

# Lasernytt



3-2017



LASERNYTT NR 3-2017

## KALENDARIUM 2017

DECEMBER		
8	Lasernytt 3-2017	Per Westerhult
2018		
APRIL		
19	laserDag med årsmöte NKC, Göteborg eller Toyota, Mjölby	Per Westerhult
MAJ		
12	Lasernytt 1-2018	Per Westerhult
OKTOBER		
13	Lasernytt 2-2018	Per Westerhult
DECEMBER		
8	Lasernytt 3-2018	Per Westerhult

## Laser World of Photonics



LASERGRUPPEN



Fjärrlasersvetsning



NOLAMP 16



70th IIW

**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**

Beläggning av slitskydd med EHLA metoden hos IHC Vremac Cylinders

**Produktion:** BrandFactory

**Tryck:** BrandFactory, Stockholm  
www.brandfactory.se

**LASER**  
LASERGRUPPEN

**INNEHÅLL**

<b>LASERDAG HOS VOLVO LASTVAGNAR I UMEÅ</b>	2
<b>LASER WORLD OF PHOTONICS -</b> Fyra laserintensiva dagar i München	5
<b>MEDLEMMAR I LASERGRUPPEN</b> Tycker till om verksamheten	17
<b>NOLAMP 16 I AALBORG-</b> 30 år i den nordiska forskningens tjänst	19
<b>LASER PROCESSING AROUND THE WORLD - DEL 6</b> Fjärrlasersvetsning förstärker produktionen av nya Ford Mustang	23
<b>70TH IIW ANNUAL ASSEMBLY OCH SVETSKONFERENS I SHANGHAI -</b> En blandad sammankomst av svetsexpertis från hela världen.	26
<b>ETT INTRESSANT LASERVERKTYG</b> Börjar se dagens ljus hos Volkswagen AG	29
Fråga laserdoktorn	33

# Lasern – en höjdpunkt i mitt arbetsliv

När det nu börjar bli dags för mig att göra bokslut över ett mer än 40-årigt arbetsliv i fordonsindustrin finns det självklart vissa höjdpunkter vars minne jag alltid kommer att bära med mig. En av dessa blir naturligtvis mitt engagemang inom laserbearbetningens förtrollade värld, som tog sin början då jag som relativt nyanställd Volvo-ingenjör fick det konstruktiva ansvaret för att implementera lasersvetsning i företagets karosstrukturer. Det hela började i synnerligen beskedlig skala, på den tiden i nära samarbete med Luleå Tekniska Högskola, innan det inom ramen för det historiska nyvagnsprojektet P1 ledde till taklasersvetsningen av Volvo 850-modellen år 1991. Med den applikationen blev Volvo den första europeiska biltillverkaren som införde lasersvetsning i karosfabrikens huvudflöde! Sedan den tiden har laserbearbetning mognat till fullt ut etablerade tillverknings-tekniker för skärning, lödning och svetsning, och där Volvo-kollegorna på "bruket" i Olofström står i startgroparna för ett produktionsinförande av fjärrlasersvetsning.

Men det är inte bara de rent tekniska framgångarna som lasertekniken medfört, som för min personliga del nu är värda att lyfta fram. Det är också umgänget i det nätverk av laserhabituier som jag fått förmånen av att få vara en del av, såväl i Sverige som internationellt. Sammankomsterna i Lasergruppen har alltid tillfört mig näring och våra Laserdagar har varit högtidsstunder



**TANKAR FRÅN STYRELSEN**

JOHNNY K LARSSON, AUTOKROPOLIS ENGINEERING

alla år. Därför är det svårt för mig att som "glad pensionär" helt släppa taget vad gäller laserintresset, och jag hoppas att även i framtiden, i olika former, kunna bidra till en fortsatt dynamisk utveckling och användning av lasertekniken i Sverige.



# LaserDag hos Volvo Lastvagnar i Umeå

Hans Engström  
Levitronics Lasersystem AB



Bild 1. Deltagare vid LaserDagen hos Volvo Lastvagnar AB i Umeå. Fredrik Ragnarsson, (tredje person fr. v.) var dagens värd tillsammans med Malin Andersson (längst t.h.). Fredrik berättade om laserlödning av Volvos lastbilshytter och Malin presenterade verksamheten vid Volvo Lastvagnar.

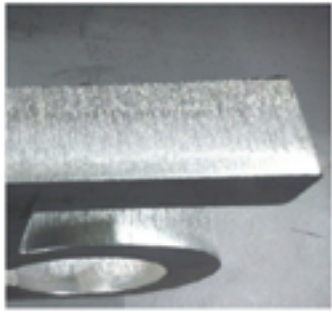
Volvo Laservagnar i Umeå tillverkar hytter till Volvolastbilar och var värd för höstens LaserDag. Sedan några år tillbaka har man infört laserlödning av hytterna och detta samt mycket annat fick de dryga 20 deltagarna se under dagen. Dessutom ett fullmatat program där bl.a. Berthold Kessler från IPG Photonics berättade om industriell användning av fiberlaser. Här är ett kort referat från dagen med det material som fanns tillgängligt i skrivande stund.

## IPG - en jätte bland lasertillverkarna

IPG Photonics är en framgångssaga inom laservärlden. Sedan starten 1991 har



Bild 2. Produktprogrammet hos IPG Photonics innehåller flera olika lasertyper och optiska komponenter.



Eagle CatLine paramters:

Thickness: 30mm SS  
Cutting speed 100mm/min  
PL=6kW, N2=14bar



Thickness: 25mm MS  
Cutting speed 800mm/min  
PL=6kW, O2

Bild 3. Skärsnitt med IPG fiberlaser i 30 mm rostfritt stål (överst) och 25 mm mild steel (underst). Men man kan också skära upp till 50 mm i kolstål med goda resultat.

man nu vuxit så mycket att man omsatte ca 1000 M\$ år 2016 och hade då 4230 anställda world-wide, berättade Berthold Kessler, IPG. Det året sålde man mer än 5000 fiberlasrar. Men produktprogrammet är mycket brett och spänner från små lågeffektlasrar till högeffektlasrar på 100 kW, **bild 2**, nano-, piko och femtosekundlasrar samt olika optiska komponenter. Huvudkontoret ligger i USA och man har tillverkning i egna fabriker i Tyskland, Italien och Ryssland

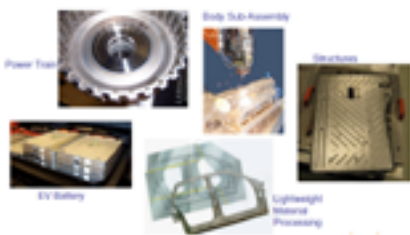


Bild 4. Exempel på tillämpningar av svetsning med fiberlaser inom fordonsindustrin.

#### IPG Wobble Heads

- D30 & D50 Version
- Max Wobble frequency 1 kHz (D30)
- Laser Power up to 10 kW (D50) & 6 kW (D30)
- Max focal length 1000 mm (D50) & 500 mm (D30)
- Full Scanning Range  $\pm 7.5$  mm

#### Wobble Types

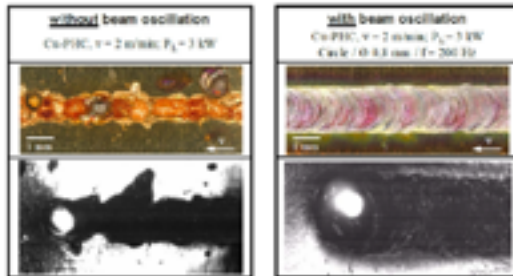
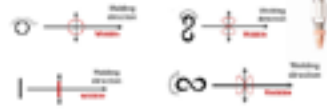


Bild 5. Dynamisk strålförning med programmerbara scanner huvuden (överst) från IPG ger bättre svetskvalitet i aluminium och koppar (underst).

#### Parameter

- Laser Power: 4 kW
- Speed: 1,5 m/min
- Wire speed: 3,5 m/min
- Wobble Frequency: 200 Hz
- Wobble length: 2 mm
- Shape and direction:

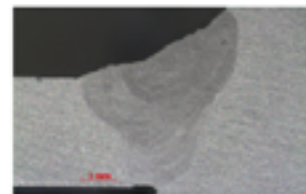


Bild 6. Svetsning av aluminium med fiberlaser och dynamisk strålförning och tillsatstråd ger lasertekniken nya möjligheter.

#### Fiberlasrar för skärning

IPG har en serie fiberlasrar som är speciellt anpassade för laserskärning och som kallas IPG CUT Laser Serie. Där finns lasrar från 1-12 kW med en verkningsgrad (wall-plug) på mer än 40%. De är rigid byggda och ger hög skärhastighet i de flesta material, samt både i tunt och tjockt material, **bild 3**.

#### Dynamisk strålförning ger bättre svetsresultat

Svetsning med fiberlaser har naturligtvis fått många tillämpningar allteftersom lasertypen har ersatt CO<sub>2</sub>- och Nd:YAG-lasern. Drivande kraft är som i många andra fall fordonsindustrin i sin jakt på högre prestanda och minskade produktionskostnader. **Bild 4** visar på några exempel på tillämpningar med anknäpning till fordonsindustrin.

IPG lanserar också svetsning med "dynamisk stålformning" genom en utrustning som kan oscillera stålen i ett programmerbart mönster. Man har två utrustningar, D30 och D50 som klarar 6 respektive 10 kW och som kan oscilleras trålen med 100 Hz och mönster inom  $\pm 7.5$  mm, **bild 5**.

Med denna teknik så svetsar man aluminium och koppas med bättre resultat än med stationär stråle, fortsätter Berthold Kessler. Man får en stabilare process som ger slätare svetsar med mindre porer och lite sprut. Tekniken kan också användas för svetsning med tillsatstråd i stål och aluminium och ger då möjlighet att överbrygga spalter och förändra svetsgodsets sammansättning, och blir då en direkt konkurrent till MIG/MAG-svetsning, **bild 6**

Svetsning och lödning med trefokalpunkter ger också möjligheter till

förbättrad svetskvalitet i aluminium och galvaniserat stål. Alternativt kan man använda fiberkablar med två eller tre fibrer.

IPG arbetar hårt med att utveckla optimerade laserverktyg för förbättrad produktion, avslutade Berthold Kessler.

### Forskningsprojekt med industrin

Greger Wiklund, Luleå tekniska universitet, LTU, fanns på plats och berättade om två projekt inom innovationsprogrammet Innovation 2030, som man medverkar i tillsammans med Högskolan Väst, Swerea/Kimab samt ett antal svenska industrier:

- ROBIN- Robust –in –Process-Monitoring, där man vill utveckla ett beröringsfritt system som kan hitta och följa en stumfog vid lasersvetsning med ”osynlig” noll-spalt.
- VARGA – Adaptive Control of Varying Joint Gap in Laser Welding, där man vill demonstrera en kamerabaserad, adaptiv lösning för att säkerställa svetsgeometri och svetsegenskaper trots varierande fogspalt och fogposition. Detta ska ske genom att integrera sensorer i svetsopti-

ken och genom att styra trådmatningen.

För projektet ROBIN har man utvecklat flera lösningsförslag, **bild 7**, som man arbetar med att testa och utvärdera.

I VARGA deltar förutom LTU även Högskolan Väst och Swera/Kimab, samt ett antal svenska industrier. Projektet stöds också av Svetskommissionen. En viktig del i detta projekt är höghastighetsfilmning som kan visa processen i detalj vid varierande spaltbredder, **bild 8**.

Projektet fortsätter och kommer att avrapporteras efterhand, avslutar Greger Wiklund.

### Svetsning av aluminium inom fordonsindustrin

Johnny K. Larsson, välkänd från sitt tidigare arbete inom Volvo Cars, men numera fristående konsult i det egna företaget Autokropolis Engineering, presenterade resultat från ett projekt; ”Weldability of Aluminium Alloys for Automotive Applications”, som har genomförts vid Fogningscentrum vid Swerea/Kimab. Där har man undersökt olika sätt att förbättra

svetskvaliteten vid lasersvetsning av aluminium. De stora problemen är varmsprickor och porositet och man har arbetat med aluminiumlegeringar i 6xxx-serien. De metoder man har undersökt är att svetsa med oscillerande stråle i ett sinusformat mönster, och ”fler-spot”-svetsning, där strålen har delats i tre strålar, **bild 9**.

Resultaten visar att svetskvaliteten i princip är densamma för båda svetsutförandena vid svetsning med varierande flänsbredd, **bild 10**, men den oscillerande strålen ger en mer likformig penetration. Däremot tycks svetslängden påverka porositeten med än variationer i flänsbredd.

Man har också utfört hållfasthetsprovning som bl.a. visar att förlängningen blir större vid tre-strålesvetsning, vilket troligen beror på att tillsatsmaterial har använts, avslutar Johnny Larsson.

Jag hoppas kunna fortsätta artikeln i nästa nummer om mera material blir tillgängligt. ■



Bild 7. Lösningsförslag för projektet ROBIN, där man vill utveckla ett beröringsfritt system som kan hitta och följa en stumfog vid lasersvetsning med noll-spalt.

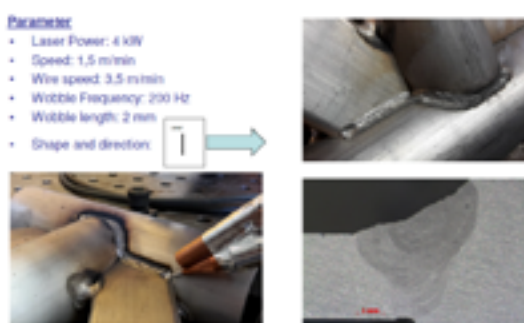


Bild 8. Höghastighetsfilmning hjälper forskarna i projektet VARGA att förstå processen när man lasersvetsar med varierande spalt.

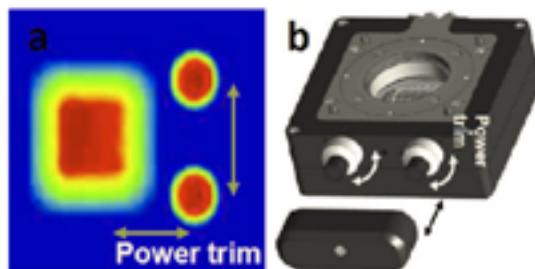


Bild 9. Svetsning med oscillerande stråle och tre-strålesvetsning som försök att förbättra svetskvaliteten hos aluminiumlegeringar.

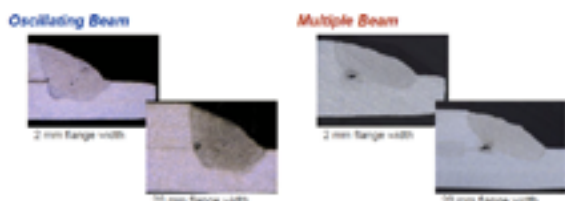
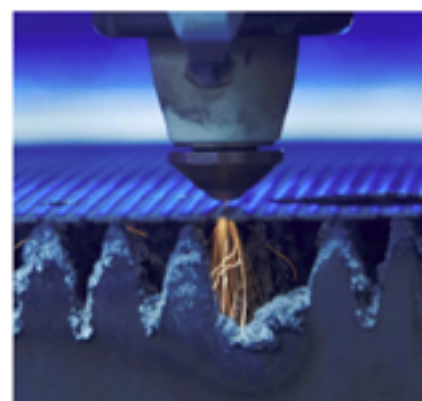


Bild 10. Svetsresultat med oscillerande stråle (diodlaser) och tre-stråle vid svetsning av aluminium AA6014 med tjocklek 1.1 mm. Tillsatsmaterial vid tre-strålesvetsningen var AlMg4.5MnZr.

# Laser World of Photonics – Fyra laserintensiva dagar i München

Johnny K Larsson,  
Autokropolis Engineering



LASERS IN MANUFACTURING  
**LIM 2017**  
Munich, June 26-29, 2017  
[www.wit.de/lim](http://www.wit.de/lim)

Den 26:e juni slog Messe München upp sina portar för Europas största lasermässa World of Photonics [WoP]. Inte mindre är 1.293 utställare från 42 länder fyllde fem stora hallar med sina senaste innovationer i form av laserkällor, -verktyg och optiker, och totalt räknades cirka 32.000 mässbesökare in under de fyra dagar som evenemanget pågick.

Men World of Photonics är också en mötesplats för unga laserforskare som här får möjlighet att presentera sina forskningsresultat för såväl akademiska kollegor som industrirepresentanter. Därför pågick samtidigt med mässan ett flertal konferenser som inalles omfattade över 3.000 tekniska presentationer, en siffra som delgavs oss deltagare av Dr. Reinhard **Pfeiffer**, CEO för Messe München, under dennes välkomsttal.

Årets förste talare vid plenarsessionen under öppningsceremonin var välbekante Dr. Peter **Leibinger** från Trumpf GmbH & Co. KG [Fig. 1]. Denne gentleman inledde med att ge oss några intressanta siffror; Under 2016 uppgick den globala lasermarknaden till 447 miljarder euros,



där vi hittar den största andelen, eller 26,6%, i Kina, följt av Europa [15,5%], Japan [14%] och Nordamerika [13%]. Marknadsprognosen för år 2020 bedöms ligga kring 615 miljarder euros. Därefter nämnde den gode Peter några tyska forskningsinitiativ, såsom

## WORLD OF PHOTONICS CONGRESS

- Photonik Forschung Deutschland med sin "Agenda Photonik 2020"
- Nätverket Photonics21 som just nu förbereder en ansökan till EU:s nionde ramprogram
- Quantum Technology som finansieras av BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung]

Avslutningsvis adresserade Dr. Leibinger laserns roll då det gäller kommunikation och säker informationsöverföring. Detta var ett tema som också slogs an av en annan "keynote"-talare, nämligen



Figur 1.

Plenarsessionens två "keynote"-talare Dr. Peter Leibinger t.v. och professor Jörg Wrachtrup t.h.

professor Jörg **Wrachtrup** från Universität Stuttgart [Fig. 1] och dess Institute for Quantum Science and Technology [IQ<sup>st</sup>]. Idag sker ju informationsutbyte i realtid, vilket professor Wrachtrup som kuriosa jämförde med vardens första dataöverföring som skedde 1858 mellan den davarande amerikanske presidenten James Buchanan och drottning Victoria av England. "Sändningen" bestod av 98 ord vilket tog 16 timmar (!) att överföra. Tydligt har en hel del hunnit ske under 150 ar. Ett modernt sätt att kryptera meddelanden är att använda sig av "hoptrasslade fotoner", där man växlar mellan horisontell och vertikal laserpolarisation och skickar laserstrålen genom ett antal svarta lådor, vilka vanligtvis utgörs av diamanter med ett visst kväveinnehåll. Ett annat tema i professor Wrachtrups presentation handlade om sensorer som bl.a. används inom biomedicin. En speciell variant kombinerar den optiska mätningen med magnetisk dito i form av nanomagnetism med en känslighet på 10 nT. Den rumsliga upplösningen ligger på 10 nm och energiförbrukningen kring 10W för en dylik sensor som har motsvarande en kulspejls storlek.

Sessionen avslutades med att Dr. Peter **Loosen** från ILT [Institut fur Lasertechnik] i Aachen, tillika ordförande i WoP: s programkommitté, gav en överblick över evenemangets konferensstruktur [Fig. 2]. Inalles loppte sex parallella konferenser och dessutom förekom s.k. Application Panels i utstallningshallarna, vilka behandlade olika aktuella ämnesområden inom fotoniken. Konferenserna var;



- CLEO® / Europé-EQEC 2017
- Lasers in Manufacturing [LiM 2017]
- EOS Optical Technologies
- Optical Metrology
- Digital Optical Technologies
- European Conferences on Biomedical Optics [ECBO]



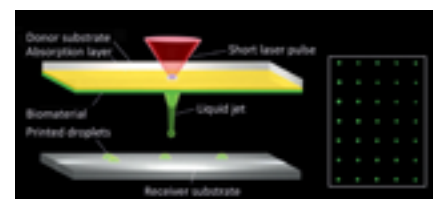
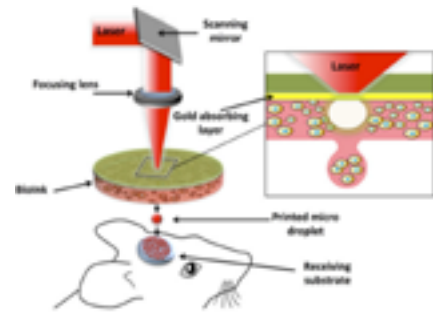
Figur 2.

Valkande Peter Loosen från ILT i Aachen ar ordförande i programkommittén för World of Photonics och redogjorde för evenemangets struktur.

Den av konferenserna som innehållsmässigt ar av störst intresse för Lasergruppens medlemmar ar otvetydigt LiM-konferensen, och det var också den som jag i första hand valde att bevaka. Här hälsades vi välkomna av Dr. Ludger **Overmeyer** från Laser Zentrum Hannover [LZH], som var den som tillsammans med WLT [Wissenschaftlichen Gesellschaft Lasertechnik e.V.] –presidenten Michael **Schmidt** höll i trådarna. De 230 tekniska presentationerna genomfördes i tre parallella sessioner, och för att säkerställa presentationernas kvalitet hade man detta ar valt att använda ett s.k. peer review-förfarande, vilket gjorde att 25% av de ursprungligen inskickade bidragen sallades bort. Plenarsessionen omfattade tre högklassiga presentationer, vilka med sina

respektive innehåll på ett utmärkt sätt illustrerade laserteknikens mångfasetterade användningsområden.

Först ut var professor Paolo J. **Bartolo** från CDRsp, Polytechnic Institute of Leiria i Portugal. Han berättade om hur lasern används vid additiv biotillverkning för att återskapa celler, hudvävnad och hela organ. Man pratar i sådana fall om bio-printning hellre än 3D-printning, då tekniken är betydligt mer sofistikerad än den senare. Således använder man sig av LGDW [Laser-Guided Direct Writing, Fig. 3] där man med hjälp av laserstrålning tvingar samman celler, alternativt av den kanske mer bekanta LIFT [Laser-Induced Forward Transfer, Fig. 3] –tekniken där man "tvingar ner" celler mot ett hydrogel-substrat. Med ett praktikfall illustrerade Dr. Bartolo hur man reparerar ett skadat område på huden genom att först skanna av dess geometri och därefter bio-printa en hudersattning. Genom att visa röntgenbilder tagna 14 respektive 28 dagar efter operationen kunde han visa hur snabbt kroppens och implantatets celler växer in i varandra.



Figur 3.

Två principer för s.k. bio-printning; t.v. Laser-Guided Direct Writing och t.h. Laser-Induced Forward Transfer.

En för LaserNyttts läsare mer jordnära presentation hölls av välbekante senioren Dr. Paul **Hilton** från TWI [The Welding Institute] i Abington, U.K. [Fig. 4]. Den gode Paul är tillika ordförande i ELI [European Laser Institute e.V.] och gav sig här i kast med att beskriva laserskärningens historia. De första dokumenterade försöken utfördes vid SERL [Services Electronics Research Laboratory] i Baldock, North Hertfordshire 1967, under ledning av legendariske Peter **Houldcroft**. Resultaten presenterades i British Welding Journal senare samma år, och här kunde man läsa att en 400 W pulsad CO<sub>2</sub>-laser använts för att skära 2,5 mm tjockt kolstål och rostfritt stål med en framföringshastighet på 1 m/min [Fig. 5]. Laserstrålen distribuerades via aluminiserade speglar till en saltlins som gav en fokuspunktsdiameter på 0,4 mm och där avståndet mellan skärmunstycket och plåten var 2,5 mm. Senare publicerades resultaten i the Times, vars reporter emellertid inte tycks ha varit särskilt tekniskt bevandrad då vederbörande påstod att laserskärning nu kunde utföras på 1-10 tums plättjocklek, då det istället var frågan om 1/10 tum!

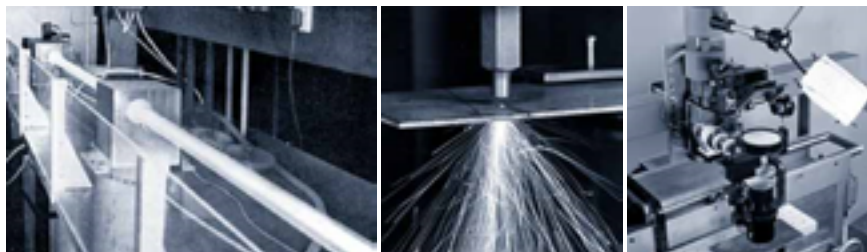
Dr. Hilton hade även lyckats gräva



Figur 4. Paul Hilton ger dåvarande brittiska innovationsministern Amanda Brooks en lektion i hur ytor kan textureras med hjälp av en laserstråle.

fram den BBC-film från 1970 som på ett populärtvetenskapligt sätt beskrev laserskärning, exemplifierat med den klassiska scenen i James Bond-filmen "Goldfinger". Här fick man lära att det krävs en processgas, i det här fallet syrgas, för att nå temperaturer kring 2000 °C och därmed få igång laserskärprocessen. När gåtan väl var löst hade man bevisligen kunnat skära i såväl metaller som plaster, glas och trä, de två senare i kombination med vattenstråle. En av de första industriella tillämpningarna i Storbritannien blev laserskärning av karosseridetaler hos British Leyland som fram till dess använt sig av den mindre precisa och långsamare plasmaskärprocessen.

En senare tillämpning, som vi hört



Figur 5. Några gamla arkivbilder från de första dokumenterade försöken med laserskärning vilka utfördes 1967 vid SERL i Baldock, U.K. med en 400 W pulsad CO<sub>2</sub>-laser.

Paul tala om tidigare, är sönderdelning av uttjänta kärnreaktorer. Vid kärnkraftverket i Sellafield har man numera börjat demontera delar av anläggningen där man använder robotiserad laserskärning med hjälp av den s.k. Lasersnake2 [Fig. 6]. Denna speciella robotversion har utvecklats av företaget OC Robotics och styrs med hjälp av stålvaror. Skeroptiken har utvecklats av företaget ULO Optics i samarbete med Laser Optical Engineering och har en fokallängd på 500 mm med hög stråldivergens. Detta eftersom det inte föreligger några krav på snittkvalitet, utan att man vill kunna laserskära på så varierande avstånd mellan skärverktyg och arbetsstycke som möjligt. En demonstrationsvideo visade hur man på ett effektivt sätt sönderdelade ett förvaringskärl med hjälp av laser, något som man tidigare mindre framgångsrikt försökt göra medelst gnistning. Kärlet bestod av två utanpå varandra liggande cylindrar med 12 respektive 32 mm väggjocklek och en luftspalt däremellan. Sönderdelningen skedde därför i två steg med hjälp av en 5 kW laserälla och tryckluft som skärgas. Den totala skärlängden uppgick till 200 meter och skärhastigheten låg på 80 mm/min vilket gjorde att det krävdes allt som allt 40 timmar att sönderdela förvaringskärlet. Lägg därtill en programmeringstid på 120 timmar så inser man att här finns en del kvar att göra. Dock talar vi i fallet med laserskärning om en helt robotiserad process utan behov av mänsklig närvaro, vilket kan vara nog så viktigt då det gäller att arbeta i kontaminerade kärnkraftsanläggningar.

Efter Pauls presentation höll gamle vännen och kollegan Stefan **Kaierle** [Laser Zentrum Hannover] ett personligt tacktal till honom och tackade för hans långa och hängivna arbete inom "lasersamfundet". Som slutkläm överlämnade Dr. Markus **Kogel-Hollacher** [Precitec GmbH] en vinylskiva med Pauls favoriter Dire Straits – "Sultans of Swing".

Siste talare i keynote-sessionen var Dr. Peter **Herman** från Department of



Figur 6. Lasersnake i färd med att sönderdela uttjänta kärnreaktorer med hjälp av 5 kW lasereffekt och tryckluft som skärgas.

Electrical and Computer Engineering vid University of Toronto [Fig. 7]. Hans tema rörde de på senare år så populära ultrakortpuls [UKP] -laserna, där den extremt korta interaktionstiden mellan laserstråle och substrat gör tekniken lämplig för exempelvis bearbetning av glas. Genom att öka frekvensen från 4 till 430 pulser med bibehållen pulslängd på 1 ps [picosecond = 10<sup>-12</sup> sekund] kunde den gode Peter visa upp sprickfri bearbetning av glasobjekt. Andra användningsområden för kortpuls-tekniken är tillverkning av mikrokanaler, perforering alternativt märkning av fiberomslutningarna, samt apparater för vätskedistribution på mikronivå.

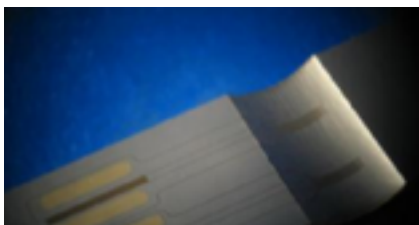
Traditionsenligt avslutades sessionen med utdelandet av det s.k. WLT Award, vilket detta år tillföll Dr. Oliver **Suttman** från Laser Zentrum Hannover [Fig. 8]. Denne inledde sin akademiska bana vid Universitet Rostock och fortsatte sedan till

en anställning vid svetsinstitutet GSI-SLV [Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH – Schweistechnische Lehr- und Versuchsanstalten] i Mecklenburg-Vorpommern. 2013 disputerade han för sin doktorsexamen med ämnet ”Metalliska tunnfilmssensorer”. Nu överräckte Dr. Michael **Smidth**, institutionsföreståndare vid BLZ [Bayerisches LaserZentrum] och tillika professor vid LFT [Lehrstuhl für Fertigungstechnologie] vid Friedrich-Alexander Universität i Nürnberg-Erlangen, prischecken på 5.000 euros tillsammans med ett lasergraverat glaskonstverk att placera på Dr. Suttmans skrivbord.



Figur 7.  
Dr. Peter Herman från University of Toronto berättade om de på senare tid så populära UKP-lasrarna som lämpar sig väl vid bearbetning av glas eller andra spröda material.

Därefter var det dags för honom att hålla sitt prisanförande som blev en bred exposé över vad man kan åstadkomma med lasern som verktyg. Här handlade



Figur 8.  
Årets välförtjänte mottagare av WLT Award Dr. Oliver Suttman, som speciellt studerat hur man tillverkar metalliska tunnfilmssensorer med hjälp av laserteknik.

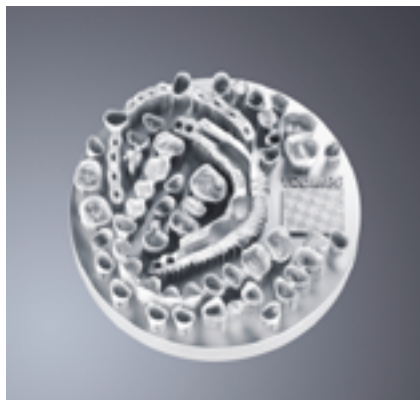
det bl.a. om:

- Svetsning av tunna membran för töjningssensorer
- Färgmärkning av glas
- Svetsning av glas med fibertillsats
- Värmeledningssvetsning av polymerer
- Fjärrlaserskärning av kompositmaterial där man för att undvika en alltför bred värmepåverkad zon introducerade en ”closed loop”-kontroll genom att med pyrometer övervaka temperaturen
- Mikrobearbetning av ytor där man motverkade uppkomsten av ojämnheter genom att kombinera laserprocessen med ett externt elektromagnetiskt fält
- 3D-printning med vätskor i form av UV-härdande PDMS [PolyDiMetylSiloxane]

### Additiv tillverkning

Som så ofta på senare års laserkonferenser utgjorde additiv tillverkning ett dominerande inslag vid World of Photonics, och vid ett samtal med Dr. Elena **Lopez** från Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff und Strahltechnik] fick jag höra hennes syn på mognadsgraden för sådan tillverkningsteknik. Man talar i sådana sammanhang om TRL [Technical Readiness Levels] –nivåer på en tiogradig skala där 10 innebär fullt produktionsinförande. Hon rankade olika branscher på följande sätt; Medicinteknik 10, verktygstillverkning 9, aerospace 5-7 och bilindustri 4-5. Det stora intresset för additiv tillverkning under World of Photonics illustrerades bl.a. av att en av de s.k. Application Panels som pågick i en avskild del av Hall 2B

hade detta som tema, och där sakkunnige Dr. Wilhelm **Meiners** [Fraunhofer IILT] skötte ordförandeskapet. En av Akilleshämlarna då det gäller additiv tillverkning med laser är den låga produktiviteten, och här kunde vi lyssna till några förslag på hur man skulle kunna lösa detta. Först ut var Dr. Damien **Buchbinder** från Trumpf Laser und Systemtechnik GmbH som beskrev företagets Multilaser-koncept för SLM [Selective Laser Melting]. Ett sätt att öka produktiviteten är att arbeta med större skanningsfält, ett annat är att öka antalet simultant arbetande skanningsfält med hjälp av ett flertal laserkällor. Det senare är innebörden av Multilaser-konceptet där Herr Buchbinder presenterade företagets TruPrint 5000 med 3 ”scanner”-



Figur 9.  
Dr. Damien Buchbinder presenterade Trumpfs TruPrint 5000, som är en multilaser-maskin för SLM med 3 stycken 500 W fiberlasrar. Konceptet innebär en ökad produktivitet där man exempelvis kan tillverka tandkronor i Cobolt/Crom eller Titan.

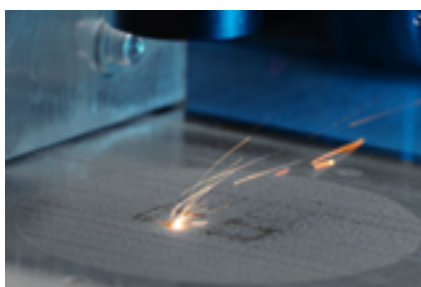
verktyg, vilket han ansåg vara den lösning som bäst täckte marknadens behov [Fig. 9]. Multilasnern blir mest lönsam vid tillverkning av större detaljer då Herr Buchbinder påpekade nödvändigheten av att ha maximal utnyttjandegrad av samtliga laserkällor, och att valda skanningskoncept korreleras med produktsegment och applikation.

En spännande lösning presenterades av señor Tiago Brito e Faro från företaget Adira Metal Forming Solutions S.A. i Porto, ett s.k. SME [Small and Medium Enterprise] –företag som specialiserat sig på tillverkning av maskiner för plåtbehandling och som kunder räknar bl.a. Ursviken, PrimaPower och SSAB. Nu har man utvecklat en maskin för additiv tillverkning som bygger på en rörlig kammare som kan föras över en större pulverbädd för att på så sätt kunna bygga större detaljer med SLM [Fig. 10]. Processen har döpts till TLM [Tiled Laser Melting], eftersom objekten byggs i segment vars storlek styrs av kammarens storlek, vilken idag mäter 1.000×1.000×200 mm, men i nästa generation av maskin kommer kammarens höjd att ökas till 500 mm. Laserkällan utgörs av en 1 kW SM [Single Mode] fiberlaser, och fokalpunktsdiametern kan varieras mellan 60-600 µm. Typiska processhastigheter ligger kring 9 m/sek och minsta skiktjocklek angavs vara 25 µm. Mr. Faro visade upp en 900 mm lång komponent i rostfritt 316L-material som byggts av 6 segment. Han menade att de största kunderna för denna typ av maskin blir bilindustri, aerospace samt tillverkare av formverktyg.



Figur 10. Ett intressant maskinkoncept för SLM-tillverkning av stora komponenter från portugisiska Adira Metal Forming Solutions S.A. där man med en rörlig kammare kan arbeta över en större pulverbädd.

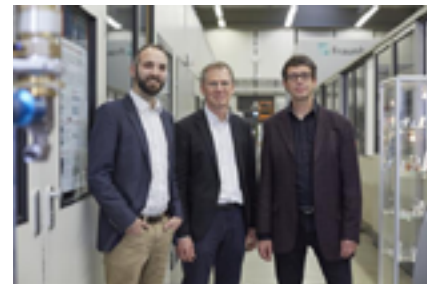
Den idag största konventionella maskinen för SLM är en produkt från Concept Laser med en kammare som mäter 800×400×500 mm och betjänas av två stycken fiberlasrar med vardera 1 kW effekt. Prislappen ligger långt över en miljon dollars, och Dr. Dawid Ziebur från ACAM [Aachen Centre for Additive Manufacturing] menade att mindre maskiner för överkomliga priser redan nu börjar efterfrågas. Därför har man vid ACAM utvecklat en lågprisvariant där målpriset ligger under 5.000 dollar [Fig. 11]. Konceptet kändes igen från den presentation som Dr. Tim Biermann höll vid LAM [Laser Additive Manufacturing] i Houston, TX tidigare under året, och som bygger på en 140 W diodlaserkälla. För att minimera kostnaderna används inget ”scanner”-verktyg utan laserstrålen manipuleras av två linjäraxlar med stegmotorer som kan nå en hastighet på 40 mm/sek. Framgent avser man att byta dessa till servomotorer för att på så sätt kunna öka processhastigheten. Byggvolymer är i form av en cylinder med 80 mm diameter och en höjd på likaledes 80 mm, och typisk fokalpunktsstorlek ligger kring 250 µm. Utrustningen hade använts för att bygga små pinnar med 0,5 mm diameter i 1.4404-material där densiteten uppgick till 99,7%.



Figur 11. Lågprisvarianten för SLM, utvecklad hos ACAM, förväntas betinga ett pris som understiger 5.000 dollar, och arbetar med två stycken linjäraxlar i stället för ett ”scanner”-verktyg.

Hydraulcylindrar som används inom offshore och i gruvor under vattnet är naturligtvis utsatta för extrem korrosion och förslitning, varför LMD [Laser Metal Deposition] blir ett attraktivt alternativ för att öka livslängden hos dylika kom-

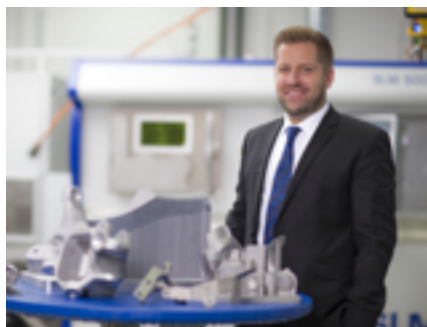
ponenter. Kring detta berättade Andres Veldmann från Royal IHC [Industriële HandelsCombinatie] i Nederländerna som bygger fartyg och utrustningar för sådan verksamhet. Bl.a. kan nämnas att man levererat dylik utrustning som använts vid breddningen av Suez-kanalen. Själva cylindertillverkningen sker hos samarbetspartnern IHC Vremac Cylinders B.V. i Apeldoorn, där kolvstängernas ytbeläggning är av avgörande betydelse för deras livslängd. Typiska mått på stängerna är 500 mm i diameter och en längd kring 10 m, vilket gör att höghastighetsbeläggning är ett måste, samtidigt som snäva geometrikrav föreligger. Därför tog man 2014 kontakt med maskintillverkaren Hornet och ILT för att undersöka möjligheterna för att utveckla en maskin för höghastighetsbeläggning eller EHLA [Extremes Hochgeschwindichkeits-LaserAuftragschweißen, Fig. 12]. Hemligheten bakom



Figur 12. Andres Veldmann berättade om hur man belägger långa kolvstänger med slitskydd hos IHC Vremac Cylinders, och där man använder den nyutvecklade EHLA-metoden. Uppfinnargänget hos ILT syns till höger och består av fr.v. Thomas Schopphoven, Gerhard Maria Backes och Andres Gasser.

lösningen bygger på att pulverfokus är placerat en bra bit ovanför substratyten, vilket gör att pulvret redan befinner sig i smält form när det träffar ytan. 90% av den tillförda lasereffekten använts för att smälta pulvret, medan endast 10% förvärmer substratyten. Process och maskin kvalificerades 2016, och under 2017 har man hittills belagt 150 kolstänger under en sammanlagd processtid på blott 800 timmar! Pålägningshastigheten ligger på 60 dm<sup>3</sup>/timme, och typiska pulvermaterial är Inconel och wolframkarbider.

Siste talare i denna Application Panel var Alexander **Fickerl** från BMW, ett företag som verkligen tagit den additiva tekniken till sitt hjärta. Detta illustreras inte minst av att man skapat ett AMC [Additive Manufacturing Center, **Fig. 13**] för att kunna producera 30% av sina SLM-tillverkade komponenter ”in-house” i maskiner från Concept Laser, Realizer och SLM Solutions. Hittills har tekniken mest använts vid prototyp tillverkning och modifiering av prototyper, samt viss lågvolymproduktion. Exempel på det senare är 500 rotorblad till vattenpumpar i BMW:s tävlingsbilar, och fönsterhissreglage till s.k. classic cars. Dock överväger man att i framtiden använda additiv tillverkning för volymproduktion varför LMD-metoden också blivit intressant för den Bayern-baserade bilbyggaren. Med anledning av detta gjorde Herr Fickerl en jämförelse mellan de två teknikerna vilken framgår av **tabell 1**.



**Figur 13.** Stolt ledare för metalldelen i BMW:s AMC är Maximilian Meixlsperger (överst), och vid seminariet om additiv tillverkning beskrev Alexander Fickerl (underst) delar av den verksamhet som bedrivs där.

**Tabell 1.** Några nyckeltal för processerna Laser Metal Deposition [LMD] och Selective Laser Melting [SLM]

	LMD	SLM
Produktivitet	< 600 cm <sup>3</sup> /tim	< 100 cm <sup>3</sup> /tim
Kammarstorlek	> 2 m <sup>3</sup>	0,16 m <sup>3</sup>
Pulverutnyttjande	40-80 %	> 90 %

För att kunna skapa objekt med LMD-teknik har man införskaffat en TruLaser 7020-cell från Trumpf som betjänas av en 6 kW TruDisc 6002-laser. Pålägningsmunstycket har utvecklats av ILT och man arbetar här främst med olika aluminiumlegeringar såsom AlSi10Mg och AlSi12. Beträffande objekt som man redan byggt uppvisar dessa ungefär samma sträck- och brottgränsvärden som motsvarande pressgjutet aluminium, men med betydligt bättre förlängningsvärden p.g.a. den finare kornstorlek som man erhåller vid additiv tillverkning med pulver. Några praktikfall som visades upp bestod av ett skovelhjul till en vattenpump, ett lock till en växelåda, samt ett hjulfäste med integrerad skruvhylsa där den senare enkelt kunde flyttas från ett läge till ett annat med hjälp av LMD [**Fig. 14**]. En större komponent var en svängarm till en framhjulsupphängning för den nya BMW 7Reihe-modellen, som Herr Fickerl ansåg vara en potentiell komponent för serieproduktion med LMD. Därmed avslöjade han mer eller mindre att fokus vid additiv tillverkning inom BMW-koncernen kommer att ligga på olika typer av chassikomponenter där dimensionen på ett enkelt sätt kan anpassas för olika varianter. Reproducerbarhet och kvalitetssäkring kommer att bli nyckelområden vid framtida serietillverkning menade Herr Fickerl avslutningsvis.



**Figur 14.** Med SLM-teknik serietillverkade detaljer från BMW; t.v. ett skovelhjul till vattenpumpen i tävlingsvarianten Z4 GT3 och t.h. kylarutsmykningen för nya RollsRoyce Phantom-modellen.

Ett annat inslag rörande additiv tillverkning under LiM-konferensen var att en särskild session avsatts med rubriken ”Additive Manufacturing in the USA”. Detta var ett samarrangemang med LIA [Laser Institute of America, Orlando, FL], varför organisationens marknadsansvarige Mr. Jim **Naugle** var närvarande. Annars sköttes mötesförhandlingarna av den i dessa sammanhang välbekante Dr. Jim **Sears** [Carpenter Technology Corporation]. Här fick vi inledningsvis lyssna till en något annorlunda presentation av en engagerad herre vid namn David **Ott** från Global Humanitarian Lab där kopplingen till additiv tillverkning inledningsvis kunde kännas något långsökt. Organisationen försöker hjälpa, utbilda och sysselsätta människor som lever i flyktingläger. För ändamålet har man tagit fram vad man kallar ett ”Fabkit” som innehåller såväl utbildningsmaterial som hårdvara i form av t.ex. smartphones och 3D-printrar. Just de senare har visat sig vara extremt populära och gör det möjligt för flyktingarna att skapa produkter, allt ifrån nyttoföremål till leksaker, som de kan sälja och därmed bli självförsörjande för att kunna skapa sig ett nytt liv under drägliga förhållanden. Ett första ”FabLab” är etablerat i Ioannina i Grekland [**Fig. 15**] och snart kommer ytterligare sådana att invigas i Rwanda, Palestina, Burkina Faso och Kenya.



**Figur 15.** Interiörbild från ett ”FabLab” i Ioannina i Grekland där 3D-printrarna är bland de populäraste verktygen hos flyktingarna, och t.h. talar en av initiativtagarna till Global Humanitarian Lab, David Ott, om den verksamhet man bedriver.

Anläggningen i Ioannina är utrustad med ett flertal 3D-printrar från Full Spectrum Laser och har idag cirka 25 besökare om dagen. Sammantaget har mellan 70-80 individer besökt ”FabLab”, och något genusproblem tycks inte föreligga då ungefär 55% av besökarna är kvinnor och flickor. Om de tillfrågas vad som är det populäraste verktyget i ”Fablab” är svaret entydigt – 3D-printrarna!

Det blev en hel del information kring metallpulver då William **Herbert** från Carpenter Technology Corporation äntade talarstolen. Företaget är världens största tillverkare av metallpulver och har nyligen startat ett samarbete med Burloak Technologies [Fig. 16]. Det var intressant att få veta att av allt det pulver som produceras i världen används endast 0,1% till additiv tillverkning, något som representerar 950 miljoner dollars. Annars uppehöll sig Dr. Herbert mest vid att beskriva olika tekniker för att framställa pulver, såsom gasatomiserat, vattenatomiserat, plasmaatomiserat och en speciell metod benämnd PREP [Plasma Rotating Electrode]. Vid vattenatomisering blir partiklarnas form och storlek alltför varierande för att lämpa sig för SLM-tillverkning, varför han rekommenderade att använda gasatomiserat pulver. För sådant finns ett flertal tillverkningsmetoder där VIM [Vacuum Induction Melting] är den vanligaste, men där EIGA [Electrode Induction Melt Gas Atomization] lämpar sig bäst för Titan. Förutom nämnda material tillhandahåller Carpenter även pulver av Cobolt, Nickel, Aluminium, Koppar och Järn. Därutöver levererar man trådbaserat tillsatsmaterial, och för sådant påpekade Dr. Herbert att trådens raket är av största betydelse.



Figur 16. En av anläggningarna för metallpulverframställning hos Carpenter Technology Corporation.

Lite kring maskinutvecklingen inom SLM-området fick vi oss till livs av Robert **Martinsen** från nLight. Han menade att med ökad uppbyggnadshastighet kommer priserna för SLM-tillverkade produkter att sjunka. Fram till år 2023 prognosti-

cerade han att processhastigheten skulle kunna fördubblas, vilket i så fall medför en kostnadsreduktion på 33%. nLight tillhandahåller laserkällor av SM-typ med effekter upp till 1,2 kW och en strålkvalitet  $M2 = 1,1$  [Fig. 17]. Man tillverkar också ”scanner”-moduler med en positioneringsnoggrannhet  $< 5 \mu\text{m}$ , vilka kan förses med en zoom-optik med vilken fokuspunkten kan förstöras tre gånger. Långtidsprov visade på en effektstabilitet på  $3,0 \text{ kW} \pm 18 \text{ W}$ , och nLight erbjuder även en kontrollfunktion man kallar ScanMaster som kan variera frekvensen mellan 10 Hz och 100 kHz! Det finns också tillgång till en adaptiv effektkontroll som dessutom kan växla strålmod mellan Gaussisk och ”tophat”-profil.

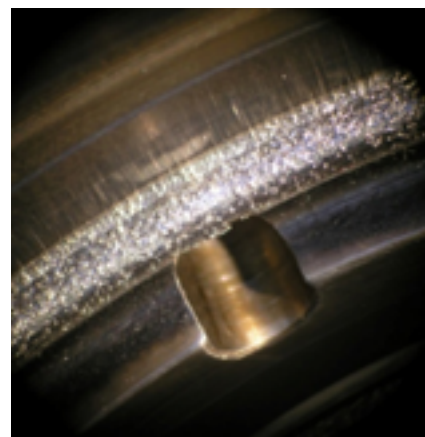


nLIGHT



Figur 17. Robert Martinsen från nLight presenterade några av företagets fiberlaserkällor lämpliga för SLM-tillverkning. Förutom SM-lasrar med effekter upp till 1,2 kW finns även olika ”scanner”-verktyg i produktportföljen.

Sessionens siste talare kom inte från USA, men väl från Frankrike i form av Yannick **Lafue** från Irepa Laser. Där har man utvecklat ett eget påläggningsmunstycke [Clad®] vilket har kvalificerats för reparation av motorkomponenter för flygplansmotorer [Fig. 18]. Titan, Inconel och Waspalloy® är de vanligaste pulvermaterialen som man arbetar med och detta illustrerades av en stor cylinder avsedd för ESA [European Space Agency] –programmet, och framtagen i samarbete med GKN, som tillverkats av Ti6Al4V. Uppbyggnadstiden var 120 timmar under vilken tid 35 kg pulver deponerades med



esa  
European Space Agency

Figur 18. Inom det europeiska rymdprogrammet ESA undersöker man potentialen i att reparera motorkomponenter med LMD-teknik, något som beskrevs av Yannick Lafue från Irepa Laser.

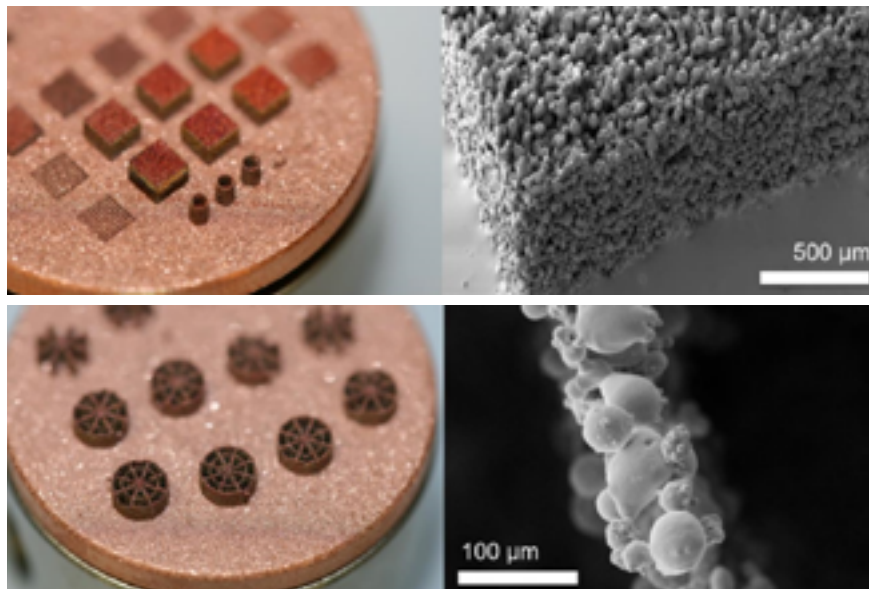
en processeffektivitet av 100 cm<sup>3</sup> per timme. Några andra flygplanskomponenter framtagna i AMAZE- och FALAFEL-projekten visades också upp, där man i det sistnämnda kombinerat LMD och SLM vid tillverkning av en detalj och dessutom varierat blandningen av Titan och Molybden i de olika påläggningsskikten!

Från de mer tekniskt-vetenskapliga presentationerna rörande additiv tillverk-

ning finns en hel del intressanta bidrag, och låt mig här börja med att beskriva några som handlade om pulvermaterialet. Lisa **Kaden** från Institute of Applied Physics vid Friedrich-Schiller Universität i Jena hade studerat hur man med LMD byggde strukturer i koppar, en nog så stor utmaning då koppar har en reflexionsgrad i NIR [Near InfraRed] –området på över 98%. Likaledes ar värmeledningsförmågan i detta material extremt hög och ligger kring  $400 \text{ W}/(\text{m}\times\text{K})^2$ , varför det kandets naturligt att använda en ultrakortpuls laser för uppgiften. Med en sådan lasertyp får man en kort interaktionstid mellan laserstråle och pulver, varför man undviker värmeackumulering, något som skulle ha inverkat negativt på det uppbyggda objektets formnoggrannhet.

Hon och hennes kollegor hade använt en fiberlaser med 1.030 nm vaglangd, laserstrålen fokuserad till en fokalpunkt med 35  $\mu\text{m}$  diameter och 500 fs [femtosecond = 10-15 sekund] långa laserpulser. Atmosfären i SLM-kammaren var Nitrogen och pulverpartiklarna som hade en diameter kring 35  $\mu\text{m}$  hade tillhandahållits av TLS Technik. Frekvens, pulsenergi och processhastighet var de parametrar som varierats. Uppbyggnaden skedde i skikt om 30  $\mu\text{m}$ , och man erhöll den bästa kvaliteten vid 20 MHz frekvens, 1,0-1,25  $\mu\text{J}$  i pulsenergi och 833 eller 666 mm/s i processhastighet beroende på om man byggde kuber eller tunna väggars [Fig. 19].

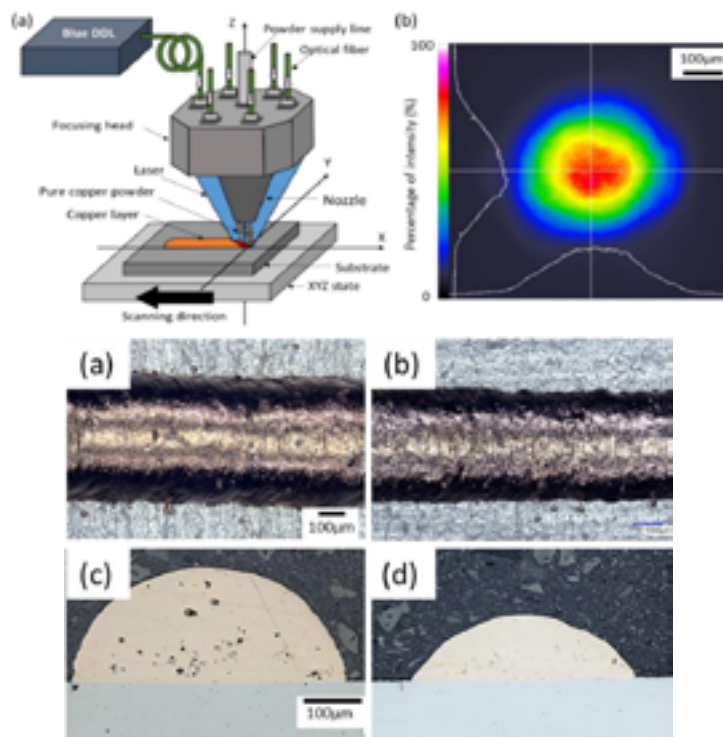
Kopparpulver hade också använts för att belägga rostfri plåt, något som beskrevs av Masanori **Sengoku** från Kindai University i Japan. Men här handlade det stora numret om hur man utvecklade palagningsprocessen genom att ”tänka utanför boxen”: Detta var enligt min mening en av de verkliga nyheterna under LiM-konferensen. Man hade valt att arbeta med direktverkande diodlasrar i det blåa våglängdsområdet kring 445 nm, och hade superpositionerat sex(!) laserkällor riktade mot ett pulverfokus med axiell pulvertillforsel [Fig. 20]. Sparbredden för det pålagda pulvret var < 0,5 mm, och i motsats till Frau Kadens experiment var reflexionen i koppar inget problem då absorptionen ligger kring 60% för denna kortare vaglangd. Nackdelen är att den här typen av laserkalla hittills endast kunnat producera 20 W, men nu hade forskarna vid Kindai University utvecklat en variant som gav 100 W, och Mr. Sengokus kollega Dr. Masahiro **Tsukamoto** utlovade en 200 W enhet mogen att presentera redan till hösten vid ICALEO [International Conference on Applications for Lasers and Electro Optics] –konferensen. Deponeringseffektiviteten vid de nu utfornda försöken låg på 15 mg/sek vid en energitäthet på 74 kW/cm<sup>2</sup>. Inlosningen av smält pulver i det rostfria materialet var minimal och upp-mättes till 12 och 14  $\mu\text{m}$  vid 3,0 respektive 5,0 mm/sek i processhastighet.



Figur 19.

SLM-strukturer i koppar uppbyggda med hjälp av en ultrakortpuls laser.

Kuberna har måtten  $2\times 2\times 1,4 \text{ mm}$  och byggdes med en pulsenergi på 1,25  $\mu\text{J}$  och en hastighet av 833 mm/s, medan de tunnväggiga cylindrarna matte 3 mm i diameter och processades med 1,0  $\mu\text{J}$  per kula och 666 mm/s i framforingshastighet.



Figur 20.

Att superpositionera laserstralarna från sex diodlasrar i det blåa våglängdsområdet eliminerar välkända problem vid palagning med koppar, där inlösningen i den rostfria substratplattan blott var 12-14  $\mu\text{m}$ .

rence on Applications for Lasers and Electro Optics] –konferensen. Deponeringseffektiviteten vid de nu utfornda försöken låg på 15 mg/sek vid en energitäthet på 74 kW/cm<sup>2</sup>. Inlosningen av smält pulver i det rostfria materialet var minimal och upp-mättes till 12 och 14  $\mu\text{m}$  vid 3,0 respektive 5,0 mm/sek i processhastighet.

Några mer exotiska material hade studerats av Katja **Schmidtke** från Airbus Group. Här rörde det sig om legeringarna Scalmalloy® [Al, Sc, Zr, Mg] och

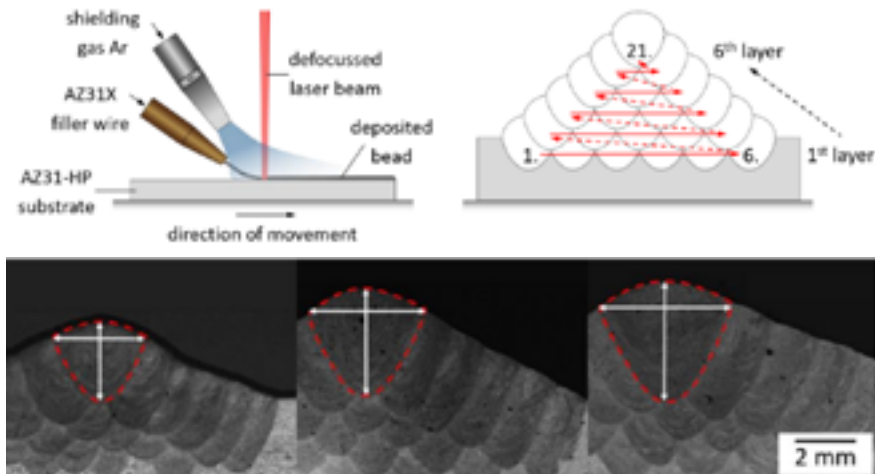
Silmagal® [Al, Si, Mg]. Inledningsvis hade man gjort en karaktärisering av pulvren där det framgick att Silmagal® hade mer sfäriska partiklar och därmed en battare flytbarhet. Denna legering krävde också laggre energi, eller 40 J/mm<sup>3</sup>, vid SLM-tillverkning, att jämföras med 170 J/mm<sup>3</sup> för Scalmalloy®. Den senare har dock en högre hållfasthet, men ar avsevärt dyrare än Silmagal®, vilken kan vara ett attraktivt alternativ om man lyckas forbatttra dess hållfasthet. Detta menade Frau Schmidtke

gick att göra genom att använda någon form av eftervärmning av de skapade objekten.

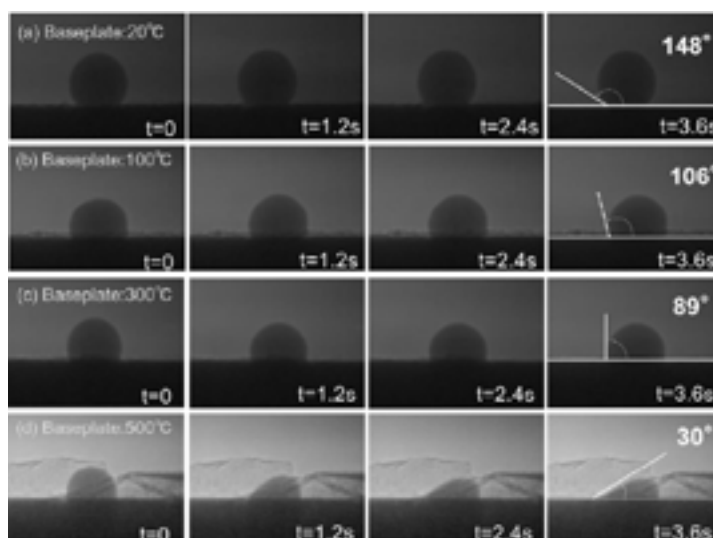
Additiv tillverkning tycks vara något som tilltalar kvinnliga laserforskare för som tredje presentatör i sessionen kunde vi nu lyssna till Josephin **Enz** [Helmholtz-Zentrum Geesthacht – Centre for Materials and Coastal Research], och hennes studier kring LMD med magnesium. Här använder man hellre tråd än pulver, i det här fallet AZ31x med 1,2 mm diameter. Påläggningen hade gjorts som en pyramid på en 5 mm tjock magnesiumplåt [AZ31-HP], där man använde 2 kW från en 8 kW fiberlaser där strålen fokuserades till en cirka 0,8 mm stor fokalpunkt [Fig. 21]. Det pålagda pulvret låg och glödde vilket föranledde att regelbunden avtorkning av strukturen måste ske. Distorsioner kunde motverkas genom att substratplåten förvärmades till 150 alternativt 300 °C. Detta förfarande visade sig också vara fördelaktigt då det gällde att åstadkomma en finare ytjämnhet, men med förhöjd temperatur ökar såväl bredd som höjd på påläggningsspåret. Dock visade det sig att förhållandet mellan bredd och höjd förblev konstant. Hårdhetsprov visade att hårdheten ökade från substratplattan till senast pålagda pulverlager.

Även Yuji **Sato**, en av professor Seiji **Katayamas** lärjungar från Osaka University, hade studerat hur byggplattans temperatur påverkar resultatet, men nu handlade det om SLM-tillverkade objekt. Materialet var Ti6Al4V och här användes 150 W lasereffekt fokuserat till en 150 µm stor fokalpunkt vilket gav en energitäthet kring 4×104 W/cm2. Processhastigheten sattes till 55 mm/sek eftersom högre hastigheter gjorde processen mer sprutbenägen. Byggplattans temperatur varierades mellan 24-500 °C, och här kunde man konstatera en avsevärd reduktion av sprutmängden, något som förklarades med en tilltagande vätkarhet hos pulvret vid högre temperaturer [Fig. 22]. Den högre temperaturen medförde även en bättre ytjämnhet, och man hade lyckats skapa objekt med ett R-värde på 0,6 µm.

Torsten **Petrat** från Fraunhofer IPK [Institute for Production Systems and Design Technology] i Berlin hade studerat olika uppbyggnadsmönster vid LMD och hur temperaturprofilen påverkades, vilken kan sammankopplas med det skapade objektets formriktighet. Därför hade nio stycken termoelement placerats ut på undersidan av byggplattan, och påläggningen skedde med 800 W lasereffekt och



Figur 21. Överst principen för att bygga små pyramider med magnesiumtråd. Därunder ser man inverkan av förvärmning av substratplåten där påbyggnadssträngen ökar i såväl bredd som höjd trots konstanta processparametrar, fr. v. rumstemperatur, 150 °C respektive 300 °C förvärmning.



Figur 22. Högstahastighetsfilmen avslöjar att man vid en förhöjd temperatur hos byggplattan får en bättre vätningsförmåga hos pulverpartiklarna vilket visar sig i form av en mer sprutfri process.

en processhastighet på 600 mm/min. Med en fokalpunktsdiameter på 1,2 mm och ett pulverflöde på 4,4 g/min blev påläggningssträngens bredd 2 mm. Pulvret utgjordes av Metco™ 41C vilket motsvarar rostfritt 316L-material och byggplattan var en 6 mm tjock S235JR stålplatta. Två huvudsakliga mönster hade undersökts, nämligen s.k. sicksack respektive spiral. Sicksack-mönstret hade utförts i två mot varandra vinkelräta riktningar, vilket inte gav några större skillnader i maximalt uppmätt temperatur eller temperaturdifferens mellan högsta och lägsta temperatur uppmätt i de enskilda termoelementen. Större inverkan hade uppbyggnadsmönstret i spiralfallet vilket utfördes såväl utifrån-in som inifrån-ut [Fig. 23]. Mest gynnsamt visade det senare sig vara, vilket gav såväl lägsta max.temperatur som temperaturdifferens, 388 °C respektive 93 °C, att jämföras med 488 °C respektive 201 °C

vilka var värdena då spiralspålning skedde utifrån-in. Man hade även studerat då påläggningen skedde nära byggplattans kant vilket, p.g.a. begränsade avsvalningsmöjligheter, leder till höga temperaturer. I detta fall visade sig påläggning med sicksackmönster vinkelrätt mot kanten ge den gynnsammaste temperaturutvecklingen.

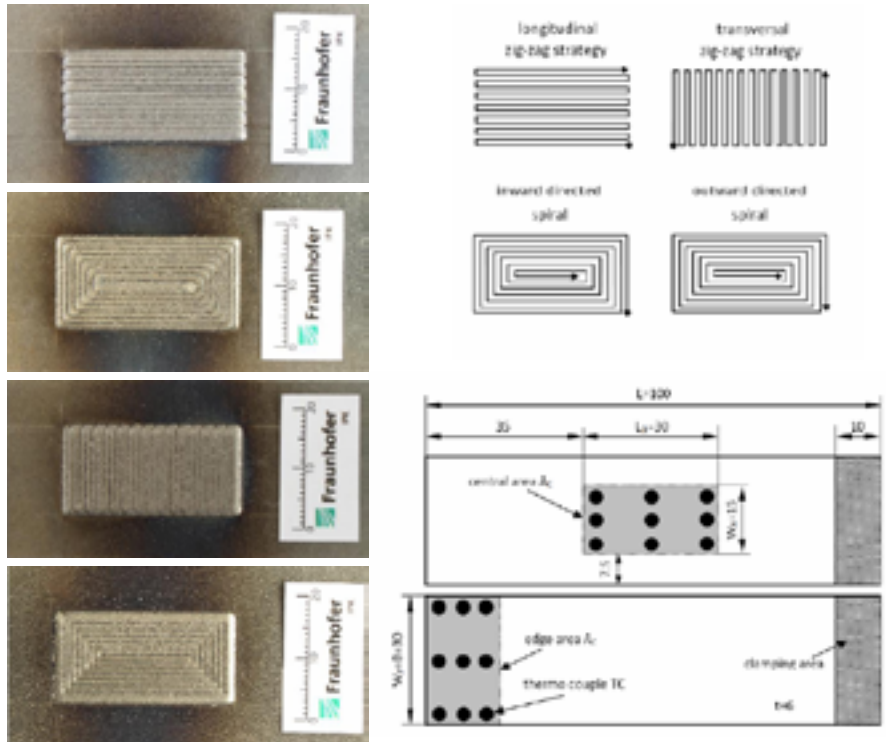
Gleb Andreevich **Turichin** [Saint-Petersburg State Marine Technical University] är en välkänd profil i dessa sammanhang, och liksom vid LANE [Laser Assisted Net Shape Engineering]-konferensen i Fürth förra året var temat högstahastighetspålning. Angreppssättet för att öka produktiviteten ligger i att man inte smälter upp pulverpartiklarna helt utan lämnar kvar en solid kärna. Detta styrs genom för ändamålet speciellt utvecklade påläggningsmunstycken.

Några praktikfall handlade om fartygspropellrar, konsoler för turbinmotorer och

ett fläkthjul. Det senare hade byggts upp med s.k. graded materials, d.v.s. skilda material i de olika påläggningsskikten, och i det här fallet rörde det sig om blandning mellan Titan och Nickel. Traditionellt tillverkas fläkthjulet genom att skovelbladen gjutes varpå de svetsas till en cirkulär skiva. Vid LMD-uppbyggnaden tillverkas hela detaljen i ett stycke vilket hade gjort att den totala produktionstiden kunnat minskas från två månader till 90 timmar (!) samtidigt som fläkthjulets vikt reducerades med 40%. Samtliga komponenter som Dr. Turichin visade är ju tämligen stora, varför det föll sig naturligt att fråga om gasskyddet under LMD-processen. Jodå, man förfogar över en stor kammare som mäter 2x2x4 meter och som påstods kunna fyllas med Argongas på blott 15 minuter [Fig. 24], ett påstående som togs emot med viss skepticism av de närvarande.

Kvalitetskontroll vid additiv tillverkning är fortfarande ett tämligen vitt fält, och därför var det glädjande att ett antal presentationer adresserade detta ämne. En av dessa hölls av Stephen G L Nestor från Queens University i Ontario, Canada, där han använt sig av ICI [Inline Coherent Imaging] för att kontrollera kvalitén hos SLM-byggda objekt. Metoden, som även kan användas vid övervakning av en lasersvetsprocess, bygger på att man mäter sträckan för det återreflekterade laserljuset och jämför denna med en referenssträcka. Informationsinsamlingen sker med mycket hög frekvens, i det här fallet 200 kHz. I rostfritt 316L-material hade man byggt upp små kuber som antingen var homogena, ihåliga eller försedda med interna kanaler. Laservåglängden var 1.070 nm med en fokuspunktsdiameter på 50 µm och effekten varierades mellan 10-100 W. Dock hade den gode Stephen inte vågat ta steget fullt ut genom att göra ICI-mätningarna "in-situ" utan här rörde det sig endast om mätning innan respektive efter utförd SLM-process. Resultaten visade på god överensstämmelse med jämförande röntgenbilder.

Javier Nicolás Montero från University of Coruña hade mätt pulverflödet under LMD-processen för att på så sätt övervaka påläggningens stabilitet. Påläggningsskiktet var av Precitecs fabrikat, och pulverpartiklarnas storlek varierade mellan 40-125 µm. Man hade använt sig av en diodlaser med låg effekt för att belysa arbetsområdet, och pulverflödet registrerades med hjälp av en CMOS [Complementary Metal Oxide Semiconductor]



Figur 23.

Ovan ses schematiskt de fyra olika LMD-mönstren samt termoelementens placering. Längst ned t.v. hittar vi den variant som hade den särklassigt lägsta värmepåverkan, nämligen "inifrån-ut".

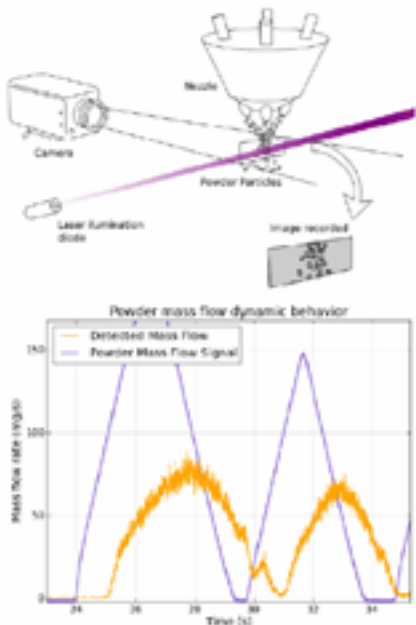


Figur 24.

Den XL-kammare som finns till förfogande vid Saint-Petersburg State Marine Technical University mäter hela 2x2x4 meter och kan enligt uppgift Argonfyllas inom loppet av en kvart.

–kamera [Fig. 25]. Försöken hade utförts utan att själva processlasern varit påslagen, vilket ledde till några kritiska kommentarer från auditoriet. I verkligheten kommer en del av pulverpartiklarna att spruta in i det regelbundna flödet, vilket kommer att försvåra kameraobservationen. Detta var ett påstående som señor Montero tvingades instämma i, och menade att en hel del forskningsarbete återstår innan man kan implementera denna form av processövervakning i en industriell miljö.

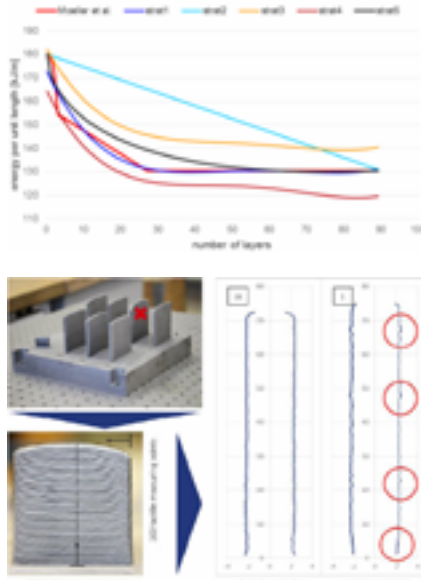
Ett av de största problemen vid LMD är den variation av temperaturen som uppstår i materialet under uppbyggnadsprocessen och som leder till förvrängda geometrier. Markus Heilemann från TUHH [Technische Universität Hamburg-Harburg] och det därtill kopplade forskningscentrat iLAS [Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik] hade uppmärksammat detta då han byggde finväggiga strukturer i Ti-6-4. Han hade använt en diskulaser med 1.030 nm våglängd



Figur 25. T.v. Principskiss över hur pulver-flödet registreras med hjälp av höghastighetskamera, och ovan, ser man en viss tidsfördröjning mellan verkligt (blått) och upp-mätt pulverflöde.

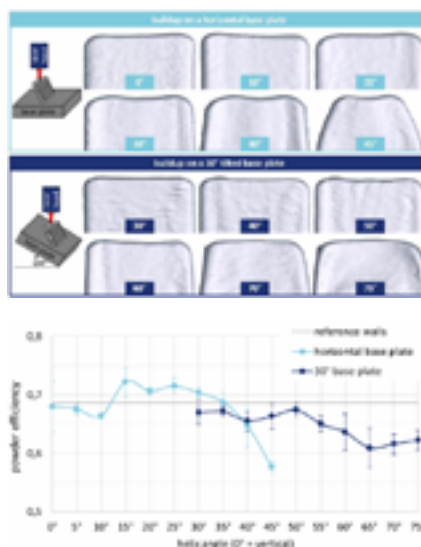
och 6 kW effekt [TruDisc6001 cw] och upptäckt att väggfjockleken hos de byggda objekten varierade kraftigt p.g.a. en ojämn värmeackumulation. Därför hade han fortsatt med att arbeta med adaptivitet för såväl lasereffekt som processhastighet och konstaterat att de bästa resultaten erhöles då man använde en linjär ökning av den senare vilket kompenserade temperaturökningen under uppbyggnadsförloppet. På så sätt reducerades variationerna i väggfjocklek med 30% samtidigt som väggarna blev rakare jämfört med då konstanta processparametrar användes [Fig. 26]. Likaledes blev ytornas utseende mer tilltalande då man använde sig av adaptiva kontrollparametrar.

För att optimera produkter tillverkade med additiva metoder är det viktigt att dessa också är konstruerade på ett sätt som passar dessa. Hannes Zapf från LZN [Laser Zentrum Nord], som utgör en integrerad del av iLAS hade här några rekommendationer att komma med. Framstörde det sig om s.k. överhäng och var gränsen för sådana går. Om man bygger upp LMD-strukturen på en plan byggplattform klarar man som mest ett överhäng/lutning med fullgod kvalitet vid 35°, men om man lutar densamma 30° kunde man vid försöken, utförda med hjälp av en Trumpf-laser på 1,5 kW och Ti-6-4-pulver tillfört med ett flöde på 12,3 g/min, klara överhäng på ända upp till 69°. Att använda en lutande byggplattform hade också en positiv inverkan på uppbyggnadsskiktens form. Bygde man på en plan plattform



Figur 26. Adaptivitet i form av linjärt avtagande sträckenergi (strat2) reducerar variationer i väggfjocklek vid LMD-uppbyggnad samtidigt som sagda väggar blir rakare (nedre.)

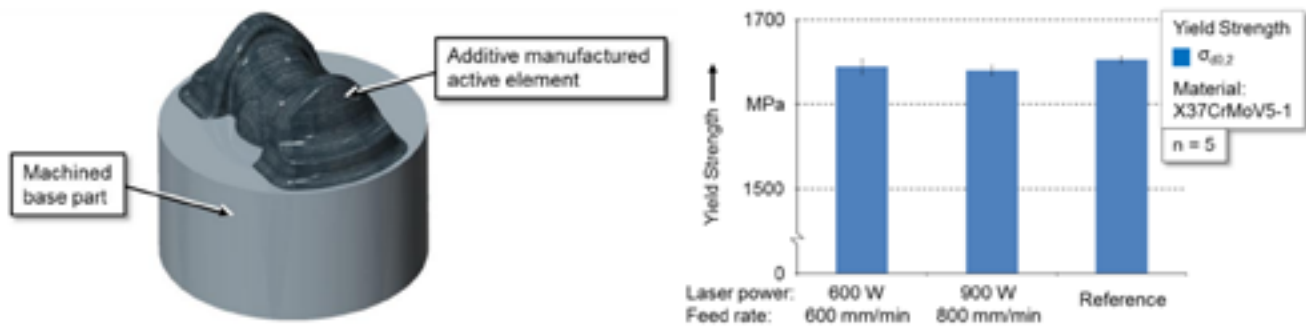
började skikten få runda hörn vid 45° överhäng, medan samma effekt uppstod först vid 75° överhäng då man använde den 30° lutande byggplattformen [Fig. 27]. De rundade hörnen är ett resultat av en ökad värmeackumulation i påläggningsprocessens vändlägen där man får en långsammare avsvältningshastighet. Här höll Herr Zapf med sin Hamburg-kollega Heilemann att den långsamma avsvältningen måste kompenseras med en reglering av lasereffekten. Därutöver resulterade den lutande byggplattformen också i ett bättre pulverutnyttjande vid stora överhäng.



Figur 27. Vid stora överhäng bör man använda en 30°-ig lutning av byggplattformen då detta medför såväl bättre hörngeometri (t.v.) som pulverutnyttjande (nedre).

En applikationsinriktad presentation handlade om att tillverka smidesverktyg genom att kombinera LMD med maskinbearbetning, och hölls av Herr Daniel Junker från Friedrich-Alexander Universität i Erlangen-Nurnberg, som här samarbetat med företaget Hirschvogel. Verktygsmaterialet var X37CrMoV5-1 [DIN 1.2343] och processutrustningen utgjordes av en diskaser med 1.030 nm vaglangd och 1 kW effekt där en 200 mm lins gav en fokuspunkt med 1,6 mm diameter. Argon anvandades som skyddsgas med ett flöde på 20 l/min, och drivgasen tillfördes med 7 l/min. Cirka 2,5 kg pulver gick åt för att bygga varje objekt, vilka därefter maskinbearbetades för att erhålla en adekvat ytjämnhet, samt genomgick en efterföljande värmebehandling. Två olika processinställningar anvandades; 600 W och 600 mm/min i processhastighet respektive 900 W och 800 mm/min. Båda parameteruppsättningarna gav en hållfasthet som låg i paritet med ett helt igenom maskinbearbetat verktyg [Fig. 28], och klarade en maximal belastning på 1.200 MPa. Efter 2.500 slag uppvisade verktygen en förslitning som var jämförbar med maskinbearbetade sådana. En mikroskopianalys gav vid handen att det fanns harstrastunna sprickor i de LMD-byggda verktygen, men dessa berodde ej på denna process utan uppstod vid den efterföljande maskinbearbetningen och påverkade inte verktygens livslängd. I framtida försök avser Herr Junker arbeta med olika pulver i de pålagda skikten, exempelvis wolframkarbider, för att ytterligare forbatttra slittaligheten.

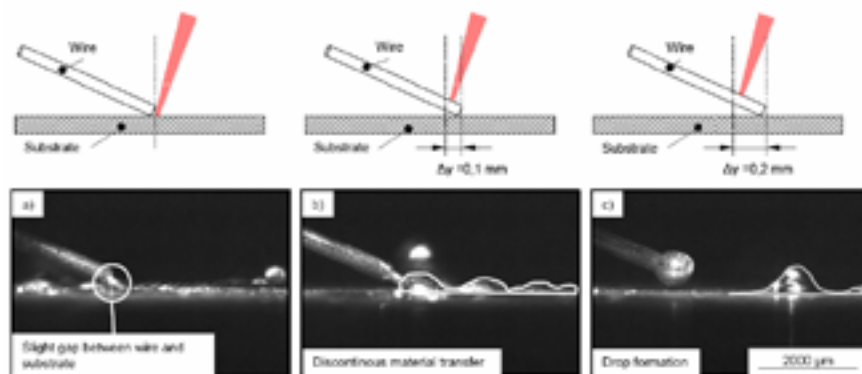
Reparation av mikroverktyg med hjälp av pulsad laser och tillsatstråd var temat för Martin Bielenin från Technische Universität Ilmenau. Verktygsmaterialet var Inconel738 och två olika tillsatsmaterial hade undersökts, dels Inconel, dels det urskiljningshardade Haynes282. Som laserkalla hade man använt Lasags SLS 200SL-laser och försökt kontrollera värmetillförseln under svetsprocessen genom olika pulsprogram för att på så sätt säkerställa att svetsarna blev fria från sprickor. Därför visade han upp ett processfonster för godkänd svetskvalitet där pulstiden angavs som funktion av lasereffekten. Genom att använda längre pulser får man ett långsamare avsvaltningsforlopp vilket begränsar risken för uppkomst av sprickor. Slutligen påpekade Herr Bielenin att det är viktigt att hålla smälta och tillsatstråd separerade för att undvika droppformering under denna



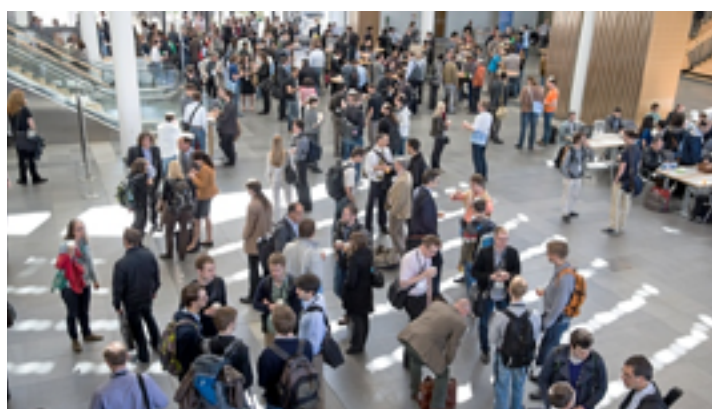
Figur 28. Ett hybridtillverkat smidesverktyg uppvisar efter värmebehandling en hållfasthet som är jämbördig med ett helt genom maskinbearbetat sådant.

form av reparationsprocess [Fig. 29].

Som ni märkt har den här delen av min rapportering från LiM-konferensen främst rört sig kring det nya "buzz"-ordet additiv tillverkning, men i nästa nummer av LaserNytt kommer det mest att handla om svetsning och lödning med laser. Detta är ju mogna och välbeprövade användningsområden för lasertekniken, men inte desto mindre kommer det ständigt fram nya och innovativa lösningsförslag i syfte att ytterligare effektivisera laserprocesserna och förbättra produktprestanda. Men som sagt – mer om detta i nästa nummer. ■



Figur 29. För att undvika droppbildning vid reparationssvetsning med tråd är det viktigt att hålla den senare separerad från laserstrålens infallspunkt.



# Medlemmar i LaserGruppen tycker till om verksamheten

Hans Engström  
Levitronics Lasersystem AB

Lasergruppens styrelse har genomfört en enkät om hur medlemmarna i gruppen ser på verksamheten och för att få en vägledning om hur verksamheten ska utvecklas i framtiden. Enkäten innehöll 31 frågor och genomfördes som en web-enkät under kvartal 1 2017. Den skickades till 71 personer vid medlemsföretagen. Tyvärr fick vi endast 16 svar så svarsfrekvensen blev bara 21%. Men styrelsen har i alla fall fått en fingervisning om medlemmarnas syn på gruppens verksamhet. Här följer en kort sammanfattning av resultaten.

Mer än hälften (60%) av de som svarade på enkäten arbetar vid större företag med 100 anställda eller mer och det ger naturligtvis en övervikt i hur dessa företag (personer) ser på verksamheten. 30% av svaren kommer från slutanvändare.

## Laserdagar och aktiviteter

Ca 40 % hade deltagit i de senaste Laserdagarna och man kan sammanfatta intrycken från dessa att man är nöjd eller i vissa fall (företagsbesök) mycket nöjd med dessa.

På frågan om vilka av nedanstående LaserGruppens aktiviteter som är av störst betydelse ser svaren ut som visas i **Tabell 1**.

Vi kan konstatera att det är bara workshops och studieresor som bedöms ha liten betydelse; övriga har stor eller mycket stor betydelse.

LaserDagar och LaserNytt bedöms som bra eller mycket bra med avseende på innehåll och information. Dessa prioriteras också högst när man ska prioritera bland aktiviteterna, **Tabell 2**.

## LaserNytt

De flesta (70%) läser varje nummer av LaserNytt och av dessa ägnar ca 40 % mindre än 30 minuter åt att läsa tidningen; ca 40 % ägnar mellan 30-60 minuter per nummer. Störst intresse finns för tekniska artiklar och artiklar om tillämpningar, **Tabell 3**.

Hälften av deltagarna i enkäten tycker att LaserNytt fyller informationsbehovet om laserteknik på ett bra sätt. En klar majoritet (80%) tycker att LaserNytt även i fortsättningen ska distribueras som papperstidning. Däremot så använder nästa alla (ca 90%) bara LaserGruppens hemsida sällan eller sporadiskt.

## Sammanfattning

Enkäten kan sammanfattas i dessa punkter:

- Låg svarsrespons: 21%, vilket i alla fall ger en indikation
- Allra flest svar från personer i stora företag. Majoriteten är slutanvändare av laserteknik
- Information om applikationer/tillämpningar och nätverkande av störst betydelse
- LaserNytt och Laserdagar prioriteras högst bland aktiviteterna
- De flesta läser LaserNytt; de flesta mindre än eller upp till 60 min per nummer; störst intresse för artiklar om teknik och tillämpningar; mera info om laserutrustning efterfrågas
- Distribution av LaserNytt bör även fortsättningsvis ske som papperstidning
- Lasergruppens hemsida används sällan
- Medlemsavgiften är rimlig

Lasergruppens styrelse vill tacka de som svarade på enkäten och kommer att beakta synpunkterna i den fortsatta verksamheten.

Tabell 1.

Fråga: Vilka av dessa aktiviteter är av störst betydelse för dig?

	Mycket stor betydelse	Stor	Liten	Mycket liten	Ingen betydelse	Totalt
Nyheter: information om applikationer/tillämpningar	25,00% 4	75,00% 12	0,00% 0	0,00% 0	0,00% 0	16
Nyheter: information om forskning	31,25% 5	50,00% 8	12,50% 2	0,00% 0	6,25% 1	16
Nyheter: information om laserprodukter	18,75% 3	68,75% 11	6,25% 1	0,00% 0	6,25% 1	16
Nätverkande: möten och diskussioner med nya och existerande kontakter	31,25% 5	56,25% 9	12,50% 2	0,00% 0	0,00% 0	16
Information: tekniska artiklar om laserteknologi/applikationer	31,25% 5	50,00% 8	12,50% 2	6,25% 1	0,00% 0	16
Arrangemang: Laserdagar	12,50% 2	56,25% 9	31,25% 5	0,00% 0	0,00% 0	16
Arrangemang: Workshops	6,25% 1	31,25% 5	56,25% 9	6,25% 1	0,00% 0	16
Arrangemang: Studieresor	12,50% 2	6,25% 1	62,50% 10	18,75% 3	0,00% 0	16

Tabell 2.

Fråga: Hur vill Du prioritera LaserGruppens aktiviteter?

	Mycket hög prioritet	Hög prioritet	Medelhög prioritet	Låg prioritet	Mycket låg prioritet	Totalt
Lasernytt	31,25% 5	50,00% 8	18,75% 3	0,00% 0	0,00% 0	16
Laserdagar	12,50% 2	56,25% 9	31,25% 5	0,00% 0	0,00% 0	16
Workshops	0,00% 0	26,67% 4	46,67% 7	26,67% 4	0,00% 0	15
Studieresor	0,00% 0	0,00% 0	66,67% 10	26,67% 4	6,67% 1	15
Lasergruppens hemsida	6,67% 1	13,33% 2	53,33% 8	20,00% 3	6,67% 1	15

Tabell 3.

Fråga: Vilket är ditt intresse för olika typer av artiklar i LaserNytt?

	Mycket stor	Stort	Mindre	Inget	Vet ej	Totalt
Lasergruppens aktiviteter (Laserdagar, workshops, studieresor mm)	18,75% 3	56,25% 9	25,00% 4	0,00% 0	0,00% 0	16
företagspresentationer	0,00% 0	81,25% 13	18,75% 3	0,00% 0	6,25% 1	16
Konferensrapporter	25,00% 4	43,75% 7	25,00% 4	6,25% 1	6,25% 1	16
Tekniska artiklar	43,75% 7	50,00% 8	6,25% 1	0,00% 0	0,00% 0	16
Artiklar om tillämpningar	43,75% 7	56,25% 9	0,00% 0	0,00% 0	0,00% 0	16
Tankar från styrelsen	0,00% 2	50,00% 8	43,75% 7	0,00% 0	6,25% 1	16

# NOLAMP 16 i Aalborg- 30 år i den nordiska forskningens tjänst

Hans Engström,  
Levitronics Lasersystem AB

Den nordiska laserkonferensen NOLAMP, som i år firar 30-års jubileum, tuffar på och avslutade sitt fjärde varv runt de nordiska länderna i och med NOLAMP 16 som denna gång hölls i Aalborg. NOLAMP speglar den industriell laserforskningen i Norden och är samtidigt en mötesplats för både unga och gamla laserforskare. Det finns också ett visst internationellt inslag bland presentationerna. Ny värd för arrangemanget var Aalborg Universitet där Prof. Morten **Kristiansen**, ansvarade för organisationen av konferensen. Den nordiska industriell laserforskningen är fortfarande aktiv och stark, och nu ligger det största intresset inom additiv tillverkning.

Detta var den fjärde NOLAMP-konferensen som arrangerades i Danmark och det nya organisationsteamet i Aalborg hade gjort ett digert arbete med programmet och de sociala evenemangen, som präglades av stor dansk gemytlighet och matkultur. Mycket trevligt enligt mitt förmenande. Totalt lockades 52 deltagare till Aalborg, **tabell 1**.

Finland hade något färre deltagare än brukligt och det förklarade Prof. Antti **Salminen** med att laserforskningen där har en (tillfällig) nedgång i finansieringen. De flesta deltagarna från Tyskland tillhörde de företag som deltog i den utställning som arrangerades i samband med konferensen.

Vi kan dock notera att antalet deltagare från industrin var lågt; från Sverige deltog bara tre (undertecknad inkluderad), från



Figur 1.  
Prof. Morten Kristiansen, Aalborg Universitet, var värd för NOLAMP 16 i Aalborg.

Finland en och från Danmark åtta stycken (inkl. utställare). Detta indikerar att det är lågt intresse just nu från industrin för den industriella nordiska laserforskningen.

Vad arbetar då de nordiska laserforskarna med? Ja, det största intresset finns nu för additiv tillverkning följt av hybridsvetsning och svetsning, se **Tab. 2**.

Tabell 1.  
Deltagare i NOLAMP 16

Land	Antal deltagare
Danmark	24
Sverige	11
Tyskland	7
Finland	5
Ryssland	3
Litauen	1
Norge	1

NOLAMP går nu vidare och kommer att arrangeras i Trondheim i augusti 2019.

## Verktyg för additiv tillverkning med pulver och tråd

Den sympatiske Dr. Markus Kogel-**Hollacher**, Precitec GmbH & Co KG, Gaggenau, inledde NOLAMP 16 med en



Tabell 2.  
Sessioner vid NOLAMP 16.

Tema för sessioner	Antal
Additiv tillverkning	3
Laserhybridsvetsning	2
Lasersvetsning	1
Laserskärning och formning	1
Övriga	1
Industriella presentationer	3
Key-Note	3

”key-note” presentation över innovativa ”verktyg” för additiv tillverkning med pulver och tråd. Markus, som arbetar med forskning och utveckling hos Precitec, konstaterade att det finns många benämningar och varianter på denna teknik, som nu benämns med samlingsnamnet additiv tillverkning. De flesta har faktiskt funnits i industriell tillverkning i mer än 30 år. Laser Metal Deposition (LMD) är en vanlig variant där pulvret tillförs under processen.

Markus inledde med att visa på tre möjligheter att tillföra pulver vid LMD; från sidan, genom ringformat munstycke



Figur 2. Markus Kogel-Hollacher, Precitec GmbH & Co KG, presenterade innovativa verktyg för additiv tillverkning med pulver och tråd i sin key-note presentation.

eller genom flera pulverstrålar som riktas mot smältpoLEN, **Fig 3**. Var och en av metoderna har sina för- och nackdelar som man bör göra sig bekant med innan man bestämmer sig för vilken variant man ska använda. Den ringformade dysan t.ex. är mindre lämplig att arbeta i vinklade positioner.



Figur 3. Pulvertillförsel vid additiv tillverkning. Fr.v. från sidan (lateralt), i mitten ringformat munstycke, t.h. multi-beam munstycken.

En applikation för LMD som har varit i industriellt bruk länge är reparation av kompressorblad. Tillverkningen kan göras relativt automatiskt där bladet först prepareras inför påsvetsningen som sedan utförs. Därefter mäts det reparerade bladet och mätdata överförs till fräsmaskinen som fräsar bladet till rätta mått, **Fig 4**.

Reparationer med LMD förekommer i ett flertal branscher som bl.a. petroke-miskt/oljeindustrin, stålindustrin, sjöfart, sockerindustrin och i energiteknik företag.

### Ny LMD-teknik fick pris

En helt ny teknik är ”Extreme High Speed Laser Material Deposition (EHLA) som utvecklats vid ett av Fraunhofer- instituten där forskarna belönades med Joseph von Fraunhofer Prize 2017. Tekniken ger tunna skikt och arbetar med koaxiell pulvertillförsel och framförings-hastigheter på upp till 200 m/min med en spotstorlek på 1.5 mm, **Fig 5**. Här smälts pulvret innan det träffar ytan. Flera lager kan beläggas om man önskar tjockare beläggningar.

Det förekommer också extrema varianter på LMD applikationer, som en 5 m långvingbalk för passagerarplan vilken



Figur 4. Processkedja vid reparation av kompressorblad. Påsvetshastigheten är 42 mm<sup>3</sup>/s och processtiden är av storleksordningen 2 min per blad.

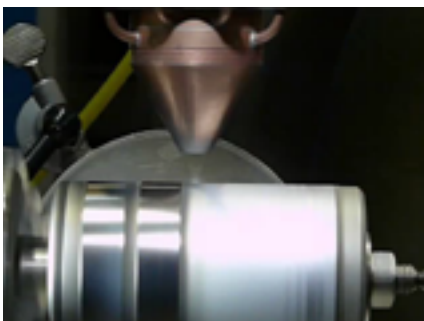
utvecklats i Kina. Den skulle ha satts i produktion 2016 men används ännu inte (tack och lov, förf. anm.).

Marcus Kogel-Hollacher visade också flera applikationer på LMD med pulver.

### LMD med tråd utvecklas starkt

Men teknik utvecklas också för LMD

Axicon och sedan öppnas via optik en spalt i strålen där tråden kan föras in. Strålen sluts sedan och fokuseras runt tråden mot arbetsstycket. Här kommer tråden att förvärmas och FEM-beräkningar visar att temperaturen kan bli upp emot 900 grader C innan den sedan smälts i kontakt med smältpoLEN på arbetsstycket, **Fig 7**.



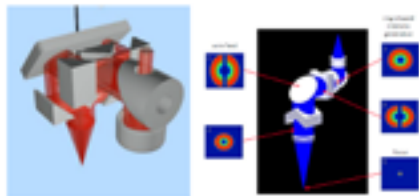
Figur 5. ”Extreme High Speed Laser Material Deposition” (EHLA) är en ny teknik för LMD. Framförings-hastigheten kan vara upp till 200 m/min.

med tråd. Pionjärer i Sverige för detta har varit Högskolan Väst och GKN Aerospace (f.d. Volvo Aero). Det senaste i utvecklingen är att tråden kan matas koaxiellt med laserstrålen och processen bli därmed riktningsoberoende. FhG-IWS i Dresden har en utrustning där tråden smälts av tre laserstrålar. FhG-ILT och Precitec GmbH & Co KG i Gaggenau har utvecklat en variant, som av Precitec kallas CoaxPrinter (tidigare benämnd CoaxCladder), **Fig 6**. Den lanserades på marknaden under första kvartalet 2017.

Hos CoaxPrinter så skapas först en ringformad stråle med hjälp av en s.k.



Figur 6. Två lösningar för LMD med koaxiell tillförsel av tråd. Överst. FhG-IWS COAXwire som arbetar med tre laserstrålar och ovan. Precitec CoaxPrinter där tråden omsluts av en laserstråle.



Figur 7. Principen för COAXwire överst och CoaxPrinter ovan.

- CoaxPrinter kan användas för LMD, **figur 8** och **9** laserlödning och lasersvetsning med tillsatstråd, berättar Markus Kogel Hollacher. Fördelarna med denna utrustning är att den är helt riktningsoberoende och ger en homogen förvärmning av tråden. Den ger inte heller något materialspill och har ett stort processfönster, samt ger en stabil process. CoaxPrinter klarar 5 kW och kan användas i hastigheter upp till 5 m/min. Optiken skyddas effektivt mot sprut med en s.k. Cross Jet. Den är också lätt att integrera i olika



Figur 8. Tidiga applikationsexempel tillverkade med Precitec CoaxPrinter.

produktionsutrustningar.

- CoaxPrinter kan också kombineras med kamera och pyrometer för processövervakning. CoaxPrinter har blivit en succé. Vi har mött ett stort intresse och sålt ett flertal under det först halvåret efter marknadsintroduktionen, avslutar Dr. Markus Kogel-Hollacher, Precitec, sin presentation.

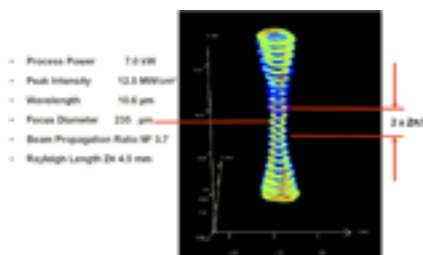
### Laserparametrar följer Industri 4.0

En trogen deltagare i NOLAMP-konferenserna är Klaus G. Hänzle från PRIMES GmbH, som tillverkar olika typer av utrustning för att mäta upp och diagnosti-



Figur 9. Applikationsexempel med Precitec CoaxPrinter från IREPA Laser.

sera laserstrålen. Det finns flera ISO standards som t.ex. ISO 11145 och ISO 11146 som definierar olika laserparametrar och hur de ska mätas, som utgångspunkt när



Figur 10. Viktiga laserparametrar enligt Klaus Hänzle, Primes GmbH visualiserat med ett Primes instrument.

man bygger diagnostikinstrument, **Fig 10**.

Primes har utrustning för effektmätning och för att mäta intensitetsfördelningen i laserstrålen. En ny utvecklingen är visualiserad bild av viktiga laserparametrar, **Fig 11**.

Det senaste i utvecklingen är en ”on-



Figur 11. Primes FM+ är ett diagnostik instrument för uppmätning av kontinuerliga laserstrålar med både låg och hög effekt. Den nya mjukvaran LaserDiagnosticsSoftware (LDS) erbjuder en hel-, halv-, eller manuell mätning av bl.a. strålens utbredning, position och storlek.

line beam monitor” som använder en tillbakareflekterad stråle inne i huvudet och jämför den med en ”Master”-profil. Om det finns adaptiv optik så kan den uppmätta strålen anpassas till masterprofilen.

-Därmed tar vi ett steg närmare Industri 4.0 genom att integrera sensorer i processhuvuden i skär- och svetsmaskiner och vi kan få information om fokuspunktens position och storlek. Den informationen kan delges operatörer, servicetekniker och kontrollcentraler.

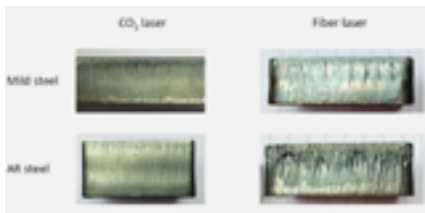
-Nästa steg är att vi i realtid, online, kan jämföra och korrigera den uppmätta strålen mot referensstrålen, och genom att adaptiv optik eller teleskop flytta strålens midja till den önskade positionen. Optiken kan också anpassa strålens diameter i fokus och strålprofilen till den önskade, avslutar Klaus G. Hänzle.

### Skärkvalitet - ett ständigt ämne till diskussion

Vi avslutar denna första rapport från NOLAMP-konferensen i Aalborg med att referera en presentation av Dr. Anders Ivarson, SSAB EMEA AB, om jämförelse av skärkvalitet mellan CO<sub>2</sub>-och fiberlaser för vanligt kolstål och nötningsresistenta AR-stål (AR=abrasive resistant).

Anders konstaterar först att det finns klara skillnader i skärnsnitt mellan CO<sub>2</sub>-och fiberlaser, för de två olika stålen, **Fig 12**.

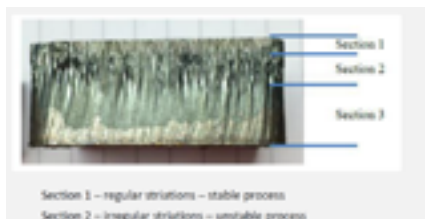
Frågan blir då enligt Anders vad som ger denna skillnad i skärnsnitt. Är det



Figur 12. Dr. Anders Ivarson, SSAB EMEA AB, diskuterade skärkvalitet för kolstål och nötningsbeständiga stål med CO<sub>2</sub>-och fiberlaser.

materialets sammansättning, processparametrar, energitillförseln, skillnader i skärmekanismer, eller skillnader i laserstrålens väg genom materialet?

Ett skärnsnitt utfört med fiberlaser uppvisar tre olika karakteristiska zoner, **Figur 13**, där den mellanliggande zonen uppvisar en instabil process med sämre ytfinhet. Detta kan bero på ökad oxygentillförsel i skärzonen och ökad mängd krom för AR-stål, multipla reflektioner av laserstrålen eller ”hot spots”.



Figur 13. Karakteristiska skärzoner vid skärning med fiberlaser i tjockt stål.

Det blir också en fråga om hur man definierar bra skärkvalitet, menar Anders. Är det ett teknologiskt värde typ R<sub>a</sub> eller R<sub>z</sub> eller något som den som utför skärning upplever?

- Det är dock av största vikt att förstå mekanismerna i laserskärprocessen när man diskuterar skärkvalitet, avslutar Anders Ivarson.

Därmed avslutar jag denna första rapport från NOLAMP 16, med ett litet bildkollage, men återkommer i nästa nummer med en fortsättning. ■



Figur 14. Överst fr.v: Steen Erik Nielsen, FORCE Technology, Brøndby visar lasersvetsning av tjockt stål; t.h grillmiddag i laserlabbet. Ovan Markko Keskitalo, Oulo Universitet, Fredrik Sikström och Morgan Nielsen, Högskolan Väst. Mitten: Sögaards Bryghus anländer till laserlabbet vid Aalborg Universitet med förfriskningar till grillkvällen. Nedan: visning i laserlabbet



# Fjärrlasersvetsning förstärker produktionen av nya Ford Mustang

Johnny K Larsson,  
Autokropolis Engineering

För mig som tidigare Volvo-medarbetare är det glädjande att kunna konstatera hur vi med vår laserkunskap kunnat bidra till den kraftfulla lasersvetsning som vår tidigare samarbetspartner Ford Motor Company nu genomför. Under de cirka 10 år som Volvo Cars var ett märke inom Ford-koncernen bombarderades jag med konstruktions- och processfrågor rörande lasersvetsning och –lödning av kollegorna Jürgen Hover, Guido Müller, Armando Joaquin, Elisabeth Hetrick m.fl., m.fl. Det var en spännande och inspirerande tid och nu kan vi se frukten av detta samarbete i form av bl.a. de laserapplikationer som vi hittar i den senaste Ford Mustang-modellen.

Laserbearbetning i ett flertal former har som bekant etablerat sig som en modern och automatiserad produktionsmetod i bilindustrin, där produktivitetaspekter är av avgörande betydelse. Detta gäller inte minst vid s.k. fjärrlasersvetsning eller ”remote laser welding” [RLW]. Den allra högsta produktiviteten får man vid svetsning ”on-the-fly”, där ett ”scanner”-baserat svetsverktyg manipuleras av en industrirobot, samtidigt som den senare rör sig kontinuerligt och därmed möjliggör en blixtn snabb ompositionering av laserstrålen [Fig. 1]. Omställningstiden mellan två svetslägen är näst intill försumbar, vilket gör att laserkällans utnyttjandegrad blir väsentligt högre jämfört med vad som är fallet vid konventionell lasersvetsning. I det följande kommer jag att beskriva



Figur 1.  
Vid svetsning ”on-the-fly” arbetar svetsverktyg och robot synkront för att utföra mycket snabb ompositionering av laserstrålen.

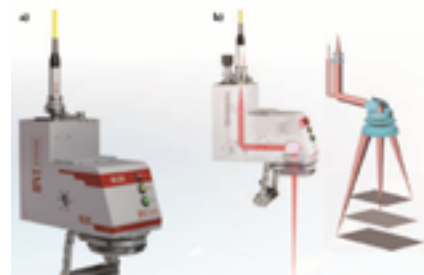
fördelarna med fjärrlasersvetsning i högvolymproduktion i form av de RLW-applikationer som förekommer i den nya Ford Mustang-modellen [Fig. 2].

Fords mål var att utveckla en enkelsidig fogmetod som passade den nya Mustang-modellens design. Kraven på ständiga förbättringar av karossernas krockprestanda har drivit på en ökad användning av höghållfasta stål hos alla biltillverkare. Bland strukturella innovationer kan även nämnas användningen av hydroformade, slutna profiler i taksvällare och vindrutestolpar. Men för att till fullo kunna utnyttja sådana komponenters fördelar krävs också avancerade enkelsidiga fogmetoder. Traditionell punktsvetsning med motståndsteknik kräver åtkomst från båda sidor av fogen. Men att ta upp åtkomsthål i de hydroformade detaljerna, för att möjliggöra sådan svetsning, skulle försvaga strukturen och därmed motverka de intentioner som utgjort skälet till att välja hydroformade, slutna profiler. Enkelsidig fogning är en förutsättning för maximal strukturell integritet i karossen, vilket garanterar de åkandes hälsa och sä-



Figur 2.  
Den nya Ford Mustang-modellen i coupé-version

kerhet. Sådana egenskaper gjorde att Ford kom att välja fjärrlasersvetsning framför punktsvetsning. Genom att använda denna teknik, realiserad bl.a. med hjälp av företaget HighYags RLSK [Remotes Laser Skanner] -svetsverktyg [Fig. 3], kunde man eliminera strukturella svagheter i karossen samtidigt som produktiviteten i karossfabriken ökade.



Figur 3.  
II-VI HighYags ”scanner”-baserade svetsverktyg för fjärrlasersvetsning har beteckningen RLSK (a), t.h. tvärsnitt genom verktyget med dess funktionsprincip (b).

Projektet initierades 2012 och 2015 transfererades fjärrlasersvetsningen av den nya Ford Mustang-modellen till serieproduktion. Fyra RLW-celler installerades

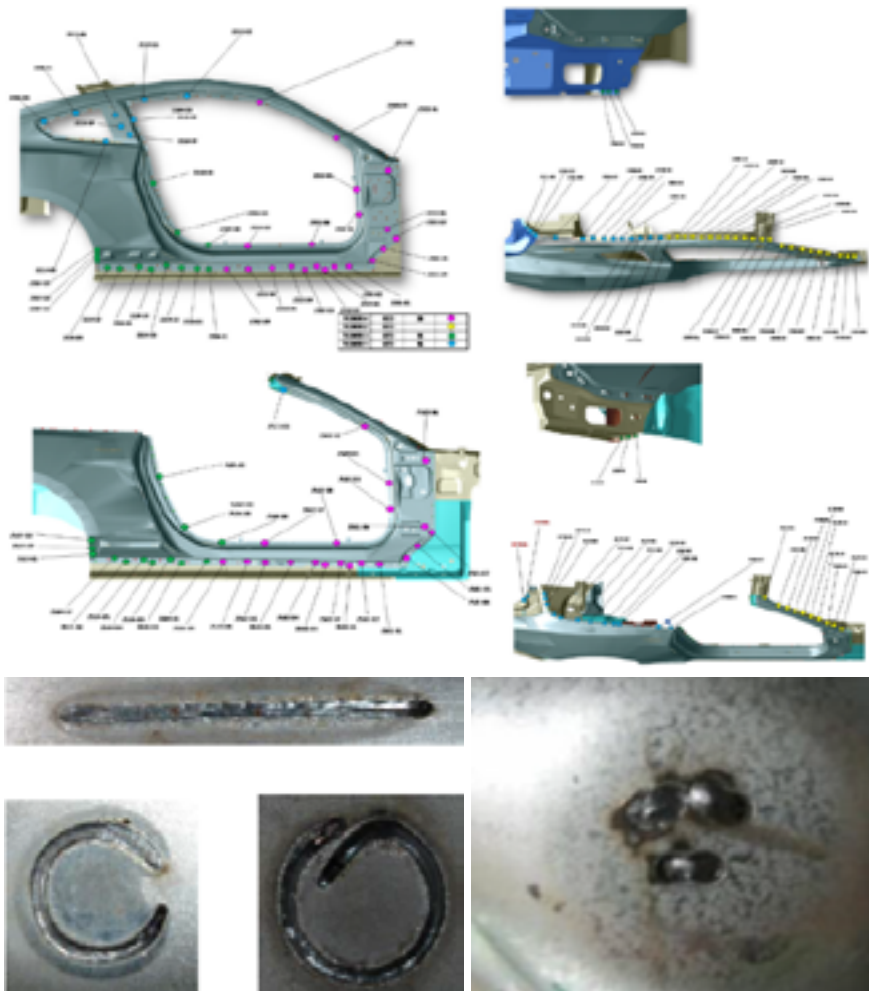
i fabriken i Flat Rock, MI strax utanför Detroit. I två av dessa utför fyra RLSK-svetsverktyg sammansättningen av de inre karossidorna inklusive skapandet av de distanshållande vårtor som är ett måste vid överlappssvetsning av zinkbelagda plåtar. I de övriga två cellerna svetsas åtta RLSK-verktyg samman inner- och yttersidorna till kompletta karossidor.

RLSK-verktyget svetsar 34 strukturella RLW-svetsar då de inre karossidorna tillverkas, vilket innefattar totala materialtjocklekar på upp till 2 mm. Deras geometriska utformning är raka svetsstyggn men också C-formade svetsar, och där laserstrålen oscilleras för att uppnå den större svetsbredd som är specificerad för de tjockare materialkombinationerna. Sedan kopplas karossidornas ytterpaneler till den lastbärande innerstrukturen med flera semi-strukturella RLW-svetsar, 79 stycken för coupé-modellen och 61 stycken för cabriolet-varianten [Fig. 4]. De 0,7 mm tjocka, varmförzinkade ytterpanelerna svetsas då till olika materialkvaliteter och tjocklekar i innerstrukturen och då använder man något som man kallar G-formade svetsar, vars geometri skall förbättra svetskvalitet och robusthet.

Genereringen av de distanshållande vårtorna på singeldetaljer är en viktig operation för att säkerställa en utmärkt svetskvalitet då man lasersvetsar zinkbelagda material. Vid användning av galvaniserade plåtar sker en förångning av zinkbelagningen då den utsätts för de höga temperaturer som uppstår vid lasersvetsning. Om svetsningen utförs med nollspalt mellan plåt detaljerna blir resultatet porer och inneslutningar i svetsgodset då den förångade zinkens enda avgasningsmöjlighet är genom svetssmältan. Därför måste man skapa en mycket smal och kontrollerad spalt mellan de plåtar som skall lasersvetsas för att skapa en avgasningsmöjlighet mellan plåtarna.

Detta tillvägagångssätt gav produktionspersonalen möjlighet att konsekvent ha kontroll över dessa spalter. Vårtorna skapas på de inre karossidorna genom att en pulsad laserstråle lokalt ”lyfter upp” plåtytan mellan 0,1-0,15 mm. Detta mått kan innehållas med hög repeterbarhet, och vårtornas lägen måste sedan sampassas med RLW-svetsarna positionering för att få en lyckad avgasningsmöjlighet för den förångade zinken och därmed förhindra porbildning i svetsgodset.

Att undertrycka det förångningsplasma som bildas vid lasersvetsning är en annan kritisk kvalitetsfaktor. Plasmata emitteras



Figur 4. Karossidornas ytterpaneler kopplas till den lastbärande innerstrukturen med 79 stycken fjärrlasersvetsar för coupé-modellen (överst t.v.) och 61 stycken för cabriolet-varianten (nederst t.v.). Svetsarna är såväl raka som C- och G-formade (nedan t.v.) och zinkavgasningen säkerställs genom att med laserpulser skapa distanshållande vårtor i singel-detaljen (nederst t.h.).

från svetssmältan och lägger sig över nyckelhålet, där det kommer att absorbera en del av laserstrålningen och därmed minska den lasereffekt som når arbetsstycket, något som leder till en minskad penetration. Plasmat egenskaper varierar allteftersom svetsningen utförs, vilket medför en oregelbunden energiabsorption, ökad variation av svetskvaliteten och helt enkelt en mindre robust lasersvetsning. Därför tvingades kollegorna på Ford att utveckla en lösning där man kunde kontrollera plasmaformeringen på ett sådant sätt att man fick ut maximal och jämn lasereffekt. Lösningen var att undertrycka plasmat genom att manipulera det samma med ett luftflöde som böjde bort plasmat från nyckelhålet. Detta åstadkom man genom att installera ett komplext rörsystem integrerat i svetsfixturerna med utblås 25 mm ovanför varje svetsläge. Därmed lyckades man undertrycka plasmat, vilket resulterade i en robust svetskvalitet med konsistent penetrationsdjup.

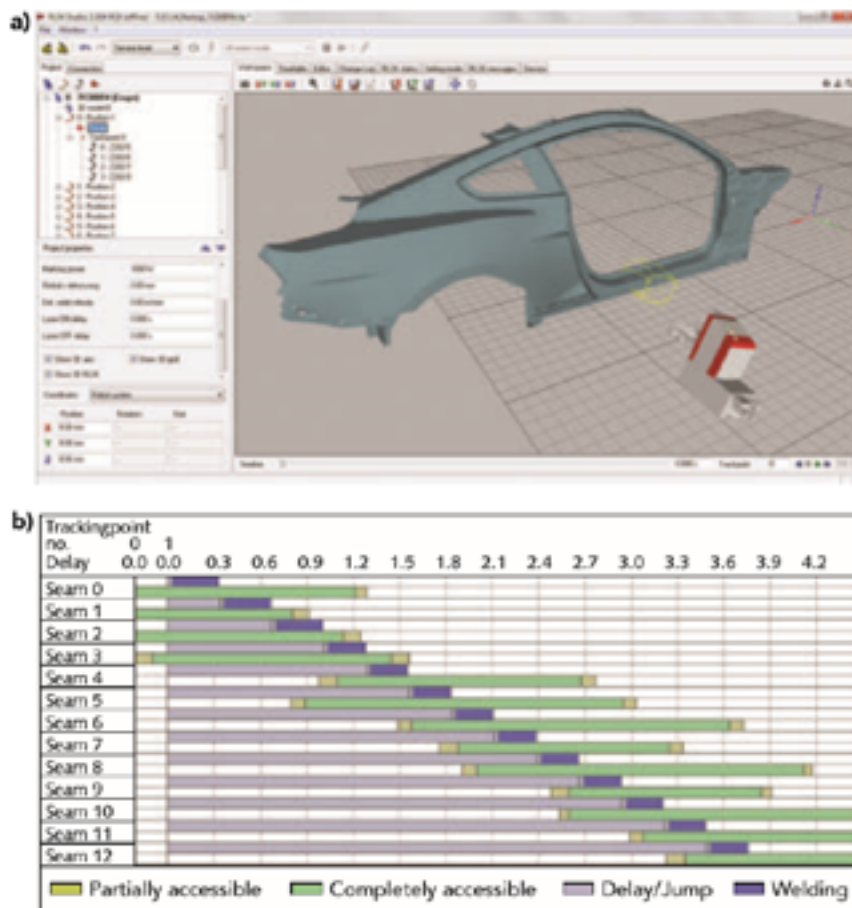
Implementeringen av fjärrlasersvetsning av Ford Mustang-modellerna medför

en fortsatt förenkling av produktionsprocessen genom att öka effektiviteten i termer av tid, utrymme och produktivitet, vilken har ökat högst väsentligt jämfört med ett processupplägg baserat på traditionell punktsvetsning. Detta kan sammanfattas så här:

- Den sammanlagda svetstiden då yttersidor och innerstruktur sammanfogas är 5 gånger snabbare och tar 22 sekunder för de 79 RLW-svetsarna jämfört med 111 sekunder som är tiden vid punktsvetsning
- Med laserns möjlighet till enkelsidig bearbetning klarar man av allt svetsarbete i en produktionscell, medan punktsvetsupplägget kräver tre celler
- Endast 4 svetsrobotar krävs för att innehålla cykeltiden i stället för 12
- Blott 2 robotar behövs för materialhantering i stället för 4
- Allt ovanstående sammantaget innebär en enorm besparing av produktionsyta i fabriken, en nog så viktig kostnadsaspekt

För att på ett enkelt sätt kontrollera fjärrlaserprocessen förlitar sig Ford på HighYags mjukvaruprogram "RLSK Studio" vilket hjälper till att synkronisera hur svetsverktyget flyttar fokalpunkts läge med robotens rörelsesekvenser. I mjukvarans grafiska användargränssnitt visualiseras fokalpunktsläge och andra processparametrar. Nerladdning av de enskilda karossidornas processdata, liksom redigering av olika parametrar, som svetshastighet och lasereffekt, är också möjligt. Därmed kan hela RLW-processen hanteras på ett enkelt och användarvänligt sätt [Fig. 5]

Svetsverktyget utgör gränsytan mellan laser och arbetsstycke och måste uppfylla nyckelkravet vid högvolumproduktion, nämligen hög produktivitet. Och denna har ökat väsentligt genom fjärrlaser-svetsning av den nya Ford Mustang-modellen med stor hjälp av RLSK-svetsverktyget. De huvudsakliga produktionsfördelarna innefattar mycket kortare cykeltider, eliminering av svagheter i karosstrukturen, reducerad golvyta i fabriken, möjlighet att individuellt forma svetsarna genom att manipulera laserstrålen, samt en användarvänlig processkontroll med hjälp av mjukvaruprogrammet "RLSK Studio". ■



Figur 5. Användarvänlig processkontroll med mjukvaruprogrammet "RLSK Studio" kan visualisera fokalpunktsläget (a), och svetsprocessen längs en tidsaxel (b). Den senare visar att det endast förekommer en minimal tidsförlust mellan de olika svetsstygnen (här markerade med blått). Därmed uppnår man en maximal produktivitet.



# 70th IIW Annual Assembly och svetskonferens i Shanghai - En blandad sammankomst av svetsexpertis från hela världen.

Jan Frostevarg,  
Luleå tekniska universitet



Figur 1.  
Vy över Huangpu River mot konferenshotellet (framför pärltornet) i Shanghai

Årets Annual Assembly och svetskonferens inom International Institute of Welding (IIW) ägde rum från den 25:e till 30:e juni i Shanghai. I år räknade arrangörerna in rekordmånga deltagare, närmare 1400, från 55 länder. Under de första dagarna hålls Annual Assembly, där jag deltagit i Commission IV och där även agerat som svensk delegat. Under en av dagarna hölls gemensamma föredrag tillsammans med Commission I, XII och SG212 för att täcka mer teori och de blandningar av processer som finns, exempelvis Additive Manufacturing (AM) och Laser-Arc Hybrid Welding (LAHW). Därefter hålls den internationella svetskonferensen under två heldagar, som i år hade temat hållbar svetsning för effektiv och pålitlig tillverkning.

## Inledning

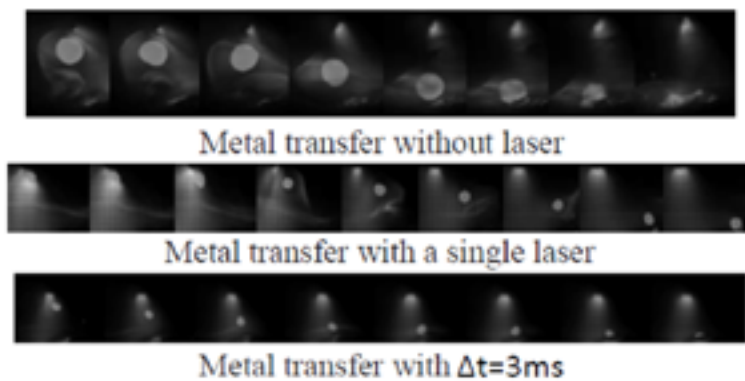
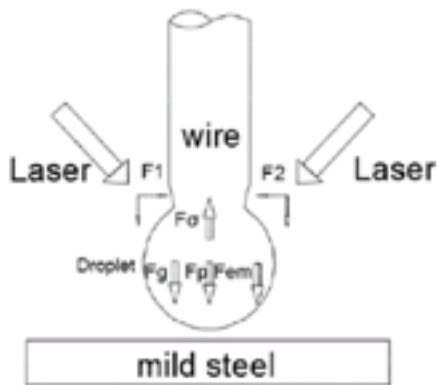
I år var det fjärde tillfället jag deltagit vid denna högst internationella sammankomst av svetsexpertis. IIW General Assembly organiseras i sexton kommissioner, fyra kommittéer och två studiegrupper för att täcka in alla aspekter av svetsning. Kommission IV är uppdelad i tre undergrupper; Elektronstrålesvetsning- (EBW), Lasersvetsning (LBW) och Laserhybridsvetsning (LAHW). Ordförande Herbert Stauer (Fronius, Österrike) röstades igenom som fortsatt ordförande efter en 4-årsperiod. Dag 1 handlade som vanligt om elektronstål- och lasersvetsning, medan dag 2 är mer blandad då den hålls tillsammans med ljusbågssvetsning (C-XII), Additive Manufacturing (AM) (C-I) och arbetsgruppen Physics of Welding (SG-212), innehållande allt mellan kontrollsystem, metodjämförelser, ljusbågssvetsning, laserhybridsvetsning och additiv tillverkning. Tredje och sista dagen för kommission IV innehöll mestadels lasersvetsning, men även laserskär-

ning, Laser Peening och teoretiska studier om absorption.

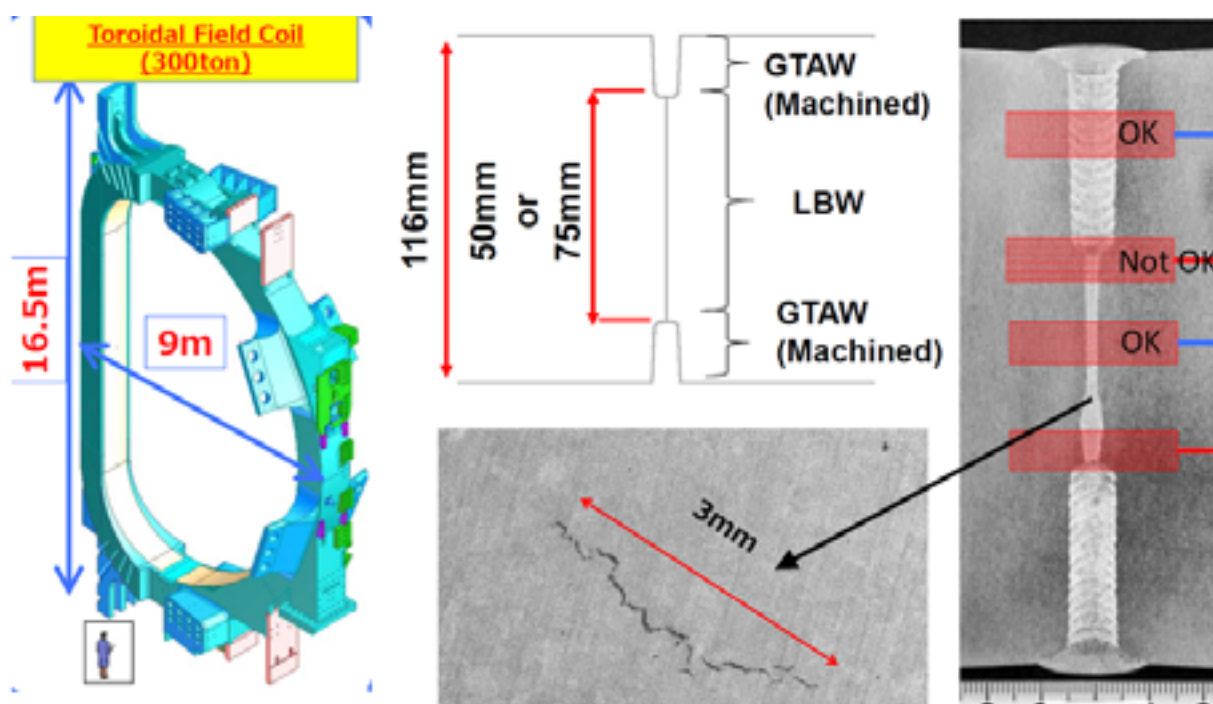
För mig som aldrig tidigare åkt till Kina, gjorde staden intryck på mig. Dels är kulturen lite annorlunda, men framförallt storleken på värdstaden Shanghai är närmast ofattbar. Konferenshotellet låg bredvid det kända pärltornet, **Fig 1**. Det är ett område med mycket inhemska turister, som stannar och tar bilder på allt dom ser, speciellt långa Européer vad det verkar. De inplanerade sociala evenemangen med ”Chinese gala banquet” och ”River cruise” var trevliga tillställningar, med lokal kinesisk musik och uppträdande under middagen.

## Presentationerna

Det var många intressanta presentationer även i år. Här är ett litet urval som täcker flera aspekter;



Figur 2. Laser enhanced gas metal arc welding, dvs laserstyrd droppöverföring vid ljusbågsvetsning

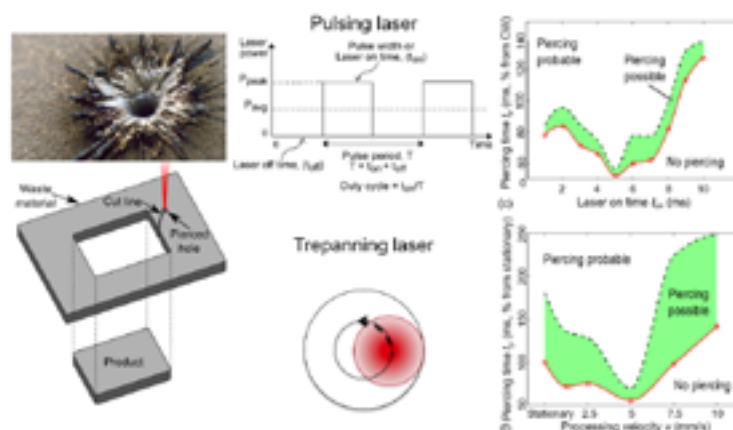


Figur 3. Svetsning av plasmaspolar för byggandet av ITER (experimentell fusionsreaktor)

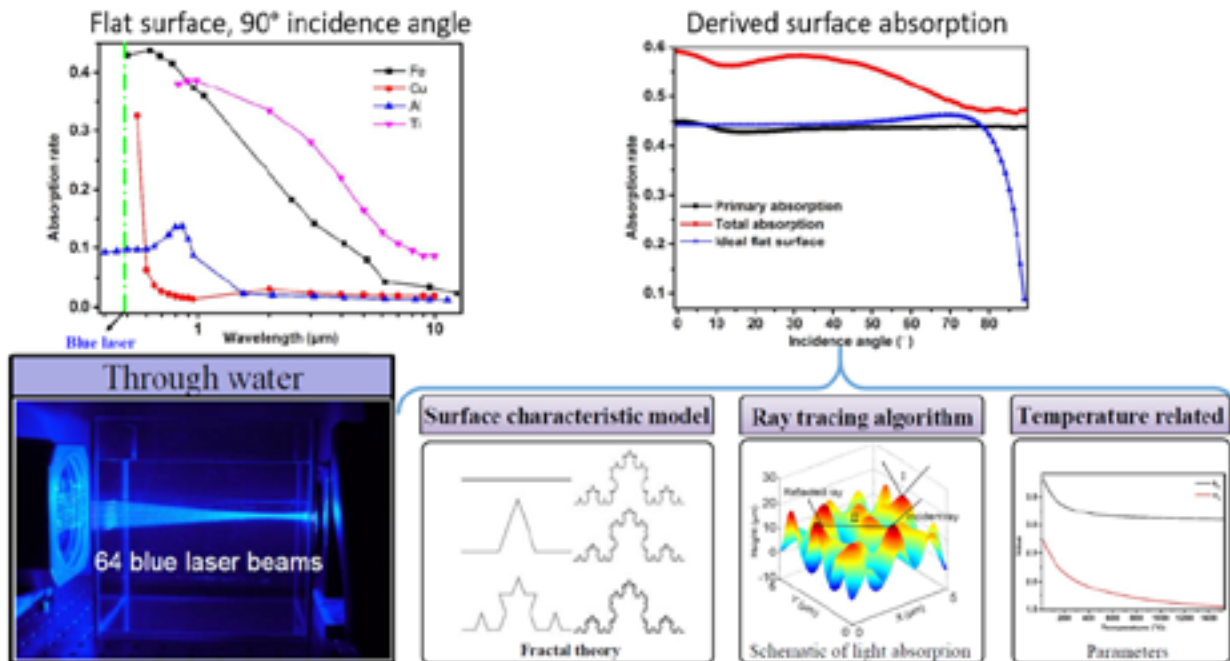
**The effects of shielding gas type and reduced pressure on laser weld porosity and weld geometry**

Denna presentation var en studie gjord på fyra material med antingen argon eller kväve som skyddsgas. Av de jämförda materialen förekom det minst porer för rostfritt stål (12 6 9), oavsett skyddsgas. Detta antas bero på den höga manganhalten som hjälper till att stabilisera nyckelhålet då det bidrar till högre ångtryck. Det andra materialet som är rent nickel får mest porer, också oavsett skyddsgas. Det antas bero på att nickel har lågt lägre ångtryck och kan då inte stabilisera nyckelhålet så bra, vilket leder till inneslutningar av porer när materialet stelnar. För de andra jämförda materialen, A36 stål eller 304L rostfritt, spelade skyddsgasen däremot en stor roll. Många fler porer bildades när argon används som skyddsgas jämfört med

kväve. Detta kopplas till reaktans med smältan och kväve under svetsning.



Figur 4. Laser piercing, optimering av genomträngning innan skärning med pulserande och roterande laserstråle



Figur 5. Utvecklad laserkälla med blått ljus (stackade dioder) och matematisk modell och mätning för bedömning av ytabsorption

### Double-sided dual laser pulse driven droplet transfer in GMAW

En ny process som presenterades är laserstyrd ljusbågsvetsning (laser enhanced gas metal arc welding, LEGMAW), **Fig 2**. Där används en laser för att styra droppöverföringen till smältpölen. Detta fungerar så att laserstrålen träffar droppen på spetsen av svetsstråden, som då får ett ångtryck som är dubbelt så starkt som ytspänningskraften som håller kvar den. Om det dessutom används två lasrar, kan riktningen på dropparna som lossnar kontrolleras ännu bättre. Utan lasrarna skulle processen ha varit närmast kortslutande, med stora globulära droppar. Men med laserstyrning är den istället pulsad, med mindre riktade globulära droppar. Det är värt att notera att detta är en dyr process, men kan ge hög precision som kan vara värdefullt ex. vid 3D printing.

### 30kW LBW for manufacturing TF coils of ITER

För det stora projektet ITER (experimentella fusionsreaktorer i Frankrike) behövs 16.5 meter höga och 9 meter breda spolar tillverkas (med speciell geometri), **Fig 3**. Metallen som används för detta är 316LNH rostfritt stål och kravet är att svetsa 75 mm djupt från båda sidor och mer än 180 MPa/m<sup>2</sup> slaghållfasthet behöver nås. För detta används en 30 kW laser. Ett starkt fokalskifte (9 mm) medföljer som minskar svetsdjup med upp till 8 mm. Elektronstrålesvetsning hade varit ett alternativ om det hade varit enklare att hantera utrustningen. Det största proble-

men som uppstår med lasersvetsningen är sprickbildning, som dessutom ökar om fosfor (P) och svavel (S) finns i materialet. Förutom dessa sprickor, härleddes att slaghållfastheten framförallt påverkas av oxider och syre i skyddsgasen.

### Differences between continuous, Pulsing and Dynamic Piercing for Laser Cutting

Min egen presentation handlade i år om optimering av lasergenomträngning av plåtar (laser piercing). Här är jämfört två olika tekniker som analyserats och utvärderats av Jetro Pocorni (som nyligen disputerat) och John Powell. Laser piercing är det som händer innan laserskärning och utförs oftast genom att bestråla ytan tillräckligt länge tills man är säker på att strålen borrar igenom materialet, **Fig 4**. I studierna har undersökts både pulserande laserstråle samt att röra strålen i en cirkelform. För att få pålitliga resultat användes höghastighetskamera för att observera när genomträngning nåts för många genomträngningar. Detta upprepades för samma parametrar upprepade gånger för att få statistisk tillförlitlighet. För 10 mm stål blev resultatet att det är bäst med en viss tid av/på samt mellan pulserna för laserstrålen. För cirkelrörelse med 15 mm tjockt stål hittades en optimal storlek på cirkelrörelsen samt hastighet. När jag jämfört metoderna verkar det som att båda metoderna kan nå liknande resultat, men att pulserande genomträngning ger högre pålitlighet, dvs mindre avvikelser mellan upprepade processer.

### Development of a high-power blue laser (455 nm) and its absorption rate estimation based on fractal theory

Att veta hur absorption av ljus fungerar på ytor är viktigt för alla laserprocesser, men speciellt i början av en svetsprocess eller för laserhårdning. Lasergruppen i Osaka har undersökt detta för en ny potentiell lasertyp (diod) som använder blått ljus, **Fig 5**. Blått ljus (455 nm) har bättre absorption för flera metaller, ex koppar, järn och titan. Ytstruktur, infallsvinkel och yttemperatur är kända faktorer som påverkar reflektion och absorption. För hårdningsapplikation har en simuleringsmodell tagits fram som bygger på fraktalteori och mätningar på processen gjord med 250 W. Lokalt på ytan härleddes och mättes att för rostfritt Sus420 stål ökar absorptionen med hög infallsvinkel, medan för mindre infallsvinklar ökar absorptionen på grund av multipla reflektioner.

### Avslutningsvis

Miljön på detta års konferens var lite påverkad av kinesiska kulturen mellan sessionerna. Det blev många intressanta presentationer och diskussioner. Speciellt för konferensen i år var att hälften av deltagarna var från Kina. Det känns hälsosamt att få en inblick i hur forsknings- och applikationsläget ser ut i Kina. Det är trevligt att ha upptäckt några (för mig nya) institutioner som håller hög internationell nivå, som det skulle kunna bedrivas framtida samarbete med. ■



# Ett intressant laserverktyg börjar se dagens ljus hos Volkswagen AG

Johnny K. Larsson,  
Autokropolis Engineering

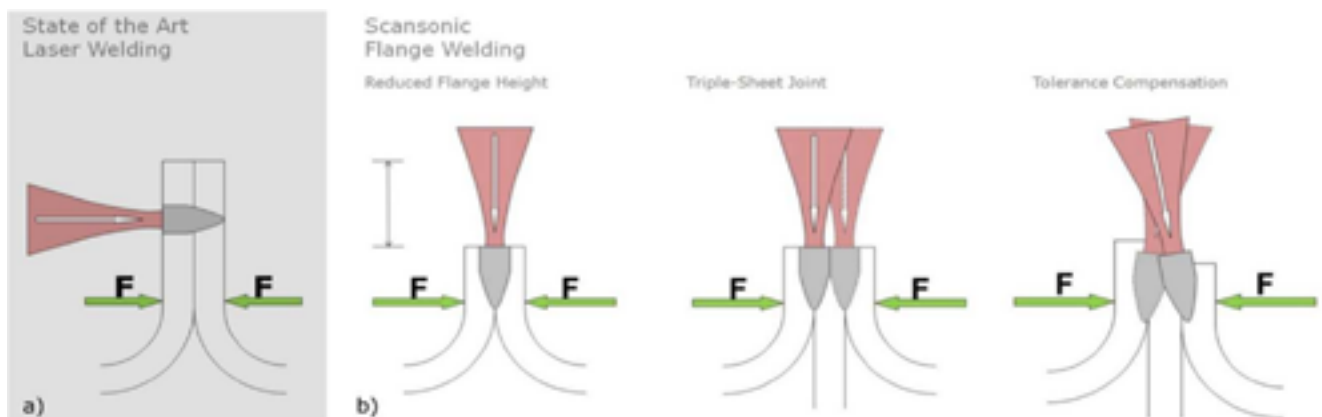
Thorge Hammer presenterar resultaten från ett samarbete med Scansonic AG.

Thorge **Hammer** från Volkswagen AG har jag känt i lasersammanhang ända sedan pionjäråren under 1990-talet, och åtskilliga är de gånger då vi haft givande diskussioner i såväl Wolfsburg som an-

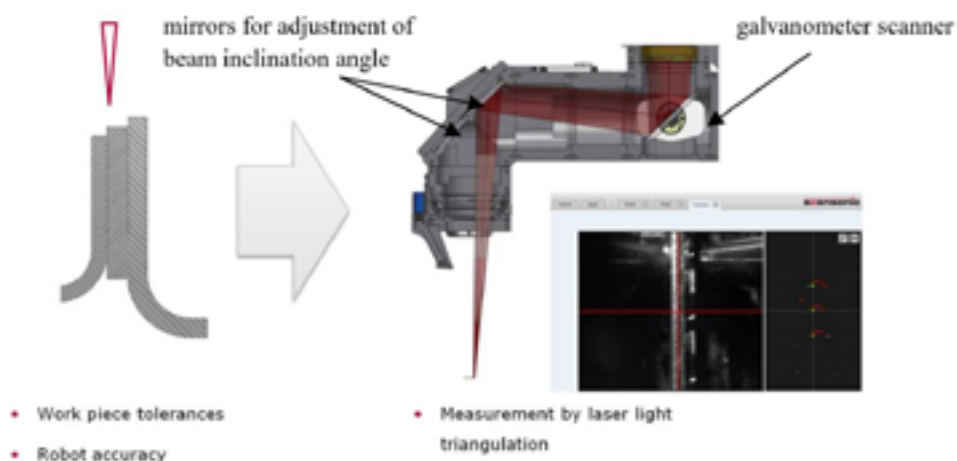
norstades. Många av de laserinnovationer som sett dagens ljus inom VW-koncernen bär Thorges signatur, och i det följande skall ni få stifta bekantskap med ett nytt innovativt verktyg som tagits fram av Scansonic AG på hans beställning.

En tydlig trend inom karosertillverkning är att minska flänsbredder i dörr-

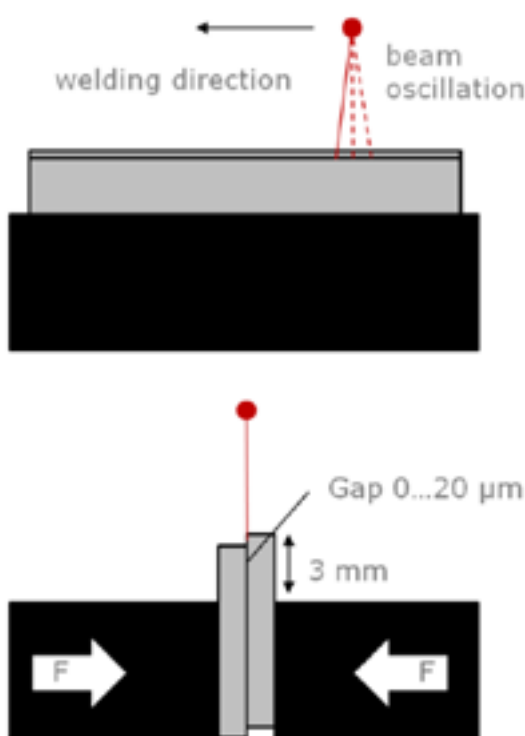
och fönsteröppningar, på balkar och andra detaljer. Detta medför viktsbesparingar och därmed minskade koldioxidutsläpp, men skapar också förutsättningar för nya designlösningar liksom en förbättrad komfort. I dylika flänsförband måste två eller flera plåtar sammansvetsas, och om traditionella svetsmetoder, som exempel-



Figur 1.  
(a) klassisk lasersvetsning med breda flänsar, (b) fläns lasersvetsning eller RFLBW möjliggör betydligt kortare flänsar.



Figur 2.  
Optisk följning används för att få en exakt positionering av laserstrålen.



Figur 3.  
De parametrar som ingick i svetsförsöken.

vis motståndspunktsvetsning, används begränsas den möjliga flänsbreddsreduktionen eftersom denna metod kräver minst 12 mm plan fläns. I det fallet, liksom vid traditionell flänssvetsning med laser, sker fixering och svetsning i samma riktning [Fig. 1a]. Om man lasersvetsning dessutom inte säkerställer en spalt

Tabell 1.  
Nyckeldata för Scansonic's flänssvetsverktyg, prototyp #1 från 2014.

Data	
Förstoringsgrad [M]	2,8
Fogföljningstyp	Optisk
Justering av strålvinkel	+ 4° / - 4°
Strålscilleringsfrekvens	Max. 1 kHz

mellan plåtarna kommer svetsdefekter att uppstå. En idé för att kunna svetsa betydligt kortare flänsar är att använda sig av RFLBW [Reversed Flange Laser Butt Welding] eller "flänssvetsning", en metod som Thorge Hammer utvecklat i samarbete med Scansonic. Med denna teknik sker fixering och svetsning i vinkelrät riktning mot varandra [Fig. 1b], och därmed kan flänsbredden reduceras till 5 mm. Eftersom detta förfaringsätt även underlättar avgasningen av förångad zink kommer antalet svetsdefekter att kraftigt reduceras.

Med en dylik fogutformning kan emellertid svetsprocessen endast tillåta minimala avvikelser mellan laserstrålens

	Type	Max. Power	LLK (d)	BPP
Beam Source	TruDisk 5001	5000 W	0,2 mm	8 mm*mrad
	Robot	Optic (d <sub>laser</sub> )	Seam Tracking	Beam Oscillation
Robot, Optic	Kuka KR30	FSO2.8 d <sub>l</sub> = 0,56	I-Seam optical	longitud. in welding direction
	Piece 1	Piece 2	Thick-ness	Condition
Workpieces	HX420	HX420	1.2	Zn (electro-lytic)
	Configu-ration	Seam	Add. Material	Process gas
Details	Overlap	I-seam at flange	without	without



Figur 4.  
Sidovy, toppvy och tvärsnitt av en lasersvetsad flänsfog i zinkbelagd stålplåt utan strålscillering.

axel och den tilltänkta svetspositionering- en. Därigenom blir det plättjocklekarna och fokalpunktsdiametern som begränsar de laterala avvikelserna. Vanligtvis ligger plättjocklekarna för en personbilskaross i området mellan 0,6-1,5 mm och typiska fokalpunktsdiametern mellan 0,4 och 0,8 mm. M.a.o. kan någon lägesavvikelse knappast tolereras, varför svetsverktyget måste vara försett med någon form av fog- följningsfunktion, och laserstrålen måste följa centriskt i spalten mellan plåtarna [Fig. 2].

Tack vare lasertriangulering med tre laserlinjer projicerade på flänskanterna kan den laterala positionen i flänsförbandet identifieras i realtid. Informationen om den ideala svetspositionen skickas till

de två rörliga galvospeglarna i "scanner"- enheten. På så sätt kommer laserstrålen alltid att finna sin korrekta position. Förutom upplinjerings av fokalpunkten relativt plåtarnas y-koordinater måste även hänsyn tas till plåtarnas inbördes avstånd i z-led. Som en konsekvens av variationer i detta mått kan därför laserstrålens infallsvinkel varieras för att undvika skuggningseffekter från den högst positionerade plåt detaljen. **Figur 1b** visar på en möjlighet i den högra bilden. I det första prototypverktyg som Scansonic tog fram användes samma "scanner" för såväl fogföljning som till att vinkla laserstrålen ± 4° relativt en vinkelrät infallsvinkel, men med bibehållen y-positionering i spalten mellan plåtarna [Fig. 2].

För att kunna skapa tillräckligt arbetsavstånd mellan skyddsglas och arbetsstycke behöver den optiska förstoringen [M] vara så stor som möjligt. Vid konstruktion av prototypoptiken valdes  $M = 2,8$ . Det gör att man kan använda fastkroppslasrar med stråldistribution via en optisk fiber med 200  $\mu\text{m}$  diameter och en strålkvalitet BPP [Beam Parameter Product] på under 8 mm\*mrad för att åstadkomma en fokalpunkt med en 500  $\mu\text{m}$  stor diameter. Vidare möjliggör ytterligare två galvospeglar stråloscillering i x- och y-led. Amplituden kan varieras från 0,1 mm till några millimeter, med en frekvens på upp till 1 kHz. Genom stråloscilleringen kan dynamiken i svetsmältan påverkas positivt för att erhålla en svets med hög kvalitet, samtidigt som spalter mellan plåtarna kan överbryggas om så krävs. Denna första prototyp för ”fläns-svetsning”, framtagen av Scansonic, har tekniska nyckeldata enligt **tabell 1**.

Vid de grundläggande flänssvetsförsöken använde man elförzinkade plåtar med en tjocklek på 1,2 mm, där spalten mellan plåtarna varierades mellan 0 och 20  $\mu\text{m}$ . Laserkällan var en TruDisc 5001 från Trumpf med 8 mm\*mrad i strålkvalitet från vilken laserstrålen skickades genom en 200  $\mu\text{m}$  grov optisk fiber. Under själva svetsprocessen oscillerades strålen med amplituder mellan 0 till 3 mm i svetsriktningen, och frekvensen varierades mellan 0-1.000 Hz. **Figur 3** visar de viktigaste parametrarna som användes under försöken,

efter vilka svetsarnas toppyta utvärderades liksom deras tvärsnitt.

I **figur 4** kan man se en typisk lasersvetsad flänsgeometri bestående av två zinkbelagda plåtar. Svetsparametrarna var här; lasereffekt 4,0 kW, svets hastighet 5 m/min och fokalpunktsdiameter 560  $\mu\text{m}$ . I detta fall användes ingen stråloscillering, men man kan se att svetsen befinner sig i önskad position. Tack vare fogföljningsfunktionen tycks toleranser hos plåtarna inte ha någon inverkan på svetskvaliteten, och fokalpunkten befinner sig alltid i korrekt position i fogytan mellan plåtarna. Med detta förfarande kan flänsbredden reduceras från 12 till cirka 5 mm. Typiskt är uppkomsten av ytbrytande porer liksom inneslutna porer i svetsgodset, detta som ett resultat av den förångade zink som uppkommer under svetsförloppet. Fenomenet är jämförbart med vad som händer vid överlappssvetsning av zinkbelagda plåtar med näst intill nollspalt.

Resultaten från svetsning med stråloscillering visar samma goda potential hos fogföljningsfunktionen. Hela svetsen ligger i önskat läge precis mellan de två plåtarna. I **figur 5** syns exempel på de svetsade provplåtarna. Även här användes 4,0 kW lasereffekt, men en något lägre svets hastighet, eller 4 m/min. Fokalpunktsdiameteren var 560  $\mu\text{m}$ , samma som vid svetsförsöken utan oscillering.

Låt mig sammanfatta som följer! Denna form av laserflänssvetsning möjliggör en signifikant minskning av

flänsbredder, från dagens typiska värden kring 12-15 mm till endast 5 mm. Detta leder inte bara till viktminskningar, utan ökar möjligheterna till designförbättring vid karosstillverkning. Dock kräver den här typen av fogformning någon form av fogföljning för att garantera en korrekt positionering av lasersvetsen, annars kan små toleransvariationer hos de ingående plåt detaljerna leda till svetsdefekter. Resultaten från de utförda experimenten indikerar att man har en stor inverkan på svetskvaliteten från stråloscilleringen i svetsriktningen. Amplituder mellan 1,4-2,8 mm och oscilleringsfrekvenser mellan 600-1.000 Hz gör att man får en förslutning av svetsen toppyta, samtidigt som uppkomsten av svets sprut reduceras. Med detta verktyg förväntar sig Herrn Hammer och hans kollegor inom VW-koncernen att det skall bli möjligt att utföra defektfria svetsar vid lasersvetsning av zinkbelagda plåtar i överlappsfog med nollspalt! ■

Step length [mm]	Laser Power $P_L$ [kW]	Waveform	Amplitude A [mm]	Frequency f [Hz]	Welding Speed $v_R$ [m/min]
continuous	4	Sinus	1.0 ... 1.4 ... 2.8	200 ... 600... 1000	2.0 ... 5.0 (steps 1.0)



- closed seam surface
- < 2 spatter @ 40 mm
- > 2 spatter @ 40 mm



Figur 5. Sidovy, toppvy och tvärsnitt av en lasersvetsad flänsfog i zinkbelagd stålplåt med stråloscillering.

# EAB I SMÅLANDSSTENAR GÖR ÄNNU EN INVESTERING - NU I EN LASER FRÅN PRIMA POWER

EAB är ett familjeägt företag som ligger i Smålandsstenar. De arbetar inom tre produktområden: Lagerinredningar, Portar och Stålbbyggnader. All konstruktion, produktion och utveckling sker i Smålandsstenar, men man har idag hela världen som marknad. Företaget startades 1957 och de har idag 215 medarbetare.

EAB investerar nu i en laserskrämskin, Laser Genius, från Prima Power och Din Maskin.

Dan Andersson, produktionschef på EAB, berättar;

Vi har haft Din Maskin som leveran-

tör i många år och vi gillar dem! Vi har såklart också mycket stora förväntningar på den nya lasern och den kommer att bli ett mycket bra tillskott till vår produktion, avslutar Dan.

Maskinen har innovationer som laserarm i karbonfiber och stativ av syntetisk granit. Effektiviteten ökas ytterligare med dynamiska linjärmotorer som ger ökad produktivitet på upp till 15% jämfört med traditionella system. Skärhuvudet har adaptiv optik för automatisk justering av fokusläge och fokusdiameter, med skyddsglas i snabbväxlingskassett. EAB har även utrustat sin maskin med optioner som SMART Cut, MAX Cut och

NIGHT Cut som optimerar laserprocessen för varje applikation. Skyddskabinen finns i två olika versioner: LEAN, snabbarare att installera och med ett attraktivt pris, och OPEN, med högre tillgänglighet till arbetsområdet.

EAB är, som sagt, sedan många år kund till Din Maskin och vi hittar både lasermaskiner, pressar och stansmaskiner i deras fina anläggning.

För mer info om Prima Power laserskrämskinner, kontakta en säljare på Din Maskin eller besök [www.dinmaskin.se](http://www.dinmaskin.se)

Här hittar du till EAB: [www.eab.se](http://www.eab.se)



Bildtext: Operatören Rasmus Hägglund vid den nya laserskrämskinner, Prima Power Laser Genius, från Din Maskin.

# Fråga laserdoktorn

## Fråga

En fråga som vi har funderat på är plasmabildning vid lasersvetsning. Hur fungerar det, och varför är det ett problem? Finns det några rekommendationer och tips kring plasmadiskussionen?

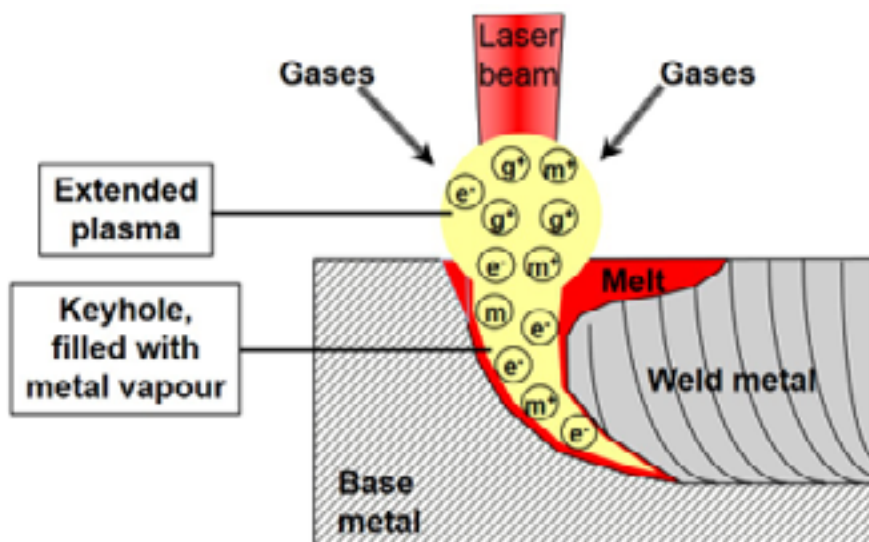
## Svar

Plasmabildning är ett fenomen som har diskuterats till och från under lång tid. För att förklara det på enkelt sätt kan man säga att metallen i det svetsade materialet förångas och blandas med joniserad gas mellan svetshuvudet och materialet, **fig 1**. Om mängden plasma blir för stor får man en absorption av laserstrålen i plasmata och svetsprocessen störs, vid stora mängder plasma kan man till och med få s.k. plasmaavskärmning där merparten av energin från laserstrålen absorberas i molnet. I dessa fall avstannar svetsprocessen helt och kan inte återupptas förrän molnet har minskat i omfattning.

Det märkliga är att det ändå behövs ett visst mått av plasmabildning för att underlätta för laserstrålen att ”kopplas” ner i materialet. Problemet uppstår då det bildas för mycket plasma.

Vilka faktorer påverkar plasmabildningen då? Det finns flera parametrar som styr detta. En parameter är våglängden på laserljuset. Ljuset från CO<sub>2</sub>-lasrar med 10,6 µm våglängd absorberas

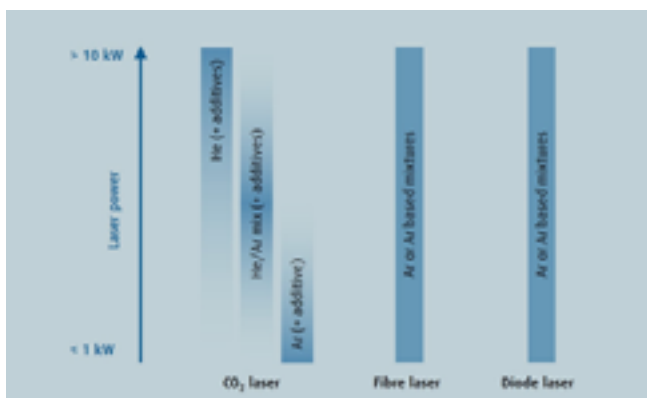
lättare än ljuset från en fiber/disklaser. Lasereffekten påverkar också plasmabildningen. Generellt gäller att ju högre lasereffekt, desto mer plasma bildas i processen. Valet av processgas har också en påverkan på plasmata. För att sammanfatta det hela kan man säga att låg molekylvikt och hög jonisationsenergi är gynnsamt för



Figur 1. Plasmabildning vid lasersvetsning

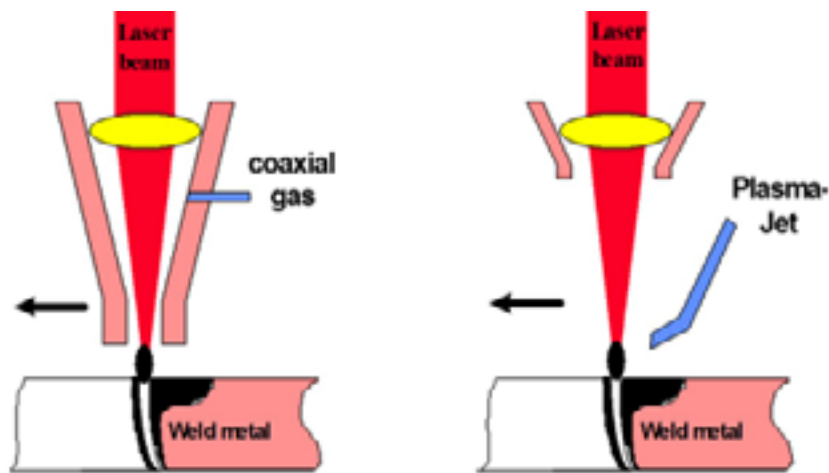
att minska plasmabildningen. Det är av den anledning helium ofta används som processgas, framför allt vid höga lasereffekter. Vid lägre effekter fungerar ofta argon eller en argon/heliumblandning. Tumregeln är att använda mer helium

i blandningen ju högre lasereffekt som används, **fig 2**. Vid användning av mer kortvågiga lasrar fungerar argonbaserade gaser och blandningar bättre än då CO<sub>2</sub>-lasrar används.



Figur 2. Processgaser vid lasersvetsning

En annan parameter som styr plasmabildningen är arrangemanget av gastillförseln till systemet, **fig. 3.** Tidigare används koaxiella gasdysor där laserstrålen passerade i centrum. En väl fungerande lösning som dock kan påverka graden av plasmabildning genom att gasens uppehållstid i strålen blir lång. Detta medför att gasen får en relativt lång tid att interagera med laserstrålen varvid plasma genereras. Modernare arrangemang utnyttjar system där gasen tillförs från sidan. Fördelen här är att den tidigare nämnda uppehållstiden i strålen förkortas och möjligheten till interaktion med laserljuset begränsas. Det finns också lösningar där man kombinerar båda alternativen. ■



Figur 3.  
Processgasarrangemang

## Arktiskt samarbete inom 3D-printing av metallprodukter

Med hjälp av en ny samarbetsplattform, delvis webbaserad, ska företag i den arktiska regionen bli bättre på att samarbeta inom 3D-printing av metallprodukter. Det är en tillverkningsmetod som minskar miljöpåverkan och tillverkningskostnader för företag. Samarbetet koordineras av Luleå tekniska universitet där även universiteten i Uleåborg och Tromsø deltar.

– 3D-printing för metaller är en spännande teknik som redan funnits i många år, men det är först nu tekniken mognat och därför kan bli lönsam för företagen, säger Jan Frostevarg, forskare i produktionsutveckling vid Luleå tekniska universitet, och den som leder projektet C3TS – arctic platform to Create, 3D-print, Test and Sell.

Den nya samarbetsplattformen handlar om att företag ska kunna skicka sina ritningar till andra deltagare i nätverket som sedan tillverkar produkten, genom 3D-printing. Det kan exempelvis gälla reservdelar eller lågvolumstillverkning av kompletta metallprodukter för tillverkande företag. Alla projektmedlemmar kommer att få varsin produkt anpassad för och tillverkad genom 3D-printing. Vad som avgör valet mellan 3D-printing av

metallprodukter och traditionell tillverkning är flera faktorer.

– Det handlar mycket om produktionsvolym, leveranstid och produktionskomplexitet. 3D-printing har en fördel vid små volymer, leveranstiden blir kort och det går att tillverka komplexa strukturer som annars hade varit omöjliga att göra. En viktig aspekt är att det går att istället för att tillverka flera delkomponenter som sätts ihop, istället ”skriva ut” en komplett produkt, säger Jan Frostevarg.

### Förbättrar processen för 3D-printing

Samarbetsplattformen för 3D-printing i Arktisområdet är ett Interreg Nord projekt med en budget på cirka 10 miljoner. Förutom att koordinera projektet, deltar Luleå tekniska universitet i egenskap av processutvecklare. Den teknik för 3D-printing som främst kommer att appliceras i projektet kallas för SLM (Selective Laser Melting). En viktig aspekt av projektet, som leds av Uleåborgs universitet, handlar om att lära sig hur man designar metallprodukterna för att få mest nytta av den nya teknologin. Det är viktigt att ta fram designkriterier för att skapa produkter som håller mekaniskt i drift. Tromsø universitet ansvarar för att utveckla nya affärsmodeller och strategier. Dels kommer de att skraddars affärsmodeller till företagen i projektet, dels kommer de att

ta fram generella riktlinjer för ytterligare företag som vill ansluta sig till samarbetsplattformen. I februari 2018 är det tänkt att den första versionen av plattformen ska vara klar.

Efter att universiteten byggt den arktiska plattformen för 3D-printing kommer de att inta en stödjande roll. En målsättning är att företag känner sig ansvariga för att fortsätta driva samarbetet vidare även efter projektet avslutas.

– Jag tror mycket på plattformen. Genom att använda digitala lösningar kan vi dra nytta av den volym som finns i det här området, trots avstånden. Blir vi tillsammans skickliga på att använda 3D-printing för metallprodukter kommer företagens konkurrenskraft kunna öka, avslutar Jan Frostevarg. ■



Jan Frostevarg, universitetslektor i produktionsutveckling vid Luleå tekniska universitet. Han är också projektledare för C3TS. Foto: Ted Karlsson.

# Jetro Pocorni - ny doktor i laserskärning och laserborrning

Jetro Pocorni försvarade med framgång sin avhandling "Laser Cutting and Piercing: Experimental and Theoretical Investigation" vid disputationen den 29 september. Opponent var Prof. William O'Neill, University of Cambridge, UK.

Jetro har arbetat med att undersöka laserskärningens processeffektivitet samt morfologi och smältflöden vid laserskärning och laserborrning.

Examinationskommittén bestod av Prof. Gert-Willem Römer, University of Twente, NL, Assoc. Prof. Maria José Tobar

Vidal, Universidade Da Coruña, ES, och Prof. Robert Pederson, Högskolan Väst, Trollhättan.

Handledare har varit Prof. John Powell, adjungerad professor vid LTU.

Jetro Pocorni arbetar nu vid Högskolan Väst. ■



Examinationskommittén med opponent och handledare samlade runt Jetro Pocorni efter disputationen.



# Additive Manufacturing: by TRUMPF

LMD: Laser Metal Desposition &

LMF: Laser Metal Fusion: only by TRUMPF

svetiscen@trumpf.se



Laser Metal Deposition

TruLaser Cell 3000

Laser Metal Fusion

TruPrint 1000



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)

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

