättre homogenitet i svetsgodset och en finare gamma/delta-fas, något som visar sig i form av ökad slagseghet i fogen [Fig. 14]. All lasersvetsning hade utförts med en 4 kW fiberlaser och en 50 µm stor fokuspunkt.



Figur 11. Genom att oscillera laserstrålen i ett elliptiskt mönster har företaget Finow Automotive GmbH kunnat svetsa ett aluminiumrör till en pressgjuten aluminiumplatta med ett minimum av porförekomst i svetsgodset. Komponenten roteras under det fixerade "scanner"-verktyget (ovan/t.h.) och årsproduktionen ligger kring 30.000 artiklar.



Figur 12. Då fasvinkeln vid fogberedning av grovplåt för lasersvetsning kan göras betydligt brantare jämfört med gasmetallbågs svetsning (MAG) och pulverbågs svetsning (UP) blir förbrukningen av tillsatsmaterial avsevärt mindre. Längst t.v. en översikt över den försöksuppställning, baserad på en 10 kW diodlaser, som hade använts vid svetsförsöken.

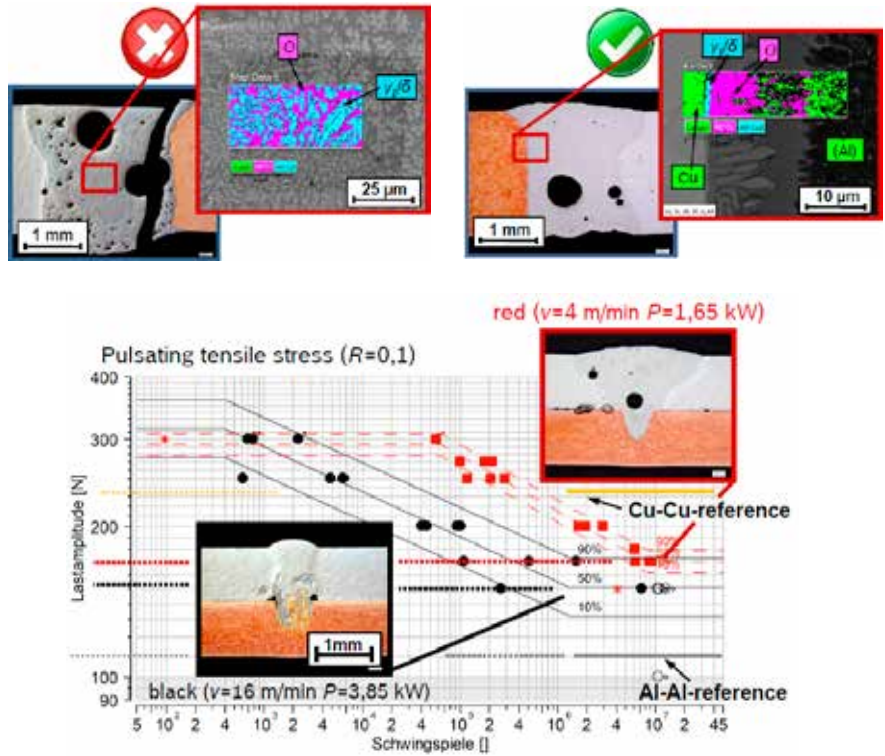
Tabell 2. Jämförelsedata för stumsvetsning av 60 mm tjockt konstruktionsstål

	MPNG* Diodlasersvetsning	Gasmetall- bågs svetsning	Pulver- bågs svetsning
Fogberedning [°]	< 15	< 40	< 35
Svetstvärnsnitt [mm <sup>2</sup> ]	430	1.500	1.250
Antal strängar	35	53	14
Svetstid [min/m]	46	121	30
Sträckenergi [kJ/cm]	8	20	40
Effekt	10 (kW)	400 / 38 (A / V)	1.000 / 37 (A / V)
Deponeringshastighet [kg/tim]	5	9	27

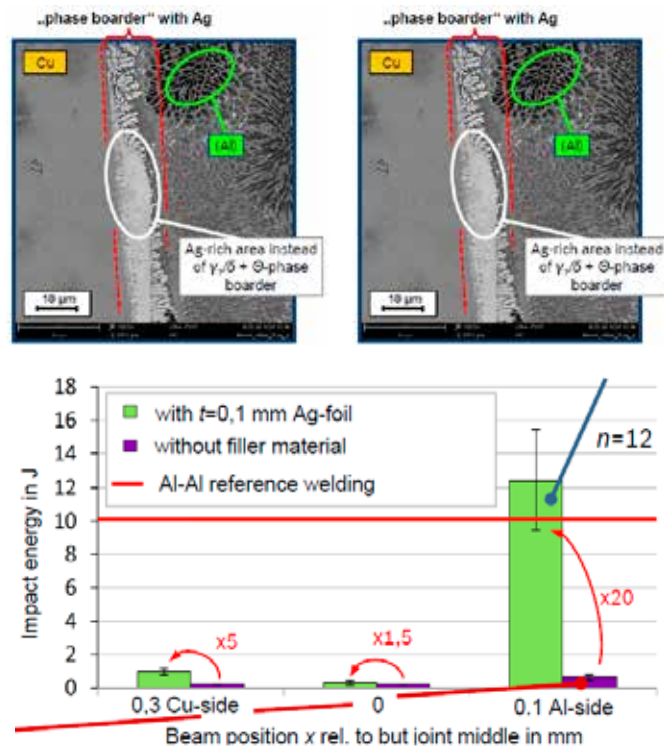
\*) Multi-Pass Narrow Gap

**Intresset för laserskärning tycks bestå**

Gamle bekantingen Dr. Paul Hilton från TWI [The Welding Institute] i Abington utanför Cambridge höll i trådarna till den dedikerade sessionen rörande laserskärning, och välartikulerade Paul bad oss lägga på minnet att nästa år [2017] kan vi fira 50 års-jubileum då det gäller gasunderstödd laserskärning. Första talare i sessionen var Dr. Barbara Previtali som vi nu lärt känna från både LiM [Lasers in Manufacturing] i München och ICALEO [International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics] i Atlanta, där hon tidigare presenterat sina jämförelser mellan olika laserkällor. Nu redogjorde hon för skärförsök genomförda med en 2 kW diodlaser av märket TeraBlade från TeraDiode med en våglängd på 970 nm, strålkvalitén 3,9 mm\*mrad och en 100 µm grov distributionsfiber. Resultaten hade ställts i relation till dem som erhållits vid skärning med en CO<sub>2</sub>-slablaser från RofinSinar [DC045-2000 W] och en YLS-2000 W fiberlaser från IPG. I samtliga försök hade Precitecs skärverktyg HP-SSL använts. Man hade registrerat den maximala skärhastigheten [Tab. 3] vid bearbetning av konstruktionsstålet S235JR i tjocklekar mellan 2-15 mm, rostfritt AISI304-material och aluminium AA5754 i tjocklekar mellan 2-6 mm, samt 2-3 mm tjocka plåtar i koppar Cu-110 och mässing C464. Resultaten indikerade att upp till 15 mm tjockt S235JR skar man lika snabbt med diod- som fiberlasern, medan ”slab”-lasern gav den bästa snittkvalitén i termer av vinkelriktighet [Tab. 3] enligt ISO 9013:2002, följd av diod- och fiberlasern. Det rostfria och aluminiummaterialet skars lika snabbt med diodlaser som med fiberlasern, medan CO<sub>2</sub>-lasern inte nådde upp till samma hastigheter. Beträffande lättviktsmaterialen koppar och mässing skar diodlasern snabbast med fiberlasern som god tvåa, medan snittkvalitén var likvärdig. Det resultat som Dr. Previtali hade svårast att ge en rimlig förklaring till gällde laserskärning av AA5754 där diodlasern gav den klart sämsta snittkvalitén och ”slab”-lasern den bästa! Även då det gäller skärning i tjockare material, som exempelvis 15 mm S235JR, lämnar diodlasern en del övrigt att önska då det gäller kvalitén. Det är framförallt i snittytnas övre del som man får räfflor, men detta fenomen hoppades Dr. Previtali komma till rätta med i fortsatta försök som hon avsåg att genomföra med en 4 kW diodlaser, och där även undersöka effekterna av olika strålfiler.



Figur 13. Laserstrålens positionering vid stumsvetsning av Al/Cu-kombinationer är av stor betydelse för hållfastheten. För att minimera inverkan av spröda kopparrika faser bör strålen positioneras några mm in på aluminiumsidan. T.h. olika kombinationers utmattningssegenskaper.



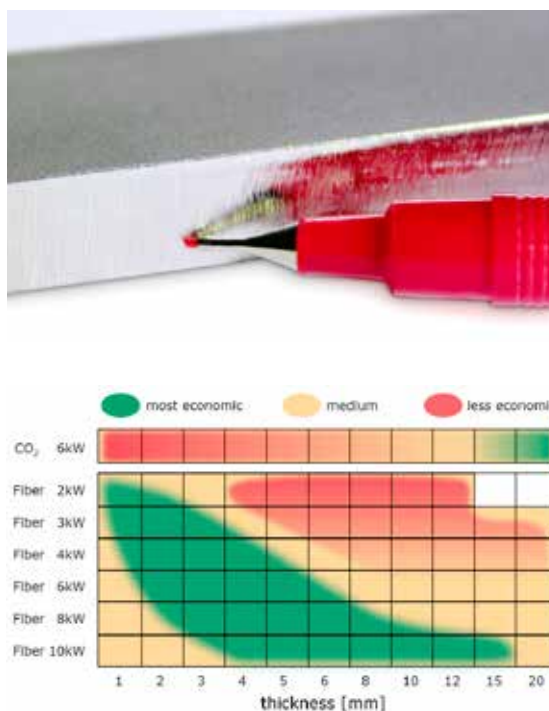
Figur 14. Ett annat sätt att komma till rätta med spröda kopparrika AlxCu<sub>y</sub>-faser är att via en 0,1 mm folie blanda in silverpartiklar i svetsgodset, något som ger en förfinad kornstruktur och därmed bättre slagseghet vid pendelslag med 8 m/sek (närmast ovan).

Oliver Bühler från Bystronic Laser AG berättade om fiberlaserskäring med 10 kW effekt, där det fortfarande är möjligt att använda sig av transmissiva optiker. Rostfritt material upp till 30 mm tjocklek hade skurits med nitrogen. Vid så här höga effekter är det viktigt att minimera effekten av fokalpunktsförskjutning, vilket man kan göra med adaptiva optiker och därmed arbeta med antingen en liten fokuspunkt och kort Rayleigh-längd eller en större brännpunkt med stort skärpedjup. Sälunda hade man erhållit högkvalitativa skärkanter i 10 mm tjockt rostfritt material [Fig. 15], och Herrn Bühler menade att i och med tillgången till högre effekter för 1 μm-våglängden kommer sådana laserkällor att utkonkurrera CO<sub>2</sub>-lasern även då det gäller laserskäring av grovplåt. Dr. Thomas Rügenapp från företaget Kjellberg Finsterwede redogjorde för en intressant jämförelse mellan laser- och plasmaskärning. Två plasmautrustningar hade jämförts gentemot laserskäring med en 5 kW fastkroppslaser. Vanlig plasmaskärning sker genom att en elektriskt genererad ljusbåge får passera genom ett munstycke vilket garanterar en koncentrerad båge med hög energiintensitet, cirka 2·10<sup>6</sup> W/cm<sup>2</sup>. Samtidigt tillförs en plasma-gas genom munstycket, vilken hjälper till att smälta och driva ut materialet ur skärspalten. En variant är finplasmaskärning, där Kjellberg Finsterwedes produktserie kallas ”HiFocus”. Här koncentreras ljusbågen ytterligare genom att en sekundär processgas flödar genom munstycket. Jämfört med vanlig plasmaskärning kan man med ”HiFocus”-produkterna skära mindre och finare konturer samtidigt som man erhåller en smalare skärspalt utan grader. Två material hade använts i studien, mjukt kolstål [1.0037] och

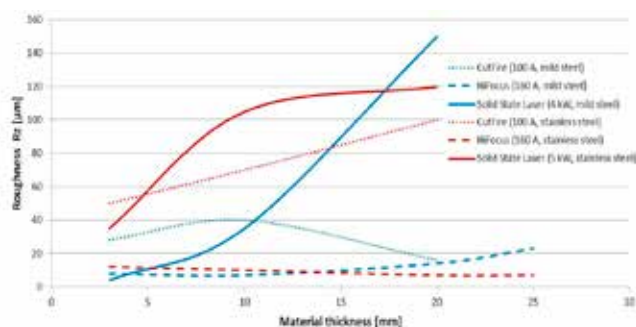
Tabell 3.

En jämförelse av skärhastighet och snittkantens vinkelriktighet för tre olika typer av laserkälla, alla med en maximal effekt på 2 kW.

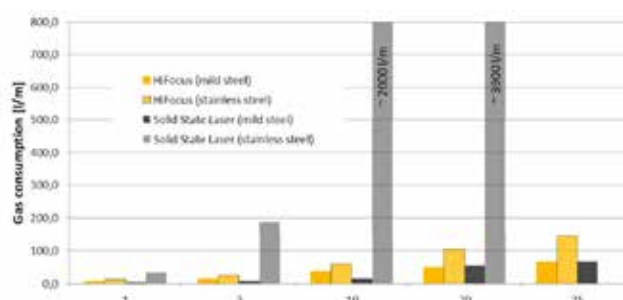
Material	Tjocklek [mm]	Skärhastighet [m/min]			Vinkelriktighet [°]		
		Diod-laser	Fiber-laser	CO <sub>2</sub> -laser	Diod-laser	Fiber-laser	CO <sub>2</sub> -laser
235 JR	2 / 15	6,5 / 1,0	6,5 / 0,8	5,5 / 0,8	0,15	0,05 / 0,4	0,05 / 0,15
AISI304	2 / 6	12,0 / 1,5	11,5 / 1,4	4,8 / 0,8	0,05 / 0,15	0,15 / 0,4	0,05 / 0,15
AA5754	2 / 6	9,5 / 1,3	8,5 / 1,1	3,2 / 0,6	0,15	0,05 / 0,15	0,05 / 0,4
Cu-110	2 / 3	7,0 / 1,7	4,5 / 1,5	-	0,05	0,05	-
C464	2 / 3	7,5 / 4,5	5,5 / 3,0	-	0,05	0,15	-



Figur 15. Överst ett fantastiskt skärnsnitt i 10 mm rostfritt stål utförd med en 10 kW fiberlaser, och närmast ovan ser vi hur Bystronic bedömer ekonomin vid skärning i olika plättjocklekar för fiber- resp. CO<sub>2</sub>-laser (grönt mest och rött minst ekonomiskt).



Figur 16a. Snittkantens ytjämnhet vid skärning av olika plättjocklekar med plasma, finplasma och fastkroppslaser.



Figur 16b. Laserskäring av tjockt rostfritt material är föga ekonomiskt då gasförbrukningen ökar dramatiskt.

rostfritt [1.4301] i tjocklekar mellan 3-25 mm. I kolstål kan lasern matcha plasmaskärning vad gäller snittkvalitet upp till 10 mm, men i det rostfria materialet fick man alltid en grövre yta vid laserskärning [Fig. 16a], något som det dock kan komma till rätta med genom att använda Trumpfs speciella "BrightLine"-fiber. Man hade även tittat på produktionskostnaderna mellan de olika metoderna, och här "springer" kostnaderna iväg för lasern i fallet med rostfritt då gasförbrukningen ökar dramatiskt [Fig. 16b].

Dr. Rügenapp sammanfattade jämförelsen med att konstatera att plasmaskärning har ett bredare användningsområde och kan i fallet med finplasma även ge mycket god snittkvalitet även vid grövre plåtar. Däremot ger laserskärning de smalaste skärpalterna och mest vinkelräta snittkanterna, medan plasmaskärning tenderar att få mer lutande sådana. Även då det gäller skärning av små hål och finare konturer har lasern uppenbara fördelar [Fig. 17], medan den höga investeringskostnaden och stora gasförbrukningen talar till dess nackdel.

Avslutningsvis menade han att en hybridlösning, där båda metoderna integreras i samma maskin för att på så sätt kunna utnyttja varandras fördelar, kan vara ett tilltalande alternativ [Fig. 18].

### Lasern som ett verktyg för ytmodifiering

Nästa konferenstema handlade om ytmodifiering i alla dess former och här vägledades vi av gamle "trojtjänaren" professor Bernt Brenner från IWS som tjänstgjorde som ordförande. Förste talare var Carsten Spira från Daimler AG som berättade om temperaturkontrollerad laserhårdning av kam- och vevaxlar till företagets Camtronic-växellåda. En av fördelarna med laserhårdning är att metoden är beröringsfri och på så sätt minimerar deformationer under processen. Man bygger in tryckspänningar i komponenterna vilket ökar deras livslängd, samtidigt som ytorna får en hårdhet kring 700-800 Hv. Ett verktyg från Scansonic Scapas®-serie hade används, vilket i princip är en endimensionell "scanner" [Fig. 19], och för att hålla en konstant temperatur kring 1.000 °C under värmebehandlingen varierades framföringshastigheten medan lasereffekten hölls konstant. Man hade undersökt olika spegelvarianter för "scanner"-funktionen såsom en parabolisk spegel från Scansonic, en fasettvariant från IWS, en deformierbar Zernike-spegel samt en "W-formad" variant från Laserline, där de två

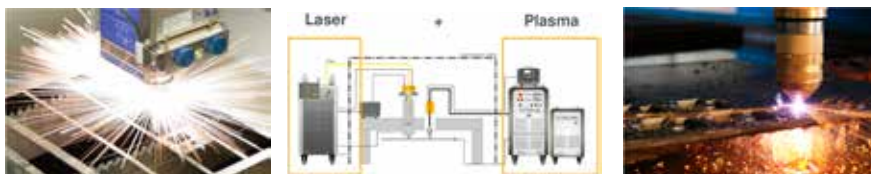
senare var att rekommendera. Fokalpunkten gavs en rektangulär [5'20 mm] eller kvadratisk [20'20 mm] form, och Daimler hade även utvärderat verktyget E-MaQS som med sensorteknik kan reglera lasereffekten under hårdningsprocessen.

Bartłomiej Ścibisz från systemintegratören LaserTec i polska Tychy spann vidare på temat laserhårdning av verktyg och maskinkomponenter. I sitt applikationslaboratorium har man tillgång till Fanuc- och ABB-robotar och laserkällorna utgörs av en 6 kW fiberlaser från IPG och en 4 kW diodlaser från Laserline. Bland övriga

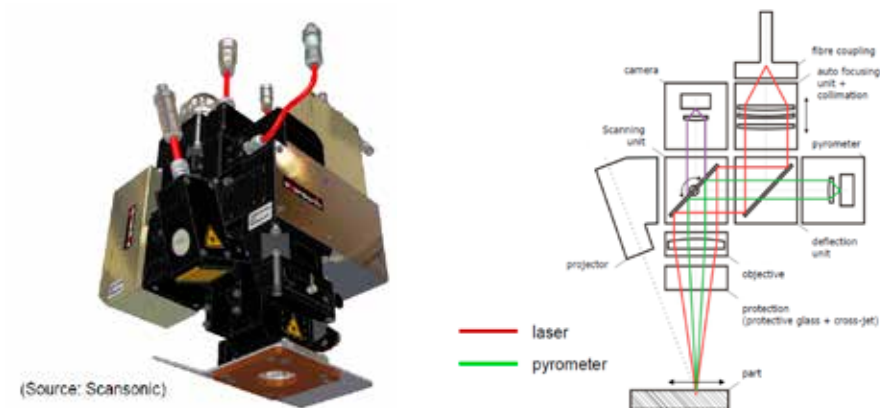
laserverktyg kan nämnas en "zoom"-optik från Laserline kombinerad med IWS' EMAQS-kamera och hårdningsverktyget RLH-A från Scansonic. Laserhårdning hade gjorts av 42CrMo4-material som har en bainitisk mikrostruktur, som vid hårdning omvandlas till martensit ner till, i det är fallet, ett djup kring 1,5 mm. Resultaten hade jämförts med ugn- och induktionshårdade objekt och det gick att konstatera att ythårdheten var jämbördig mellan 58-62 HRC, men laserhårdningen gav 40% mindre kornstorlek och 25% lägre materialförlust jämfört med de båda andra



Figur 17. Laserskärningens stora fördel i jämförelse med plasmatekniken är dess förmåga att skära väldigt små hål. Ovan exemplifieras detta i 10 mm tjockt kolstål (ovan) och rostfritt stål (nedan) med fr. v. plasmaskärning, finplasmaskärning och laserskärning med 4 kW effekt.



Figur 18. Varför inte en hybridlösning där laser- och plasmaskärning kombineras för att dra nytta av de båda metodernas olika fördelar?



Figur 19. I samarbete med Daimler har Scansonic utvecklat ett speciellt verktyg för laserhårdning vilket ingår i den s.k. "Scapacs"-serien av laserverktyg. T.h. ses principupbyggnaden av verktyget med integrerad kamera- och pyrometerövervakning

metoderna [Fig. 20]. Herr Scibisz avslutade sin redogörelse med några praktikfall där ett handlade om härdning av stora pressverktyg med dimensionerna 3,6'2,8 meter och en vikt på 14,5 ton. Mest imponerande var emellertid laserhärdningen av en slagbom med måtten 2,5'0,8'13,0 meter och totalvikten 35 ton [Fig. 21]. Här hade en yta på 17 m<sup>2</sup> härdats vilket tog 54 timmar i anspråk.

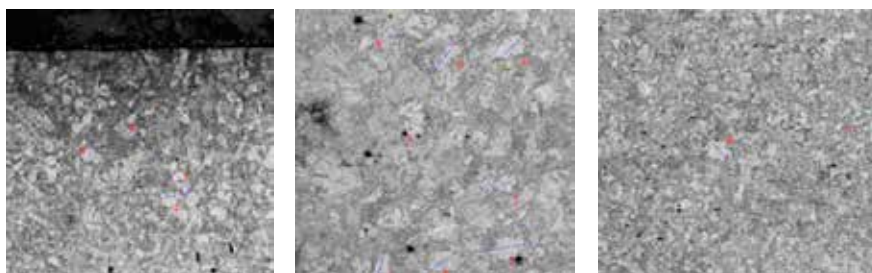
Ett mobilt lasersystem avsett för härdning och påläggning presenterades av Dr. Eckehard Hensel från ALOtech som är ett "spinn-off"-företag från IWS med säte i Dresden. Ett illustrativt exempel på laserhärdningens fördelar gjordes uppenbar då tekniken jämfördes med flambärdning av ett X155CrVMo12-1-material, då härdjupet kan kontrolleras på ett överlägset sätt med den förstnämnda metoden. Annars hade den mobila enheten främst använts vid härdning av svårflyttade objekt och stora pressverktyg till bilindustrin. Enheten kallas AL-ROCK och består av en LDM 2300-100 diodlaser från Laserline med "zoom"-optik som gör att fokuspunkten kan varieras från 5'5 mm till 5'14 mm, samt en Reis' RV 20-16-robot med tillhörande kontroll [Fig. 22]. Bland annat har Daimlerfabriken i Bremen använt sig av denna mobila enhet för att laserhärda pressverktyg. Ett annat praktikfall handlade om härdning av ett stort bockverktyg som hade laserhärdats med 17 spår av en sammanlagd längd av 241 meter och en tillverkningstid på 64 timmar.

S.k. VCSELs [Vertical Cavity Surface Emitting Laser] tycks vara en perfekt laserkälla för olika former av värmebehandling av stora ytor. Kring detta informerade oss Günther Derra från Philips GmbH Photonics med säte i «laserstaden» Aachen. Men den här typen av laser kan också förväntas bli en viktig byggsten i kommande generationer av "smart phones", varför Dr. Derra förutspådde en exponentiell efterfrågan av VCSELs, och då skall man veta att Philips redan idag levererar tio miljoner VCSEL-skivor i månaden! Jag har ju i tidigare artiklar beskrivit hur dessa lasrar är uppbyggda, men en repetition skadar inte. De enskilda halvledarelementen placeras på ett chip som då kan sägas bestå av tusentals mikrolasrar där laserstrålen har en divergens på ± 10°. Ett chip i storleksordningen 2'2 mm består av cirka 2.200 halvledarelement och genererar 7 W lasereffekt. Dessa chips byggs sedan samman i stavar och vidare i moduler på ett liksint sätt som en diodlaser är uppbyggd. Detta gör att effekten kan i princip skalas upp utan någon begräns-

ning och idag finns det högeffektmoduler mellan 2-50 kW tillgängliga på marknaden [Fig. 23]. Våglängderna ligger mellan 808 och 980 nm och har en elektrisk verkningsgrad mellan 35-40%. Dr. Derra visade på resultat från livslängdprov vilka indikerade en förväntad livslängd för ett sådant system kring 30.000 timmar. Den resulterande fokuspunkten kan skräddarsys inte bara till sin storlek utan också vad beträffar temperaturprofilen i densamma. Vidare kan man använda mikrooptiker för att kollimera den av förklarliga skäl strakt divergerande laserstrålen och Dr.

Derra menade att man i framtiden kan nå en energitäthet på över 1.000 W/cm<sup>2</sup> att jämföras med dagens 100 W/cm<sup>2</sup>. Prislappen bedömde han ligga 2-5 gånger lägre jämfört med en standard diodlaser.

Bland de användningsområden som beskrevs kan nämnas lokal mjukgörning av stål från 480 till 200 Hv, metallisering vid solcellstillverkning hos Rehm Thermal Systems, plastsvetsning och svetsning av skum samt utplacering av kolfiberlaminat. Det sista exemplet hade hämtats från möbelindustrin där Philips i samarbete med företaget IMA utvecklat ett verktyg



Figur 20. Vid laserhärdning (t.v.) får man en 40% mindre kornstorlek i materialet jämfört med induktions- eller ugnshärdning (längst t.h.).



Figur 21. Några imponerande applikationsexempel på laserhärdning; överst ett 14,5 ton tungt pressverktyg och närmas ovan; 13 meter långa slagbommar där en yta på 17 m<sup>2</sup> krävde 54 timmars bearbetningstid.

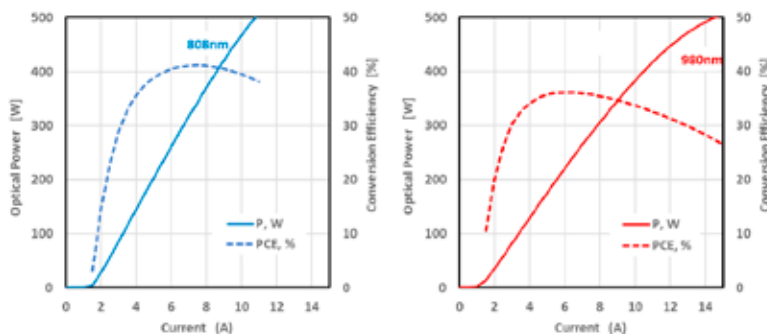
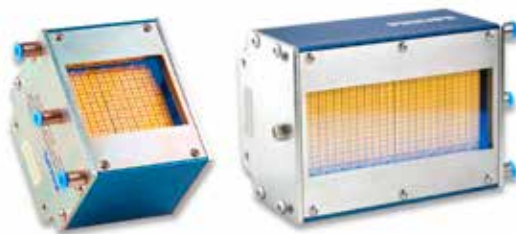


Figur 22. AL-ROCK på väg! Kanske för att laserhärda pressverktyg i Daimlers Bremen-fabrik (ovan).

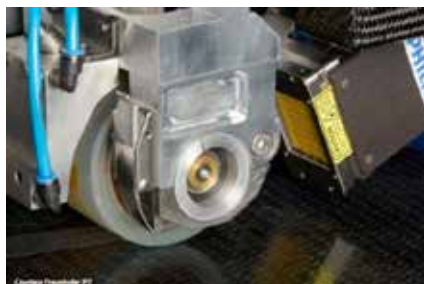
benämnt IMALUX med vilket man kan sömlöst kantförsegla träpaneler [Fig. 24]. Här används VCSELn som ett rent värmelement och processhastigheten ligger kring 15 m/min. Det finns en elektronisk övervakning av värmezoner, omställningstiden mellan olika materialkvaliteter är minimal och processen tycks fungera väl även i en tuff verkstadsmiljö.

Den andra konferensdagen inleddes med två intressanta presentationer under överinseende av Dr. Christoph Leyens från IWS i Dresden. Det första av dessa plenarföredrag genomfördes dessutom "remote" i så måtto att Dr. Tomasso Ghidini från esa [European Space Agency] presenterade via länk från England! Esa-organisationen består av 760 experter från 26 europeiska länder där de representerar 390 företag inom rymdbranschen. Här är additiv tillverkning ett naturligt produktions sätt där man kan tillverka reservdelar på beställning, och där tillverkningen kan ske ute i rymden nära brukaren. Oftast rör det sig om små seriestorlekar av mindre lättviktskomponenter vilka är konstruerade på ett sätt som passar för SLM [Selective Laser Melting] utifrån topologioptimering och "bionic design". Bland praktikfall visade Dr. Ghidini upp världens första 3D-printade brännkammare i platina, en konsol i AlSi10Mg avsedd för reaktionshjul till en satellit, samt en ISCAR-konsol till Ariane-raketer i Ti6Al4V som var 30% lättare jämfört med en maskinbearbetad konsol [Fig. 25]. Framtida forskning kommer att handla om utveckling av nya pulver och spårbarhet av deras komposition, olika former av processövervakning samt att göra SLM-processen maskinoberoende då man idag kan få väldigt olika kvalitetsutfall beroende på vilken utrustning som har använts. Den additiva tillverkningen är bara en del i den avancerade tillverkning som utvecklas hos esa, och för den som vill veta mer om verksamheten kan jag rekommendera ett besök på hemsidan [www.emits.esa.int](http://www.emits.esa.int).

En långväga gäst med lång erfarenhet i laserbranschen är Stan Ream från EWI [Edison Welding Institute] i Columbus, OH. Denne sympatiska gentleman gav en lätttsam tillbakablick över laserutvecklingen i USA där företag som Sciacky och UTRC [United Technologies Research Centre] var något av pionjärer under 1970-talet. Sålunda lanserade UTRC en CO<sub>2</sub>-laser med 90 kW effekt med vilken man kunde stumsvetsa 38 mm tjock stålplåt med den då svindlande hastigheten av 3 m/min. Däremot dröjde det innan bilindustrin fann sig vara mogen att



Figur 23. Idag finns högeffektmoduler på upp till 50 kW av VCSEL-typ där den elektriska verkningsgraden ligger mellan 35-40% för de två i sammanhanget aktuella våglängderna 808 och 980 nm.



Figur 24. Några av många praktikfall där lasrar av VCSEL-typ används; t.v. utplacering av kolfiber-laminat och t.h. sömlös kantförsegling av träpaneler hos möbelföretaget IMA.

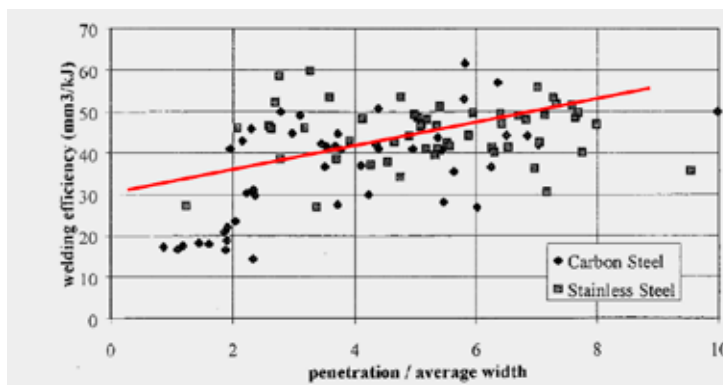


Figur 25. Några additivt tillverkade "aerospace"-komponenter; överst världens första SLM-tillverkade brännkammare i platina, testad med 618(!) tändningar under 1,1 timmar och en max.temperatur på 1.253 °C, och t.h. några typiska konsoler kreerade utifrån topologioptimering och "bionic design".

anamma lasertekniken, med undantag för svetsning av transmissionskomponenter där lasern tidigt tog över svetsoperationer som tidigare varit öronmärkta för elektronstrålesvetsning. Stan nämnde särskilt den tidigare GM-bossen Frank di Pietro som drev på lasersvetsningen av karosskomponenter i form av en kylarbalk till 1988 års modell av Chevrolet Caprice. Här använde man en 5 kW CO<sub>2</sub>-laser från SpectraPhysics och en L-100 Fanuc-robot med vars hjälp man kunde utföra 58 korta lasersvetsar under en tidrymd av 47 sekunder [Fig. 26]! Under senare år har Stan försökt kvantifiera svetseffektivitet uttryckt i mm<sup>3</sup>/kJ där värdena vid lasersvetsning typiskt ligger mellan 45 och 55. Ett stort djup/bredd-förhållande hos svetsgodset är det mest effektiva [Fig. 27], och stumsvetsar är i detta avseende att föredra framför överlappssvetsar. De tre viktigaste faktorerna att beakta vid lasersvetsning menade han vara fogberedning, fixering och upplinjerig av processen. Med sin långa erfarenhet menade Stan att andra viktiga saker var avståndet mellan optik och arbetsstycke, fenomenet med fokuspunktsförskjutning, valet av skyddsgastyp och evakuering av svetsrök. Beträffande utrustningssidan nämndes fogföljning exemplifierat med Blackbirds lösning samt effektmätningssinstrument som Primes FocusMonitor® och ett snarlikt verktyg från Ophir Spiricon, ”Beam Watch”, avsett för högre lasereffekter. ■



Figur 26. En tidig laserapplikation i amerikansk bildindustri var svetsning av kylarbalken till Chevrolet Caprice vilken utfördes med en 5 kW CO<sub>2</sub>-laser från Spectra Physics och en L-100 Fanuc-robot. Längst t.h. en annan ”klassiker” taklasersvetsning på Chevrolet Beretta i GM:s Linden-fabrik 1985, vilket var den första ”in-line” lasersvetsapplikationen i världen.



Figur 27. Svetseffektiviteten uttryckt i mm<sup>3</sup>/kJ ligger vid lasersvetsning mellan 45-55 och ökar proportionellt med tilltagande djup/bredd-förhållande.

Rapporten DEL 2 fortsätter i nästa nummer av LaserNytt

Forts. från sid 16 "Jack the Ripper"

En första färdig och fungerande prototyp har nu byggts av LMI AB till Beamic AB för test. De potentiellt höga hastigheterna som uppkommer vid bandskärning kräver en relativt kraftig laser om det är frågan om grövre material. Så ”Jack the Ripper” har för närvarande blivit fredlig och bytt ut kniven mot en 6 kW fiberlaserkälla från IPG Photonics! För tunna material behövs dock inte alls så kraftig laser. Tester har visat att 6 kW räcker för Beamics till alla bandtjocklekar upp till 6mm vid full matning i slitsverket.

Inga bobiner behöver bytas och frekventa stopp för att underhålla klippknivar försvinner, samt att man får en behagligare arbetsmiljö. Utrustningen är dessutom mycket kompakt. Själva

rippern är mäter bara 400x400x550 mm (lxbxh) och laserkällan kan placeras var som helst. Skärgasen som används är luft eller nitrogen med högt tryck. Här är inte snittkvaliteten viktig utan istället hög hastighet och pålitlighet. Färdig med strålsäker kåpa faller ljudnivån till ungefär 60 dB. Naturligtvis blir en sådan utrustning dyrare initialt, men man räknar med att slitsverkets tillgänglighet ökas betydligt med mindre underhållsstopp och service.

Metoden kan givetvis användas för ”klippning” all typ av bandformat metallskrot från olika typer av tillverkningsprocesser. Varje maskin anpassas till befintligt slitsverk nytt som gammalt och tar cirka 8 veckor att färdigställa för produktion. ■

#### Kortfattad data på ”JTR” (Jack The Ripper)

- 1) Syfte: Att skära ned skrot remsor till mindre bitar och därmed väsentligt förbättra hanteringen av skrot material i samband med t.ex. slitsning.
- 2) Material område: 0.1 till 6 mm.
- 3) Bredd: 1 till 80 mm.
- 4) Hastighet: Avsedd för banhastighet upp till 80 meter per minut.
- 5) Skrotlängd: Ställbart från 50 mm till 500 mm.
- 6) Styrssystem: Finns ingen! Det behövs inte eftersom drivning av enheten kopplas till slitterm. Kan vid behov kompletteras med servo eller hydraulmotor.
- 7) Storlek: Ca 400 mm lång x 400 mm bred och 550 mm hög.
- 8) Laser effekt: 500 W till 6 kW.
- 9) Ljudnivå: Ca 60 dB



**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)**

# Additive Manufacturing: by TRUMPF

LMD: Laser Metal Deposition &

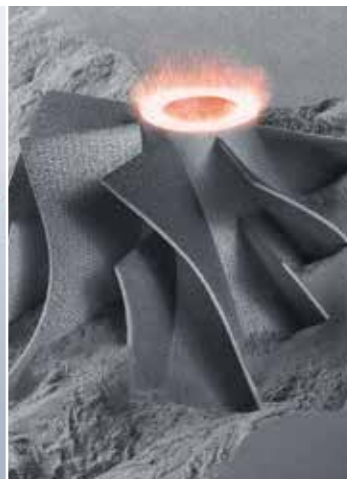
LMF: Laser Metal Fusion: only by TRUMPF



Laser Metal Deposition



TruLaser Cell 3000



Laser Metal Fusion

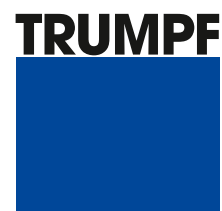


TruPrint 1000

Välkommen till Alingsås

TRUMPF TechDays 30 nov–2 dec.

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



# KALENDARIVM 2016

## OKTOBER

- 5 LaserNytt 2-2016
- 6 Laserdag II på Siemens Industrial Turbomachinery AB i Finspång
- 13 Seminarium, Laserbearbetning – framtiden för svensk verkstadsindustri hos Permanova Lasersystem i Mölndal
- 26 Seminarium, Konstruera för laser  
Permanova Lasersystem AB i Mölndal Per Westerhult

## NOVEMBER

- 10 Workshop, Lasersvetsning på Högskolan Väst i Trollhättan Per Westerhult

## DECEMBER

- 9 LaserNytt 3-2016 Per Westerhult

# 2017

## MAJ

- 5-8 Studieresa till Storbritannien för företagsbesök och besök på TWI Per Westerhult