

# Lasernytt



3-2015

Laserforskning  
på hög nivå



**PROTAL AB:s NYA  
3-D LASERMASKIN  
PRIMA RAPIDO**



**LASERSKÄRNING  
LASERDAG HOS  
DIN MASKIN**



**PREITEC 'S  
NYA SKÄRHUVUD,  
PROCUTTER**

**MÄRKNING  
AV FRUKT  
PÅ NYTT SÄTT**





**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)**

Lasernytt utkommer med 3 nummer/år och ges ut av  
Lasergruppen c/o Svetskommissionen  
Box 5073, 102 42 Stockholm  
Telefon: 08-120 304 03

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

**Redaktionellt arbete och kansli**  
Per Westerhult  
Telefon: 08-120 304 03  
E-post: per.westerhult@svets.se

**Ansvarig utgivare**  
Per Westerhult

**Lasernytt på Internet**  
www.lasergruppen.eu

**Omslagsbild**  
Laserforskning på ILT i Aachen

**Produktion:** Ineko Creative, Stockholm

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

**Annonssör**  
Permanova

**LASER**  
LASERGRUPPEN

## INNEHÅLL

<b>TANKAR FRÅN STYRELSEN</b>	
Ultrakorta pulser i framtidens laserbearbetning	1
<b>LASERDAG</b>	
3D-skärning nyckelteknik vid presshårdning	2
<b>RAPPORT FRÅN 68TH IIW ANNUAL ASSEMBLY / SVETSKONFERENS I HELSINGFORS</b>	
En blandad sammankomst av svetsexpertis från hela världen	6
<b>RAPPORT FRÅN LIM (LASERS IN MANUFACTURING)</b>	
Den heltäckande lasermässan	8
<b>PRESSRELEASE</b>	
EBP i Olofström investerar i en avancerad laser	24
Precitec ProCutter - ny flexibilitet i laserskärning	25
<b>RAPPORT FRÅN 33RD ICALEO - DEL 3</b>	
Lasersvetsning och additiv tillverkning dominerade	27
<b>DEL 17</b>	
Mikrobearbetning med laser	42
Ny laserlicentiat vid LTU	43
Prototol AB - från prototyper till fullskalig produktion	44
<b>SAMTAL KRING LASERTRENDER - DEL 22</b>	
Reinhart Poprawe ger sin syn på Materialbearbetning med laser	45
Gränslös utbildning inom laserbearbetning	48
CO <sub>2</sub> -laser eller fiberlaser för skärning?	49
Fråga laserdoktorn Bo Williamsson	51
Laser vinner fortfarande mark hos småföretagen	52

# Ultrakorta pulser i framtidens laserbearbetning



För 55 år sedan tillverkades den första användbara lasern och sedan dess har utvecklingen gått med en rasande fart.

I filmen Never Say Never Again från 1983 har James Bond ett armbandsur med en inbyggd laser som går att skära med. Vi är inte riktigt där än men utvecklingen på lasersidan har gått mot högre lasereffekter, bättre strålkvaliteter och mindre utrymmeskrävande laserkällor så vem vet, en dag kanske vi har användbara lasrar inbyggda i våra smartphones?

Idag är lasersvetsning och laserskärning mogna bearbetningsprocesser som används i en mängd olika applikationer. Den stora snackisen de senaste åren är additiv tillverkning med laser vilket bland annat innefattar laserpåsvetsning och 3D printning. I en tid när vi insett att jordens resurser inte är oändliga går trenden mer och mer mot återanvändning. Istället för att alltid ersätta slitna och skadade detaljer med nyttillverkat har laserpåsvetsning skapat sig en ypperlig position där en renoverad detalj oftast får minst lika bra och ibland till och med bättre prestanda än originaldetaljen. Även vid nyttillverkning kan man med fördel använda laserpåsvetsning både för att spara pengar men samtidigt också öka prestandan på produkten. Ofta är det produktens ytor som utsätts för slitage eller korrosiv miljö, vilket innebär att större delen av produkten kan tillverkas av ett billigare

material där man sedan belägger de kritiska ytorna med ett mer högpresterande material.

Framtiden då? Svetsning och skärning kommer att fortsätta att utvecklas, liksom processerna och materialen för laserpåsvetsning och 3D printning. Utvecklingen av laserkällor och processoptik möjliggör idag också effektiv bearbetning av material som bara för några år sedan inte ansågs vara bearbetbara med laser.

Nästa stora område kan bli bearbetning med användande av ultrakorta laserpulser ner till femtosekunder. Med så korta laserpulser kan man genomföra i princip helt kall bearbetning då det bearbetade materialet inte hinner absorbera någon värme utan går direkt ifrån fast form till gasform. Mycket användbart vid borrar och ytstrukturering.

I Lasernytt finns ofta att läsa rapporter från laserkonferenser och laserevent runt om i världen. Dessa artiklar är en ypperlig källa till att erhålla en snabb sammanfattning av vad som pågår i laservärlden och rekommenderas varmt till alla laserintresserade.

*God Jul och Gott Nytt År!*

**Conny Lampa**  
conny.lampa@hoganas.com

# 3D-skärning nyckelteknik vid presshärdning

Höstens LaserDag arrangerades av Din Maskin i Värnamo som bl.a. säljer laserutrustning från Prima Power. "Laserskärning" var temat för dagen, som bjöd på flera presentationer inom området alltifrån 3D-laserskärning till "remote laser cutting". Additiv tillverkning med laser presenterades också och där fick deltagarna se en imponerande kavalkad av olika metoder hos Protototal AB i Jönköping, ett företag som arbetar både med prototyp- och serietillverkning, där dagen avslutades. Vård för dagen var Thomas Hägglund, produktansvarig för laser hos Din Maskin.

## Brett produktprogram

– Din Maskin som startade 1993 har 46 anställda och omsätter ca 200 Mkr, berättar Thomas Hägglund och vi finns både i Sverige och Norge. Vi ingår i Liljedahl Machine Tools tillsammans med Ravema som också har verksamhet i Finland och Norge.

Din Maskin har flera verksamhetsområden; nyförsäljning av maskiner för plåtbearbetning, installation, utbildning och service, reservdelar, och man säljer också begagnade maskiner.

– Vårt mål är att ge kunden de bästa tekniska och ekonomiska lösningarna, säger Thomas. Vi har också ett team för eftermarknadsservice på 30 personer som utbildar servar och ser till att kunden får bästa tänkbara support. Utbildningen är mycket viktig för den kan avgöra hur lönsam investeringen blir.

Din Maskin säljer maskiner från ett flertal tillverkare för laserbearbetning, stansning, plåtpressning, bockning, slipning mm och arbetar också med robotceller och automation. Lasermaskinerna kommer från Prima Power, som ingår i det världsomspännande företaget Prima Industrie, med säte i Italien.

Om vi fokuserar på lasermaskiner så har Prima Power laserskärmaskiner med både CO<sub>2</sub>- och fiberlaser för 2D- och 3D-skärning. På programmet finns också kombinationsmaskiner av typ elektrisk stans/laserskärning. Lasermaskinerna kan integreras i automatiserade system och där ingår ett nytt koncept för plockning och sortering av skurna detaljer.

– Prima Power LST-robot för laser utmärker sig som det enda systemet på marknaden som plockar detaljerna inne på skärbordet och inte när plåten är färdigskuren och växlats ut, säger Thomas Hägglund. Detta säkerställer att detaljerna inte fastnar i restgittret, vilket har visat sig vara ett problem för andra system.

Din Maskin är ett framgångsrikt företag med stort fokus på sina kunder. På frågan hur utvecklingen ser ut svarar Thomas lite kryptiskt:

– Det går åt rätt håll på marknaden!

## 3D-laseskärning world-wide

Dagen till ära så var Luca Bianchini från Prima Power inbjuden för att berätta om 3D-laserskärning "world-wide". Prima Power är maskindivisionen inom Prima Industrie Group och arbetar med



Bild 1. Thomas Hägglund, produktansvarig laser var vård för Laserdagen hos Din Maskin i Värnamo, som lockade 26 deltagare.



Bild 2. Thomas Hägglund berättar om lasermaskiner från Prima Power och det unika LST-systemet för plockning av skurna detaljer. I bakgrunden syns Prima Power Zaphiro som finns uppställd som demomaskin i den stora utställningshallen.

industriella lasersystem och plåtbearbetningsmaskiner. Den andra divisionen i gruppen, "Electronic and laser technologies" arbetar med laserkällor (CO<sub>2</sub>-, fiber och Nd:YAG-laser) från Convergent Photonics samt industrielektronik.

– Beeing global”, ”Getting closer” och ”Going Green” är ledorden för Prima Industrie, säger Luca Bianchini. Vi är 1600 anställda och har 8 tillverkningsenheter och tillika forskningscenter över hela världen.

3D-skärning med laser är stort inom bilindustrin. Speciellt presshärldnings-tekniken (kallas även varmformning) har inneburit ett stort uppsving för tekniken. Varje presshärldningslinje har ett antal 3D-maskiner för håltagning och renskärning av de pressade detaljerna i slutet av tillverkningskedjan. En del installationer kan ha 15 stycken 3D-laserskärare eller mer, se **bild 3**. Luca uppskattar att Prima levererar 80-90 stycken 3D-maskiner årligen för denna applikation.

Men 3-D skärning förekommer också inom vitvaru-, jordbruks-, fordons-, och flygindustrin så sammantaget är marknaden stor.

Prima Power har flera maskiner för 3D-bearbetning berättar Luca. Prima Power Optimo är den största och passar för all typ av produktion, såväl prototyper som serieproduktion för medelstora och stora komponenter. Arbetsområde är på 4500x2500x1020 mm<sup>3</sup>. Maskinen har en max hastighet på 85 m/min och accelererar med maximalt 1.2 g. Den utrustas med CO<sub>2</sub>-laser med upp till 5 kW effekt

Prima Power Rapido är en snabb 3D-laser för både skärning och svetsning i högvolumproduktion. Den utrustas med fiber- eller CO<sub>2</sub>-laser upp till 5kW effekt. Det är applikationen och flexibilitetsbehovet som styr valet.

Rapido är bästa 3D-maskinen för mindre och medelstora komponenter för såväl laserskärning som lasersvetsning.

Prima Power har också två andra maskiner i 3D-programmet; LASERDYNE 795 och LASERDYNE 430, båda med ett brett användningsområde för skärning, svetsning och borrhning.

Luca Bianchini berättar vidare att maskinernas prestanda har ökat väsentligt de senaste 10 åren. År 2005 så var skärtiden för en B-stople till en VW Passat (skärlängd 6322 mm) 120 s. År 2014 hade den reducerats till 40 s, se **bild 7**. Alltså en effektivitetsökning på 3 gånger.

Man hävdar att Primas nyaste 3D-maskin, Prima Next, är den snabbaste på marknaden. Den kan reducera cykeltiderna med upp till 25 % jämfört med tidigare modeller. Maskinen har en effektiv layout som gör att man på



Bild 3. En ny fabriksgeneration specialiserad för 3D-skärning i 24/7 tillverkning.



Bild 4. Industriell 3D-laserskärning förekommer i många olika branscher.



Bild 5. Prima Power Optimo har flexibel delad kabinlösning för maximal "beam on-time". Standardoptioner med styrda skyttelbord ger även möjlighet till bearbetning av långa 3D komponenter.



Bild 6. Prima Power Rapido. Lösningar för snabb hantering finns som standardiserade optioner för denna snabba 3D-maskin för både skärning och svetsning i Primas program för högvolumproduktion.

samma yta får plats med fyra Laser Next som tre maskiner av tidigare typ.

Avslutningsvis berättar Luca Bianchini den fascinerande historien om hur den olympiska facklan till London OS 2012 tillverkades. Den gjordes av laserskurna ämnen i 0.8 mm aluminium och hade 8000 laserskurna hål. Efter pressningen till rätt form så lasersvetsades facklan och sedan laserskars de sista hålen. Innalles krävdes 10 operation. Hur många facklor som tillverkades?? \*20 000 stycken uppger Luca. Och priset? Ungefär 70 000 kr per styck!!

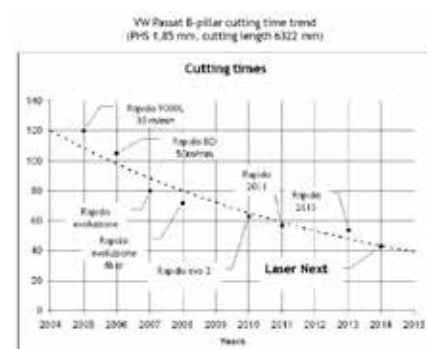


Bild 7. Utveckling av skärtider för 3D-detalj

## Fjällaserskärning för tunna material

”Laser Remote Cutting” (LRC), vilket kan översättas som ”fjällaserskärning, (jmf Laser Remote Welding), är en process där skärhuvudet är placerat på relativt stort avstånd från arbetsstycket och där strålen avlänkas med galvanometer speglar.

– Det finns tre olika metoder för LRC berättar Torbjörn Ilar, Luleå tekniska universitet, varav Remote Ablation Cutting (RAC) och Remote Fusion Cutting (RFC) är de vanligast använda. RAC arbetar med laserstålar från fiber- eller disklasrar med hög effekttäthet ( $10^7$ - $10^{10}$  W/cm<sup>2</sup>) och mycket hög scanningshastighet (360-720 m/min). Strålen sveper över arbetsstycket ett antal gånger beroende på material och materialtjocklek och avverkar ett (30-50 µm) tunt lager material genom förångning vid varje passage.

RAC används mycket framgångsrikt i laserskärning av glas för t.ex. mobiltelefoner. Höghastighetsskärning av tunna folier är ett annat användningsområde.

– Det finns flera fördelar med RAC berättar Torbjörn, där:

- Hög precision och höga skärhastigheter
- Extrem produktivitet
- Ingen skärgas behövs
- Enklare skärsystem är några som nämns.

Den andra skärtekniken, Remote Fusion Cutting (RFC), använder stråldiametrar på ca 0.6 mm och intensiteter på  $10^6$  W/cm<sup>2</sup>. Skärning sker i en passage med scanneroptik och smältan drivs nedåt och ut ur skärnittet genom de krafter som uppstår när det sker lokal förångning i smältfronten.

Remote Fusion Cutting är tillämpligt på tunna material (< ca 4 mm) enligt Torbjörn Ilar.

Ramiz Matti, doktorand vid Luleå tekniska universitet, Avd för Produkt- och produktionsutveckling, forskar om dessa tekniker. Han studerar i detalj flödet av smältan i skärfronten genom höghastighetsfilmning och med stöd av denna teknik utvecklar han modeller för hur processen fungerar.

## Trumpf startar bolag för LMD

Additiv tillverkning med laser (Laser Additive Manufacturing, LAM,) kan antingen utföras som Laser Metal Deposition (LMD) eller Laser Metal Fusion (LMF) berättar Hubert Wilbs, Trumpf Maskin AB.

LMD-tekniken bygger att man skapar komponenter genom påsvetning med laser och pulver i flera lager. I Trumpf's version så tillförs pulvret via integrerade koaxiella munstycken.

– LMD har flera fördelar, säger Hubert Wilbs. Man kan bygga upp ytor och volymer på ämnen med redan existerande 3D-ytor och behöver således inte bygga upp hela produkten vilket spar tid. Med LMD kan man bygga mer än 300 cm<sup>3</sup> per timme och man kan kombinera olika material. Noggrannheten är bättre än 0.5 mm och ytfinheten mätt i Ra ligger i området 10 – 70 µm.



Bild 8. Prima Power Laser Next med arbetsområde 3050x1530x612 mm<sup>3</sup> är den snabbaste 3D-maskinen på marknaden hävdar Prima. Den utrustas med fiberlaser med effekt 3-4 kW.



Bild 9. Prima Power var involverad i tillverkningen av faklan till olympiska spelen i London 2012 som innehöll 8000 laserskurna hål.

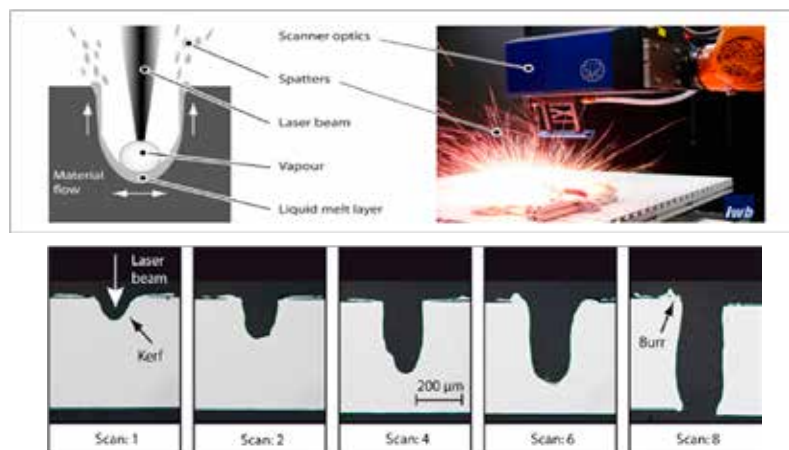


Bild 10. Remote Ablation Cutting (RAC) är en process där tunna skikt av material successivt avverkas i flera omgångar av en laserstråle som scannas ett flertal gånger över arbetstycket.

LMD används för reparation t.ex. av turbinblad som är en välkänd tillämpning sedan många år. Rolls Royce tillämpade metoden redan på 1980-talet.

Hubert Wilbs visade ett exempel på hur en detalj kan skapas med LMD, **bild 12**. Materialet är Inconel 718 och processtiden var 1,5 timmar. Pulverutnyttjandet låg på 85%.

Men numera nyttillverkas även detaljer med LMD. Ett intressant exempel är tillverkning av knivseggen på en kniv som görs av Stanley, **bild 13**. Materialet i eggen lär innehålla karbider för extra slitstyrka.

– Målet med utvecklingen är nu att öka beläggningshastigheten för att få bättre processeffektivitet. Trumpf har nu bildat ett eget bolag för LDM, avslutar Hubert Wilbs.

### Fiber- eller CO<sub>2</sub>-laser??

Bo Williamsson, AGA Gas AB, avslutade föredragen på Laserdagen med att berätta om skillnader, samt för- och nackdelar vid skärning med fiber och CO<sub>2</sub>-laser. Ämnet finns utförligt beskrivet i en artikel av Bo på annan plats i detta nummer och därför kommer här bara en kort sammanfattning.

Bo konstaterar att vid skärning i tunt material så är fiberlasern effektivast medan CO<sub>2</sub>-lasern ger bättre snittkvalitet i tjockt material. Vad gäller kvaliteten på den skurna detaljen så är det ingen större skillnad mellan fiber- och CO<sub>2</sub>-laser när man använder oxygen som skärgas. Använder man däremot nitrogen så är skillnaden stor. Likaså är det ingen större skillnad i skärhastighet vid oxygenskärning medan fiberlasern är mycket snabbare när man skär i tunt material (1-5 mm) med nitrogen.

– Den första frågan jag får när jag träffar kunder är: Vilken lasertyp är bäst? Och svaret blir: Vet inte – det beror på, säger Bo.

Och det sammanfattar situationen. Det krävs en djupare analys av företagets situation idag och förväntad situation i framtiden för att kunna fatta rätt investeringsbeslut.

LaserGruppen tackar Din Maskin för ett informativt och trevligt arrangemang.

Laserdagen avslutades sedan med ett besök hos Prototol AB i Jönköping, se separat artikel.

### Mera information:

www.dinmaskin.se  
www.primaindustrie.com

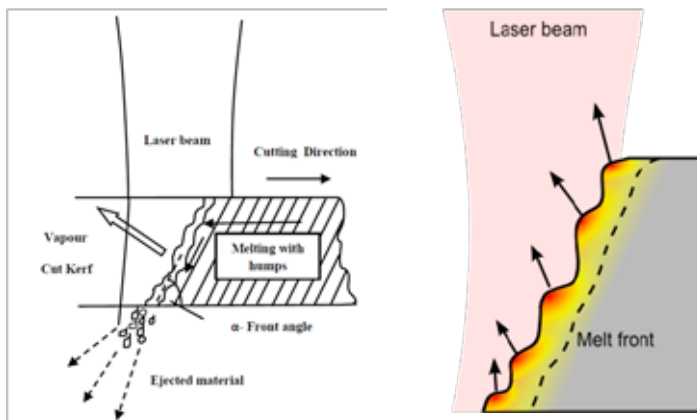


Bild 11.

Fjärrlaser-skärning genom Remote Fusion Cutting: skärning sker med scanningoptik och smältan drivs ut skärnsnittet genom lokal förångning i skärfronten.

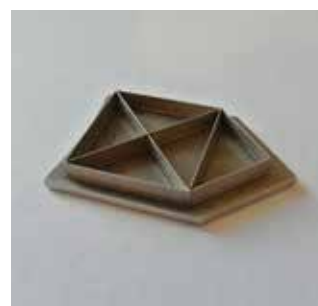


Bild 12.

Detaljen t.v. är tillverkad i Inconel 718 med LMD. Den använda lasereffekten var 1.6-2.0 kW. Detaljen t.h. ger exempel på vilken vägg tjocklek och strukturer som kan tillverkas med LMD.



Bild 13.

Kniv där eggen är tillverkad med LMD.



Bild 14.

Föredragshållare vid Laserdagen hos Din Maskin, Värnamo.

Fr.v. Torbjörn Ilar, Luleå tekniska universitet, Thomas Hägglund, Din Maskin AB, Luca Bianchini, Prima Industrie S.p.A, Hubert Wilbs, Trumpf Maskin AB, Bo Williamsson, AGA Gas AB

# En blandad sammankomst av svetsexpertis från hela världen

Jan Frostevarg,  
Luleå tekniska universitet

Årets Annual Assembly och svetskonferens inom International Institute of Welding (IIW) ägde rum från den 28:e juni till 3:e juli i centrala Helsingfors. I år räknade arrangörerna in 885 deltagare från 54 länder. De sammanslagna gruppträffarna blir fler och mer omfattande, i år sammanfördes fyra grupper under en hel dag där många föredrag hölls, bland annat om svetsgasflöden, laserhybridsvetsning och additiv tillverkning.

I år var det andra gången jag deltog vid denna sammankomst. IIW organiseras i ett antal kommissioner och arbetsgrupper. Commission IV (Com IV eller C-IV) där jag huvudsakligen deltog är även uppdelad i underkommittéerna elektronstrålesvetsning (EBW), laser-svetsning (LBW) samt laserhybridsvetsning (LAHW). Ordförande för C-IV är sedan tre år tillbaka vår projektkollega Herbert Staufer (Fronius). Första dagen innehöll mestadels elektronstråle- och lasersvetsning. Den andra dagen var gemensam med ljusbågssvetsning (C-XII), additiv tillverkning (från C-I) och arbetsgruppen physics of welding (SG-212). Denna dag var fylld med föredrag inom dessa områden, där även jag presenterade vårt arbete inom laserhybridsvetsning som gjorts med samarbete tillsammans med våra vänner från Osaka University (Japan). Den tredje och sista dagen för general assembly var fortsatt blandad med presentationer inom elektronstråle- och lasersvetsning.

Helsingfors, Finlands huvudstad, är en fin stad som jag gärna hunnit se mer av. De inplanerade sociala evenemangen ”Finsk kväll” och galakvällen på ”Finlandia Hall” hade mycket trevliga miljöer. Förutom dessa möten samlades också den svenska delegationen på

gemensam lunch på konferenshotellet, [Fig. 1] som i år hade det största deltagandeantalet på länge, nära 40 stycken.

Jag presenterar här ett urval av de presentationer som jag ansåg intressanta.

Vid Osaka har man gjort en del röntgenfilmningar av svetsprocessen de senaste åren. Nu håller de på att göra beräkningsmodeller för nyckelhålets beteende och smältans konturer som verifieras mot faktiska observationer [Fig. 2]. Detta görs för att få bättre förståelse för hur porer formas och kapslas in i smältan. De använde i huvudsak tre olika beräkningsmodeller. Ytans form och materialets ytspänning var togs också med i beräkningarna, men inte förångning och dynamiskt flöde.

Ett annat intressant föredrag som gjordes av forskare vid Bremen, var lasersvetsning med oscillerande rörelse gjord med galvanometer för att brygga spalter med tillsatsmaterial. Laserstrålen oscillerar över ytan för att smälta tråden på ett effektivt sätt [Fig. 3]. Dessa lyckade experiment visar att med en spalt som är lika stor som materialets kupongtjocklek ska överbryggas är toleranser för positionering förvånansvärt höga. När processen väl är stabil lyckades spalter upp till tre gånger bredare än kupongtjockleken överbryggas. Dessa



Fig. 1.  
Konferenshotellet.

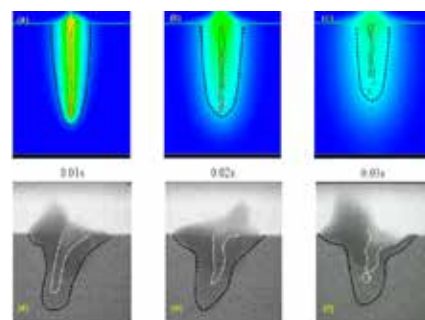


Fig. 2.  
Jämförelse mellan beteende hos observerat och beräknat nyckelhål och smälta.

toleranser beror dock en hel del på materialval i både kuponger och tillsatsstråd eftersom detta i hög grad påverkar ytspänningen som krävs för att hålla det smälta materialet på plats. I denna undersökning är det aluminium med olika legeringar som testats med 1,2 samt 1,6 mm kupongtjocklek. De kom även fram till att oscilleringsfrekvensen för laserstrålen bör vara hög, gärna upp mot 250 Hz. De visade också en bild på industriell tillämpning av detta på en bildörr till en Mercedes Benz S-klass.

Jag presenterar även kort de resultat som jag och våra kollegor vid Osaka universitet kommit fram till i vår gemensamma studie. Vi använde

laserhybridsvetsning på laserskurna plåtar och testade innehåll av syre och kväve i svetsen. Dessa ämnen är kända för att orsaka imperfektioner i svetsar. I experimenten testades dels skyddsgas med och utan syre (koldioxid), men även borttagning av oxiderna som bildas på den laserskurna ytan, med strukturen från skärningen fortfarande intakt. Resultaten i [Fig. 4] visar att skillnaden i skyddsgas inte ger någon skillnad av syre och kväveinnehåll i svetsen. När syret från skärningen tagits bort blir syrenivån likvärdig med kvävet och hamnar på en nivå som ligger på 200 ppm vardera, medan konventionell svetsning brukar ligga på 400 ppm. Däremot förvånande är att svetsgeometrin blir sämre när oxiderna tas bort, vilket antyder att svetsning för att undvika rotdropp gynnas av syre i smältan. Särskilt processtabiliteten sågs i höghastighetsfilming gynnas av att av fogens inre oxider inte avlägsnats.

Additiv tillverkning är ett ämne som får alltmer uppmärksamhet och det börjar bli fler aktörer med på trenden. För 30 år sedan kallades tekniken för rapid prototyping och har idag ändrats till rapid manufacturing. Det är inte längre en teknik som bara används för att ta fram design för tillverkning utan blir alltmer tillverkning för design. Med det menar jag att man i fler applikationer inte behöver tänka på hur delarna ska tillverkas utan snarare tänka mer på funktionaliteten hos produkten, något som kan göras i vis mån genom gjutning. När konventionell pulversprutning används så finns ofta problem med varierande mängd pulver och täckning av skyddsgasen. För att komma runt dessa problem har Kjellberg Finsterwalde ett coaxialt system där pulversprutmunstycket är i mitten och laserljuset är en flera laserdioder placerade runt munstycket (detta system är i tidigare projekt delvis utvecklat av oss vid LTU, i samarbete med bl.a. TWI och Cavitat. Sedan dess har Kjellberg köpt upp Cavitat [vet inte om det är fullt eller delvis]). I alla fall, denna vidareutveckling gör att skyddsgasen kan täcka hela processen utan att luft kommer in. Denna prototyp klarar effekter upp till 1kW och har en effekttäthet på 5kW/mm<sup>2</sup>. För additiv tillverkning klarar enheten av både pulver och varmråd. När pulver används så kan hela 80% av materialet smältas, mycket högre än konventionella system. Problem uppkommer när pulvrets flöde går från laminärt till turbulent, vilket

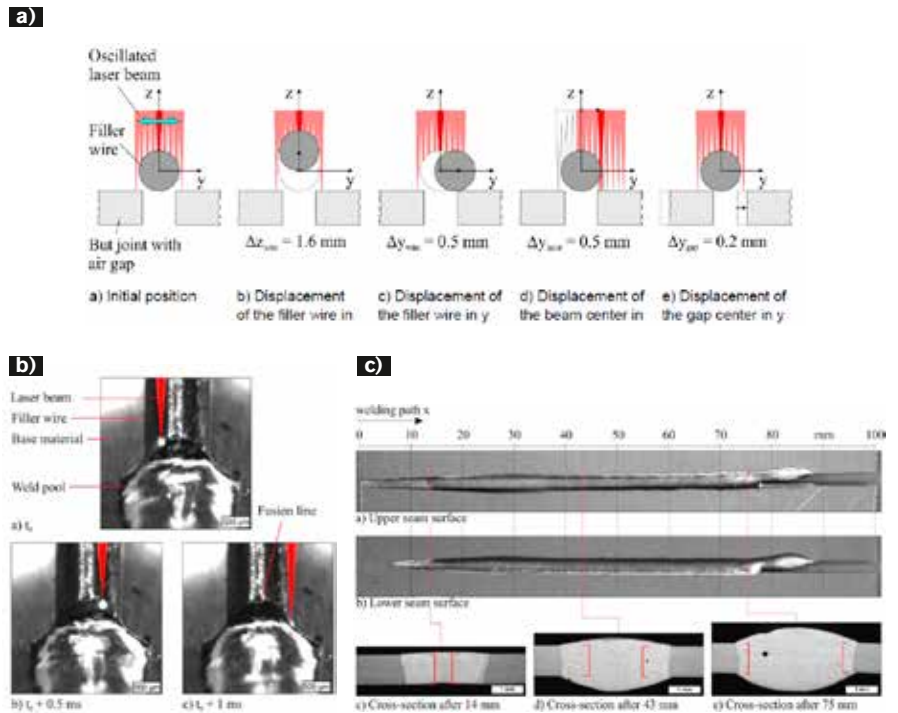


Fig. 3. a) Illustration av hur laserstrålen rör sig över ytan där även tillsatsmaterialet läggs, med funna toleransfönster för felpositionering. b) visar höghastighetsfilmbilder av processen sett ovan smältpölen och c) foto av topp/rot och tvärsnitt längs en svets.

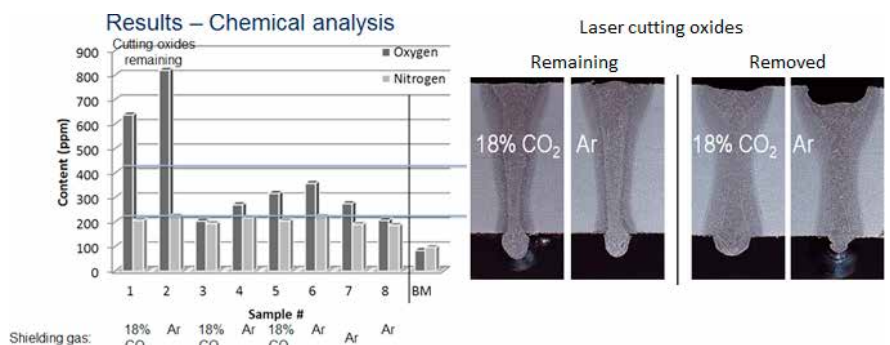


Fig. 4. Kemisk analys och tvärsnitt för svetsar med olika skyddsgas och oxider i fog närvarande eller borttagna.

trots allt kan orsaka att luft blandas med skyddsgasen och kommer in till processen. Bra exempel visades när vad metoden åstadkommer, men de visade också att det kan uppkomma sprickor om alltför snabb påläggshastighet används.

Överlag var även detta års IIW General Assembly trevlig och mycket intressant. Från och med nästa år kommer det kanske (beroende på intresse) att utöka C-IV med ännu en underkommitté, Additive Manufacturing. Nästa år kommer IIW General Assembly att hållas i Melbourne (Australien). Deltagare uppmantras att ta med sig vänner och familj för att tillbringa semestern där. Nästa år kommer det också att hållas mellanliggande möten i mars/april, gemensamt för C-IV, CXII och SG212.

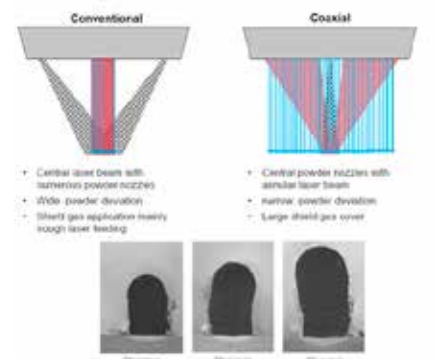


Fig. 5. Nytt coaxialt system för tråd- och pulverpåsvejsning för påsvejsning och additiv tillverkning, där laserstrålen istället används som ring runt materialmunstycket.

■ Mera information: [jan.frostevarg@ltu.se](mailto:jan.frostevarg@ltu.se)

# Den heltäckande lasermässan

Johnny K Larsson, Volvo Cars

Årets Laser World of Photonics, som vartannat år går av stapeln på International Messe München [IMM], slog i år ett nytt rekord med hela 1.240 utställande företag eller organisationer från 41 olika länder. Dessa fick samsas om sammanlagt 55.000 m<sup>2</sup> vilket innebar att 5 av mässkomplexets hallar måste utnyttjas. Parallellt med lasermässorna löper ett flertal olika konferenser där forskare får redogöra för sina senaste resultat och innovationer. Hela 2.700 tekniska presentationer fanns att lyssna till, men själv fokuserade jag de fyra konferensdagarna på Lasers in Manufacturing, populärt kallad LiM-konferensen, vilken som vanligt arrangerades av tyska WLT [Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik e.V.]. Denna gång kommer jag emellertid att lyfta fram två användningsområden inom lasertekniken som kanske inte är så välbekanta bland våra medlemmar, men som internationellt röner stor uppmärksamhet just nu, nämligen additiv tillverkning samt ytbehandling. Men mera om detta, liksom lite allmänt "laserskvaller" längre fram i artikeln.

Laser World of Photonics öppnade med en välbesökt plenar-session där vi, om vi inte redan visste detta, meddelades att UNESCO [United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization], som f.ö. firar 70 års-jubileum

i år, har utsett 2015 som det "Internationella Ljusåret" ["International Year of Light" (ILY)]. Därför hade årets evenemang getts devisen "Light Solutions for the Society Challenges our World", och det kändes naturligt att professor John Dudley, International Year of Light:s styrgruppsordförande, var den som stod för den officiella invigningen av årets Laser World of Photonics. Förste talare under plenar-sessionen var Dr. Flavia Schlegel [Fig. 1] som är assisterande generalsekreterare för den naturvetenskapliga sektorn inom UNESCO. Hon berättade att 19% av den genererade elektriciteten i världen används till ljus och belysning i någon form. Samtidigt kan bristen på ljus få stora samhällskonsekvenser, vilket hon exemplifierade med att då det inte finns tillgång till ljus i fattiga länder, kan barn inte heller studera under kvällstid och göra sina läxor! Om det tjugonde århundradet tillhörde elektroniken kommer det tjugoförsta att handla om fotonik och då inte minst om hållbart utnyttjande genom "photonic production" utan energiförluster. Några exempel på dylik laserforskning, vilken gagnar samhälle och miljö, är teknikens applicering på tillverkning av tunna filmer för solenergi och värme-kontroll av elektriska kablar.

Näst i tur i den talrika plenarpanelen stod Wolfgang Boch [Fig. 2], som är



Figur 1.  
2000-talet kommer att höra fotoniken och lasertekniken till! Det var i varje fall Dr. Flavia Schlegels (ass. generalsekreterare för den naturvetenskapliga sektorn inom UNESCO) åsikt. Här ses hon tillsammans med IMM:s vice verkställande direktör Reinhard Pfeiffer under en rundvandring på Laser World of Photonics.

EU-kommissionens ansvarige för fotonikprogrammet "DG Connect" [Directorate General for Communications Networks, Content & Technology]. Han pekade på de laserbaserade system och produkter som vi använder i vårt dagliga liv, såsom optisk kommunikation via Internet, smartphones och digitalkameror, men även inom bioteknik är lasern ett flitigt använt instrument. Fotonik-marknaden i Europa uppgår idag till 350 miljarder euros och visar på en stadig årlig tillväxt på mellan 6-8%, vilket skulle innebära att vi kring år 2020 spenderar över 600 miljarder euros inom denna bransch. Sålunda



finns redan idag 5.000 små och medelstora företag som sysslar med tillverkning av optiska komponenter och därtill kommer EU-kommissionen att årligen investera 3,5 miljoner euros i projektet Horizon 2020. Detta handlar om en ökad digitalisering av såväl produktion som ekonomi, något som även är känt som "Industry 4.0". Avslutningsvis pekade Herrn Boch på några konkreta användningsområden för lasertechnik, som t.ex. illuminering av publika konstverk, vilken kräver 80% mindre energi jämfört med alternativa belysningskällor men samtidigt ger en 10 gånger bättre belysning av konstverket samtidigt som laserljuset inte skadar detsamma. Ett annat exempel hade han hämtat från biotekniken där man med framgång använt laserbaserad vaskulär kartläggning av cancerformen melanin melanom.

National Science Foundation [NSF] i Washington D.C. representerades här av Dr. Lawrence S Goldberg [Fig. 2] från avdelningen ECCS [Electrical, Communications and Cyber Systems]. Han poängterade värdet av samarbete och tvärvetenskaplig forskning, vilket förverkligas i organisationens "I-Core" [Innovation Core] -program, som är en form av

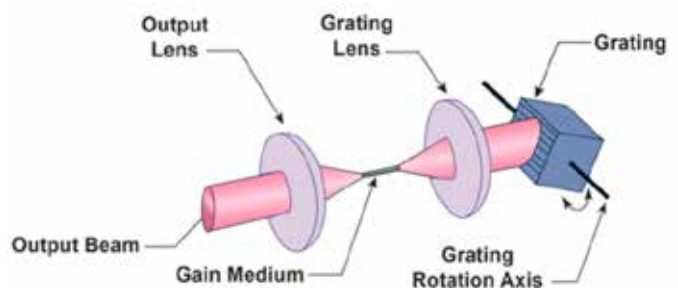
mentorstöd åt studenterna. NSF har fastlagt en s.k. road map vilken är uppdelad i fyra fotonikområden; bio-, kvantum- och elektroinfluenserad fotonik samt tillverkning. Vi fick också veta att, enligt direktiven i president Obamas "Brain Project", det har skapats ett antal fotonik-institut i USA på initiativ av Försvars- respektive Energiministeriet, och i ett dedikerat arrangemang den 12 september firar man av Year of Light vid Smithsonian Museum i Washington. Alltså är det en hel del spännande lasersatsningar på gång "over there".

Och satsningar på lasertechniken sker även på andra ställen i världen som t.ex. Afrika, något som vi européer kanske inte har så stor kännedom om. Därför var det synnerligen intressant att lyssna till Dr. Yanne K Chembos [CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) i Besançon, Fig. 2] föredrag som handlade om ett afrikanskt forskningsperspektiv. Kontinenten har idag en population som uppgår till 1,1 miljarder invånare och där 70% är under 25 år. Samtidigt kan man se en klar tillväxt av medelklass, som idag räknar 300 miljoner människor varav hälften bor i städer. Alltså finns här en god grogrund

för expansion vilket också bevisas av att 25% av världens investeringar idag sker i Afrika något som bidrar till en stadigt växande bruttonationalprodukt på cirka 7% per år. Branscher där Dr. Chembo såg stora inslag av lasertechnik var telekom, solenergi och hälsovård, men han gav också några tänkvärda jämförelser när han berättade om investeringar för laserforskning. Sålunda menade han sig ställd inför ett dilemma då det var dags att investera i ett nytt oscilloskop. Instrumentet skulle nämligen kosta lika mycket som 20 provisoriska skolor för ungefär totalt 1.000 elever. Men med sin egenutvecklade kvantumteori [ $1/\sqrt{2}$ ] menade han att man kunde få "både och", något som förorsakade många glada skratt i publiken. Starka forskningsinstitut i Afrika då det gäller fotonik är t.ex. CETIC [Centre d'Excellence Africain en Technologies de l'Information et de la Communication] vid universitetet i Yaoundé [Kamerun] och ALC [African Laser Centre] i Pretoria [Sydafrika]. Dessutom har man etablerat ett samarbete med tysk forskning från Humboldt-nätverket i projektet AGNES [African-German Network of Excellence in Science]. Dr. Chembo



Figur 2. Många tänkvärda ord förmedlades av talarna vid plenarsessionen; fr.v. Wolfgang Boch (ansvarig för fotonikprogrammet DG Connect), Dr. Lawrence Goldberg (NSF, Washington D.C.) och Dr. Yanne Chembo (CNTS, Besançon). Framförallt den senare överraskade oss då han beskrev den omfattande laserforskning som bedrivs på den afrikanska kontinenten.



Figur 3. Professor Patrick George, CLEO:s europeiske ordförande (överst t.v.) hade fått äran att introducera plenarsessionens huvudtalare, professor Federico Compasso, vars "livsgärning" har varit att utveckla den s.k. QC-lasern vars schematiska uppbyggnad framgår av bilden t.v.

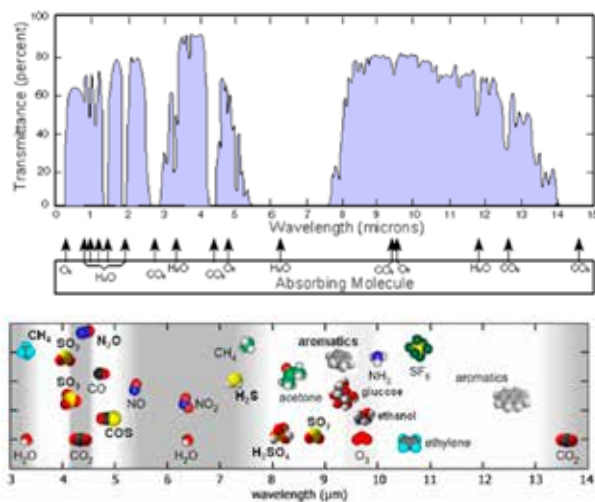
avslutade med att nämna att närliggande ILY-arrangemang är en konferens i Ghana och en workshop i Sydafrika. Det kommer att bli mycket spännande att se vad som kommer ut från afrikansk laserforskning – ambitionerna finns onekligen där!

Avslutningsvis blev det professor Patrick Georges [Fig. 3], CLEO:s [Conference on Lasers and Electro-Optics] europeiske ordförande, tur att presentera plenar-sessionen huvudtalare, professor Federico Campasso [Fig. 3] från Harvard University, School of Engineering and Applied Sciences. Denne seniore forskare har specialiserat sig på att utveckla laserkällor med låga effekter i MID- och FAR-IR, d.v.s. med våglängder mellan 3-30  $\mu\text{m}$ . Denna speciella typ av lasrar kallas Quantum Cascade Lasers [QCL, Fig. 3] och består av fina gallerstrukturer uppbyggda av en periodisk serie av tunna skikt med varierande materialkomposition. Detta gör att ett flertal olika våglängder genereras vilka kombineras i en resulterande laserstråle, men de olika våglängderna kan även pulsas individuellt. Professor Campasso lät meddela att idag förfogar man över en 2 W cw [continuous wave] QC-laser, men en 4 kW-enhet kommer snart att vara utvecklad. Effekten kan ytterligare skaleras till 10 W genom att använda en s.k. MOPA [Master Oscillator Power Amplifier]-enhet. Användningsområden för denna lasertyp är exempelvis kommunikation och radar, mikrobearbetning där man t.ex. lyckats skapa svet-sar som är 8,5 Å [= 8,5x10<sup>-10</sup> m] breda, men framförallt inom medicinteknik där man kan identifiera olika ämnen med en noggrannhet ner till tiondelar av ppB [parts per Billion, Fig. 4]. Sålunda har man kunnat detektera Metan som frigörs genom att Permafrosten uppvärms, men också giftiga kemikalier i dricksvatten där en enda droppe Ethanol kunde hittas i en 5 liter stor vattenvolym. Slutligen berättade den pratglade professor Campasso om hur han blivit ombedd att tillverka en

laser utan fokuserlins. Detta löste hans forskningsgrupp genom att utveckla en ”plasmonisk kollimering” där halvledarnas fastettytor belades med ett tunt metalliskt skikt som hade ett visst mönster genom vilket laserstrålen kunde fokuseras. Denna lösning avsåg man nu att implementera på en QC-laser vilken skall monteras på en drönare för att kunna mäta olika substanser i luften.

Efter denna ganska avancerade föreläsning var det dags för mig att förflytta mig till LiM-konferensen som denna gång höll till i några rum i direkt anslutning till utställningshall A3, där även de s.k. Application Panels hölls. Som tidigare nämnt är det tyska WLT som ”håller i trådarna” för denna mer applikationsinriktade konferens, och det var dess president, alltid lika sympatiska professor Andreas Ostendorf från Ruhr-Universität i Bochum, som hälsade oss välkomna. Därefter lämnade han över ordet till årets huvudordförande Thomas Graf från IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] i Stuttgart, vilken i sin tur introducerade de olika ordförandena för de tre parallellsessionerna; professorerna Frank Vollertsen [Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik (BIAS)], Ludger Overmeyer [LaserZentrum Hannover (LZH)] samt Michael Zäh [Technisches Universität (TU) München].

Härpå var det dags för två s.k. plenary talks, där det första gavs av professor Dr. Wolfgang Sandner som gav oss en lägesrapport kring projektet ELI [Extreme Light Infrastructure] som initierades 2005 och vars ”preparatory phase” under åren 2007-2010 direktfinansierades med EU-medel från Bryssel och resulterade i en s.k. ELI White Book. Det fortsatta arbetet kommer att finansieras via regionala EU-fonder, och EU-kommissionen har beviljat totalt nästan 1 miljard euros för detta forskningsprogram, som jag första gången fick höra talas om vid det internationella lasersymposiet i Dresden i februari förra året. Byggnationen av de tre forskningscentra som är beslutade beräknas vara färdig 2016. Dessa är ett centrum för attosecond [10<sup>-18</sup> sek] -forskning vid ELI-ALPS [Attosecond Light Pulse Source] i Szeged, Ungern, ett för högenergiprocesser [ELI-Beamlines] i Dolny-Brezany nära Prag och ett för nukleär fysikforskning [ELI-NP; Nuclear Physics] i Magurele i Rumänien [Fig. 5]. Man hoppas med kortpulsteknik kunna nå petaWatt-nivåer [10<sup>15</sup> W] i toppeffekt, där den fysikaliska begränsningen idag ligger vid 10 teraWatt [10x10<sup>12</sup> W], och intensiteter kring 10<sup>24</sup> W/cm<sup>2</sup>. Vid en frekvens på 1 Hz skall då en toppeffekt på 1 PW ge ett energiinnehåll på 50 J i de 50 fs [femtosecond



Figur 4. "Quantum Cascade Lasers" har många tillämpningar, men mest används denna typ av laserälla för att mäta förekomsten av olika partiklar i atmosfären beroende på dessas transmission (överst) eller absorption (nederst) av olika våglängder hos laserljuset.



Figur 5. De tre tilltänkta forskningscentra inom ELI, fr.v. ELI-ALPS i Szeged, Ungern, ELI-Beamlines i Prag, Tjeckien och ELI-NP i Magurele, Rumänien.

=  $10^{-15}$  sek] långa laserpulserna, värden som är likvärdiga med vad som hittills uppnåtts i laboriemiljö vid Lawrence Berkely University. Men ELI har mer långtgående planer än så; 2018 räknar man med att presentera en laser som kan generera 10 PW i 150 fs långa pulser vid 10 Hz frekvens eller lägre. En sådan kortpuls kommer då att ha ett energiinnehåll på cirka 1,5 kJ! – Man häpnar! Den intresserade rekommenderas att besöka [www.eli-laser.eu](http://www.eli-laser.eu).

Det andra plenar-föredraget hölls av Tobias Abeln från EOS GmbH. Detta är ett företag som säljer nyckelfärdiga maskiner för s.k. 3D-printning, eller SLM [Selective Laser Melting], vilket är ett "hett" tema inom laserbranschen just nu, framförallt då det gäller denna form av additiv tillverkning med hjälp av metalliska pulver. Att tillverka former med hjälp av polymerisation av exempelvis PA [PolyAmid]-baserade plaster är däremot en etablerad teknik, och kring 2012 trodde man att små maskiner för detta ändamål snart skulle finnas i de flesta hem. Nu har väl den största euforin lagt sig, men intresset finns kvar och EOS har lanserat en utrustning för hobbyverksamhet som baseras på en 50 W CO<sub>2</sub>-laser och en uppvärmsbar byggplattform. Annars är de flesta EOS-maskiner utrustade med fiberlas-

rar i effektområdet 400-1.000 W, och med byggplattformar som kan värmas till en temperatur av 200 °C [Fig. 6]. Herrn Abel pekade på följande fördelar med 3D-printning med såväl metalliskt som polymert pulver:

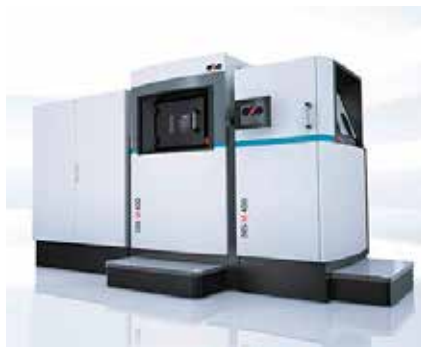
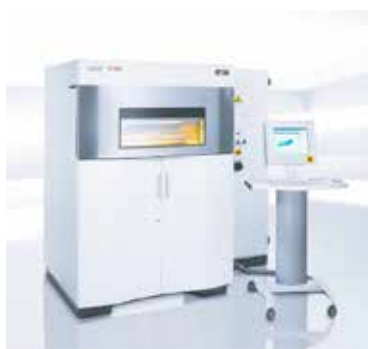
- Designfrihet då man kan skapa underskurna ytor och komplexa kaviteter.
- Funktionsintegrering genom att skraddarsy materialet i varje pålagt lager, s.k. graded materials.
- Fullständig kundanpassning.
- Kortare ledtider för att introducera en produkt på marknaden genom att inga formverktyg behövs.

Härpå följde en lång rad av applikationsexempel där jag vill nämna:

- Motorlock för Airbus A320 tillverkat i Ti6Al4V med 65% viktreduktion
- Värmeväxlare i AlSi10Mg uppbyggd av mindre element med extrema former
- Ett greppdon till formverktyg, vilket tog 2 dagar att tillverka med additiv teknik, och där man kunnat reducera antalet ingående detaljer från 60 till endast 5 stycken. Detta medförde en 85%-ig viktreduktion samtidigt som tillverkningskostnaden minskade med 35%.

- Verktygsinsatser med integrerade kylkanaler i maråldrat MS1-stål för tillverkning av plastkoppar där cykeltiden kunde reduceras med 40% och produktiviteten ökas med 70%.
- En statorring till en gasturbin tillverkad i Cobolt-Krom MP1 vilken tog mindre än 5 dagar att tillverka.
- Reparation av brännare för gasturbiner i Inconel625 en procedur som tidigare tog 40 veckor, men med additiv tillverkning kunnat nedbringas till blott 4 veckor.

Annars är bioteknik- och medicinbranscherna stora avnämare av 3D-printning och EOS säljer över 100 maskiner årligen vilka beräknas tillverka 6,5 miljoner artiklar bl.a. höftleder, knäleder, blodkärlsförstärkare, s.k. stents, och tandimplantat. En intressant applikation från företaget SOLS Systems var tillverkning av inläggssulor i PA11 vilka individanpassades genom att "scanna av" fotens geometri och därefter 3D-printa sulan [Fig. 7].



Figur 6. Några olika SLM-maskiner ur EOS' produktportfölj; fr.v. "Eosint P760", "Eosint M270 Dental" och "Eos M400".



Figur 7. Företaget SOLS Systems har specialiserat sig på att tillverka individanpassade inläggssulor. Först "scannas" fotsulans geometri varpå den tredimensionella bilden överförs till en 3D-printer som med SLM fabricerar den fotvänliga inläggssulan i Polyamid.

Herrn Abeln avslutade med att nämna tre områden som börjar revolutioneras tack vare SLM-tekniken:

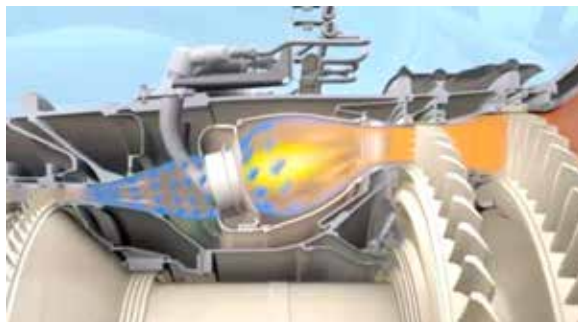
- Nya forsknings- och utvecklingsmetoder som bionisk design där produktens form följer dess funktion, samt s.k. rapid prototyping.
- Nya affärsmodeller i form av "demokratisering" av designprocessen, samt att kunna erbjuda varor utan att ha tillgång till en egen produktionsanläggning.
- Nya värdekedjor, som t.ex. tillverkning av reservdelar direkt på efterfrågan, och lokal tillverkning där produkten tillverkas på det ställe där den behövs.

Dock finns ett antal områden som kräver fortsatt utveckling, såsom processövervakningssystem, hantering och automation, samt modulär konstruktion av SLM-maskinerna m.t.p. byggplattformarnas utformning och omhändertagandet av överskottspulver.

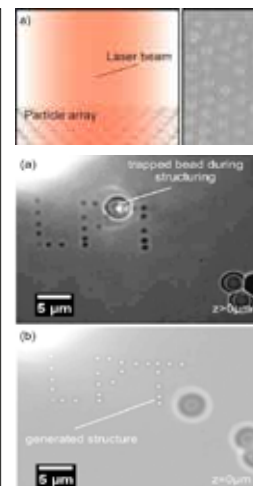
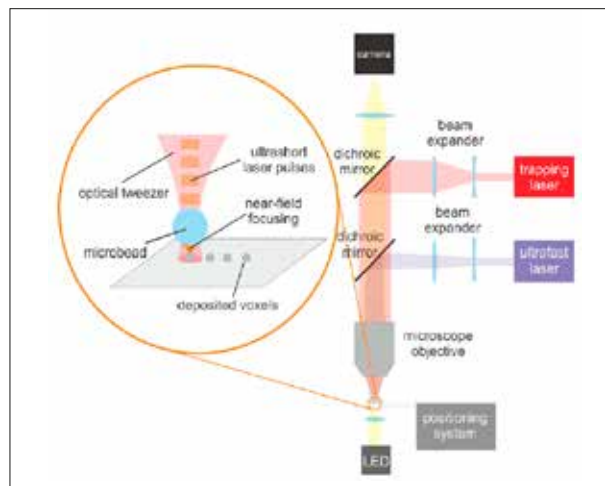
Men att 3D-printning kommer att bli en accepterad teknik i morgondagens industrisamhälle är GE [General Electric] ett talande exempel på. Man levererar idag SLM-tillverkade insprutningsmunstycken till flygplansmotorer, och då genomsnittsmotorn innehåller 19 stycken sådana är prognosen den att år 2020 kommer GE att ha producerat 200.000 additivt tillverkade munstycken [Fig. 8]!

Plenarsessionen avslutades med det traditionella utdelandet av WLT Award, vilket är på 1.000 euros och skall tillfalla unga laserforskare som gjort berömda innovationer inom lasertekniken. Denna gång hade priskommittén haft ett extra svårt arbete och i slutänden gick det inte att skilja två förslag från varandra, varför man detta år fick dela ut två priser, vilka överlämnades av en mycket nöjd Andreas Ostendorf. Det ena priset gick till Ulf Quentin, doktorandstudent vid Friedrich-Alexander Universität i Erlangen och numera anställd hos Trumpf. Han hade studerat laserbearbetning på mikro- och nanonivå med hög precision och kunnat konstatera att detaljfinheten bestäms av optikens diffraktionsbegransningar, vilken kan tecknas som  $w_f = 2M^2\lambda f_i / \Pi d_i$ . För att tänja fysikens lagar och understiga gränsen för laserstrålens diffraktion måste någonting skapas som möjliggör en skarpare fokusering av strålen. Detta hade Dr. Quentin löst på ett smakfullt sätt genom att låta laserstrålen passera

genom ett substrat belagt med 100 nm stora partiklar av antingen SiO<sub>2</sub> eller PS [PolyStyrene], vilken gör det möjligt att fokusera under diffraktionsgransen [Fig. 9]. Den industriella användningen av resultaten är väl än så länge inte identifierad, men laserskärning eller -strukturering med hjälp av pico- eller femtosecond-lasrar kan vara tänkbara metoder på mikronivå.



Figur 8. I varje s.k. LEAP (Leading Edge Aviation Propulsion)-motor sitter 19 stycken additivt tillverkade insprutningsmunstycken (t.h.), varför General Electric räknar med att ha producerat 200.000 sådana fram till ar 2020.



Figur 9. Ulf Quentin som doktorerat vid Friedrich-Alexander Universität i Erlangen var en av två mottagare av det åtrådda WLT Award. Han fick priset för sin forskning att medelst "mikrooptiker" av kiseldioxid eller polystyren kunna fokusera en laserstråle under dess diffraktionsgransen. Principen åskådliggörs ovan t.v. och några exempel på mikromarkning t.h.



Figur 10. Laserforskning på hög nivå med Dr. Stefan Hengesbach i laboratoriet på ILT i Aachen. Denne begåvade herre belönades med WLT Award 2015 för sina förbättringar av diodlasrar genom att använda frekvensstabilisering och multiplexing.

periodicitet kan ändra sitt brytningsindex. Ett lågt diffraktionsindex används för laserstrålens stabilisering och ett högt index vid multiplexing. Med en Gaussisk apodisationsfunktion, som är en algoritm som har ett nollvärde utanför ett visst förutbestämt intervall, kan man ytterligare reglera och förbättra diodlaserkällans verkningsgrad. Den intresserade kan inhämta kompletterande information på [www.ot-inlas.de/spektralas/index.html](http://www.ot-inlas.de/spektralas/index.html).

Redan LiM:s plenarsession indikerade det växande intresset för additiv tillverkning, vilket ytterligare återspeglade sig i det övriga programmet där vi dels hittade en ”Application Panel” med rubriken ”3D-Printing: Laser-Based Additive Manufacturing for the Produktion of Metal Parts”, och dels inte mindre än fyra tekniska sessioner kring vardera ”Ytbehandling och påläggning” och ”Additiv tillverkning”. Därför kommer jag uteslutande att rapportera från dessa delar av konferensen, och de av våra medlemmar som är mer intresserade av de klassiska lasermetoderna svetsning och skärning får tålmodigt vänta till kommande nummer av LaserNytt!

De s.k. Application Panels genomfördes ute i ett avgränsat hörn av Hall A3 med avsikten att fånga en större intressekrets och att man som åhörare lättare kunde ”slinka in och ut” mellan föredragen. Det hela leddes med fast hand av herrar Dr. Wilhelm Meiners från ILT och Dr. Dieter Schwarze, SLM Solutions GmbH. Dessa båda herrar stod också för de två inledande presentationerna där Dr. Meiners mest uppehöll sig kring SLM-tekniken. Det går idag att åstadkomma produkter med så lite som 0,1-0,2% porositet, men helt 100%-ig densitet kan inte nås. Vi som hört Dr. Meiners vid tidigare tillfällen kände igen mycket i hans presentation som applikationsexempel med CoCr- och Ti6Al4V-implantat, juvelsmycken, insprutningsmunstycken och det välbekanta Nacelle-gångjärnet konstruerat genom topologi-optimering. Det som var nytt handlade om en ny prototypmaskin i ILT-laboratoriet som arbetar med fyra separata laserstrålar för att kunna öka produktiviteten vilken fortfarande är en ”Akilleshäl” då det gäller SLM [Fig. 11]. En tänkvärd slutreflexion var den att ju lättare konstruktionen kan utformas desto billigare blir den genom att man vid SLM-processen behöver en mindre mängd pulvermaterial.

Dr. Schwarze var för mig en ny bekantskap med vilken jag hade ett långt och intressant samtal efter dennes presentation där han bl.a. fick möjlighet att visa upp sina produkter, vilka är tre nyckelfärdiga maskiner för 3D-printning med metallpulver [Fig. 12]:

- SLM®125HL är minstingen med en tillgänglig byggvolym på 125x125x125 mm och försedd med en 400 W SM [Single Mode] Yb:YAG-fiberlaser. Produktiviteten ligger på 25 cm<sup>3</sup>/tim och maskinen väger cirka 700 kilo.
- Därefter kommer SLM®280HL med en byggvolym på 280x280x350 mm. Denna kan man få med antingen en 400 W SM och en MM [Multi Mode] 1.000 W Yb:YAG-fiberlaser eller med 2 stycken 400 W-källor, vilket ger en uppbyggnadshastighet på 45 respektive 20 cm<sup>3</sup>/timme. Totalvikten ligger kring 1.000 kilo.

- SLM®500HL är ”värsting”-modellen vilken kan hantera byggvolymen inom 500x280x320 mm. Produktiviteten här ligger på 105 cm<sup>3</sup>/timme vilket möjliggörs antingen medelst 4 stycken 400 W SM Yb:YAG-fiberlasrar alternativt 2 (400 W+1.000 W). Maskinens totalvikt ligger strax över 2.600 kilo.

Under sitt föredrag berättade Dr. Schwarze att det Lübeck-baserade företaget har 150 anställda och levererade 62 maskiner under 2014, en siffra som han prognosticerade kommer att växa till över 100 försålda enheter under 2015. 400 W-lasrarna har en Gaussisk strålprofil med 100 µm fokuspunkt vilket gör dem lämpliga för tillverkning av tunnväggiga produkter uppbyggda med skiktjocklekar kring 30 µm, eller konturtillverkning för större komponenter. 1.000-W enheterna har en tophat-profil



Figur 11. Gamla SLM-klassiker som Nacelle-gångjärnet (t.v.) var ett av många applikationsexempel som Dr. Meiners visade upp, men den stora nyheten var den nya prototypmaskinen (t.h.) vid ILT vilken arbetar med fyra separata laserstrålar för att på så sätt effektivisera uppbyggnadsprocessen.



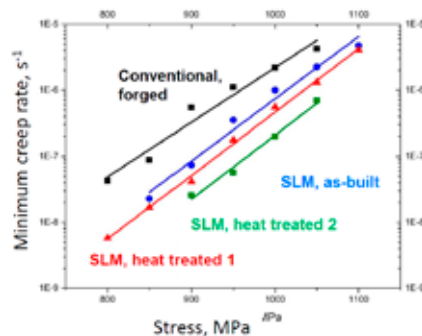
Figur 12. SLM Solutions produktportfölj av nyckelfärdiga maskiner för 3D-printning; fr.v. SLM®125HL, SLM®280HL och SLM®500HL där den senare har en produktivitet på 105 cm<sup>3</sup>/ timme då den använder fyra samverkande 400 W SM Yb:YAG-fiberlasrar.

och en brännfläck med 700 µm diameter och är främst tänkta att användas vid utfyllnad vid uppbyggnad av större komponenter, detta för att öka produktiviteten. Man arbetar då lämpligtvis med skiktthjocklekar kring 150 µm och en processhastighet som är fem gånger snabbare än vad som är fallet då SMLasern används. Slutligen redovisade Dr. Schwarze resultaten från några interna försök där man företrädesvis arbetat med Nickelbaserade superlegeringar som exempelvis Inconel718. Man kunde konstatera att om man byggde strukturer med hjälp av den mindre fokalkpunkten erhöles en polykristallin mikrostruktur medan man med den större fick en kvasi-singelkristallin. Densiteten för de 13x13 mm stora provkropparna uppgick till 99,5%. Vidare hade inverkan av efterföljande värmebehandling vid 500 °C och 1.000 °C undersökts men dessa efterbehandlingar visade inte på någon förändring av mikrostrukturen. Däremot ger en åldring av materialet en ökad hårdhet men också en högre draghållfasthet. Kryptendenserna var mindre jämfört med smidda referensobjekt, men här kunde en efterföljande värmebehandling av SLM-proverna ytterligare minska kryptendenserna [Fig. 13].

Näste talare var Harald Schmid från FIT Production i Lupburg. Företaget har ungefär 180 anställda och omsättningen har ökat med hela 40% bara på ett år. Man har investerat i sju maskiner av den ovannämnda SLM®500HL-modellen och främst specialiserat sig på 3D-printning av kroppsimplantat. Sålunda har man vad Herrn Schmid ville kalla volymproduktion av ryggradsimplantat, och en annan spännande detalj var individanpassade kranieimplantat [Fig. 14]. Här ”scannar” man först skallens form varpå man med hjälp av mjukvaruprogrammet netFabb tillverkar ersättningsdetaljen genom SLM. Sådana applikationer blir emellertid ganska ledtidstunga då det krävs juridiska godkännanden vilka tar mycket längre tid att få fram än den tid som den faktiska tillverkningen av kranieimplantatet tar.

Dr. Thomas Ebert är verkställande direktör vid IQ evolution GmbH och han berättade om hur man med LMD [Laser Metal Deposition] tillverkade metalliska mikrostrukturer med integrerade kylkanaler. Oftast rör det sig om enstyckstillverkning och man försöker optimera kylflödet genom en anpassad design av mikrostrukturen, vilken tillverkas i Krom [Fig. 15].

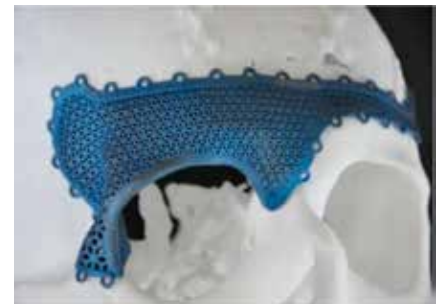
Man hade undersökt såväl sfäriska som flisformiga pulverkorn och kommit fram till att de förstnämnda är att fördra då risken för mikrosprickor är större för de flisformiga kornen. Väggtjockleken varierades mellan 350-500 µm genom att justera laserparametrarna, men under utvecklingsfasen såg man en alltför stor tillväxt av väggthjockleken vilket fick till följd att kylkanalerna blockerades. Detta berodde på rörelseriktningen av laserstrålen. Om denna vände tillbaka över det nyss lagda lagret av pulver befann sig detta fortfarande delvis i smält tillstånd och då nästa lager lades på utvidgades väggen och blev för



tjock. Erfarenheten från detta blev av påläggningen alltid måste ske i samma riktning beträffande de olika lagren för att ge det tidigare lagda tillräcklig tid för att stelna.

En välkänd profil i lasersammanhang är Oliver Müllerschön från Trumpf, ett företag som redan 2003 lanserade sin första maskin för ”Selective Laser Melting”, en metod som den gode Oliver hellre valde att kalla LMF [Laser Metal Fusion]. Han inledde med att göra vissa jämförelser mellan SLM och LMD där den förstnämnda är mest lämpad för mindre detaljer då dess byggghastighet bara ligger på mellan 10-20 cm³/tim

Figur 13. Kryptendenserna hos SLM-tillverkade prover är mindre jämfört med konventionellt smidda referensobjekt, och denna egenskap kan ytterligare förbättras genom en efterföljande värmebehandling.



Figur 14. 3D-printade kranieimplantat är något som FIT Production i Lupburg kan leverera.



Figur 15. Vid tillverkning av mikroformverktyg med integrerade kylkanaler är det viktigt att laserstrålen har korrekt sekventiell rörelse vid LMD-processen för att inte riskera att kanalerna sätts igen.

jämfört med 150 cm<sup>3</sup>/tim för LMD, samtidigt som detaljfinheten understiger 100 µm medan motsvarande värde för LMD ligger kring 1 mm. Ytfinheten i form av ett lågt Ra-värde blir också bättre med SLM och hamnar på 5-10 µm jämfört med 10-20 för LMD-processen. Dock hade man med den senare metoden och ”scanner”-verktyget PFO från Scansonic åstadkommit så pass tunna väggjockelekar som 0,3 mm! Med samma verktyg hade man slagit något av ett rekord för laserpåläggning med 690 cm<sup>3</sup> och 4,95 kg deponerat material på en timme! Även ett exempel på s.k. graded material visades upp där man med tre olika pulver [rostfritt 24-material, Stellite och Inconel] byggte en struktur med växelvis olika material i de pålagda lagren. Intressantast i Herrn Müllerschöns föredragning tyckte jag emellertid var hur man med LMD byggde upp ett unikt utseende på redan existerande komponenter. Ett sådant exempel var en fena byggd på ett cirkulärt rör, och ett annat handlade om hur man byggt förstärkningsrillor på aluminiumkolvar med ett AlSi10-pulver [Fig. 16].

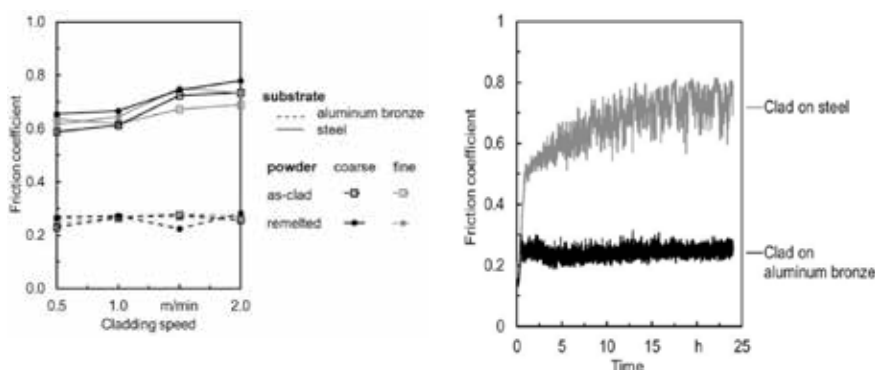
Här hade man använt 1.100-1.550 W lasereffekt med 5 mm stor fokuspunkt och där processhastigheten låg på 500 mm/min. Spännande var också att se en video som illustrerade hur man med LMD byggde upp konturen till en rotationssymmetrisk detalj i Inconel718. Här arbetade man med ett i princip stationärt lasermunstycke medan komponenten som byggdes kontinuerligt roterade med en hastighet kring 3 m/min [Fig. 16]. Den använda lasereffekten varierades mellan 1.200-1.600 W och pulverstorleken låg kring 1 mm.

En flitig presentatör under onsdagens förmiddagspass var Hannes Freiße från BIAS i Bremen. Hans första bidrag handlade om additiv tillverkning av ett djupdragningsverktyg och framfördes under överinseende av välbekante kollegan Thomas Seefeld som satt ordförande under denna session. Två olika substratmaterial hade använts; dels aluminiumbrons [CuAl10Ni5Fe4] och dels verktygsstålet 1.2379, vilka båda belagts med ett aluminiumbronspulver [CuAl10Fe1] i akt och mening för att få en bättre smörjning vid själva plåtformningen.

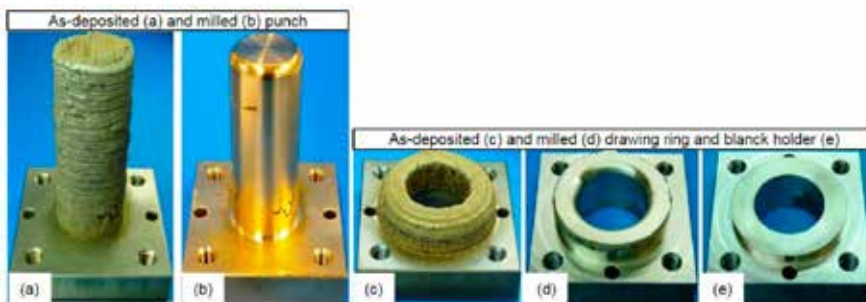
Påläggningen gjordes med hjälp av en 4 kW lampumpad Nd:YAG-laser från Trumpf [HL4006D] och Precitec-  
 verktyget YC50. Pulvret matades med en utrustning från GTV med beteckningen MF-PF-2/2 och som skyddsgas använ-



Figur 16. Aluminiumkolven ovan har förstärkts med rillor tillverkade med LMD-teknik och ett AlSi10-pulver, och, t.h. en rotations-symmetrisk uppbyggd struktur i Inconel718.



Figur 17. I det aktuella fallet visade sig processhastigheten vid laserpåläggning inte ha någon inverkan på verktygsytans friktion (t.v.), utan denna bestämdes helt av typen av substratmaterial.



Figur 18. Additivt tillverkat djupdragningsverktyg med plåthållare som därefter frästs till slutgiltig form.

des Argon med ett flöde på 16 l/min. Med en fokuspunkt på 2,5 mm kunde man smälta 20 g/min och processhastigheten varierades mellan 0,5-2,0 m/min. Det senare visade sig inte ha någon inverkan på ytans friktion utan denna visade sig vara mest kopplad till substratmaterialen varför rekommendationen blev att tillverka verktygsdelarna helt och hållet i aluminiumbrons [Fig. 17]. Dessa utgjordes av stans, dyna och plåthållare där den förstnämnda hade en diameter på 30 mm och en höjd av 70 mm [Fig. 18]. Med dessa verktyg och en tillhållarkraft på 2,9 kN tillverka-

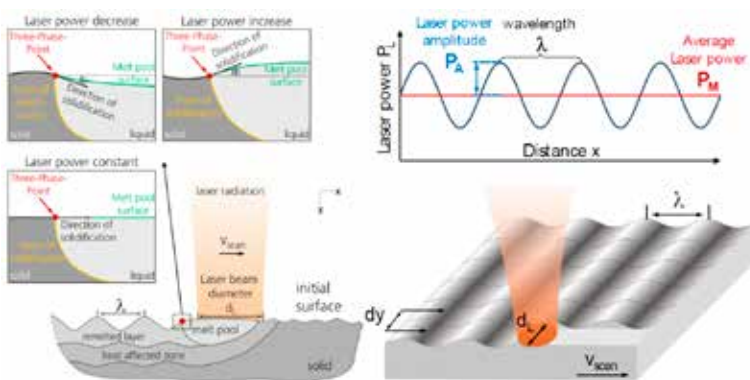
des sedan små koppar i rostfritt 1.4301-material. Avsikten att använda sig av aluminiumbrons i verktygsytan för att minska friktionen visade sig vara riktig, eftersom då ett smörjmedel tillsattes erhöles man blott en marginell sänkning av presskraften. Däremot tjänade smörjoljan ett annat syfte, nämligen att förhindra avflagnings av aluminiumbrons. Här menade emellertid Herrn Freiße att man vid LMD-tillverkningen kunde addera partiklar med en hårdhet kring 2.000 HV i ytan för att undvika dylik förslitning utan att man för den skull påverkade friktionsegenskaperna.

En annan form av ytkonditionering föredrogs av André Temmler från RWTH i Aachen. Denna metod hade man valt att kalla "WaveShape" och där man genom en sinusformad effektvariation hos laserkällan kunde flytta material på en metallyta och därmed skapa ett mönster [Fig. 19], alltså en princip liknande den vid TWI [The Welding Institute, Abington, U.K.] utvecklade SurfSculp©-metodik. Här hade man strukturerat och samtidigt polerat en Inconel718-yta med hjälp av en 400 W cw [continuous wave] Nd:YAG-laser och en 3D-"scanner" i en Argonfylld kammare. Fokusdiametern var 250  $\mu\text{m}$ , medeleffekten 110 W och "scanning"-hastigheten 50 mm/sek. Med dessa parametrar undersökte man inverkan på profilhöjden vilken varierade mellan 2-8  $\mu\text{m}$  och som ökade med ökande amplitud av effektvariationen [Fig. 20]. Om man med "scanner"-enhetens hjälp överfor ytan flera gånger kunde profilhöjden öka med en faktor 10. För mig som Volvo-medarbetare var det intres-

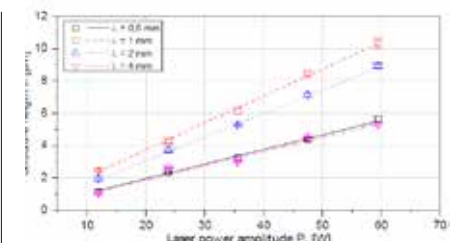
sant att höra att "WaveShape"-projektet var sponsrat av VW-koncernen, varför man kan undra över vilka applikationer som Wolfsburg-kollegorna har i åtanke.

Dr. Knut Partes från MTU Aero Engines i Hannover var speciellt inbjuden såsom expert inom området additiv tillverkning och hans presentation handlade om hur man rekonstruerar framkanten på de högtrycksturbinblad [HPTB = High Pressure Turbine Blades] som är livsviktiga komponenter i en flygplansmotor. Dock inledde han med att berätta om samtliga laserprocesser som MTU använder, såsom borttagning av lackskikt, lödning, lokal värmebehandling och påläggning. Det senare är det som används vid lagning av utslitna turbinblad där materialet utgörs av nickelbaserade superlegeringar, vanligtvis belagda med aluminium/platina, vilka tjänstgör som såväl en kemisk som värmebeständig barriär. Eftersom bladen slits olika mycket kan geometrierna skilja sig från varandra med upp till 2 mm, varför man som första åtgärd

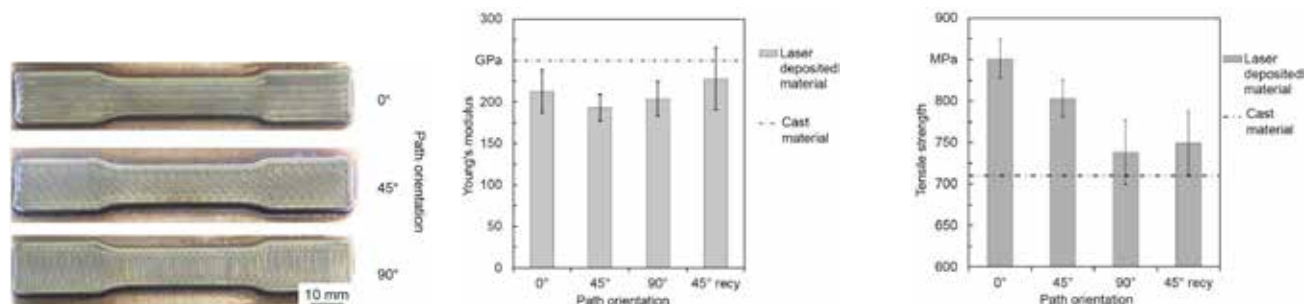
"scannar" av det aktuella turbinbladet och jämför dess form mot en referens. Skillnaden får sedan översättas till påläggningsrobotens styrprogram varpå LMD-processen kan börja. Tidigt lärde man sig att p.g.a. det snabba stelningsförloppet är risken för varmsprickor uppenbar. Därför kombinerar man idag påläggningsprocessen med en induktiv uppvärmning av turbinbladet till en temperatur strax under materialets smältpunkt. Via pyrometrar övervakas såväl laserprocess som induktionsvärmning och justeras efter behov genom ett "closed loop"-förfarande. Ju mer material som byggs på ju varmare blir objektet varför man behöver betydligt lägre lasereffekt då de sista lagren pulvermaterial läggs på.



Figur 19. Principen för "WaveShape"-metoden där man genom en sinusformad effektvariation hos laserkällan kan flytta material på en metallyta och därmed skapa ett mönster.



Figur 20. Då lasereffekten varieras sinusformat med allt större amplitud blir profilhöjden på det skapade mönstret högre, och ovan ett exempel på en strukturerad Inconel718-yta.



Figur 21. Även om de LMD-uppbyggda provstaverna uppvisar en lägre E-modul än den gjutna referensen är brotthållfastheten högre, t.o.m. då ett återanvänt pulver används.

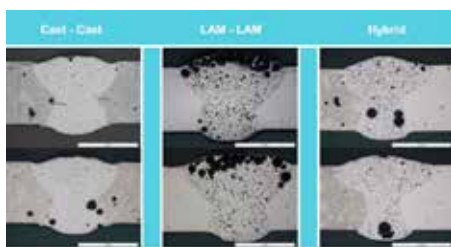
Lite senare under förmiddagen dök sedan sagde Hannes Freifse upp i en parallellsession för att berätta om additiv tillverkning av stora tredimensionella komponenter i Stellite21. Nu kom föredraget snarast att handla om basal LMD-forskning där man byggt upp dragprovstavar till en tjocklek av 50 mm. Påläggningen hade skett i tre riktningar; 0°, 45° och 90° i förhållande till dragriktningen vid de efterföljande hållfasthetsproven [Fig. 21]. Vidare undersökte man såväl färskt som återanvänt Cobolt-baserat pulver med partikelstorlek kring 50 µm, vilket lades på i skiktjocklekar om 750 µm. Den lasereffekt som man använt var 1,5 kW och strålen defokuserades till en fokalpunkt med 2,4 mm diameter. Provstavarnas kontur utfördes med en processhastighet på 1 m/min medan fyllnadslagren gjordes något snabbare, 1,5 m/min. Med dessa parametrar låg uppbyggnadseffektiviteten kring 20 g/min och påläggningen skedde under Argon-skyddsgas med ett flöde av 7 l/min. I den efterföljande dragprovningen jämfördes brottlasten med en gjuten referens. Denna klarade en maximal spänning på 710 MPa, medan de medelst LMD-teknik tillverkade provstavarna brast mellan 775-850 MPa beroende på i vilken riktning påläggningen skett. Bäst var då strängarna låg parallellt [0°] med dragriktningen medan de som låg tvärs [90°] densamma hade lägst hållfasthet. Beträffande pulverkvaliteten såg man endast en liten skillnad med en något lägre hållfasthet för det återanvända pulvret, något som förklarades bero på oxidation och föroreningar.

Vid LZN [LaserZentrum Nord] utanför Hamburg pågår liksom vid många andra av de andra tyska laserinstituterna en intensiv forskning kring additiv tillverkning, här under ledning av institutionsföreståndaren professor Claus Emmelmann. Nu redogjorde

Frank Beckmann för vad han kallade "hybrid-design" som hade sitt ursprung i att SLM-tekniken har sin begränsning i form av de maskiner, och därmed uppbyggnadsvolym, som finns att tillgå på marknaden. För att kunna göra verkligt stora strukturer föreslog han att man tillverkade de mindre komplexa områdena med traditionella bearbetningsmetoder som plåtförning och gjutning, medan de mer detaljrika och geometriska precis gjordes med LAM [Laser Additive Manufacturing], varpå de olika delarna med fördel svetsades samman med laser. Man hade undersökt aluminiumlegeringen AlSi2 i gjutet utförande och jämfört svetsbarheten av denna med en liksint struktur uppbyggd med SLM. Till att börja med kunde man via röntgen konstatera att svetsgodset i de gjutna objekten innehöll få men stora porer medan SLM-tekniken istället gav många små sådana. Då man svetsade gjutgods till SLM-objekt fick man en blandning av de två portyperna [Fig. 22]. Ursprunget till porositeten går att härleda till förekomsten av hydrogen i materialen. Dock var mängden blott hälften för de SLM-tillverkade objekten jämfört med de gjutna. Att få bukt med hydrogenförekomsten under svetsningen kan vara att dels använda sig av förvärmning, dels positionera fokalpunkten djupare i materialet då svetsförsöken indikerade ett bättre resultat vid z=-2,5 jämfört med z=-1,0. Vid dragprov gick brottet i materialet för de gjutna provobjekten men i HAZ [Heat-Affected Zone] för de SLM-tillverkade. Fortsatt forskning kommer att omfatta svetsning med oscillation och med "twin spot"-teknik.

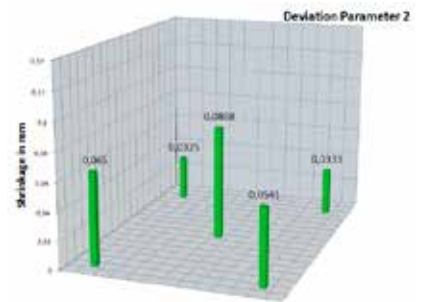
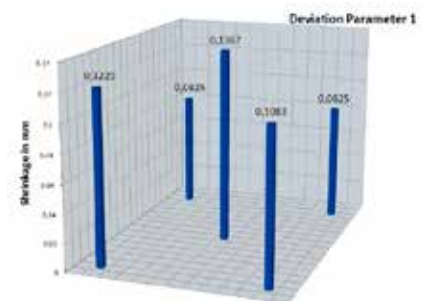
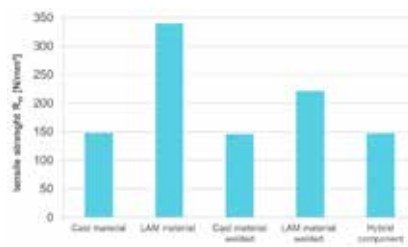
Kai Schimanski från Premium Aerotech var ytterligare en av många föredragshållare som lovordade den additiva tillverkningstekniken. Fördelarna som han såg jämfört med fräsning eller gjutning var att ledtiden för framtagningen

av produkten blir avsevärt kortare, samtidigt som man med bionisk design kan nå viktsbesparingar på ända upp till 80%. Vidare utlovade han att företaget kommer att leverera serietillverkade detaljer i slutet av året. Han pekade emellertid också på nödvändigheten av att ha ett holistiskt synsätt på hela tillverkningskedjan då man jämförde SLM med andra metoder för att ge den förstnämnda rättvisa. Därpå redogjorde han för försök där man hade undersökt variationen i precision mellan detaljer tillverkade i olika maskiner. 15 dragprovstavar hade tillverkats på 5 olika ställen i SLM-kammaren och de därpå uppmätta formvariationerna låg på ±0,025 mm [Fig. 23]. Vid de efterföljande dragproven, vilka utfördes utan någon efterbehandling av provstavarna, varierade brotttöjningen mellan 4-7%. Om man tillverkar flera objekt samtidigt i SLM-kammaren kan deras positionering ha betydelse för hur mycket de kommer att krympa, och likaledes om man har en osymmetrisk placering kan detta påverka objektets egenskaper. All sådan erfarenhet håller man nu på att skapa ett cloud-baserat expertsystem av, vilket man valt att kalla IndiCAD.



Figur 22.

Porstorlek och -fördelning i svetsgodset ser olika ut vid svetsning av gjutet eller additivt tillverkat aluminium (AlSi2), vilket återspeglar sig i en bättre draghållfast för LAM-materialet.



Figur 23.

Om flera identiska objekt SLM-tillverkas i samma kammare kan deras position i denna vara av avgörande betydelse för utfallet. Här har 15 provstavar tillverkats på 5 olika positioner och med två uppsättningar av laserparametrar. Objekten som tillverkats i kammarens mitt uppvisade en större formavvikelse jämfört med de som producerats i kammarens hörn.

För att stärka den tyska konkurrenskraften inom additiv tillverkning har DFG [Deutsche ForschungsGesellschaft] 2011 instiftat något som heter "Collaborative Research Centre 814" [CRC 814]. Verksamheten är nära knuten till Institutionen för Polymerteknik vid Friedrich-Alexander Universität i Erlangen där man undersöker interaktionen mellan material, process och SLM-tillverkade produkters egenskaper. P.g.a. den organisatoriska hemvisten bedrivs forskningen mest på polymera material, men på senare tid har man också börjat studera SLM med metallpulver. Nu gav en av centrets huvudmän, professor Dietmar Drummer, en bred översikt kring vad som pågår vid "CRC 814", där man under den första fyraårsperioden bedrev 14 projekt kring additiv tillverkning och har planerat för ytterligare 15 stycken under 2015-2019. Det är stor skillnad i materialegenskaper mellan polymer- respektive metallpulver, såsom olika smälttemperatur, ytspänning och viskositet. Vidare är skillnaden mellan smälttemperatur och fast tillstånd betydligt större för plaster jämfört med metaller. En annan skillnad är att energitillförseln då man smälter polymert material måste hållas låg då detta har låg värmeledningsförmåga. I övrigt hade professor Drummer några

synpunkter rörande pulvertillverkning där han menade att det är eftersträvansvärt att partiklarna har så sfärisk form som möjligt, vilket går att åstadkomma genom kall våtslipning eller småtemulgering [Fig. 24]. En annan intressant aspekt var att tillverka partiklar belagda med annat material för att därigenom öka pulvrets flödesförmåga men också för att förbättra produkttegenskaper. Beträffande problemet med att uppnå full densitet vid additiv tillverkning menade han att man kan kombinera SLM-processen med kompaktering. Då även simulering av processen ingår i forskningen visade professor Drummer slutligen några exempel på detta, bl.a. av optimering av partikelmatning och värmedistributionen i desamma.

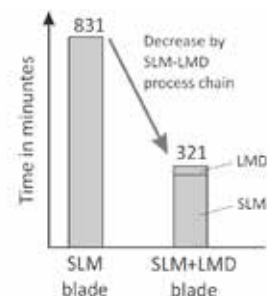
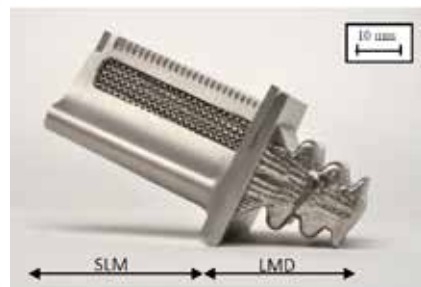
Benjamin Graf från Fraunhofer IPK [Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik] i Berlin berättade om en hybridteknik där man använt sig av såväl SLM- som LMD-teknik för att tillverka ett turbinblad i Inconel718, detta för att möjliggöra såväl en komplex geometri som hög produktivitet. För att skapa ett bättre luftflöde kring turbinbladet var dess bakre del uppbyggd som en fin gitterstruktur med hjälp av SLM, medan resten av komponenten skapats med LMD-teknik [Fig. 25]. Detta gjorde att bladet kunde

färdigställas på 5,5 timmar jämfört med 12 timmar vilket skulle blivit resultatet om hela komponenten tillverkades med SLM. Herrn Graf fick senare frågan om hur ett dylikt processupplägg skulle se ut, och han menade att det krävs en maskin för vardera metoden. Det skulle bli alltför komplext att integrera båda processerna i en och samma maskin. En viktig egenskapsskillnad värd att lägga på minnet är den att hårdheten alltid blir högre i en SLM-detalj jämfört med en LMD-dito, något som kan förklara varför brottet vid dragprov skedde i den del av komponenten som SLM-tillverkats. Vad beträffar LMD-metoden så styrs det pålagda spårets bredd enbart av lasereffekten medan dess höjd påverkas av processhastighet och pulvermatning.

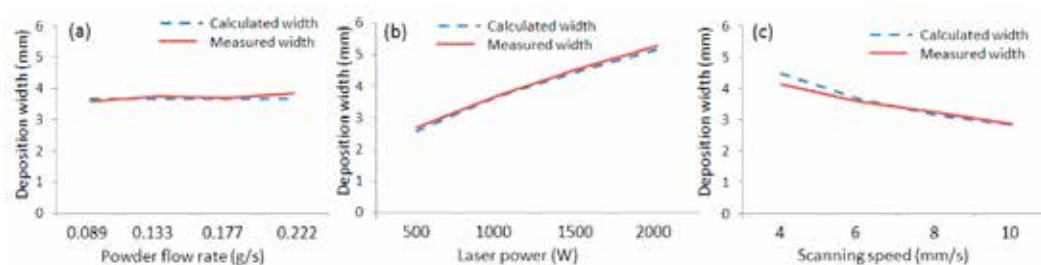
Detta var något som delvis motsades av Fangyong Niu från Dalian University i Folkrepubliken Kina som hade utvecklat en simuleringsmodell för att prediktera främst påläggningsspårets bredd där han tog hänsyn till att tidigare underlagda skikt kom att omsmältas. Han påstod att modellen även var tillämpbar för simulering av höjden på den deponerade och smälta pulverbädden. Beträffande påläggningsspårets bredd hade han kommit fram till att det tillförda pulvrets flödesintensitet inte hade någon inverkan, medan det däremot fanns ett



Figur 24. Pulverpartiklar i sfärisk form innebär en optimal SLM-process. T.v. PBT (PolyButylene Terephthalate) -partiklar producerade genom kall våtslipning, att jämföras med kommersiellt tillverkat PA12 (PolyAmid) -pulver.



Figur 25. Ett turbinblad i Inconel718 tillverkat med en form av hybridteknik där den finare gitterstrukturen för optimalt luftflöde är tillverkad med SLM medan resten utförts med LMD-processen. Detta innebär samtidigt en avsevärd förkortning av tillverkningstiden (t.h.).



Figur 26. Vid "Laser Metal Deposition" finns det ett linjärt förhållande mellan pulverspårets bredd och lasereffekt respektive processhastighet, medan olika flödes hastighet för det tillförda pulvret inte påverkar bredden.

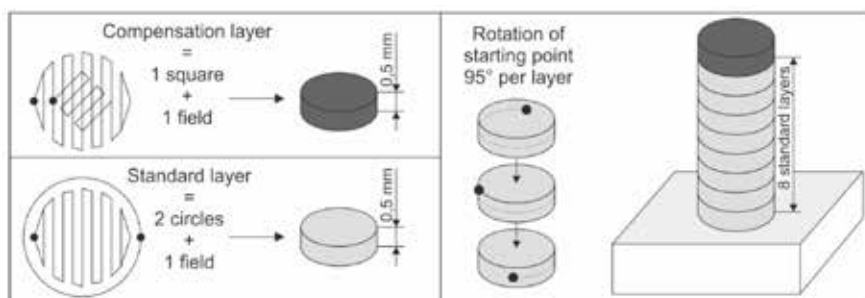
linjärt förhållande mellan spårbredd och lasereffekt respektive processhastighet. Simuleringarna uppvisade även en god korrelation med experimentella resultat [Fig. 26].

Torsten Petrat från BAM [Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung] i Berlin delgav oss sina synpunkter kring vilka strategier man bör ha då man tänker bygga LMD-strukturer. När man skapar hörn har man ett sämre materialutnyttjande vilket kan motverkas genom att pålägningsmunstycket alternativt byggplattformen vinklas. Experimentellt hade man byggt upp strukturer i rostfritt 316L-material och i Ti6Al4V med lite olika tillvägagångssätt. För ändamålet hade en 2 kW Yb:YAG-disklaser används tillsammans med ett pålägningsmunstycke med tre diskreta utlopp. Helium [4 l/min] hade använts som bärgas och Argon [10 l/min] som skyddsgas. Man hade lagt "standard"-skikt som bestod av två "cirklar" och ett "fält" och förskjutit startpunkten mellan varje pålagt skikt med 0°, 35° eller 95°,

samt för vissa varianter medelst ett annat "scanning"-mönster lagt in ett s.k. kompensationslager för vart åttonde skikt [Fig. 27]. Mellan varje pålagt skikt hade man låtit det tidigare lagda kylas av helt. Konklusionen var att man kunde bygga objekt med god kvalitet upp till 100 skikt. Det var lättare att nå god kvalitet med Ti6Al4V än med 316L-material [Fig. 28], men den viktigaste parametern var vinkelförskjutning mellan startpunkten från ett lager till ett annat. Både 35° och 95° förskjutning gav släta ytor samtidigt som man undvek defekter i LMD-operationens start- och stoppunkter.

Flerstråleteknik är ett sätt att öka produktiviteten vid SLM och om denna teknik applicerad på polymert material berättade Tobias Laumer från BLZ [Bayerisches LaserZentrum] och SAOT [Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies]. Här hade man kombinerat en CO<sub>2</sub>-laser [ $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ ] med diffraktiv optik med en Thulium-laser [ $\lambda = 1,94 \mu\text{m}$ ] försedd med 10

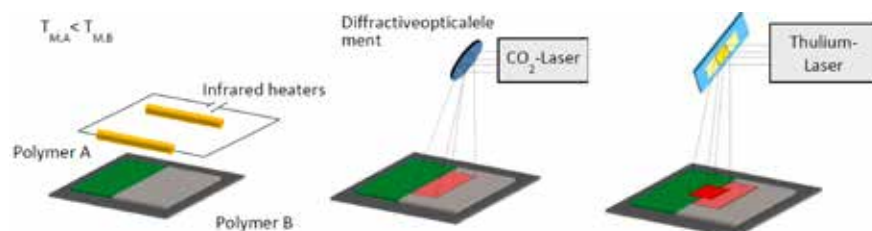
stora mikrospeglar. Två olika pulver användes; PP [PolyPropylen, A] och PA12 [PolyAmid, B], vilka placerades jämsides med varandra och uppvärmdes via byggplattformen men också genom infraröda värmelement. Gaslaserns uppgift är att ytterligare värma upp pulverpartiklarna för materialet med den högre smälttemperaturen, i detta fall Polyamiden, varpå det är fiberlasern som utför själva sammansmältningen [Fig. 29]. Byggplattformen förvärmades till 120 °C alternativt 140 °C, och man hade företrädesvis registrerat de olika temperaturgradienterna mellan de två materialen men också mellan de individuella, pålagda skikten. Den högre plattformstemperaturen tenderar att ge ett bättre resultat i form av lägre porandel och slätare ytor, vilket resulterar i en högre hållfasthet [Fig. 30]. Framtida forskning kommer att handla om selekterad, lokal uppvärmning av pulvret genom individuell manipulering av mikrospeglarna.



Figur 27. Uppbyggnadsstrategin för provobjekten med olika startpunkter för "scanning"-mönstret mellan de olika pålägningslagren.



Figur 28. LMD-strukturer tillverkade i Ti6Al4V var lättare att åstadkomma med god kvalitet jämfört med dito i rostfritt 316L-material. T.h. en närbild på mönstret för ett s.k. standard-skikt.



Figur 29. De olika processtegen vid sammansmältning av PP- och PA12-pulver.

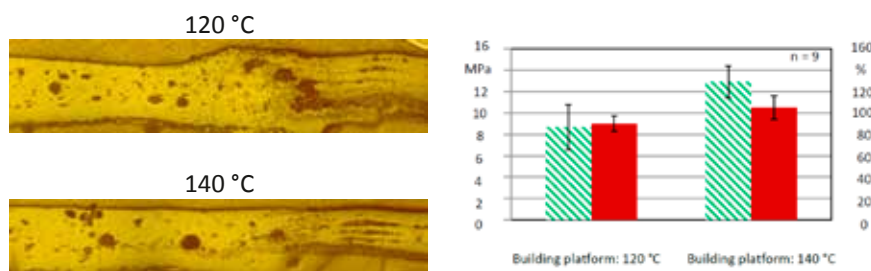
Bernd Niese från BLZ hade studerat laserdeposition av silverbläck för att skapa inbäddade elektriska kretsar, s.k. MID [Molded Interconnect Device] genom stereolitografi. Alternativa metoder som oftast kräver flera olika processer är föga kostnadseffektiva då det rör sig om lågvolymproduktion, medan man med laserbeläggning kan utföra allt i en och samma maskin. Det man framförallt väntar sig att uppnå är en bättre elektrisk ledningsförmåga jämfört med exempelvis tillverkning i form av sintring i ugn.

Silverpartiklarna i det bläck som användes var < 10 µm och utgjordes i de aktuella experimenten av Elecolit3043 vilket deponerades på ett s.k. Somos nano-verktyg, och som laserkälla använde man en UV-laser. Denna var en pulsad Nd:YVO4-laser med 355 nm våglängd. Maximaleffekten vid 40 kHz är 3 W och inverkan av olika fokalpunksstorlekar, 50, 75 och 100 µm, hade undersökts. Med en pulslängd på 600 ms och 75 µm fokalpunkt erhöll man det lägsta övergångsmotståndet som låg mellan 0,17 och 0,20 W. Försöken visade också att en alltför hög energitäthet reducerar den elektriska ledningsförmågan genom att det uppstår en viss tillväxt mellan silverpartiklarna.

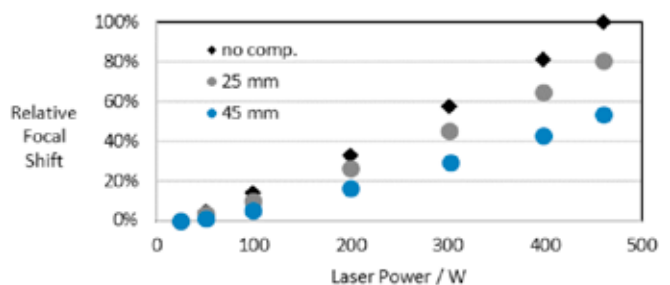
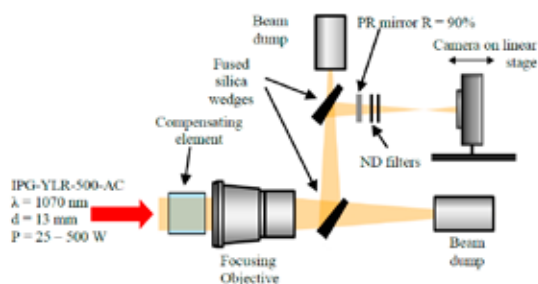
Fokalpunksförskjutningens inverkan vid skärning och svetsning känner vi till, men fenomenet är något som

även måste beaktas vid "Selective Laser Melting". Christiane Thiel har ju sedan länge studerat detta problem och i sin nya roll vid SLM Solutions var det självklart att hennes föredrag skulle handla om noggrannheten i strålpositionering vid additiv tillverkning. Det är framförallt placeringen i vertikalled som är viktig då denna direkt kan sammankopplas med ytqualitet och densitet hos det tillverkade objektet. Försöken hade utförts med en IPG YLR-500 fiberlaser med en stråldiameter på 80 µm och en Raleigh-längd på omkring 4 mm. Tillverkningen hade skett i en Argonfylld kammare och uppbyggnadsskiktet hade en tjocklek på mellan 30-50 µm. Med sagda laserenhet fick man en fokalpunksförskjutning kring 4%. För att motverka detta förslö Ms. Thiel att man borde arbeta med en annan tjocklek och annat brytningsindex hos linsen. Ett annat alternativ kan vara att placera en andra lins i form av ett glasblock i strålgången [Fig. 31]. En så pass enkel åtgärd har visat sig kunna kompensera fokalpunksförskjutningen med upp till 45%. Hon underströk att framtida SLM-maskiner med hög sannolikhet kommer att utrustas med ännu kraftfullare laserkällor varför det kommer att bli nödvändigt att fortsätta utveckla kompensationsinstrument. Så sista ordet rörande problemet med fokalpunksförskjutning har vi långt ifrån hört!

En "Akilleshäla", då det gäller additiv tillverkning med såväl LMD eller SLM, har varit bristen på processövervakningshjälpmedel, men då de traditionella tillverkarna av sådan utrustning för exempelvis laserskärning och -svetsning, nu börjat inse detta börjar ett antal produkter att dyka upp på marknaden. Även maskinbyggarna för SLM är medvetna om detta behov, och Robert Domröse från EOS GmbH presenterade en lösning baserad på fotodioder och en mjukvara som utvecklats i samarbete med företaget Plasmio. Uppställningen består av två fotodioder; en som är koaxiell med laserstrålen och en som belyser processen från sidan, s.k. off-axis. Först måste man "lära" systemet genom att förse det med referensdata som erhållits från ett godkänt processutfall, varpå programmet klassificerar resultat som "ej godkänt" om detta avviker från sådana referensdata. Typiska "input"-värden är olika laserparametrar samt avvikelser i lasereffekt, skyddsgasflöde eller materialkvaliteten på pulvret. Responsparametrar kan vara objektsegenskaper som porositet och ytjämnhet, ljusintensitet från SLM-processen, samt defekter som överhettning, deformationer och bindfel. Två praktikkfall avslutade presentationen där man i det ena medvetet strypt pulvertillförseln och i det andra observerat variationer i temperatursignal vilket då var ett bevis på alltför



Figur 30. Den högre byggplattformstemperaturen ger en högre kvalitet med färre porer och slätare ytor samt en högre draghållfasthet (grönrandigt) och brotttöjning (rött).



Figur 31. T.v. principskiss över den laboriemässiga uppställningen för mätning av fokalpunksförskjutning och t.h. kan man se att en så pass enkel åtgärd som att placera en andra lins (45 mm) i strålgången kan halvera denna effekt.

mycket processsprut. I båda fallen fick man en god korrelation mellan verkligt utfall och informationen från processövervakningen [Fig. 32], och det hela verkade ytterst enkelt och användarvänligt. Framtida utveckling kommer att fokusera på hur man kan övervaka själva ljuset från SLM-processen.

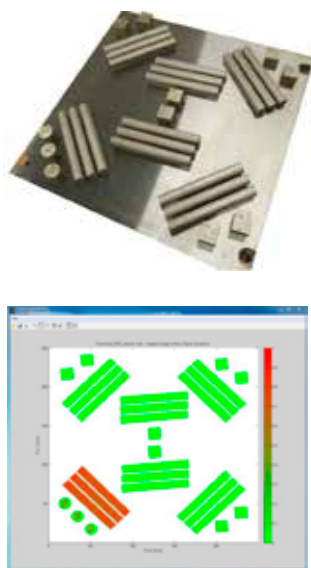
Laserborrning kan i vissa fall betecknas som en annan form av ytmodifiering, och Sundar Marimuthu från Loughborough University berättade om detta applicerat på "aerospace"-legeringar. Nd:YAG-lasrar med ms-korta pulser är det som använts hittills, men man kan nu se en trend mot QCW [Quasi-Continuous Wave] fiberlasrar och kortare pulser för att begränsa tjockleken på det omsmälta materialet i hålets cylinderyta. Trender är vidare att antalet hål för främst kylning av flygplansmotorer ökar och beräknas överstiga 500.000 hål per motor år 2020. Typiska diametrar för dessa hål ligger kring 0,2 mm eller större och materialtjockleken som skall penetreras varierar mellan 1-15 mm. Försök hade gjorts med trepanneringsborrning av en 3 mm tjock Nickelbaserad superlegering där man kunde konstatera att högre effekt självklart gav en högre skärhastighet men samtidigt ett oacceptabelt tjockt omsmältningsskikt. Vidare ändrar laserstrålen sin form med ökande effekt vilket leder till en ojämn distribution av energin över hålets sidor. Därför

hade senare försök utförts vid mycket moderata medeleffekter upp till 500 W med hjälp av en kvasi-cw fiberlaser och femaxlig portalrobot. 150 W medeleffekt och 225 mm/sek i skärhastighet jämfördes med dubbla effekten kombinerad med dubbel hastighet [Fig. 33], i båda fallen med pulseffekter på 4 kW. Resultaten visade inte på någon skillnad i det omsmälta skiktet vid dessa båda parameteruppsättningar. Som avslutning visade Dr. Marimuthu ett exempel där man medelst pulsteknik "laserslagborrat" 400 hål på 97 sekunder i samma superlegering men nu i tjockleken 1,2 mm.

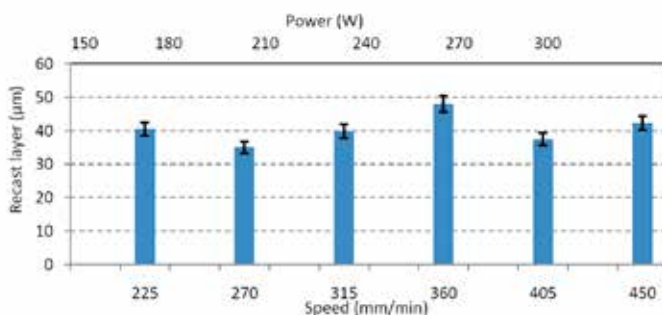
Thomas Beck från Siemens AG spanns vidare på temat laserborrning då han redogjorde för hur detta kom till användning vid hålbörning i turbinbladen till stora gasturbiner vilka levereras till kraftverk. Den hittills största enhet som man producerat kan leverera 400 MW, men har då en verkningsgrad på blott 40%. Genom att utnyttja evakueringsvärmen, vilken ligger kring 600 °C, kan emellertid verkningsgraden ökas till 60% eller 600 MW. Då roterar gasturbinen med 3.000 rpm [revolutions per minute] varför det är nödvändigt att ha en bra kylning av turbinbladen. Detta åstadkommer man genom att perforera dessa med mikrohål, vilka kommer att styra luftflödet kring bladet och därigenom ge en effektiv avkylning. Typiska diametrar för dessa hål ligger

mellan 0,4-1,2 mm och laserborras med ms-långa pulser. För att ytterligare optimera kylflödet formas ingångs- och utgångshålet med laserpulser kring 100 ns. Siemens har en imponerande maskinpark för detta med 11 lasermaskiner för hålbörning och 9 stycken för att skraddarsy hålöppningarna. Materialet i turbinbladen är företrädesvis Nickelbaserade superlegeringar och laserborrningen kombinerar smältning och förångning av materialet.

Verktögsytor hos formverktyg som används vid varmformning av exempelvis karossdetaljer förslits snabbt då de av förklarliga skäl blir utsatta för hög [~900 °C] temperaturpåverkan. Det är framförallt i dragradier som nötningen är som störst och detta får i sin tur till följd att den ALSi-beläggning som är vanligt förekommande för varmformningsstål slits bort. Därför hade Konstantin Hofmann och hans kollegor vid BLZ i Erlangen undersökt möjligheten att legera upp två typer av verktygsstål, WP7V och 1.2379, med hjälp av laserteknik och tillsatsmaterial. Det senare matades in under laserstrålen i form av tråd, och två olika tillsatsmaterial hade undersökts, 1.4316 [SGX2 CrNi 19/9] och 1.4430 [SGX2 CrNiMo 19/12]. Som laserkälla hade man använt IPG:s YLS-1000 kombinerad med en 2D-"scanner" eftersom laserstrålen oscillerades för att kunna täcka en större yta. Oscillerings-



Figur 32. Ett exempel på hur EOS' processövervakningssystem fungerar. Stavarna i nedre vänstra hörnet har tillverkats med avvikande laserparametrar i så måtto att fokuspunktsläget ändrats med cirka en Rayleigh-längd. Detta ger direkt utslag på monitorbilden i form av en annan färgnyans.



Figur 33. Ovan typiskt utseende på hål borrade med en kvasi-cw fiberlaser, vilka uppvisar mycket tunna omsmältningsskikt. Deras tjocklek är relativt konstant då lasereffekt och processhastighet varierar så länge sträckenergin förblir konstant.

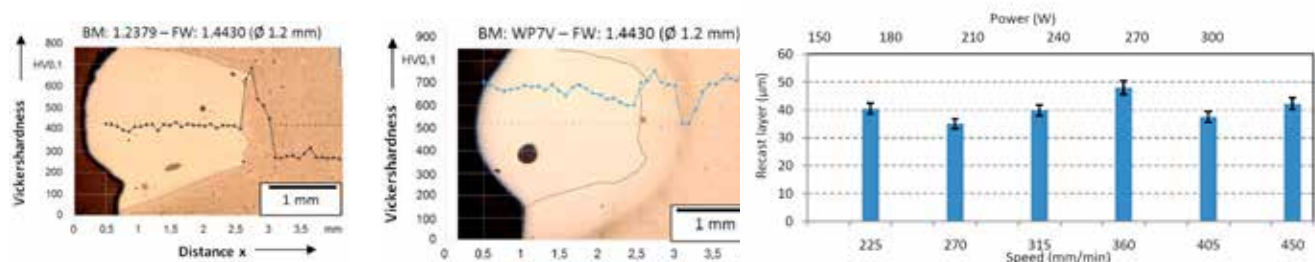
frekvensen varierades mellan 25-400 Hz och amplituden mellan 16-32 mm. De mest kritiska parameterinställningarna var emellertid fokuspunktsstorlek och -läge. Den förstnämnda måste ha en diameter på minst 320  $\mu\text{m}$  och vara positionerad 3,5 mm över arbetsstycket för att få en stabil process vid en framföringshastighet på 8 mm/sek. I efterföljande hårdhetsmätningar uppvisade båda tillsatsmaterialen likvärdiga resultat [Fig. 34]. I fallet med verktygsstålet WP7V fick formytan en hårdhet som överensstämde med basmaterialets medan i fallet med 1.2379-materialet ökades formytans hårdhet från cirka 300 Hv till 400 Hv genom den upplegering som skedde via laserbehandlingen.

En annan typ av formverktyg är de som används vid strängpressning. Dess insidor måste på något sätt beläggas för att öka extruderverktygets livslängd. Vanligtvis görs detta genom s.k. spin casting, något som emellertid kräver att verktyget har ett rotationssymmetriskt tvärsnitt. Så är inte alltid fallet vilket illustrerades av ett praktikfall som Josu Leunda från IK4-Tekniker i Eibar i Spanien redogjorde för. Här hade verktyget dubbla kammare för att kunna öka produktiviteten genom att extrudera två profiler samtidigt [Fig. 36], varför den ovannämnda "spin casting"-tekniken inte gick att använda. Därför hade

man tvingats undersöka alternativ och fastnat för att belägga verktygsytorna med hjälp av laser. Det pålagda skiktet utgjordes av en blandning av 40% NiCr och 60% WC [WolframCarbide], och tre typer av pulverpartiklar hade undersökts; små sfäriska partiklar med 10-45  $\mu\text{m}$  diameter alternativt större sådana med 45-125  $\mu\text{m}$  diameter, samt även krossade partiklar. För att undvika uppkomsten av sprickor upptäckte man att man först måste lägga ett buffertlager som var fritt från karbider, varpå den avsedda blandningen lades på detta mellanlager. Pålägningsprocessen kombinerades också med en förvärmning av extruderverktyget för att få en sprickfri beläggning [Fig. 35]. Lasereffekten var satt till 0,5 kW, fokuspunkten var 2 mm och processhastigheten uppgick till mellan 500-600 mm/min. Pulvermaterialet tillfördes i en mängd av 20 g/min. Resultaten visade på att det är fördelaktigt med större karbidpartiklar då dessa löper mindre risk att lösas in i substratet, samt att de krossade partiklarna gav bäst nötningsegenskaper.

Ett annat sätt att modifiera metalliska ytor på har vi hört från tidigare Trumpf-presentationer, då det rört sig om att foga plast till metaller, så för många av oss blev Max Kahmanns presentation snarast en repetition. Vad man gör är att strukturera metallytan genom att över-

fara ytan med ns-långa laserpulser och därigenom skapa gropar som senare den smälta plasten kan flyta in i och därmed få en stor kontaktyta mot metallen [Fig. 37]. Trumpf tillhandahåller kompletta enheter för denna typ av laserbearbetning i form av TruMicro 7060 och TruMicro 7240. Själva sammanfogningen görs antingen genom att ansätta en laserstråle mot metalldelen och låta den konduktiva värmen smälta polymeren, eller så kan man använda sig av induktionsvärmning. Det optimala djupet hos groparna ansågs ligga kring 300  $\mu\text{m}$  exklusive det material som flyter upp på metallytan vid struktureringen. Denna gjordes med Nitrogen som skyddsgas om metallen var av stål och då med en kapacitet på 3  $\text{cm}^2/\text{sek}$ . För aluminium användes istället tryckluft och här låg bearbetningshastigheten på 5  $\text{cm}^2/\text{sek}$ . För att processen skall komma igång krävs en effekttäthet på 7  $\text{MW}/\text{cm}^2$  för stål respektive 30  $\text{MW}/\text{cm}^2$  för aluminium. Eftersom groparna görs linjeformiga uppvisade det färdiga förbandet god hållfasthet vid fläkbelastning, men man kan ifrågasätta huruvida förbindningen kan motstå skjuvlasten om dessa läggs på i samma riktning som de skapade groparna? Vid de utförda försöken hade man inte kunnat se någon inverkan av olika laservåglängder. Ryktesvis har man låtit det framgå att VW använder denna



Figur 34. Tillsatsmaterialen, 1.4430 och 1.4316, lagda på substraten 1.2379 resp. WP7V, gav likvärdig hårdhet men ökade formytans slittålighet med cirka 100 Hv i fallet med substratmaterialet 1.2379.



Figur 35. Penetranttest av det pålagda skiktet; a) förvämt utan buffertlager, b) buffertlager utan förvärmning, samt c) både förvärmning och buffertlager.

teknik för multimaterialkonstruktion av interiöra detaljer, vilket nödgade under-tecknad att ställa frågan om metoden på något sätt är patenterad. Härpå kunde emellertid Herrn Kahmann lugna mig genom att säga att så inte är fallet.

Man kan även strukturera en metallisk yta för att göra den vattenavvisande eller hydrofob. En verklig laserveteran, professor José Luis Ocaña från Universidad Politecnica de Madrid, berättade om hur man hade undersökt detta. Materialet var aluminium, vilket i sig har låg ytenergi och därför är naturligt vattenavvisande, men man ville ytterligare förbättra dessa egenskaper genom att skapa mikromönster i ytan. Till sin hjälp hade man en UV-laser med 355 nm våglängd vilken kan generera en extremt liten fokuspunkt och dessutom ger våglängden en minimal termisk påverkan på materialet. Medeleffekten låg på 300 mW och pulsades med en frekvens på 100 kHz i 30 ns långa laserpulser. Typiska penetrationsdjup låg mellan 1,75-2,75  $\mu\text{m}$  och mönstret var antingen endimensionellt med parallella "kanaler" eller tvådimensionellt i ett rutmönster av mot varandra vinkelräta "kanaler" vilka kom att resultera i vad professor Ocaña kallade  $\mu$ -pelare. Bäst vattenavvisande förmåga hade man då man kombinerade dessa två former i något som benämndes  $\mu$ -cell [Fig. 38] och där

avståndet mellan "kanalerna" uppgick till 10-15  $\mu\text{m}$ . Dock menade professor Ocaña att det ännu återstår mycket forskning kring ämnet och han uttryckte vissa farhågor om huruvida dessa  $\mu$ -strukturer skulle förbli konsistenta över en längre tid.

Jag avslutar denna del av min rapportering från Laser World of Photonics med lite allmänt "laserskvaller" som man lätt snappar upp vid sådana här tillfällen då merparten av världens "laserexperter" är församlade vid ett och samma tillfälle:

Torsten Kimpel och Christoph Franz informerade om att Scansonic har ett nytt processövervakningssystem "på gång", vilket bygger på visualisering av svetsmältan med hjälp av en CMOS [Complementary Metal Oxide Semiconductor]-kamera. En lösning som i mångt och mycket påminner om den som Lessmüller kan erbjuda.

Johannes Trbola som en gång i tiden grundade PlasmO GmbH har sedan dess varit behjälplig hos ett antal tillverkare av laserverktyg. Nu hittade jag honom i Primes' monter där han stolt visade upp det guldpläterade 10.000:e exemplaret av företagets storsäljande PowerMonitor.

En av dagarna hade jag sällskap med Axel Bauer från ILT på S-bahntåget ut till mässan och han lät meddela att BMBF [Bundesministerium für Bildung

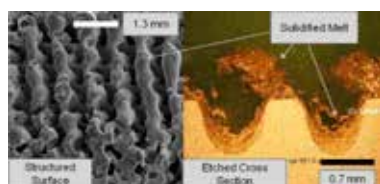
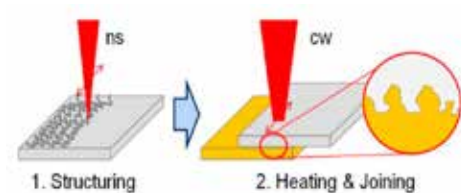
und Forschung] har avsatt 30 miljoner euros för forskning och utveckling kring additiv tillverkning. För detta ändamål har ILT utvecklat en fs-laser med 750 W i pulseffekt, vilket torde vara något av ett rekord för denna typ av laser.

Axel Luft från Laserline, som naturligtvis gläds åt att ha kunnat leverera två stycken 4 kW diodlasrar till Volvo Torslandaverken för lasersvetsning av den nya XC90-karossen, var angelägen om att berättat om Audi AG:s vidare storsatsning på aluminiumkomponenter och svetsning av dessa. I montern hittade jag bl.a. en sidodörr från Audi A8 vilken lasersvetsats utan tillsatsmaterial med en av Laserlines "fiberkonverterade" diodlasrar med 4 kW effekt. "Värstingen" i utbudet av laserkällor heter numera LDF 50.000-200 vilket skall utläsas som 50 kW medeleffekt distribuerad genom en 200  $\mu\text{m}$  grov optisk fiber.

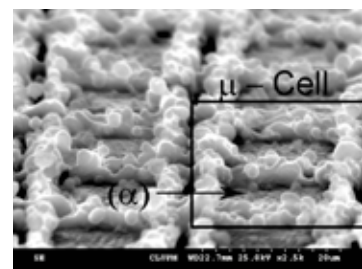
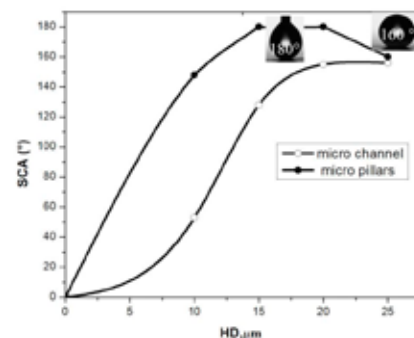
I HighYags monter, som numera är en del av II-IV Incorporated, en global tillverkare av halvledare, hittade jag gamle bekantingen Detlev Wolff. Han visade upp en förbättrad version av "remote"-verktyget RLSK, men den stora nyheten var företagets nya fiberkoncept med kylvattenflöde i ett rostfritt "rör" som omsluter den optiska fibern.



Figur 36. Dubbelkammarens färdigbelagda verktygsyta med en närbild t.h.



Figur 37. T.v. principskissen för de två processtegen för att sammanfoga plast och metall där den senare först struktureras med en pulsad laser varpå polymeren smälts med en cw-laser. T.h. förstoringar på toppvy och tvärsnitt av strukturen.

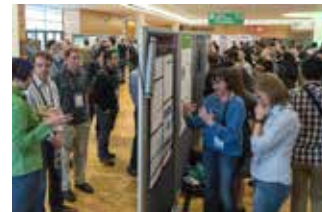
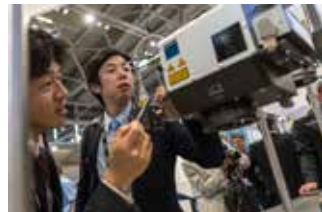


Figur 38.  $\mu$ -pelarna visade sig ha en större vattenavvisande förmåga än  $\mu$ -kanalerna (kontaktvinkel som funktion av kanal mellanrum, t.v.), men allra bäst resultat fick man då de båda formerna kombinerades i en s.k.  $\mu$ -cell (t.h).

En ny, aktiv aktör då det gäller laser-källor är JDSU som på mässan visade upp såväl fiberlasrar som direktverkande diodlasrar. Styrkan hos företaget ligger i att man har egen diodtillverkning och där diodlasrarna är uppbyggda kring diodstavar om 400 W. Man marknadsför två varianter av direktverkande diodlasrar [CORELIGHTÔ DLE-Series] med 2,1 respektive 4,2 kW effekt, 930 nm våglängd och en BPP [Beam

Parameter Product] kring 9 mm\* mrad. Därmed är man en klar konkurrent till TeraDiode och Direct Photonics och deras diodlaserkällor med extremt goda strålkvaliteter. Fiberlasrarna erbjuds med effekterna 2,1 [JDP-YLE-2100], 4,2 [JDP-YLE-4200] och 6,3 [JDP-YLE-6300] kW cw-effekt. Den rekommenderade distributionsfibern har en diameter på 50 µm och BPP ligger mellan 1,4-3,0 mm\* mrad. Jag fick veta att

man under hösten avser att installera en av sina fiberlasrar hos IWS [Institut für Werkstoff- und Strahltechnik] i Dresden som därmed får möjlighet att utvärdera denna lasertyp för olika applikationsändamål. Prismässigt gav deras amerikanske representant James Christian mig en fingervisning om kostnaderna för JDSU:s fiberlasrar – någonstans mellan 38-45 U.S. dollar per Watt. ■



## PRESSRELEASE

# EBP i Olofström investerar i en avancerad laser

På EBP i Olofström tillverkas karosdelar till flera av Europas ledande biltillverkare. Företaget är specialiserade på kvalificerad produktion för såväl serieproduktion som eftermarknad.

I produktionsanläggningen finns tillgång till all kompetens och utrustning som krävs för tillverkning av karoskomponenter utifrån fordonsbranschens krav på hög kvalitet, korta ledtider och snabb anpassning till nya modellserier.

När Tommy Svensson, ansvarig tekniker för laserskärning på företaget, får frågan varför valet föll på Din Maskin och Prima Power som leverantör nämner han två orsaker:

– Prima Power OPTIMO är den maskin på marknaden som har den enskilt största arbetsytan. Detta tillsammans med VIVIDA-skärhuvudet gav oss den maskin vi letade efter. Vi kommer huvudsakligen skära aluminium i maskinen, men även stål och rostfritt.

– Thomas Häggglunds, produktansvarig för laser på Din Maskin, oslagbara kunskaper om laser i allmänhet och Prima Powers maskiner i synnerhet är

en stor trygghet, avslutar Tommy.

Kjell-Arne Thorén, säljare på Din Maskin, berättar att Prima Power OPTIMO är en förstklassig 3D-lasermaskin för skärning och svetsning av större arbetsstycken med utmärkt kvalitet och noggrannhet och att det är deras största 3D-lasermaskin. Den används huvudsakligen inom karosstillverkning (personbilar, lastbilar, etc.) och inom rymd-/ flygindustri.

Stor arbetsvolym (mer än 11m<sup>3</sup> med bästa åtkomlighet, flygande optik, sammansatt portalstruktur, hög noggrannhet och enkel programmering) gör OPTIMO till den ideala maskinen för snabb och precis bearbetning av större 3D-detaler. Det direktdrivna huvudet utan axlar och växlar garanterar hög dynamik och noggrannhet utan vändglapp och slitage.

Systemet för byte av verktyg gör det enkelt att snabbt byta mellan olika processer för att på så sätt ytterligare bredda applikationsområdet för denna mycket flexibla maskin. Med det rätta verktyget skär eller svetsar OPTIMO med precision olika material och tjocklekar.



Optimo 1\_1



Kjell-Arne Thorén (Din Maskin) Tommy Svensson (Produktionstekniker EBP) Daniel Jeppsson (Operatör EBP), Per Svensson (Projektchef EBP) samt sittande Thomas Häggglund (Din Maskin) framför den nyinstallerade Prima Power OPTIMO.

VIVIDA-skärhuvudet minskar cykeltider för typiska applikationer som ex. motorhuv inre med 50-100 hålbilder och konturlängder på 5-8 meter med upp till 27%! Denna option var också en avgörande anledning till att EBP valde OPTIMO till sin produktion.

# Precitec ProCutter – ny flexibilitet i laserskärning

av Nadine Rahner, Precitec GmbH & Co KG  
Bearbetad av Hans Engström, Levitronics Lasersystem AB

Vid EuroBLECH 2014 presenterade Precitec sin senaste generation av laserskärhuvuden. Den nya kompakta ”ProCutter” för laserskärning av tunna och medeltjocka material med fiber- och disk-laser. Med ett integrerat sensorsystem, tre olika utföranden och individuella möjligheter för konfiguration så erbjuder ProCutter optimal flexibilitet.

– Alla som idag använder dynamiska laserskärmaskiner behöver skärhuvuden som kombinerar låg vikt, kompakt konstruktion med flexibilitet och intelligent sensorteknologi. Detta är precis de krav som Precitec möter med ProCutter-programmet. Tack vare sin flexibilitet så kan ProCutter anpassas utomordentligt väl till olika processer och olika lasrar och maskiner, förklarar Alexander Gatej, produktansvarig hos Precitec.

## Tre versioner med individuella optioner

ProCutter får sin flexibilitet från ett optimerat koncept som kombinerar tre produktversioner med individuellt anpassningsbara konfigurationer. Skärhuvudet finns som rak eller vinklad version (90 grader vänster eller höger) och kan anpassas till den använda maskinen. Användaren kan också välja mellan en version med motoriserad fokalpunktjustering eller den manuella versionen där fokalpunktens läge justeras manuellt. Dessutom finns ProCutter Zoom som passar användare som arbetar i ett brett tjockleksområde genom att man kan variera fokalpunktsläget och fokalpunktsdiametern oberoende av varandra. Med en justerbar zoom mellan 1.25x och 2.5x så kan fokalpunkten storlek på arbetsstycket justeras med en faktor av upp till 2.

Som en ytterligare option erbjuder Precitec en konfiguration med CutMonitor. Detta ger användaren möjlighet att övervaka håltagningsprocessen och sedan starta skärprocessen precis närlaserstrålen har gått igenom materialet. På detta sätt kan avbrott i skärprocessen tydligt detekteras ger möjlighet till kontrollerad felhantering.

## Prestanda konfirmerade i fälttester

Enligt Alexander Gatej så presterar den nya generationen skärhuvuden mycket bra för skärning av tunnplåt och rör för materialtjocklekar som passar lasrar i en mikrometerområdet.

– Innan introduktionen på marknaden har vi utfört omfattande fältprovning med den nya ProCutter under industriella förhållanden, säger Alexander Gatej. Resultatet visar att vår kombination av beprövade koncept, innovativa teknologier och optimerad design erbjuder exakt de prestanda och tillförlitlighet som våra kunder över hela världen behöver i sina system.

Vad beträffar tillverkning och montering av de nya huvudena så sätter Precitec högklassig optik och kvalitetskontroll främst.

– Som en konsekvens av detta, så får våra kunder fördelar av exceptio-



Bild 1. Precitec's nya skärhuvud, ProCutter, är utrustad med ett integrerat, sofistikerat sensorsystem som tar liten plats. Detta övervakar skärprocessen och ger användaren all relevant information om driftssituationen. Statusen visas tydligt med en LED-display.

nell strålöverföring och extremt hög stabilitet i fokalpunktsläget, förklarar Alexander Gatej.

## Effektiv och välkontrollerad skärning

Designen av ProCutter-serien tillåter lasereffekter på upp till 6 kW i det nära infraröda området, liten storlek och låg vikt. ProCutter är optimerad för accelerationer på upp till 4.5 g. Den motoriserade inställningen av fokalpunktsläget ger stora möjligheter till automation genom t.ex. automatisk ”piercing” (håltagning vid skärstart). Samtidigt så försäkras det integrerade sensor-

systemet noggrann avståndsmätning även vid höga accelerationer och vid alla driftstemperaturer. Det robusta och dammtåta huvudet främjar långa driftstider mellan service och korta underhållsperioder genom den integrerade skyddsglaskassetten.

### Modernt sensorsystem och säkerhetsutrustning

För att göra ProCutter säker och lätt att använda och för att detektera funktionsstörningar innan driftsavbrott, så är skärhuvudet utrustat med ett omfattande skydds- och kontrollsystem. Strålgången, t.ex. är damm- och trycktat genom skyddsglasfönster. Temperatur- och ströljussensorer kontrollerar statusen i hela skärhuvudet, såväl som konditionen hos enskilda komponenter. Trycket mäts automatiskt i huvudet och området vid gasdysan. Detta gör det möjligt att snabbt registrera och åtgärda eventuella gasläckor efter t.ex. byte av skyddsglas. All relevant driftsstatus inklusive tryck, temperatur, föroreningar visas av ProCutter via en tydlig LED-display på skärhuvudets utsida.



Bild 2. ProCutter-familjen. Fr.v. ProCutter Manuell, ProCutter och ProCutter Zoom

### Decentraliserad styrning via Bluetooth

Genom ett integrerat Bluetooth-interface så kan den aktuella statusen på systemet styras på distans via en smartphone eller tablet. Samtidigt kan informationen från sensorerna visualiseras och tillståndet hos alla övervakade komponenter visas. Displayerna omfattar temperaturen i kollimator- och



Bild 3. Introduktionen av ProCutter-serien på Euro-Blech mötte stort intresse. Notera speciellt möjligheterna till styrning och övervakning via smartphones eller tablets.

fokuslinserna, trycket hos skärgas och tryckluft såväl information om linsen och aktuell fokuspunktsinställning. Beroende på användarens rättigheter så kan värden från sensorerna avläsas eller ställas in. På detta sätt kan användaren tidigt upptäcka möjliga felkällor i god tid och därmed vidta nödvändiga åtgärder.

Fortsättning "Laser vinner..." från sid 52

Man har uppnått ca 4w uteffekt från en enda 100 micrometer bred laser "facet". Detta pga att verkningsgraden är mycket hög vilket medför låg värmestress på materialet, samtidigt som själva laser-materialet tål en högre temperatur än det för diodlasrar.

En sk kvant-prick-laser kan ha mindre än 90% verkningsgrad från vägguttaget och lasern skulle kunna byggas i arrayer för mycket höga effekter.

Den är mycket kompakt och tack vare den lilla värmeutvecklingen kan

laserkällan få plats i skärhuvudet strax ovanför linsen. Källan kan dessutom fås i valfri "färg" då våglängden bestäms av kvantprickarnas storlek. Man kan tänka sej att man skulle kunna byta våglängden från lasern beroende på vilket material man vill bearbeta bara genom en knapptryckning, så att olika array med rätt våglängd kopplas in.

Som ett mellansteg ser jag nog att direkt diod lasrar kommer att vinna mark då strålkvaliten ständigt förbättras. Amada verkar komma med en 2kw

fiberkopplad direkt-diod laserskärmaskin där skärhastigheten ligger någonstans mitt emellan en fiber och CO<sub>2</sub>-laser. Laserkällan kommer från JDSU/Lumentum i USA.

Lägre tillverkningskostnader och en lägre strömförbrukning är direktdiodlaserns starkaste kort.

Så laserns framtid ser verkligen ljus och "prickig" ut.



# Lasersvetsning och additiv tillverkning dominerade

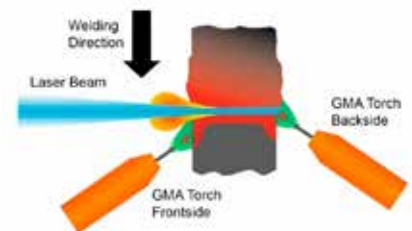
Johnny K Larsson,  
Volvo Cars

## DEL 3

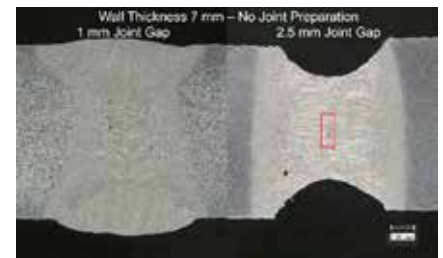
Under fem dagar i oktober i fjol samlades mer än 500 delegater från 30 länder till den 33:e ICALEO [International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics] -konferensen, som denna gång var förlagd till ett soligt Kalifornien. Närmare bestämt höll vi till i San Diego där evenemanget var förlagt till Sheraton® San Diego Hotel and Marina. Detta är den tredje delen av artikeln där de två första publicerades i LaserNytt 1 och 2 2015.

Att lägga ett elektriskt spänningsfält över en svetssmälta skapar elektromagnetiska krafter i densamma vilka hjälper till att minimera svetsdefekter som exempelvis porer vid lasersvetsning av aluminium. Dessa fenomen hade studerats av Xinyi Zhang och hans kollegor vid Beijing University of Technology. Materialet som provsvetsats var 3 mm tjockt AA6009 och man hade använt 3 kW från en CO<sub>2</sub>-laser vilket resulterade i en svets hastighet på 3 m/min. Man hade använt sig av likström vilken hade tillförts nyckelhålet via tillsatstråden ALSi12-legering med 1,2 mm diameter. Fem olika strömnivåer hade använts; 0, 50, 100, 150 och 200 A samtidigt som spänningen hölls låg. Den efterföljande analysen av svetsresultaten gav vid handen att med ökande strömstyrka tenderar svetsgodset att dra sig mot fogens undersida vilket gör att toppsidan av svetsen blir smalare medan dess botten sida ökar. Dock bibehöll svetsgodset samma volym oavsett vilket Amperetal som användes. En högre strömstyrka gav också en bättre inblandning av kisel i svetsgodset beroende just på de magnet- och hydrodynamiska effekterna.

Laserhybridsvetsning inom varvsindustrin är en etablerad teknik vid tillverkningen av däckspaneler, vilket bl.a. exemplifieras hos Meyer Werft i Papenburg som har 5 CO<sub>2</sub>- och 3 disk-lasrar i löpande produktion. Dock har hittillsvarande svetsning utförts i lägena PA [Flat position] och PB [Horizontal position], men nu redogjorde Christoph Turner från RWTH i Aachen för hybrid-svetsning i PG [Vertical downwards]. Försöksuppställningen bestod av en 16 kW disk-laser med 1.030 nm våglängd och 600 µm fokuspunkt kombinerad med en gasmetallbågutrustning och med ett internavstånd mellan de två processernas TCPs på 20 mm. Därutöver hade man ansatt en andra MAG-pistol på fogens baksida, och det var denna som gav uppställningen effekten av en laserhybridprocess [Fig. 37]. Lasern var dessutom försedd med en ILV-DC-”scanner” för att kunna kompensera för gap mellan plåtarna vilka utgjordes av 5 mm respektive 7 mm kvalitet ”A” fartygsstål, vilka kalsvetsades i en T-fogsgeometri. Tillsatstråden var av typ G4Si1 med 1,2 mm diameter vilken matades med 4,5 m/min och



Figur 37. Schematisk illustration av den i försöken använda laserhybridprocessen vilken skapas av laserstrålen och en MAG-ljusbåge på motsatta sidan av fogen.



Figur 38. Vid stumsvetsning av 7 mm tjockt fartygsstål i kvalitet ”A” klarar man galant spalter på upp till 1,0 mm med tillsatsmaterial och oscillerande laserstråle, men om gapet blir större blir uppstår defekter som insjunkna svets och förekomst av porer i svetsgodset.

effekten var satt till 3,5 kW för det tunnare materialet och 4,0 kW för det tjockare. Med ”scanner” och tillsatstråd gick det att överbrygga 1 mm spalter, men för större spalter börjar porer uppträda och spalter över 2 mm resulterar i oacceptabla svetsdefekter [Fig. 38]. Försöksuppställningen innehöll också Precitecs optiska sensor LPF avsedd för fogsökning och -följning, men Herrn Turner menade att genom att sensorn även registrerade varierande spalter

i fogen kunde den användas för att rekommendera lämpliga kompensationsparametrar i form av lasereffekt, trådmatning, pendlingsamplitud och bågdata – alltså en form av indirekt ”closed-loop”. Föredraget avslutades med några säkerhetsaspekter då det gäller lasersvetsning i öppen miljö i form av ett skeppsvarv, och ett praktikfall visade på ett säkerhetskabinett med vägar utförda i träflismaterial vilka tog 76 sekunder för laserstrålen att penetrera!

Siste talare i laserhybridsessionen var gamle bekantingen Jukka Siltanen från Ruukki Metals Oy, som fick inleda med att förklara att företaget numera tillhör den svenska ståltillverkaren SSAB. Hybridsvetsningen hade utförts på Ruukkis ”honnörmaterial” Optim 960 QC, vilket är strukturellt stål som vid tillverkningen härdas direkt i valslinjen [t8/5 = 15 sek] utan någon efterföljande återuppvärmning och härdning. Brottgränsen på det aktuella materialet är 960 MPa och tjockleken var 6 mm och foggeometri var stumfog. Ett antal olika laser [CO<sub>2</sub> och Solid state]- och bågströmkällor hade använts men huvudinriktningen för undersökningen låg på valet av tillsatsmaterial och de svetsgodsprestanda som det resulterade i. Såväl matchande [Union X96 (ISO 14341: G 89 5 M Mn4Ni2.5CrMo)] som undermatchande [ESAB O.K. 12.50 (G3Si1)] tillsatsstrådar med diametrar mellan 1,0-1,2 mm hade ingått i studien, där en reducerad svetsenergi genomgående gav en högre hållfasthet i svetsgodset. Vid laserhybridsvetsning kunde man se att också ett undermatchande tillsatsmaterial gav en fullgod hållfasthet, något som inte var fallet då enbart GMAW-processen användes [Fig. 39]. Att använda ett undermatchande tillsatsmaterial är även fördelaktigt ur den synpunkten att det ger en bättre slagseghet. Däremot visade böjprov som gjorts tvärs svetsen som väntat dåliga värden, särskilt då svetsens ovansida utsattes för dragbelastning. Den gode Jukka ville avslutningsvis hävda att standardiserade böj- och slagseghetsprov kanske inte var de bästa metoderna för utvärdering av svetsgenskaperna i just direkthärdade stål.

Från övriga svets-sessioner kan följande rapporteras:

En pratglad herre var Narasimhan Sreenivasan från Trumpf Inc. i Plymouth Township, MI då han redogjorde för olika RLW-försök där olika svetsmönster undersöktes liksom hur pendlung av

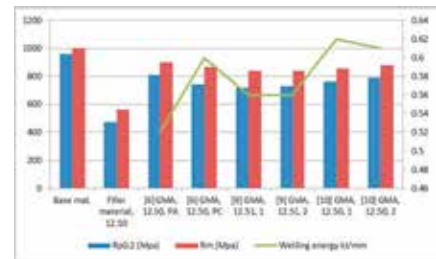
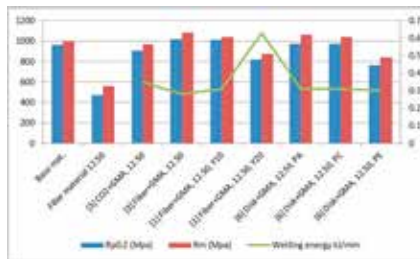
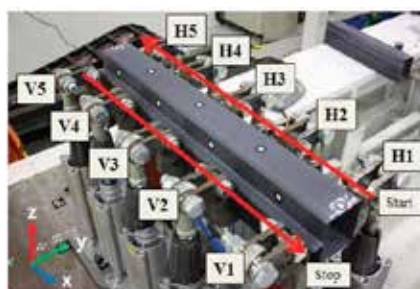


Fig. 39.

En intressant upptäckt som gjordes vid laserhybridsvetsning av Ruukkis direkthärdade material ”Optim 960 QC” var den att även med det undermatchande tillsatsmaterialet O.K. 12.50 uppvisade svetsgodset en hållfasthet nästintill grundmaterialets, en effekt som inte gick att skönja vid konventionell MAG-svetsning.

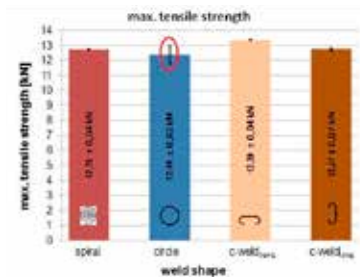
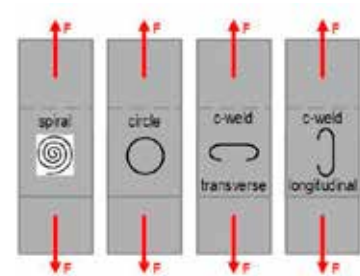
laserstrålen kan hjälpa till att överbygga spalter mellan plåtarna i stum- och T-fogar. Materialen som ingått i studien var mjuk pressplåt DC01 med en tjocklek på 1,5 mm samt aluminium AA5754 i tjocklekarna 1,0 och 2,0. Laserkällan var en TruDisc801 och ”scanner”-verktyget Trumpfs klassiska PFO 3D.

Man hade tillverkat dragprovstavar med olika svetsmönster som hade samma ytterkonturer men formen av ”spiral”, cirkel och C-form [Fig. 40]. Den spiralformade var i princip en fylld cirkel men visade sig inte ha högre hållfasthet än övriga mönster. Detta ledde till en livlig debatt där olika teorier framfördes. Utfallet kan säkert vara sant i de fall man får s.k. pluggbrott, d.v.s. att brottet går i plåten vilket är relevant för de mjuka materialkvaliteter som här använts. Däremot är det tveksamt om samma teori håller då man svetsar i höghållfasta stålkvaliteter, där brottet vanligtvis är s.k. fogytebrott och där man borde ha en positiv effekt av den större svetsade arean! För de C-formade svetsarna uppvisade de som var vinkelrätt orienterade mot dragriktningen något högre hållfasthet jämfört med de som var parallella med densamma.



Figur 41.

Ovan den specialutvecklade fixturen för i detta fall lasersvetsning av dubbelhattprofiler och t.h. de tre kameror som mätte deformationen under svetsförloppet.



Figur 40.

Överst de fyra svetsmönster som ingick i studien, följda av brottlasterna vid statisk dragprovning. Skillnaderna i max.last är liten, men C-formade svetsar placerade vinkelrätt mot dragriktningen ger bäst resultat medan desamma tenderar till fogytebrott om de orienteras parallellt.

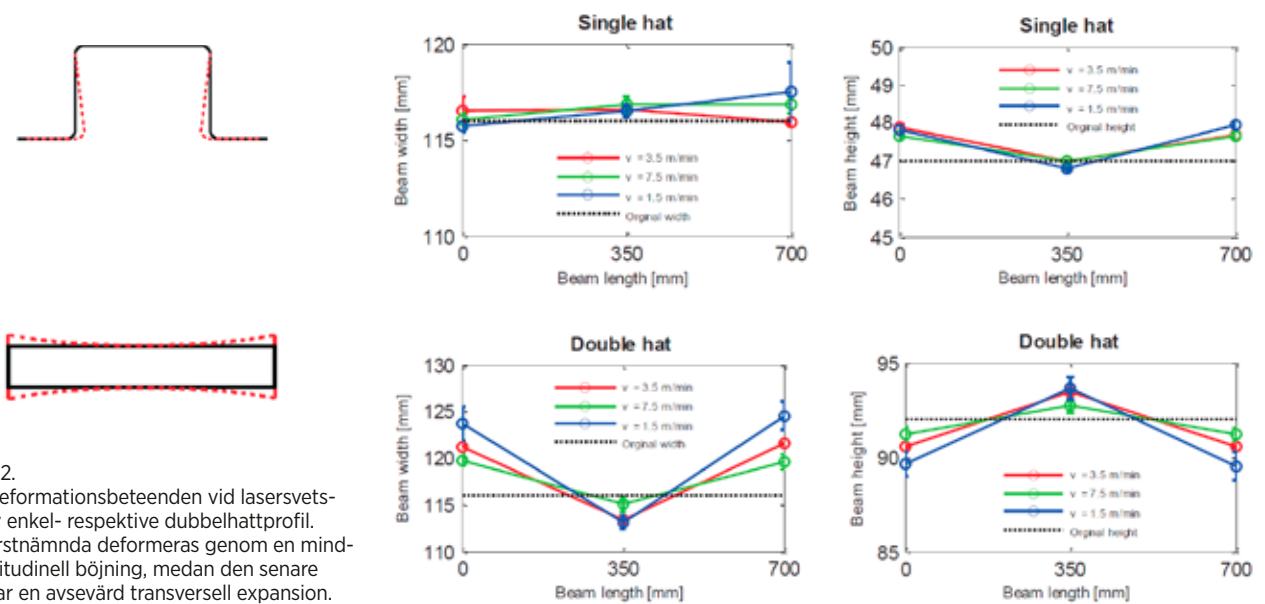


Vår svenske kollega Karl Fahlström från SwereaKIMAB hade studerat distorsioner vid svetsning av balkprofiler i Borstål med en vägg tjocklek på 1,0 mm och en längd av 700 mm, vilka skulle simulera en B-stolpe i en personbilskaross. Två olika geometrier förelåg; enkelhatt- respektive dubbelhattprofil. Den experimentella delen hade utförts vid Volvo Personvagnars Pilot plant i Torslanda där man för ändamålet hade utvecklat en speciella fixtur med 10 spännbackar [Fig. 41] vilka kunde opereras individuellt med hjälp av pneumatik. Svetsningen hade utförts med 4 kW lasereffekt och tre olika svets hastigheter; 1,5, 3,5 och 7,5 m/min där den senare inte resulterade i full penetration. Under svetsningen hade deformationerna mätts med hjälp av tre kameror, varefter balkarna fick sitta kvar och svalna i fixturen under 200 sekunder. Därefter lossades spännbackarna och det var först då som

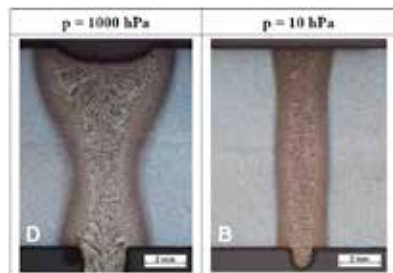
de större distorsionerna skedde. För enkelhattarna skedde deformationen som longitudinell böjning vilken som mest uppgick till 1 mm. Värre var då resultaten för dubbelhattarna där man fick en transversell expansion som kunde uppgå till så mycket som 8 mm från den nominella formen [Fig. 42]. För att undersöka möjliga förbättringar i form av alternativa svetssekvenser och fixering hade svets simuleringsprogrammet SYS-WELD® använts. Arbetet utförs inom ett FFI [Fordonsstrategisk Forskning och Innovation]-projekt med namnet LaserLight och vi ser med spänning fram mot resultaten från ett fortsatt arbete.

Christian Börner från TU [Technische Universität] Braunschweig hade ju redan i sessionen rörande lasersvetsning av icke-järnmetaller berättat om hur man kunde förbättra lasersvetsprocessen genom att svetsa under reducerat

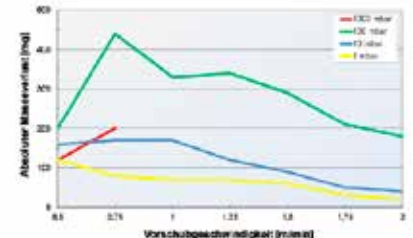
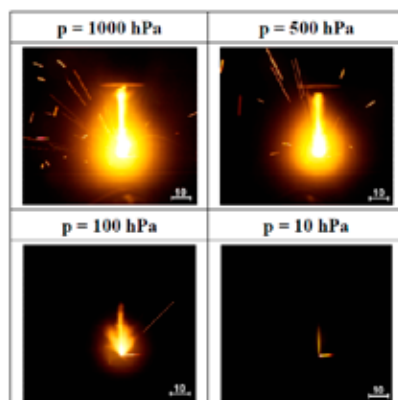
lufttryck, vilket gör att mindre lasereffekt krävs för full penetration [Fig. 43]! Laserkällan som använts i experimenten var en TruDisc 6002D med en fokallängd på 300 mm och stråldistribution via en optisk fiber med 200 alternativt 400 µm diameter, men denna gång var materialet 16MnCr5 i tjocklekarna 3 och 10 mm och det är speciellt för det tjockare materialet som problem med svets sprut och droppformering uppstår, speciellt vid höga svets hastigheter. Då man svetsade i atmosfäriskt tryck [1000 hPa] nådde man bara svetsklass D [enligt ISO 13919-1], men då lufttrycket reducerades till 100, 10 respektive 1 hPa uppfylldes kraven för klass B! Det man kunde observera vid lasersvetsning under reducerat lufttryck var en radikal minskning av mängden svets sprut, även vid förhållandevis höga svets hastigheter mellan 6-8 m/min, då det i princip inte uppstår något förångningsplasma



Figur 42. Olika deformationsbeteenden vid lasersvetsning av enkel- respektive dubbelhattprofil. Den förstnämnda deformeras genom en mindre longitudinell böjning, medan den senare uppvisar en avsevärd transversell expansion.



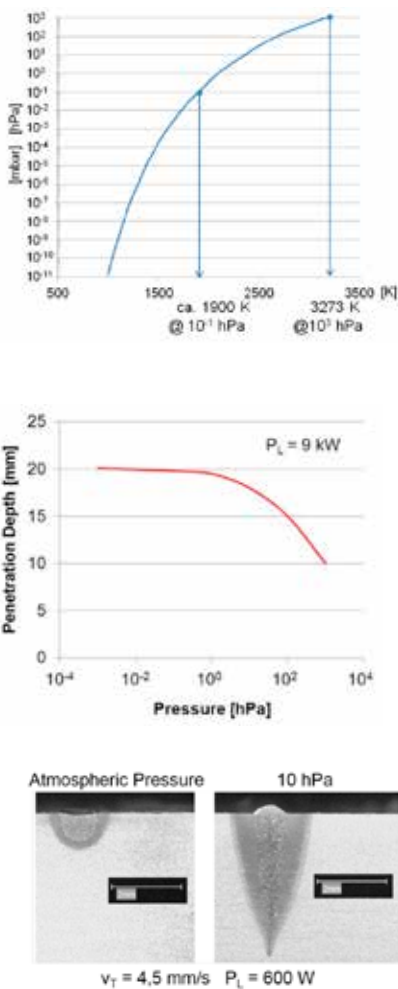
Figur 43. Genom att svetsa vid reducerat lufttryck krävs betydligt lägre lasereffekt för att nå full penetration. I det närmaste tvärsnittet (D) krävs 4.750 W medan man vid 10 hPa tryck (B) endast behöver 2.750 W. Svets hastigheten var 0,5 m/min med fokuspunkten placerad i z = -4 mm.



Figur 44. Plasmaformering och svets sprut reduceras avsevärt vid lasersvetsning under reducerat lufttryck, vilket i sin tur medger högre svets hastigheter.

[Fig. 44]. Vidare fick man ett bättre svetsvärnsnitt och också en bättre spalt-överbryggnadsförmåga då det reducerade trycket innebär en kallare smälta som blir mer trögflytande. Dessutom är svetsprocessen mindre känslig för fokalpunktsvariationer i vertikalled då man reducerar lufttrycket. Redovisningen avslutades med ett praktikfall där man svetsat ett kugghjul till en synkroniseringsring vid 10 hPa tryck och nådde ett penetrationsdjup på 4 mm vid 4 kW lasereffekt och en svetshastighet på 5 m/min.

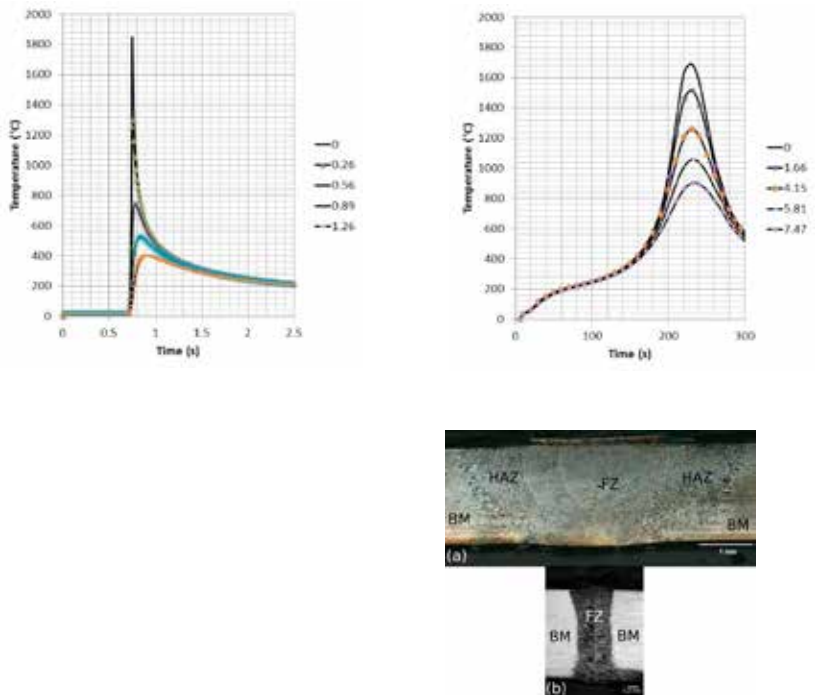
Ämnet att lasersvetsa under reducerat lufttryck, i detta fall i rent vakuum, adresserades av Dr. Simon Olschok från RWTH isf i Aachen, där man för övrigt har lång erfarenhet av elektronstrålesvetsning. Liksom föregående talare kunde Dr. Olschok konstatera att svetsprocessen blir stabilare då inget förångningsplasma uppträder. Detta beror på



Figur 45. Stålsförångningstemperatur sjunker radikalt vid reducerade lufttryck. Därmed minimeras plasmaformering vid lasersvetsning och penetrationsdjupet ökar vilket framgår av diagrammet i mitten och tvärsnitten närmast ovan, där båda svetsarna är utförda med 600 W effekt och 4,5 mm/sek i svetshastighet.

att med ett så pass lågt lufttryck som 10-1 hPa sjunker ståls förångningstemperatur till 1900 °K att jämföras med de 3273 °K som gäller i atmosfär [Fig. 45], något som tidigare redovisats av Arata [1984] och Fabbro [1995]. Detta förklarar frånvaron av svetsstrut och den ökade penetrationen vilken kan vara så stor som det dubbla jämfört med vanlig lasersvetsning. Svetsförsök hade genomförts med en TruDisc 16000-laser och 200 µm optisk fiber som var kopplad till en svetsoptik från företaget Kugler. Materialet utgjordes av 50 mm tjockt S355-stål och den vakuumbekämpare man hade att tillgå hade måtten 300×300×300 mm. De parametrar som varierats under försöken var endast svetshastighet och fokalpunktsläge där man för det senare fann det fördelaktigt med negativa z-värden.

Sheila Medeiros de Carvahlo hade studerat lasersvetsning av s.k. AFDS [Austenit-ferritiska duplexa stål], närmare bestämt i legeringen 25Cr-7Ni-4Mo-0,3N med ett maximalt kolinnehåll av 0,03%. Vid svetsning av duplexa stål bör man eftersträva ett 50/50-förhållande av α- och γ-fas i svetsgodset och helst helt undvika uppkomsten av σ-fas, detta för att bl.a. undvika spröda intermetalliska faser. Lasersvetsningen som hade utförts med en cw-fiberlaser



Figur 46. Värmehistoriken vid lasersvetsning (överst t.v.) och TIG-svetsning (t.h.) indikerar mindre värmeförsel och snabbare avsvälning i det förstnämnda fallet. Detta i sin tur innebär mycket smalare smält- och värmepåverkad zon vid lasersvetsning jämfört med TIG-dito.

från IPG med beteckningen YLR-2000 hade jämförts med en mikro-TIG-process där provobjekten var orbitalsvetsade rör med 19 mm diameter och en vägg tjocklek på 1,7 mm. Då det är stor skillnad i värmeförsel mellan de två metoderna talade mycket för ett bättre resultat med lasersvetsning [Fig. 46]. Sålunda var bredden på smältzonen vid TIG 5 mm och HAZ [Heat Affected Zone] 1-2 mm, medan motsvarande värden för de lasersvetsade rören var 0,6 mm respektive < 50 µm. Generellt ökade hårdheten i svetsgodset med förfinad mikrostruktur, och värmedistorsionerna var betydligt större för de TIG-svetsade rören. Vid dragprov låg brottgränsen för båda svetsmetoderna kring 850 MPa, men i TIG-fallet skedde brottet i övergångszonen mellan svetsgodset och HAZ, medan brotten i de lasersvetsade objekten skedde i grundmaterialet tämligen långt ifrån svetsen. Även vid en efterföljande korrosionsprovning uppvisade de lasersvetsade rören bättre prestanda.

Ludger Overmeyer från Laser-Zentrum Hannover höll ett föredrag rörande lasersvetsning av s.k. TWIP [Twinning Induced Plasticity]-stål och svetsarnas beteende vid krockbelastning. Dessa material går även under benämningen HSD [High Strength Ductility] och är upplegerade med cirka

15% Mangan, vilket gör att specifika vikten, 7,4-7,6 g/cm<sup>3</sup>, ligger något under den för ”vanligt” stål [~7,8 g/cm<sup>3</sup>]. Förutom den lägre vikten är materialet extremt formbart och kan närmast liknas vid rostfritt stål, men på minus-sidan ligger en hög kolhalt på mellan 0,4-0,7% vilket är en utmaning för de flesta svetsmetoder. Det i det här fallet undersökta materialet hade en brottgräns kring 1.020 MPa, en sträckgräns på 600 MPa samt en brottförlängning [A80] kring 60%. En tänkbar applikation är gavlar till bilsätesstommar varför det VW-ägda dotterbolaget Sitech hade deltagit i försöken. Lasersvetsningen hade genomförts med 4 kW effekt och en brännfläcksdiameter på 560 µm, och framföringshastigheten hade varierats mellan 3-10 m/min. Då TWIP-stålet svetsades till ett S420MC-material med full penetration resulterade detta i ett svetsgods med en 50/50-fördelning mellan austenit- och ferritfas. Om man däremot svetsade med partiell penetration och en framföringshastighet på 8 m/min blev svetsgodset helaustenitiskt och dess hårdhet betydligt lägre jämfört med provkroppar som svetsats med 3 m/min och full penetration [Fig. 47]. Detta gav också utslag i s.k. pendelprovnings med en Zwick Roell-utrustning där de senare svetsarna presterade bäst med cirka 15 J \*i energiupptagning. Förklaringen till detta var enligt Herrn Overmeyer att man fick martensitiska ”fingrar” i svetsen som bidrog till energiupptagningen. Emellertid resulterade alla slagproven i fogytbrott oavsett vilken svetsastighet som användes.

Vi hade ju fått stifta bekantskap med Thomas Harrer från Trumpf Laser & systems GmbH redan under den första lasersessionen och nu återkom till ämnet svetsning av artolika material, men denna gång med en annan infallsvinkel. Här var det tänkt att använda sig av LMD [Laser Metal Deposition] -tekniken vid fogning av aluminium till stål där man kunde använda pulvret som tillsatsmaterial samt för att hjälpa till att överbrygga spalter [Fig. 48]. Experimenten hade utförts i en TruLaser Cell 7020 speciellt utrustad för laserpåläggning, och materialen var aluminium AW6014 som sammanfogades med ett DC04-stål med hjälp av pulvermaterialet Metco 51NS med den kemiska sammansättningen Cu9,5Al1Fe. Lasereffekten hade varierats mellan 1,5-2,0 kW och framföringshastigheten mellan 1,0-1,8 m/min. För ultimata uppmålnings

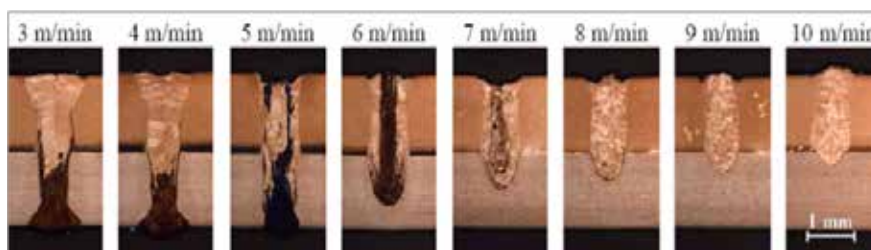
av det tillförda pulvret hade laserstrålen defokuserats till en brännfläck med 25 mm diameter och skyddsgasen var ren Argon [10 l/min]. Brottgränsen vid efterföljande dragprov låg mellan 3,5 och 5,5 kN, tack vare att IMC [InterMetallic Compound] understiger 10 µm, vilket är jämbördigt med vad man får vid mekaniska fogmetoder som spikning [RIVTAC® från företaget Böllhoff] och självgående skruvar [FDS = Flow Drill Screws från EJOT] där värdena ligger mellan 4-6 kN. Undertecknad frågade om alternativet laserlödning, vilket är en beprövad teknik för sammanfogning av stål och aluminium, men några sådana försök hade inte genomförts men var planerade för framtiden. Efter som redogörelsen adresserade LMD vill jag passa på att förmedla några intressanta sifferuppgifter som Herrn Harrer bidrog med. Denna teknik används idag som en kommersiell reparationsmetod för dyra komponenter inom flyg- och rymdindustri. Att tillverka en BLISK [Bladed Disc] för en flygplansmotor kostar idag ungefär € 200.000, en om man kunde reparera densamma med LMD skulle man göra en total kostnadsbesparing på 92%. Sammalunda kan man för ett turbinhus som kostar € 250.000 gör en motsvarande besparing

på hela 95% – svindlande summor som änyo visar på laserteknikens näst intill obegränsade potential.

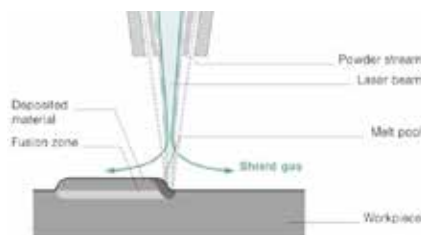
### Laserskärning

Skärning är ju den laserbearbetnings-teknik som nått den högsta mognads-graden vad gäller industriell tillämpning, men trots detta är området fortsatt intressant ur forskningssynpunkt och den session som leddes av ”laserskär-gur-un” Dr. Dirk Petring [Fraunhofer ILT, Aachen] underströk detta faktum.

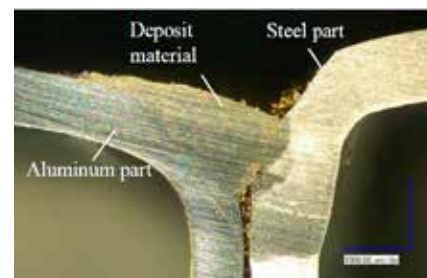
Först ut bland talarna var Jean-Philippe Lavoie från Coherents forsknings-center i Santa Clara, CA. Forsknings-gruppen hade studerat strålkvalitets inverkan på skärresultatet vid laserskärning av högreffektivt material som i det här fallet mässing. Fem olika tjocklekar av legeringen C26000; 1,0, 1,27, 1,58, 2,03 och 2,38 hade ingått i undersökningen där skärningen hade utförts med Coherents ”Highlight 1000FL” med 1 kW maximal uteffekt. Två BBP hade undersökts, dels 2,3 mm\*mrad då laserstrålen distribuerades via en 50 µm fiber och 4,5 mm\*mrad då en 100 µm grov fiber använts, dessutom hade fokalkpunktsdiametern varierats mellan 100, 125 och 167 µm. Den bättre strålkvaliteten innebär en längre Rayleigh-längd



Figur 47. Penetrationsdjup vid olika hastigheter vid svetsning av TWIP-stål (överst) mot ett S420MC-material. Lasereffekt 4 kW, fokallängd 560 mm och fokalkpunktsdiameter 560 Qm. Observera att man vid partiell penetration får ett helaustenitiskt svetsgods medan man vid full genombränning erhåller en blandning av austenit- och ferritfas (svart).



Figur 48. T.v. principen för LMD vilken på ett innovativt sätt kan användas vid sammanfogning av aluminium och stål.



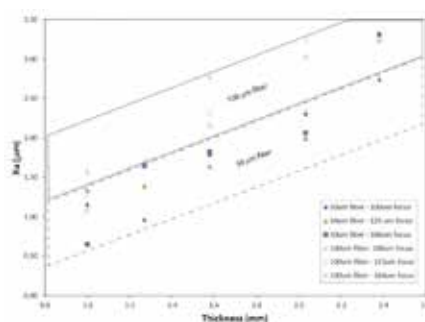
eller skärpedjup, vilket är gynnsamt om man eftersträvar ett gradfritt skärnsnitt samtidigt som man kan arbeta med höga skärhastigheter. Nackdelen med små fokuspunkter vid laserskärning är att skärspalten blir smal, assistgasen hindras och därmed ökar risken för oxidation av snittkanten. Även här kan en längre Rayleigh-längd bidra till att eliminera detta problem. Konklusionen av den omfattande parameterstudien blev att bäst resultat erhöles med den finare strålkvaliteten projicerad till en brännfläck med 125 µm diameter. Detta i termer som skärnsnittets ytfinhets [Fig. 49a], förekomsten av grader [Tab. 3] samt skärhastighet [Fig. 49b].

I takt med att strålkvaliteten för diodlasrar har förbättrats har denna typ av laserkälla blivit ett realistiskt alternativ även för laserskärning. Jürgen Grüninger från Laser Center [LFM] vid Münster University of Applied Sciences i Steinfurt redogjorde för försök genomförda med LIMOs "DIOCUT"-system vilket beskrevs tidigare i denna artikel. Modellbeteckningen på laserkällan är LIMO 2500-F400 vilket skall uttolkas som 2.500 W maximal effekt transporterad vis en 400 µm optisk fiber. Konceptet bygger på våglängdskombinering mellan våglängder i området 808-1050 nm vilket resulterar i en BPP på 24 mm\*mrad. I skärförsöken hade laserstrålen fokuserats till en brännfläck med 480 µm diameter, varpå man använt en DOE [Design of Experiments] -matris för att hitta optimala parametrar vid skärning av 6 mm rostfritt och 5 mm tjockt kolstål. Variabler var skärhastighet, munstycksöppning, fokuspunktspositionering, avstånd mellan skärdysa och plåt samt assistgastryck. Med korrekt parameterval menade Herrn Grüninger att man kunde uppnå snittkvaliteter jämbördiga med de som erhålls vid CO<sub>2</sub>-laserskärning. I bevis förde han resultaten från skärning av det rostfria materialet där man med 2,5 kW lasereffekt och en skärhastighet på 1,1 m/min erhöles grader som understeg 200 µm i höjd och där skärkantens ytråhet Rz låg under 30 µm [Fig. 50]! De två sistnämnda "responserna" är starkt beroende av fokuspunktens läge, som för de här aktuella tjocklekarna alltid bör positioneras en bit ner i materialet. Minsta grader fick man vid Z -2,5, medan bäst ytfinhets inträffade med fokuspunkten i läget -3,5.

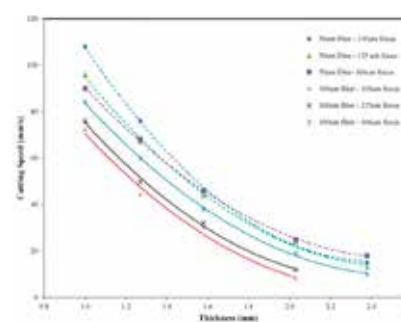
Gamle bekantingen Tony Hoult [IPG Photonics, Santa Clara, CA] fick sedan

möjlighet att breda ut sig i ämnet laserskärning av metalliska material med hjälp av fiberlasrar med hög effekt. Inledningsvis beskrev han IPGs produkt-sortiment där skalbarheten till högre effekter möjliggjorts genom ökad effekt och bättre briljans hos diodpumpelementen. Högeffektlasrarna byggs upp av moduler om 1,1 kW med 0,34 mm\*mrad i strålkvalitet. Distributionsfibrerna ligger mellan 100-200 µm i diameter och en 6 kW-enhet som YLS-6000 har en garanterad BPP på 2,5 mm\*mrad. Detta medför ett stort skärpedjup vilket som ovan nämnts är fördelaktigt då man avser att laserskära grövre plåt-tjocklekar. Den gode Tony menade att en 2 kW fiberlaser kan skära lika snabbt som en 4 kW CO<sub>2</sub>-dito, men här

vill jag nog inflika att detta är sant vid långa raka skärnsnitt. För mer komplexa skärmönster blir inverkan av robotrörelserna mer utslagsgivande och därmed tappar man fiberlaserns fördelar. Beträffande skärgasval möjliggör kvävgas ett snabbare skärförlopp jämfört med oxygen, och vid grovplåtsskärning hade man kunnat konstatera att skärnsnittets kvalitet går att förbättra genom att oscillera laserstrålen med en frekvens på 5 kHz. Avslutningsvis slog den numera "Californiananpassade" britten Tony ett slag för IPGs lågeffektlasrar i form av de s.k. pulssade QCW [Quasi Continuous Wave]-lasrarna YLR-150/1500 [Fig. 51] och YLR-600/6000, vilka han menade var bättre alternativ vid pulssad skärning än Q-switchade lasrar.



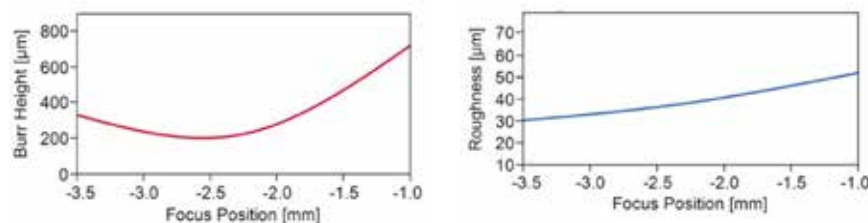
Figur 49a. Ytråhet (Ra) vid laserskärning av koppar med olika optiker.



Figur 49b. Hastighet vid laserskärning av koppar i olika tjocklekar och med olika optiker.

Fiber-diameter [µm]	Fokal-punkts-diameter [µm]	Rayleigh-längd [mm]	Skärgradshöjd [mm]				
			Plåttjocklek [mm]				
			1,0	1,27	1,58	2,03	2,38
50	100	1,09	0,02	0,04	0,03	0,07	0,2
50	125	1,68	0,02	0,03	0,03	0,05	0,12
50	166	3,09	0,03	0,03	0,04	0,05	0,1
100	100	0,55	0,02	0,025	0,25	0,17	0,7
100	125	0,87	0,02	0,03	0,16	0,16	0,4
100	166	1,62	0,02	0,03	0,07	0,12	0,22

Tabell 3. Höjden på skärgrader ("skägg") vid laserskärning av koppar i 5 olika tjocklekar och med variation av olika optiska parametrar.



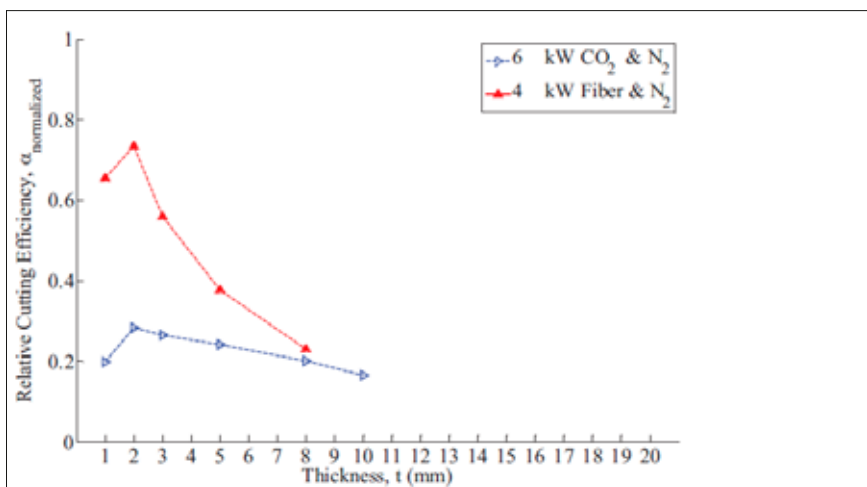
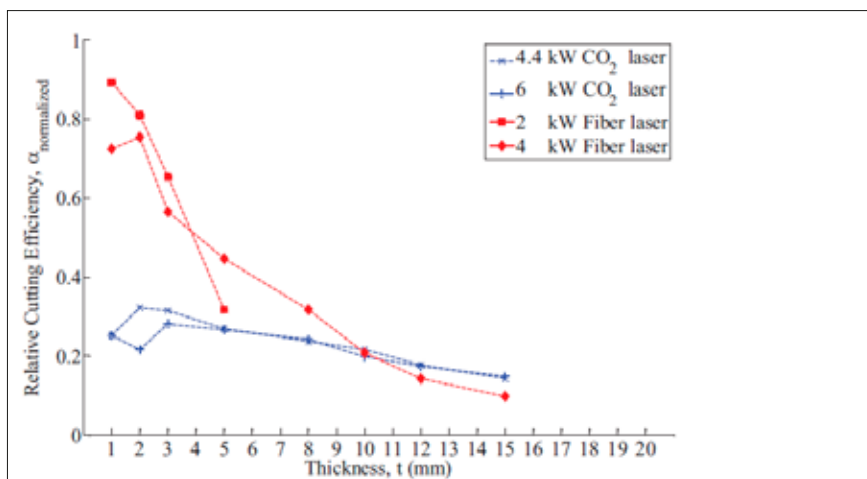
Figur 50. Gradhöjd och ytråhet som funktioner av fokuspunktens läge vid laserskärning av 8 mm tjockt rostfritt 1.4301-material.

Som tidigare nämnts var denna gång svenskarna antalsmässigt mer representerade än finländarna, något som troligen aldrig varit fallet tidigare i ICALEOs historia! En av våra landsmän var Jetro Pocorni från Luleå Tekniska Universitet som gjorde en intressant jämförelse mellan CO<sub>2</sub>- och fiberlaserskärning [Fig. 52] med avseende på effektivitet. Detta har skett inom ramen för projektet HALO [High power Adaptable Laser beams for materials prOcessing], vilket är delfinansierat av EUs sjunde ramprogram. Bland projektdeltagarna kan nämnas Bystronic Laser AG, Fraunhofer ILT, Laser Expertise Ltd. och Luleå Tekniska Universitet. Bland annat har man tittat på hur olika strålprofiler påverkar skärprocessen och lanserat formler för skäreffektivitet, där man även tog hänsyn till skärspaltens bredd genom inkludera volymen bortskuret material i beräkningarna [Fig. 53]. Några observationer som gjorts var att en hög hastighet introducerar värme vilket kan få smältan att börja koka och på så sätt menade sympatiske Jetro att man har ett dåligt energiutnyttjande då det är tillfyllest att nå materialets smälttemperatur. Vidare att då man använder syrgas som assistgas oxideras snittkanten och då skapas bättre förutsättningar för att absorbera laserenergi [Fig. 54]. Slutligen kunde man verifiera vad vi sedan länge känner till, nämligen att då det gäller grovplåtsskärning är CO<sub>2</sub>-lasern fortfarande överlägsen.

Frank Zibner från Institut für Lasertechnik i Aachen redogjorde för laserskärning av 180 µm tunna cirkulära skal med en diameter på 14 mm. Det hela genomfördes som en assistgasunderstödd ablationsprocess där skalen roterades med 10.000 rpm [revolutions per minute] under en stationär optik [Fig. 55]. Som laserkälla hade man använt en 1 kW cw fiberlaser [YLS-1000-CW] med 1.070 nm våglängd och 100 mm fokal från vilken man använde 550 W. Rotationshastigheten kan omsättas till en skärhastighet kring 8m/min vilket innebar att processtiden för att skära igenom ett skal var 50 ms vid 6,5 bars gastryck [Fig. 56]. För att skapa ett distinkt och rent skärnitt använde man sig av ett sekundärt gastryck från skalets undersida vilket skapade ett mottryck i skärprocessen. När full genomskärning var genomförd lät man skalet snurra ytterligare några varv vilket gör att laserstrålen polariserar skärnittet varför någon ytterligare efterbearbetning inte behövs.



Figur 51. Alltid lika sympatiske Tony Hoult från IPG slog ett slag för företagets QCW-lasrar, där YLR-150/1500 kan generera 10 ms långa pulser med toppeffekten 1500 W.



Figur 52. Skäreffektivitet mellan en CO<sub>2</sub>- och en fiberlaser vid skärning i rostfritt (överst) respektive lågkolhaltigt stål (nederst) baserat på formler enligt figur 53.

$$\alpha = \frac{v \cdot t}{P_{\text{laser}}} \left( \frac{\text{mm}^2}{\text{kJ}} \right) \quad \alpha_{\text{vol}} = \frac{K_{\text{av}} \cdot v \cdot t}{P_{\text{laser}}} \left( \frac{\text{mm}^3}{\text{kJ}} \right)$$

- α = skäreffektivitet
- v = skärhastighet (mm/sek)
- t = plåttjocklek (mm)
- P<sub>laser</sub> = lasereffekt (kW)
- α<sub>vol</sub> = volymrelaterad skäreffektivitet
- K<sub>av</sub> = genomsnittlig skärspalt (mm)

Figur 53. Formler använda för beräkning av olika laserkällors skäreffektivitet.

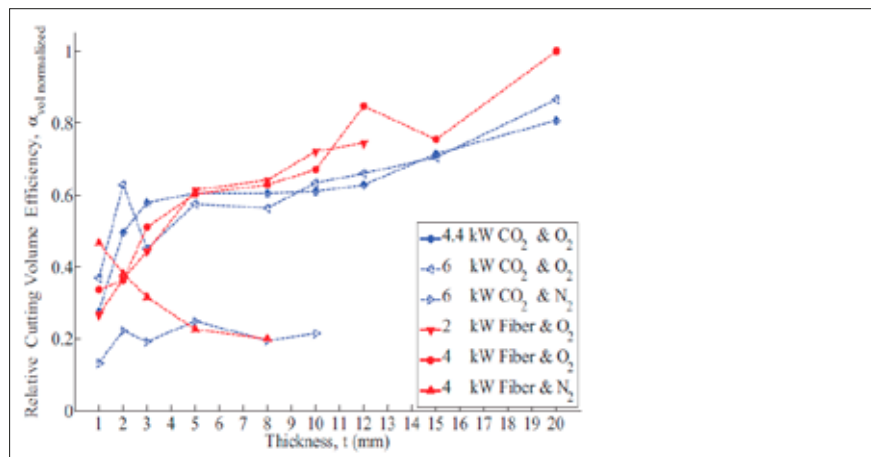
Ökade man gastrycket kunde process-tiden kortas samtidigt som ytråheten [Rz] minskade från 6,7  $\mu\text{m}$  till 2,5  $\mu\text{m}$ . En annan slutsats från de genomförda proven var att denna speciella typ av laserskärprocess var tämligen okänslig för fokuspunktens placering.

Till området laserskärning måste även de två presentationer som handlade om nedmontering av uttjänta kärnkraftsanläggningar hänföras. Den första av dessa kände vi igen sedan tidigare laserkonferenser som exempelvis NOLAMP 2013 och AKL 2014 då Ali Khan från TWI [The Welding Institute] i Abington, U.K. berättat för oss om hur man med laserskärning kunnat demontera exempelvis rörledningar i dylika anläggningar. Säkerhet och kostnadseffektivitet är de två viktigaste parametrarna i sammanhanget, och vid TWI har man nu under över fem års tid bedrivit forskning inom området. Lasertekniken kan användas för såväl rörskärning som ablation av förorenade betongytor i helt automatiserade processer för att undvika riskfyllda manuella operationer. På robotsidan har vi ju tidigare lärt känna TWIs "Laser snake" som har förmågan att ta upp åtkomsthål i slutna säkerhetskabinett för att sedan leta sig in i dessa för att utföra olika skäroperationer. Det som var nyttillskottet vid ICALEO 2014 handlade om laserskärning under vatten [Fig. 57] något som är relevant vid nedmontering av såväl offshoreplattformar som kärnkraftsanläggningar, där i det senare fallet giftiga gaser hålls kvar i vattnet och inte sprids i atmosfären. Tidigare CO<sub>2</sub>-lasrar med 10,6  $\mu\text{m}$  våglängd har visat sig olämpliga för ändamålet, utan det som möjliggjort tekniken med skärning under vatten är att de numera finns högeffektlasrar med 1  $\mu\text{m}$ -våglängd. Försök hade genomförts med en 5 kW Yb:YAG disklasar på 35 mm tjockt rostfritt 304-material och kolmangan-stålet S275JR där man kunnat konstatera att skärhastigheterna är likvärdiga med de man har vid laserskärning i luft medan assistgastrycket har mindre inverkan vid skärning under vatten. Lasereffekt, skärhastighet och fokuspunktspostionering har störst inflytande vad gäller uppkomsten av skärgrader [Fig. 58a och b], och här chockerade Mr. Khan auditoriet med att påstå att stora skärgrader är önskvärt i dessa sammanhang. Förklaringen till detta skulle vara att på så sätt stannar mycket av det radioaktiva materialet kvar i substratet och sprids

inte ut okontrollerat. Gradbildningen är också större vid skärning under vatten jämfört med skärning i luft.

Ett ännu aktuellare föredrag vad gäller nedmontering av kärnkraftverk och handhavandet av radioaktivt stelnat bränsle med hjälp av lasertekniken var kopplat till den olycka som skedde vid Fukushima Daiichi NPP [Nuclear Power Plant]. Föredragande var Tomo-

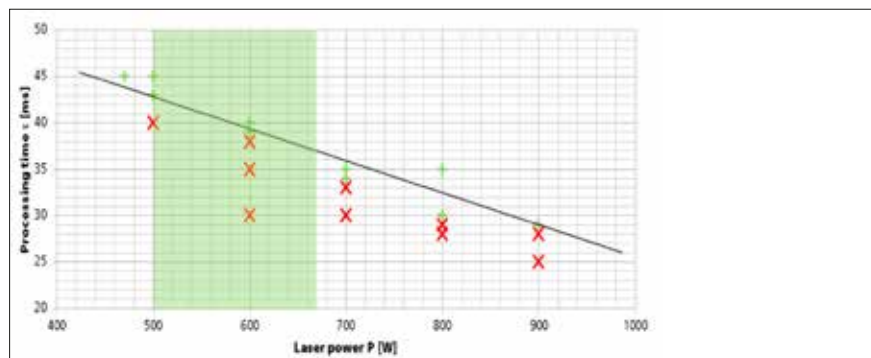
nori Yamada från Japan Atomic Energy Agency i Tsuruga, och han menade att den fjärrmanövrering som ett laserverktyg kan erbjuda är nödvändigt i dessa sammanhang. Blandningen av stelnat kärnbränsle och kollapsade reaktordelar är svår att bryta upp och ta isär med mekaniska tekniker som borrar och sågning då materialet är hårt, poröst och har en hög smälttemperatur,



Figur 54. Skärning med syre som assistgas ger bättre skäreffektivitet jämfört med kväve eftersom skärkanten oxideras och därmed ökar absorptionen av laserenergi.

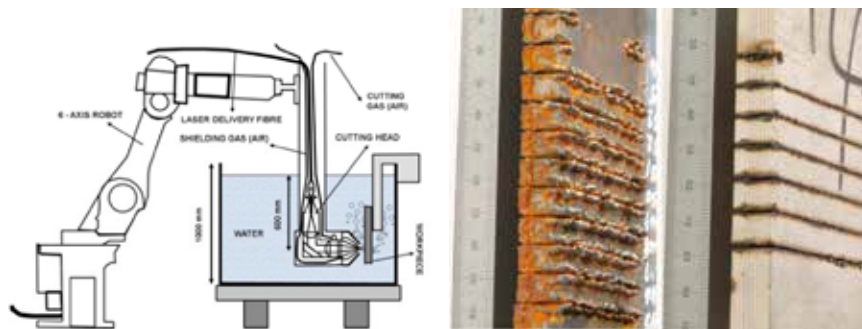


Figur 55. Schematisk illustration av försöksetuppningen med skärverktyg, arbetsstycke och skärgastillförsel.

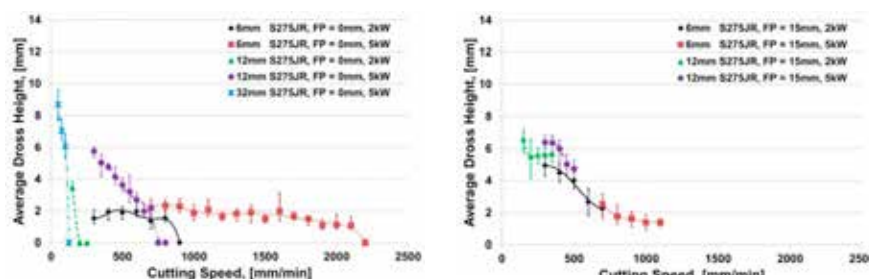


Figur 56. Relationen mellan lasereffekt och processtid där den utvärderade minsta nödvändiga laser-effekten beskrivs av den heldragna svarta linjen och det gröna området anger ett optimalt parameterfönster. Gröna kors motsvarar godkända prov medan röda kors representerar underkända sådana.

problem som det går att komma förbi med laserbearbetning. Skärförsök hade utförts på 30 och 50 mm tjockt SUS304 och SS400 med en 6 kW fiberlaser med 1.070 nm våglängd och en fokalpunktsdiameter på 600  $\mu\text{m}$ . En portalrobot med 200 cm långa motoriserade axlar i x-, y- och z-led manipulerade skärverktyget och vid undervattensskärning hade man använt ett ”scanner”-verktyg [Fig. 59]. Två gasflöden, 70 och 350 l/min, hade använts liksom två olika skärhastigheter; 60 respektive 150 mm/min där den senare visade sig vara för hög då man inte nådde full penetration. I försöken med keramer, vilka skulle efterliknade stelnat kärnbränsle och dess höga hårdhet och låga värmeledningsförmåga, använde man lasern till att krossa materialet genom att skapa termiska chockvågor [Fig. 60]. Detta åstadkom man med en energitäthet i fokalpunkten på 406 kW/cm<sup>2</sup> och 300 ms långa laserpulser. I praktiken avser man att med laser optiskt mäta den ofta komplexa form som skall bearbetas och sedan alltefter geometrin välja cw- eller pulsad mode för skäroperationen vilken skall utföras på ett avstånd av 5 mm från skärmunstycket.



Figur 57. Närmast principen för laserskärning under vatten och t.h. några exempel på skärning av 12 mm tjockt S275JR kol/manganstål och rostfritt 304-material.

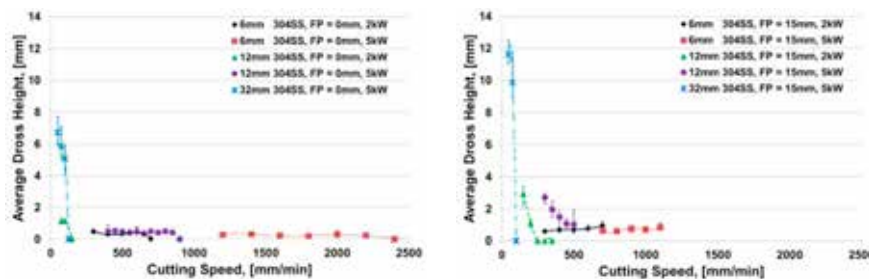


Figur 58a. Laserskärning under vatten av S275JR-stål vid två olika fokalpunktsavstånd.

### Additiv tillverkning

Additiv tillverkning genom LMD [Laser Metal Deposition] eller SLM [Selective Laser Melting] är fortfarande ”heta” ämnesområden inom laserbranschen vilket framgick av inte mindre än tre dedikerade sessioner kring detta ämne vid ICALEO 2014. Som jag nämnde inledningsvis valde jag att fokusera på Lasergruppens större intresseområden svetsning och skärning, varför jag denna gång fick begränsa min bevakning av LAM [Laser Additive Manufacturing] -teknikerna.

Kristian Arntz från Fraunhofer IPT [Institut für ProduktionsTechnologie] berättade om vikten att se LAM som en integrerad del i tillverkningskedjan. Oftast rör det sig om tillverkning i svårbearbetade material varför en kombination av flera processer är en nödvändighet för att nå bra resultat [Fig. 61]. Han visade ett exempel där ett datorbaserat CAM [Computer Aided Machining]-program används på olika nivåer för att reparera s.k. BLISKS [Bladed DISKS]. Man utgick från en databas av olika geometrier där man efter att ha ”scannat av” det befintliga rotorbladet kunde hitta korrekt geometriunderlag varpå det skadade området frästes bort genom



Figur 58b. Laserskärning under vatten av rostfritt 304-stål vid två olika fokalpunktsavstånd.



Figur 59. Skärverktyget monterat i en treaxlig portalrobot och därjämte ett ”scanner”-verktyg avsett för montering på robotens z-axel. T.h. ett exempel på laserskärning av en 30 mm tjock stålplatta.

att använda rekommenderade CAM-data. Därpå följde själva påläggningsprocessen där optimala processparametrar fanns att finna i ovannämnda databas, och där påläggningen kunde ske med en repeterbarhet inom 5 µm. Slutligen slipades de pålagda skikten ner till korrekt BLISK-geometri. Man använde såväl horisontella som vertikala processkedjor där de olika tillverkningsstegen kommunicerade med varandra, detta för att undvika onödiga toleranskrav. Påläggningsförsök och kartläggning av olika processflöden hade genomförts inom ramen för TurPro-projektet, där man även utvecklat en fixtur med, vad som Herrn Arntz betecknade som, ett intelligent spännbackskoncept.

Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff- und Strahltechnik] i Dresden har som bekant hög kompetens inom LAM och vi belönades med två initierade föredrag av medarbetarna Frank Brückner och Christoph Leyens. Den förstnämnde beskrev DMD [Direct Metal Deposition]-tekniken applicerad på rymdkomponenter där man använder superlegeringar som Inconel och AlTi ofta i kombination med s.k. TMCs [Thermal Barrier Coatings]. Nackdelen med dessa material är att de är sprickkänsliga och därför hade påläggningsexperimenten utförts i kombination med induktiv värmning av substratmaterialet vilket utgjordes av Ti-43Al-4Nb-1Mo-0,1B som belades med Ti6Al4V. Man hade använt sig av en 4,4 kW Nd:YAG-laser kombinerad med det egenutvecklade påläggningsverktyget COAX14.

Ett annat intressant ämnesområde var det som kallades "laserinfiltration", vilket ytterst syftade till att bygga lättviktsstrukturer där metaller kombineras med CFRP [Carbon Fibre Reinforced Plastics]. Vi har ju tidigare sett IWS-presentationer där man byggt upp framkanten av ett rotorblad med hjälp av LMD, vilket sedan sammanfogats med en polymer, men med laserinfiltration öppnar sig nya konstruktionsmöjligheter. Här startar man med en fiberförstärkt polymer där man med hjälp av en laser förångar plastmaterialet och på så sätt frilägger fibrerna. I ett andra processteg lägger man med hjälp av LMD på metalliskt pulver i flera lager vilka kan ha olika legeringsegenskaper och som får binda mot fiber materialet [Fig. 62]. Uppbyggnadsriktningen är viktig ur egenskapssynpunkt beroende på om den sker parallellt eller vinkelrätt mot fiberriktningen.

Dr. Christoph Leyens hade studerat LMD med tråd och jämfört produktivitet och energiåtgång med de värden som erhålls vid pulverpåläggning. I ett speciellt verktyg benämnt COAXwire matas tråden koaxialt och laserstrålen delas upp i tre strålutgångar jämnt fördelade kring munstyckets omkrets [Fig. 63]. Verktyget är vidare försett med ett kollisionsskydd med automatisk

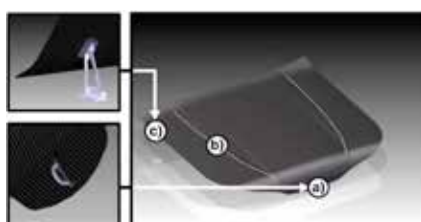
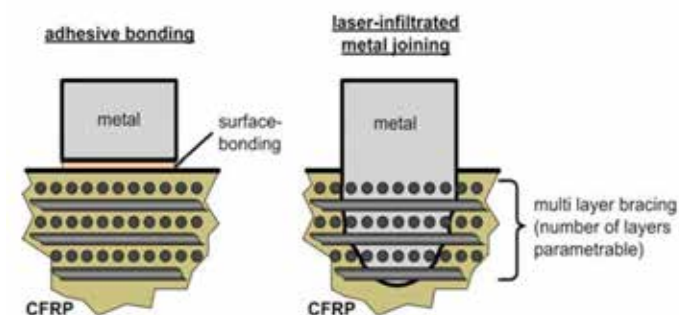
processavstängning. Fördelarna med trådtillsats är att kostnaden för denna är låg jämfört med pulver samtidigt som man har ett 100%-igt utnyttjande av tillsatsmaterialet. Påläggningen blir flexibel och kan ske i alla riktningar och genom att förvärma tråden i munstycket får man oftast också en slät toppyta på beläggningen. På minussidan kunde Dr. Leyens notera att man har en



Figur 60. "Laserkrossning" av en keramisk provkropp där slutresultatet efter ett antal 500 ms långa laserpulser syns t.h.



Figur 61. Att ha ett holistiskt synsätt på hela processkedjan vid SLM-tillverkning är en förutsättning för ett kostnadseffektivt slutresultat.



Figur 62. T.v. principen för "laserinfiltration" där man genom att få metalldelen att binda direkt mot polymerens fibrer får ett bättre lastöverförande förmåga jämfört med ett limmat förband. T.h. har tekniken använts för att foga metallförstärkningar till en motorhuv i polymer material.

begränsning vad gäller tråddiametrar, åtkomsten är begränsad p.g.a. verktyget blir ganska klumpigt och riskerar att kollidera med arbetsstycket, och slutligen är deponeringseffektiviteten lägre jämfört med pulverbeläggning, såvida man inte väljer att arbeta med förvärm� tillsatsstråd [Tab. 4].

För att skapa goda förutsättningar för en sprickfri påläggning kan man förvärma substratmaterialet med hjälp av induktion och på så sätt reducera temperaturgradienten i tjockleksriktningen. Framgångsrika påläggningsexperiment hade genomförts på Ti6Al4V, Inconel625, Inconel718 och legeringarna AlMg5 och CuZn med 3 kW lasereffekt och en brännfläck på 3 mm. Trådmatningen var 4,8 m/min vilket motsvarande en påläggningshastighet på 3,6 m/min.

Moritz Alkhatayt från Laserinstitutjonen vid RWTH i Aachen hade jämfört de två processerna LMD och SLM med varandra. Den förstnämnda används företrädesvis vid reparation av skadade komponenter medan den senare vid "near-net-shape"-tillverkning av detaljer. Inom ramen för innovationsklustret AdaM hade man byggt upp provkroppar som ihåliga kuber, ihåliga cylindrar och vertikala livplåtar [Fig. 64] med Inconel718 i pulverdimensioner mellan 15-45 µm och vägg-tjocklekarna 1,3 och 2,0 mm. Utvärderingen hade skett med avseende på geometri [Fig. 65], materialkarakteristika och mekaniska egenskaper. Två olika fokalpunktsstolekar hade studerats, 100 respektive 1.000 µm, och här gav den mindre brännfläcken inte oväntat en bättre noggrannhet. Likaledes var erhöill man en bättre precision med SLM-processen jämfört med LMD. Vid SLM-tillverkningen fick man en betydligt grövre yta då den större brännfläcken användes, vilket innebar att Ra-värdet ökade från 8 till 80 µm. Ett liknande beteende kunde inte upptäckas i LMD-fallet där ytråheten konstant låg kring 6 µm. Med den mindre fokalpunkten och SLM-process blev vägg-tjockleken något tunnare jämfört med det nominella värdet, men tjockleken hade en tendens att öka ju fler lager som fullbordades. SLM-tekniken uppvisade dessutom en mindre defektandel jämfört med vad som uppstod vid LMD.

LAM-tillverkade detaljer kräver oftast någon form av efterbearbetning för att skapa en acceptabel ytkvalitet. Konventionella polermetoder baserade på slipning eller kemisk etsning uppvisar

nackdelar då de är tidskrävande, föga miljövänliga samt svåra att applicera i fall av komplexa geometrier. Benoit Rosa från Ecole Normale Superieure du Rennes i Bruz, Frankrike hade därför studerat möjligheterna att använda lasern som ett instrument för polering där ytmaterial smälts om, och finesen låg i att samma laserutrustning kunde användas för såväl den additiva

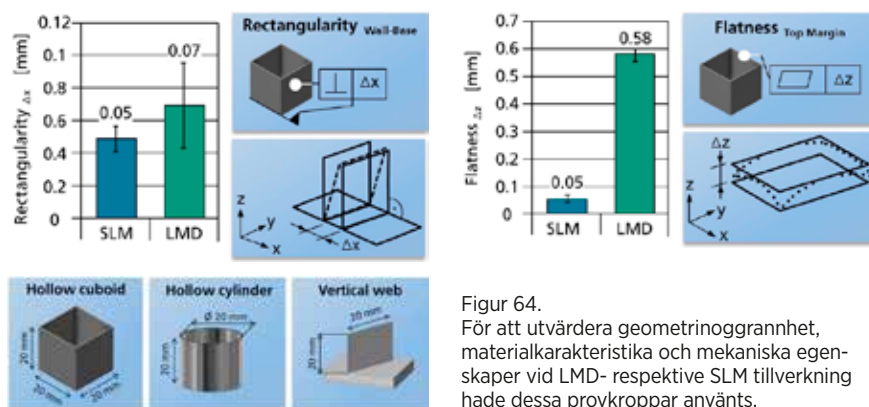
tillverkningen som den efterföljande poleringen. På så sätt skulle man också kunna alternera mellan de båda processerna under tillverkningens gång för att lösa problemet med efterbearbetning av svåråtkomliga ytor på den färdigtillverkade komponenten [Fig. 66]. Laserpoleringen, vilken genomfördes med 200 W effekt från en fiberlaser och skyddsgasen Argon, visade att vid ett överlapp mellan



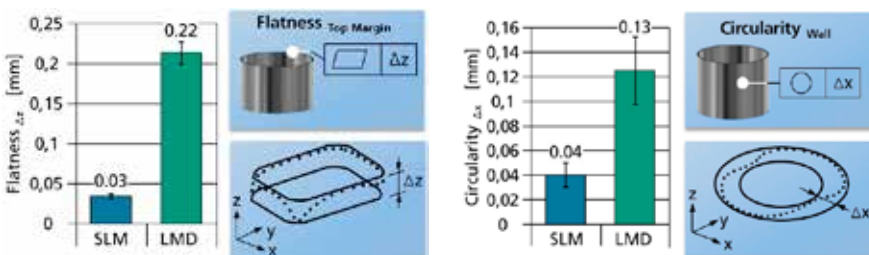
Figur 63. Fraunhofer IWS har utvecklat detta COAX-wire verktyg med koaxiell trådmatning och tre omgivande laserstrålar.

	Pulver	Kalltråd	Varmtråd
Verkningsgrad [%]	70	100	100
Deponeringshastighet [kg/tim]	1,4	1,3	1,9
Deponeringseffektivitet [kg/kWh]	0,47	0,44	0,57

Tabell 4. Jämförelse i processeffektivitet vid laserpåläggning med pulver alternativt kall eller förvärm� tillsatsstråd.



Figur 64. För att utvärdera geometrinoggrannhet, materialkarakteristika och mekaniska egenskaper vid LMD- respektive SLM tillverkning hade dessa provkroppar använts.



Figur 65. Formtoleranser hos ihåliga kuber och cylindrar uppbyggda med SLM- respektive LMD-teknik.

polerspåret på mellan 0-60% gick det att undvika mikrosprickor i ytan, men vid större överlapp gick denna fördel förlorad. Ett 60%-igt överlapp gav också störst effekt i fråga om att minska ytans råhet. Här visade det sig att med en andra poler- eller omsmältningssomgång kunde ytan förfinas, men ytterligare repetitioner av laserpoleringen gav ingen effekt. Framtida undersökningar kommer att riktas mot att begränsa distorsioner som kan uppstå genom poleringen, hur densamma påverkar ytans hårdhet samt hur materialkaraktistika förändras.

Som siste talare, i den session vars ordförande var gamle bekantingen Jean Pou från Universidad de Vigo i Spanien, uppträdde Youping Gao från Aerojet Rocketdyne i Canoga Park, CA. Han berättade om hur man i laboriet hade byggt en komplett raketmotor med SLM, eller som Mr. Gao valde att uttrycka sig; med 3D-printning. Materialet var Inconel625 i pulverstorlek mellan 11-54 µm. Med en sträckenergi i laserprocessen på 0,25 J/mm stelnade pulvret

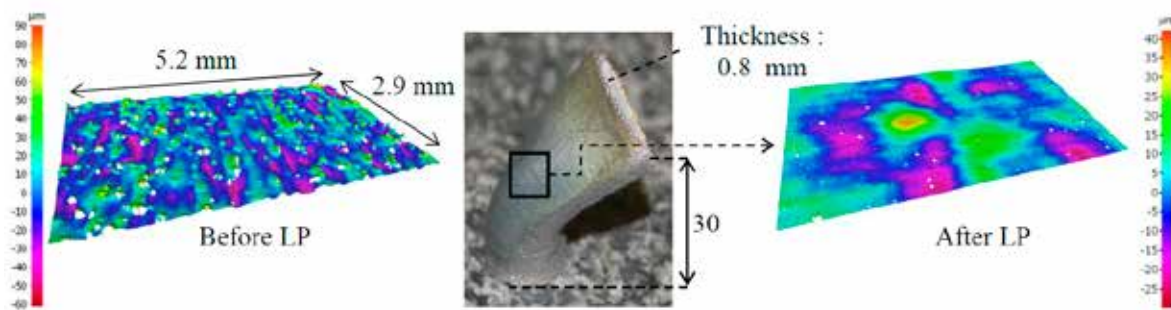
inom en tidsrymd på 10-3 sekunder! Han avslutade sin presentation med att ge alla LAM-entusiaster en tankeställare; Visst går det att återskapa en given geometri med såväl SLM som LMD, men hur är det ställt med egenskaperna jämfört med komponenter tillverkade genom mekanisk avverkning?

### Avslutningssession

Ordföranden för denna session var hela konferensens sådan, nämligen Stefan Kaieler från LZH, vilken kunde bjuda på en blandad och intressant ”kompott” under temat ”Ovanliga laserapplikationer”.

Först ut var Brian Turner från Turner Systems, Kansas City, MO, som ingår i ett team med det fantasifulla namnet ”KC Space Pirates”. Vad man ägnar sig åt i den gruppen är något som kallas ”Power beaming”, vilket kan förstås så att man med strålning i någon energiform aktiverar apparater och maskiner eller startar olika processer. Denna form av trådlös aktivering är alls inget nytt, men har så här långt företrädesvis varit dominerat av mikrovågsteknik. Sedan

sju år tillbaka har emellertid KC Space Pirates arbetat med lasrar som ett alternativ, och nu kunde Brian entusiastiskt meddela att man nyligen fördubblat det tidigare rekordet vad gäller att hålla ett laserdrivet objekt flygande [Fig. 67]. Genom att aktivera solceller på en plattliknande skapelse med 80 W energi från en fiberlaser från Trumpf hade man lyckats hålla objektet svävande under 25 timmar. Eftersom Google och Facebook har som mål att göra Internet åtkomligt varhelst man befinner sig på jordklotet skulle man kunna tänka sig att laserdrivna UAVs [Unmanned Aerial Vehicle] fungerade som kommunikationssatelliter. Dock kvarstår vissa säkerhetsrelaterade problem kopplade till lasertekniken såsom risken för ögonskador, men man har även observerat att laservåglängder kan störas av moln, vilket inte är något problem om man istället använder mikrovågor. Andra tänkbara användningsområden sades vara främst inom militär verksamhet för fjärrstyrning eller detektering av olika flygande föremål som exempelvis drönare. Ytterligare ett



Figur 66. Även komplexa, tunnväggiga geometrier kan laserpoleras med framgångsrikt resultat.



Figur 67. Brian Turner talar entusiastiskt kring s.k. Power beaming och visar på vilka sponsorer som ingår i projektet ”KC Space Pirates”. Därjämte förbereder man sig inför rekordförsöket då man lyckades hålla ett objekt svävande i 25 timmar enbart med hjälp av energin från en fiberlaser.

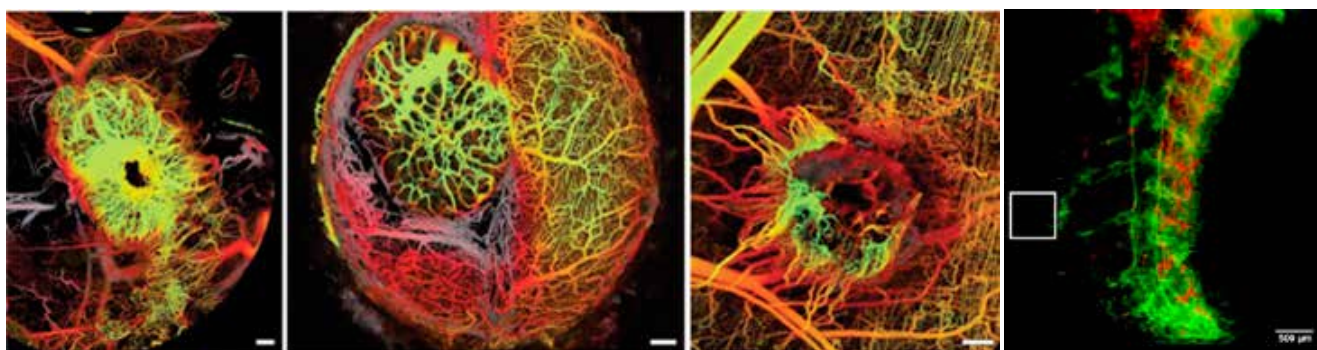
exempel, som på nytt påvisar devisen om att det endast är fantasin som sätter begränsningar vad gäller laserteknikens användning, handlade om tänkbar framtida gruvverksamhet och konstruktion på månen, där olika arbetsredskap och maskiner skulle kunna drivas med energin från laserstrålar.

Heiko Meyer från LZH, och med en färsk doktorsexamen från University of Crete i Grekland i bagaget, introducerades oss i begreppet SLOT [Scanning Laser Optical Tomography, **Fig. 68**]. Tekniken används främst inom biologisk och biomedicinsk forskning och möjliggör tredimensionell analys av objekt upp till 40 mm i storlek. Man kombinerar fyra olika laservåglängder, 405, 445, 532 och 635 nm, eftersom objekten som skall analyseras måste vara transparenta för laserljuset. Om så är fallet kan objektet sektioneras virtuellt, dvs. man kan skapa tvärsnittsbilder på olika djup av detsamma. Det hela illustrerades med filmer på olika insekter samt kanske allra intressantast; en lunga på en levande mus!

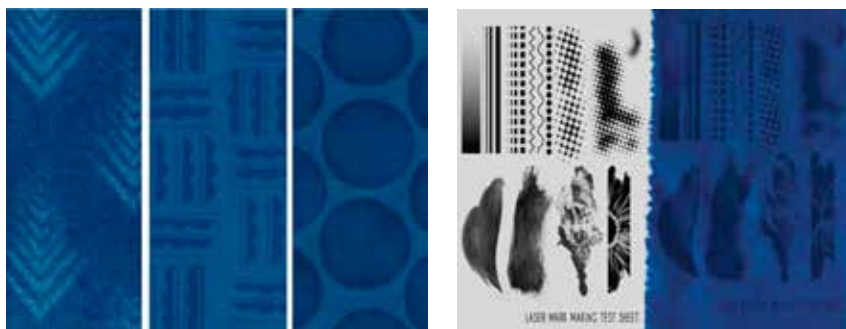
Att lasertekniken också används inom textilindustrin var kanske en nyhet för många av oss, men här beskrev Laura Morgan från Loughborough University, U.K. hur man förbehandlar tyg med laser för att skapa bättre förutsättningar för infärgningen av dessa. Det var framför allt de miljömässiga aspekterna vid infärgning av ull som lyftes fram då detta material av naturen är hydrofobiskt varför man brukar använda en kemisk oxidationsprocess för att avverka textilfibrernas ytskikt. Betydligt miljövänligare är att låta en laserstråle förånga det hydrofoba ytskiktet vilket innebär avsevärt lägre förbrukning av energi, vatten och kemikalier jämfört med andra förbehandlingsmetoder. Dessutom kan man göra laserbehandlingen i mönster direkt från en CAD-fil, s.k. digital laserimpregnering [**Fig. 69**], varpå infärgningen sker endast på dessa områden och man då i motsats till tryckta mönster får ett permanent sådant. Vid genomförda försök hade man använt en 100 W CO<sub>2</sub>-laser från företaget Synrad kombinerat med

en galvo-”scannner” och deras speciella programvara Winmark®, vilket ni som följer mina artiklar kring mikrobearbetning borde vara familjära med. En ökad lasereffekt innebär en förbättrad färgupptagningsförmåga i textilen med upp till 10%, men den stora miljövinsten ligger i att man i den efterföljande infärgningsprocessen kan arbeta med lägre temperaturer och därmed göra energibesparingar upp till 54%! Tyvärr fungerar metoden idag inte på bomull, men fortsatt forskning hoppas kunna lösa sådana begränsningar. Ett annat miljöincitament för att använda lasertekniken i textilindustrin är att man börjar gå ifrån energitung stentvättning av jeans och i stället bleker dessa med hjälp av en laser.

Sessionen avslutades av en av ICALEO-konferensernas mest trogna deltagare, nämligen Leonard Migliore från Laser Kinetics Inc. i Mountain View, CA. Han hade valt ut några användningsområden för lasertekniken som normalt inte kommer till uttryck vid ordinarie ICALEO-sessioner.



Figur 68. Med ”Optical Coherence Tomography” (OCT) är det möjligt att i tidiga stadier upptäcka olika typer av cancertumörer, men också att i medicinskt forskningssyfte analysera en muslunga (t.h.).



Figur 69. T.v. några designexempel där den mörkare färgtonen har skapats genom lokal s.k. digital laserimpregnering innan infärgning av textilen, och närmast några exempel på hur ett CAD-underlag är direkt överförbart till ylletyget.

Han återknöt till inledningsdagens plenar-session och den presentation som handlade om utrotning av malariaflugor. Något liknande hade försökts i Bolivia där man hade idén om att befria kornplantager från råttor genom att döda dem med laser, ett projekt som emellertid aldrig kom att realiseras. Den gode Leo var skeptisk till om den föreslagna utrotningsmetoden för malariaflugor var praktisk, men han menade att om den i framtiden skulle realiseras måste man arbeta i ett för ögat säkert

våglängdsområde kring  $1,5 \mu\text{m}$  med en fokuserad stråldiameter kring  $1 \text{ mm}$ . Flugorna skulle identifieras och skiljas ut från andra insekter genom vingfrekvensen  $600 \text{ Hz}$  och  $50 \text{ mJ}$  pulsenergi under  $5 \text{ ms}$  skulle vara tillfyllest för att sönderdelar malariaflugan. Ett annat användningsområde var matindustrin där lasern kan användas för att märka logotyper på "bagels" med  $\text{CO}_2$ -laser och en "passning" gick också till kollegan Tony Hoult, IPG, som tydligen roat sig med att lasermärka bananer [Fig. 70]!

Med laser skulle det också vara möjligt att trimma, förtunna och ändra egenskaperna hos grödor. Ett allvarligt menat exempel var att med laser borra små hål i riskorn för att på detta sätt förkorta koktiden! Denna borring utfördes med en pulsad  $\text{CO}_2$ -laser med strålen fokuserad till en brännfläck på  $150 \mu\text{m}$ . Pulsenergin var  $10 \text{ mJ}$ , pulslängden  $30 \mu\text{s}$  och pulsfrekvensen  $3 \text{ kHz}$ . Nästa tema rörde yttre rymden. Idag finns cirka 800 aktivt fungerande satelliter i omlopp kring jorden för diverse



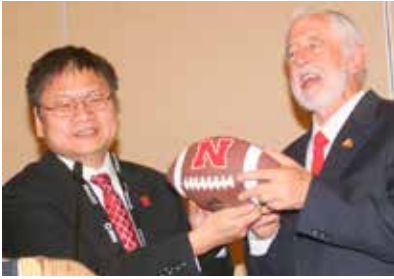
Figur 70. Märkning av frukt och grönsaker är ett annorlunda sätt att använda lasertekniken till.



Figur 71. Att rensa rymden på "skrot" som samlats där under flera årtionden kan var ett framtida användningsområde för laserteknik.



Figur 72. Även om en pumpa har förhållandevis tjockt skal är det ingen match för en  $\text{CO}_2$ -laser på  $400 \text{ W}$  med lång Rayleigh-längd att konfigurera ett "ansikte" på under fyra minuter.



Figur 73. Yongfeng Lu tackar Peter Baker för den senares kraftfulla engagemang då det gäller att marknadsföra lasertechnik.



Figur 74. 2014 års Arthur L. Schawlow Award överräckes till professor Reinhart Poprawe av Peter Baker.



Figur 75. Avgående och övertagande ICALEO-ordförande Stefan Kaierle och Silke Pflüger, här tillsammans med Henrikki Pantsar, Cencorp Corporation.

ändamål, men därutöver finns vad Leo valde att kalla för ”optiskt skrot”. Sålunda finns det i rymden just nu; 200.000.000 objekt större än 1 mm, 700.000 objekt större än 1 cm, 60.000 objekt större än 5 cm och 29.000 objekt större än 10 cm. Här skulle lasern kunna vara behjälplig med att ”rensa luften” genom att selektivt förånga detta rymdskrot [Fig. 71]! Typiska värden för sådan verksamhet sades vara en strålkvalitet  $M2 = 3$ , pulsenergi 10-50 kJ, pulstid 10 ns och  $> 10$  Hz frekvens. För den intresserade finns mer information kring detta att inhämta på [www.clean-space.eu](http://www.clean-space.eu). Efter som Halloween-helgen stod för dörren valde Mr. Migliore att demonstrera ett tidseffektivt sätt att skära till en pumpa. Dessa har normalt tjocka skal kring 40 mm vilket gör manuell tillskärning tämligen tidskrävande. Med en  $CO_2$ -laser på 400 W och en fokalpunkt på 400  $\mu$ m kan ett komplett pumpa-huvud ”tillverkas” på 217 sekunder [Fig. 72]. Effektiviteten ökas med hjälp av en lång Rayleigh-längd på 10 mm vilket ger en skärhastighet på 4 mm/sekund.

### LIAs årsmöte

Som traditionen bjuder inbjöds vi delegater till onsdagens gemensamma lunch vilken även utgör årsmötet för medlemmarna i Laser Institute of America [LIA]. Mötesförhandlingarna startade med att LIA's president Yongfeng Lu [University of Nebraska-Lincoln] riktade några berömande ord till övriga styrelsemedlemmar samt till LIA:s personal, och inte minst då dess verkställande direktör Peter Baker,

som passande nog förädrades med en amerikansk fotboll [Fig. 73]. University of Nebraska är nämligen ett av de mera framgångsrika lagen i nordamerikanska college-ligan. Därefter fick vi lyssna på alltid lika gemytliga Stephen Capp [Lasertechnology Corporation] och dennes redogörelse av organisationens ekonomiska rapport. Det gångna budgetåret innebar i princip ett positivt resultat, men på minussidan kunde han konstatera ett klen intresse för LME [Lasers in Manufacturing Engineering]-konferensen som hade hållits strax innan i Schaumburg, IL. Med anledning av detta hade styrelsen tidigare under dagen tagit beslut att tills vidare lägga detta evenemang ”på hyllan”, varför denna konferens med tillhörande produktutställning inte kommer att genomföras under 2015. Något som bara kan beklagas då dessa ”table top”-utställningar är ett utmärkt tillfälle att uppdatera sin produktkunskap inom området laserbearbetning samtidigt som man får tillfälle att ”mingla” med diverse kollegor i branschen. Detta illustrerades på ett utmärkt sätt vid den ”Laser Industry Vendor Reception” som hölls på tisdagskvällen i anslutning till ICALEO-konferensen.

Därefter var det dags för diverse pris-ceremonier där huvudnumret självfallet var överlämnandet av 2014 års Arthur L. Schawlow Award, instiftat till minne av 1981 års nobelprisvinnare i fysik. Utmärkelsen gick denna gång till tidigare LIA-presidenten professor Reinhart Poprawe från Fraunhofer ILT i Aachen [Fig. 74]. Sympatiska Reinhart som har

en filosofie magisterexamen i fysik från California State University och en doktorexamen vid Darmstadt Technische Universität, lärde jag själv känna första gången i mitten av 1990-talet då han var vd för Thyssen Lasertechnik GmbH. 1996 flyttade han över till grannen ILT och har där fungerat som institutionsföreståndare sedan dess. Han vurmar idag speciellt för ultrasnabba kortpuls-lasrar men befattar sig också med plasmateknik med EUV [Extreme UltraViolet,  $\lambda < 200$  nm]- och XUV [Extreme UltraViolet, 10-200 nm]-lasrar samt sist med inte minst med DPP [Digital Photonic Production]. Därför var det inte så förvånande att titeln på hans taktal löd ”Digital Photonic Production – The Future of Tailored Light”. Just skräddarsytt laserljus med avseende på våg- och pulslängder menar han ger oändliga möjligheter vid laserbearbetning i framtiden, och han har många visionära idéer i ”bakfickan” som jag kommer att förmedla i serien ”Samtal kring lasertrender” i kommande nummer av LaserNytt!

Detta avslutar min rapportering från den 33:e ICALEO-konferensen, men jag ser redan fram emot ICALEO 2015 som går av stapeln 18-22 oktober i Atlanta, GA, och där jag hoppas återse många gamla kollegor men kanske också knyta nya bekantskaper. Då får vi för övrigt för första gången i ICALEOs historia se en kvinna i rollen som konferensens huvudordförande, nämligen Silke Pflüger [DirectPhotonics, Los Gatos, CA, Fig. 75].

# Mikrobearbetning med laser

Johnny K Larsson, Volvo Cars

## Lasermärkning av tryckta etiketter

För många förpackningar är kombinationen av en förtryckt etikett som sedan lasermärkes en tilltalande lösning. Förutom etikettens baskulör kan bilden på etikett omfatta flera kulörer som t.ex. ett fyrfärgstryck för att åstadkomma en realistisk, mångfärgad grafik. Lasermärkning erbjuder möjligheten att "on-the-fly" addera kundspecifik information, som t.ex. angivelse av datum eller serienummer, under själva paketeringsproceduren.

Ett exempel på detta är en paketetikett för köttlivsmedel, vilken består av en självhäftande guldfärgad folie vilken kompletterats med ett fyrfärgstryck [Fig. 1]. Då produkten är paketerad och försluten har producenten ett krav på att datummärka förpackningen. CO<sub>2</sub>-lasern blir här ett utmärkt, beröringsfritt verktyg som lokalt avlägsnar trycket från guldfolien och därmed lämnar kvar en imponerande guldfärgad märkning som matchar förpackningen perfekt.



Figur 2. T.v. har PETG-plasten skurits med 76 mm/sek med hjälp av ett märkverktyg och utan assistgas, och t.h. samma material men nu skurit på ett x-y-bord med assistgas och ett stationärt skärmunstycke. Det senare ger såväl ett kvalitativt bättre skärnitt som en högre processhastighet (165 mm/sek).

## Att laserskära plaster med respektive utan assistgas

Vid laserskäring av plaster med en CO<sub>2</sub>-laser förekommer två ganska skilda typer av process beroende på typen av plastmaterial. För plaster som exempelvis akrylater, som har en hög absorptionsförmåga av 10,6 µm-våglängden, sker skärprocessen huvudsakligen genom förångning av plastmaterialet. Eftersom laserskäringen här blir så effektiv blir värmeinledningen i det omgivande materialet låg, och om plasten dessutom är tunn behövs ingen assistgas för att kyla ner omgivande material. Om det däremot är fråga om en plast som inte absorberar CO<sub>2</sub>-laserns våglängd lika bra blir resultatet att mer värme tillförs materialet och skärprocessen sker huvudsakligen som smältning av plasten. I ett sådant fall krävs en fokuserad tillförsel av en assistgas för att blåsa bort smält plastmaterial och kyla ner snittkanten för att eliminera risker för omsmältning eller att plasten börjar brinna.



Figur 1. Med 25 W lasereffekt avlägsnades trycket på denna etikett så att den underliggande guldfärgade baskulören frilades. Den åtta-ställiga datummärkning fullbordades med en processhastighet på 25"/sek (= 635 mm/sek) under 0,13 sekunder.

Ett exempel där man skulle besluta sig för huruvida man skulle laserskära med eller utan assistgas, vilket också skulle komma att bestämma valet av relevant utrustning, var en applikation där kravet var att laserskära en genomsynlig PETG [PolyEthylene Terephthalate Glycolmodifierad]-plast med hög hastighet [Fig. 2].

PETG-panelen var tämligen tunn och mätte omkring 1 mm i tjocklek, varför ett "FH Flyer"-verktyg, vilket egentligen är avsett för lasermärkning, valdes p.g.a. kravet på hög skärhastighet samt med hänsyn till att lätt kunna integrera detsamma i arbetsstationen. Motsvarande tjocklekar av akrylplaster hade tidigare framgångsrikt skurits utan assistgas med detta "Flyer"-verktyg, varför skärförsöken skulle komma att bestämma PETG-plastens absorptionsförmåga i jämförelse med akrylplastens.

Den ursprungliga försöksuppställningen bestod av en laserkälla på 100 W och ett "FH Flyer"-verktyg försett med en lins med 370 mm:s brännvidd. Vidare använde man mjukvaruprogrammet WinMark Pro för att styra själva skärprocessen. Den förhållandevis långa fokallängden gav en brännfläck med 540 µm diameter på plastytan och kunde bearbeta en yta på 241 × 297 mm vilket räckte för att täcka in hela den aktuella plastpanelen. Med dessa inställningar gick det att skära PETG-materialet med en hastighet på 3 "/sec [= 76 mm/sek], men stora lågor slog upp under skäroperationen och skäryrtorna förkolnade. Uppenbart är att, i motsats till akrylater, skärningsmekanismen vid PETG-plaster är smältning av materialet, något som leder in alltför mycket värme i detsamma.

Därför genomfördes ett andra test där samma 100 W laser användes men där ett skärverktyg med 2,5" [= 63,5 mm] fokallängd kombinerades med ett x-y-bord. Fördelen med detta arrangemang är att arbetsområdet nu begränsas av x-y-bordets dimensioner och inte av arbetsfältet för fokuserlinsen i ett märkverktyg. Genom att i stället använda ett x-y-bord kunde man välja en kortare

brännvidd och därmed åstadkomma en mindre fokalpunkt på 100 µm och en högre energitäthet. Vidare använde man sig av en assistgas med 40 PSI [Pounds per Square Inch ~ 2,8 bar], vilken tillfördes koaxiellt för att blåsa bort smält plast och förhindra att PETG-materialet började brinna. Med denna uppställning gick det att skära plasten med en hastighet på 6 ips [inch pre second = 165 mm/sek] och få rena skärkanter utan missfärgning eller omsmältning av materialet. Skärverktygets mindre fokalpunkt tillåter en snabbare skärprocess och skärnittet får en hög kvalitet tack vare den avkylning av plasten som assistgasen ger upphov till.

### Lasermärkning av hälsningskort

Vad kan kännas bättre än att avsluta året för artikelserien "Mikrobearbetning med laser" med ett julhälsningskort. För att skapa detta har en Firestar ti80-laser använts tillsammans med ett "FH Flyer" märkverktyg. Detta var försett med en lins med 200 mm brännvidd vilket gav en fokalpunktsdiameter på 290 µm över hela märkningsområdet, vilket mätte 5,3 × 6,5" [= 134 × 165 mm].



Figur 3. Ett lasermärkt julhälsningskort.

Som substratmaterial för kortet har ett högljansigt rött kartongmaterial använts. Lagerkransen utgjordes av en vektorbild som importerades i mjukvaruprogrammet WinMark Pro och skalades upp för att passa kortets storlek. Själva lyckönskningshälsningen skapades också i WinMark genom att använda ett fyllt TruType®-typsnitt [Fig. 3].

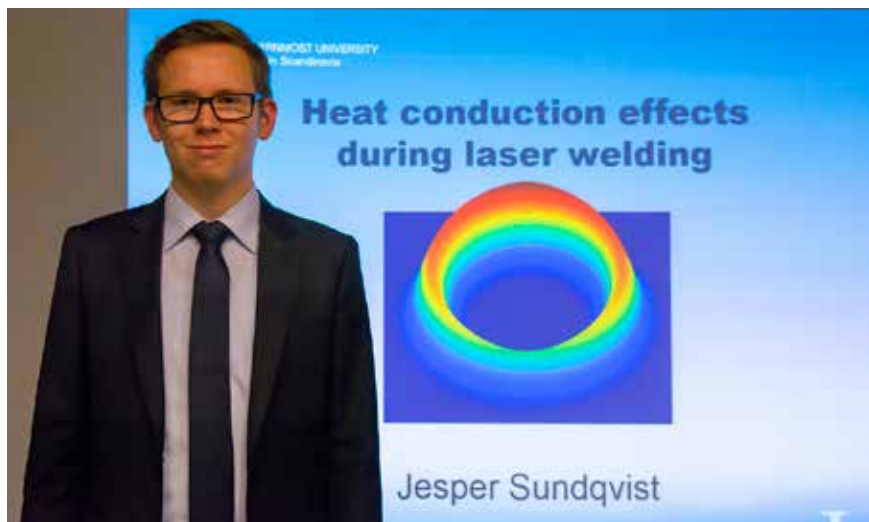
För att märka dessa kort har man använt en lasereffekt på 20 W. Bildens konturer skapades med en hastighet på 150"/sec [= 3.810 mm/sek], och de fyllda bokstäverna med motsvarande 200"/sec [= 5.080 mm/sek]. Därmed blev den totala märkningstiden för varje kort 14,56 sekunder.

**Gott Nytt År!**

## Ny laserlicentiat vid LTU

Den 10 november avlade Jesper Sundqvist licentiatexamen vid Luleå tekniska universitet med sin avhandling: "Heat conduction effects during laser welding".

Avhandlingens huvudfokus ligger på värmeflöden under lasersvetsning med skräddarsydda strålförmer, samt den resulterande foggeometrin och andra effekter, t.ex. restspänningar. Vanligtvis är strålförmen "top-hat" eller "gaussisk" när man lasersvetsar med fiberoptiska system. Det finns dock flera metoder att skapa strålfiler som inte är standard men dessa används mera sällan i industrin på grund av svårigheter med att korrekt förutsäga slutresultatet. Jesper har använt matematiska modeller för att förutsäga vilken värmepåverkande effekt icke-standard strålar kan ha, t.ex. undersöktes en C-formad laserstråle för svetsning av elektroniska komponenter. Jesper har även utvecklat en semi-analytisk modell för att göra snabba temperaturberäkningar och den



modellen har även blivit inkluderad i ett datorprogram för att designa diffraktiv optik. Modellen kan även användas för andra strålförningsmetoder. En metod för att identifiera restspänningar under

utmattningstestning av lasersvetsade material har också utvecklats.

Diskutant på seminariet var Professor Lars Pejryd vid Örebro Universitet.

# Prototal AB allt från prototyper till fullskalig produktion

Hans Engström,  
Luleå tekniska universitet

Laserdagen den 8 oktober 2015 avslutades med ett besök hos Prototal AB i Jönköping.

– Prototal har 175 anställda och omsätter i år cirka 208 miljoner kronor säger Henrik Lundell, vd. Vår strävan är att vara norra Europas bästa leverantör för prototyp- och serietillverkning.

Prototals historia går tillbaka till företaget Electrolux Rapid Development som ombildades till Prototal år 2000. Husqvarna Prototyper som bildades 1998 och Prototal slogs sedan samman 2009 till företaget Prototal. I Götene finns företaget Prototal PDS AB som är specialiserat på modeller, prototyper och formsprutade detaljer.

– Våra affärsområden är fordon, hushåll, flyg, militär industri, elektronik och medicin fortsätter Henrik. Vi har

en bred kundbas och vår strävan är att ingen kund ska svara för mer än 8% av omsättningen.

## Många processer

Prototal kallar sitt område friformframställning som ett samlingsnamn på alla de tillverkningstekniker som finns i företaget. Man arbetar med additiv tillverkning i metall genom ”Selective Laser Sintering” (SLS) och plast i form av och Stereolithography (SLA). Andra metoder för plast är vakuumpjutning, vakuumbildning, kompositformning (glasfiber, kolfiber), formsprutning och i anslutning till det finns också ett modellmakeri. Inom plåtområdet arbetar man med flexformning i två Quintuspressar, drag- och sträckpressning, samt 3-D laserskäring.

Dessutom har man egen verktygstillverkning.

## Tre Prima-maskiner för 3-D skärning

Man har tre Prima 3-D laserskärmaskiner för både prototyp- och serietillverkning av pressade plåtdetaljer. För att möta den ökande efterfrågan på pressade komplexa plåtdetaljer investerade man våren 2015 i en ny Prima Rapido med fiberlaser. Denna investering skedde för att säkerställa att man även fortsättningsvis kan vara en konkurrenskraftig leverantör som kan svara upp mot kundernas högt ställda krav.

## Flexformning för stora komplicerade plåtprodukter

Flexformning är en speciell plåtpressningsmetod som sker i de två Quintuspressarna som man förfogar över. Quintuspressarna tillverkades av ASEA/ABB för sin egen tillverkning av detaljer som kräver extremt stor presskraft.

Fortsättning längst ner, sid 47 ➔



Bild 1.  
Henrik Lundell, vd vid Prototal, berättar om ”Selective Laser Sintering” (SLS), en av tillverkningsteknikerna med laser hos företaget.



Bild 2.  
I mars 2015 drifstattes den nya Prima Rapido 3D-lasermaskinen hos Prototal i Jönköping. I bakgrunden t.v. syns den gamla Rapido-maskinen. Leif Hellqvist, t.h. en trotjänare i företaget, berättade med stor sakkunskap om de olika processer som används av Prototal.



Reinhart Poprawe ger sin syn på

# Materialbearbetning med laser – igår, idag och i morgon

Johnny K. Larsson,  
Volvo Cars

## DEL 22

En av mina mest långvariga bekanta i laserbranschen är professor Reinhart Poprawe, sedan många år tillbaka institutionsföreståndare vid välkända ILT [Institut für LaserTechnik] i Aachen. Jag lärde känna sympatiska Reinhart redan 1993 då han basade för teknikutvecklingen hos TKTB [ThyssenKrupp Tailored Blanks] och jag själv befann mig i Aachen för att där hålla ett föredrag vid ISATA [International Symposium on Automotive Technology and Automation]-konferensen. På den tiden hade TKTB sina lokaler förlagda som en del av ILTs stora laserlaboratorium, och därför föll det sig naturligt att Dr. Poprawe tog över ledarskapet för detta då tidigare institutionsföreståndaren, Dr. Eckard Beyer, valde att prova på nya utmaningar vid IWS [Institut für Werkstoff und Strahltechnik] i Dresden.



I samband med fjolårets ICALEO [International Conference on Lasers and Electro Optics]-konferens förärdades Dr. Poprawe med det prestigefyllda Arthur L. Schawlow Award, inte minst för hans filosofi att bedriva en industri-nära laserforskning vid ILT. På kvällen efter prisceremonin fick jag möjlighet att sitta ner med Reinhart för att få höra hans syn på hur laserforskningen har utvecklats och vilka de framtida trenderna inom branschen förväntas bli. Valda delar av detta intressanta samspråk hittar ni på de följande sidorna. Trevlig läsning!

*– Sedan hur längesen anser Du det vara som lasertekniken sattes in i tillverkningsindustrin?*

Redan på tidigt 1960-tal såg vi de första exemplen på industriell användning av fastkroppslasrar [SSL = Solid State Lasers]. Det rörde sig då om lagerstöd tillverkade av safirer och avsedda att ingå i mekaniska klockor, och där hållborr-

ningen i det svårbearbetade materialet skedde med en "q-switchad" laser.

Jämte den tidiga rubinlasern började även Nd:YAG-lasrar användas inom industrin, och på 1980-talet tillkom laserskärning med CO<sub>2</sub>-laser. Det senare området utvecklades snabbt och utgör idag fortfarande det viktigaste användningsområdet för laserteknik inom industriell materialbearbetning.

Marknadsandelen av lasersystem domineras idag, som aldrig tidigare, av just materialbearbetning, och förutom skärning har lasertekniken satts in för bearbetningsformer som gravering, märkning, borrar och inte minst svetsning.

*Vilka typer av laserkällor är det då som kommer till användning inom tillverkningsindustrin?*

Om det tidigare mest handlade om CO<sub>2</sub>-lasrar så hittar vi idag en hel palett av laserkällor och -användningsområden. Idag hittar vi skraddarsydda lasersystem

för olika tillämpningar, och det är också ett av mottoerna för ILT; "skraddarsytt ljus" eller s.k. tailored light.

Lasern är ett universellt verktyg med vilket man praktiskt taget kan göra allt: separera, sammanfoga, avverka, pålägga, omsmälta, polera, legera, borra samt att modifiera ytor för att ge dessa en viss funktionalitet.

Vi kan t.ex. modifiera ytorna på implantat på ett sådant sätt kroppens celler växer in i ytan. Mångfalden av processer är så stor att det egentligen är fel att tala om lasern som ett enda begrepp, då man använder helt olika parametrar för de ovannämnda processerna.

Därmed ökar laserns mångfasettering men också dess flexibilitet, och kan på så sätt anpassas till olika processer. Alltså kan man med samma laserälla skära, svetsa o.s.v. enbart genom att ändra vissa parameterinställningar, något som inte är möjligt med klassiska bearbetningsverktyg.

## Vilka är då de parametrar som Du pratar om?

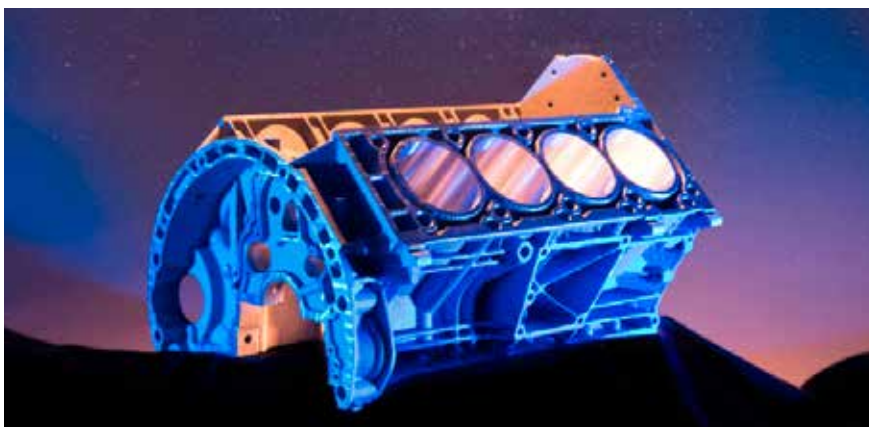
En särskilt viktig parameter är energitätheten. Ofta nämns lasereffekten i första hand, men då bör man ha i åtanke att behovet av en hög lasereffekt ofta processspecifik. För att kunna eskalera sin produktion till höga stycketal blir intensiteten i laserstrålen, d.v.s. effekt per ytenhet, ett direkt avgörande kriterium. Vi arbetar idag med ultrakortpuls-lasrar och kan nå processtemperaturer kring 10.000, ja t.o.m. 100.000 °C, vilket är gigantiska temperaturer vid vilka bet blir möjligt att väldigt precist förångas material. Detta sker under extremt korta tidsförlopp om några femtosekunder [fs], d.v.s. osannolika 10-15 sekunder.

Om man vill undersöka huruvida en spishäll är het, kan man göra detta utan att bränna sig, om man väldigt snabbt låter handen stryka över hällen. Det fungerar som så att under en så kort tid får den höga temperaturen ingen möjlighet att hinna tränga in i handen. Överfört på lasertekniken innebär detta att då man skickar ultrakorta laserpulser på några femtosekunder mot en yta märker ett underliggande atomskikt inte av när det ovanpåliggande "flyger bort". Vi kan alltså med extrem precision och försumbar uppsmältning förångas och avverka material med 20.000.000 pulser per sekund.

ILTs egenutvecklade fs-laser håller sedan flera år "världsrekordet" med hänsyn till lasereffekt, och med den når vi avverkningstal inte bara på mikroskopisk nivå som vid ögonoperationer, utan vilka också blir relevanta på makronivå för modern produktionsteknik.

## Vilken roll spelar stråldistribution och strålformering vid laseranvändning?

Vi måste transportera dessa höga laserintensiteter till arbetsstycket på ett korrekt sätt, d.v.s. vi måste anpassa "verktyget ljus" till den aktuella processen. Särskilt vid UKP [UltraKurzPuls]-bearbetning är detta en utmaning. Vi behöver ha omlänkningssystem för laserstrålen, som vid 20.000.000 pulser per sekund kan placera den ena pulsen jämte den andra. Då rör det sig om omlänkningshastigheter kring 500 m/sek. Sådana hastigheter går inte att realisera med mekaniska lösningar, utan för detta krävs elektro-optiska system. Sådana komponenter kan genom förändring av sina elektriska egenskaper ändra sitt



Figur 1. En suggestiv bild av ett motorblock i 1/3-skala till en V8-motor, vilket helt och hållet tillverkats genom det generativa laserförfarandet "3D-printning".

brytningsindex och på så sätt avlänsa laserstrålen. Sådana koncept håller nu på att utvecklas för att kunna dra nytta av kortpulssteknikens fördelar.

En annan stråldistributionsproblematik finner vi i bilindustrin där idag framförallt fastkroppslasrar används. Här skickas vanligtvis laserstrålen via en optisk fiber till en svets- eller skäroptik som manipuleras av en industrirobot. Eftersom robotar har en förhållandevis stor massa blir dess rörelser långsamma och precisionen otillräcklig särskilt vid svetsoperationer kring hörn där konventionell robotteknik visar sina begränsningar.

Därför har den s.k. RobScan-tekniken utvecklats. Man monterar ett "scanner"-verktyg på roboten, vilket består av två galvospeglar som mycket snabbt kan avlänsa laserstrålen till olika positioner. Emellertid har ett sådant verktyg ett begränsat arbetsområde, men om det på detta sätt kombinerar robotrörelsen med den precisionsstyrning som "scanner"-verktyget erbjuder kan man mycket exakt såväl svetsa som skära kring 90°-iga hörn.

## Kommer vi närmast att få se s.k. Black-Box-anläggningar?

Som regel är det egentligen så att användaren av ett lasersystem överhuvudtaget inte är intresserad av hur en laser fungerar. Om man exempelvis borrar ett hål med en slagbormmaskin i en vägg i sitt hem, intresserar man sig ju inte heller om vad den elektriska strömmen som kommer ur vägguttaget gör och hur det därigenom uppstår en rörelse i bormmaskinen.

Användningsområdena står istället i förgrunden och därför definierar vi kraven på laserkällorna utifrån aktuella

processkrav. Det blir då vårt huvudsakliga arbete att rättfärdiga sådana utmaningar kring produktiva tillverkningsprocesser genom att kombinera den "rätta" lasern med dessa processer, utveckla systemtekniken och också överföra den till nya användningsområden. De i en laserkälla ingående komponenter är oftast obekanta för användaren och intresserar inte heller denna. För honom eller henne är det rätt och slätt resultatet av materialbearbetningen som är av intresse. Ett speciellt bra exempel på detta är en relativt ny bearbetningsteknik, den s.k. Digital Photonic Production [DPP] eller "3D-printning" med vars hjälp man kan bygga upp komponenter. Istället för att subtrahera material från ett utgångsblock för att skapa den önskade formen, något som följer traditionen från stenåldern, kan man istället bygga upp en komponent utan något materialspill genom att selektivt smälta samman materialet i en pulverbädd. Den stora fördelen är att man inte behöver längre något formverktyg för att skapa en högst individuell produkt. Vi kan alltså skapa en enstycksdetalj till kostnaden av en motsvarande massproducerad artikel, något som tilltalar marknaden.

Redan idag tillverkas såväl tandimplantat som artificiella höftleder i Titan med denna teknik. Man gör en bildanalys av den form som skall ersättas, ritar upp den aktuella geometrin i datorn, 3D-trycker densamma och kan slutligen sätta in den tillverkade detaljen på avsett ställe. Sålunda kan man på en minut bygga upp ungefär en kubikcentimeter homogent material. Vid en gitterstruktur uppnår man emellertid betydligt större volymer under samma tidrymd. Metodiken har redan framgångsrikt använts inom tandteknik, verktygsbyggnad och vid prototyp-till-

verkning. Tidsbesparing är den stora fördelen då man slipper ifrån långa ledtider för verktygsframtagning vilket är fallet vid konventionell tillverkning.

Att tillverka en prototyp av ett motorblock [Fig. 1] tar med konventionella metoder cirka 5 månader, medan man däremot klarar detta på 5 dagar (!) med denna nya teknik. Dock skall man ha klart för sig att 3D-printning ännu inte lämpar sig för volymtillverkning, ty om man väl har tillverkat sitt formverktyg, är gjutning snabbare och fördelaktigare. Emellertid arbetar vi vid ILT nu med de första projekten där avsikten är att serietillverka komponenter till bilindustrin med denna additiva metod. De här beskrivna användningsområdena motsvara i hög grad vad man föreställer sig med en "Black Box".

### Till sist; Hur ser då framtiden ut?

"Digital, fotonisk produktion" är för ögonblicket den stora "grejen", och man talar idag redan om den fjärde industriella revolutionen som fullständigt kommer att förändra hela vår tillverkning av halvfabrikat och sammansättningen av dessa. Om man ser lite futuristiskt på framtiden och betraktar hur man



Tyske utbildningsministern Dr. Thomas Rachel (t.v) överlämnar nyckeln till forskningscampus DPP [Digital Photonic Production] vid RWTH [Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule] till dess initiativtagare professor Reinhart Poprawe.

idag tillverkar en personbilskaross, så byggs ju denna upp av mer än 300 s.k. singeldetaljer vilka har formats och renklippts för att sedan svetsas samman till en komplett struktur. M.a.o. en tämligen lång tillverkningskedja innan bilkarossen blir komplett. Med additiv teknik och 3D-printning behöver man endast ha tillgång till en maskin, varpå

man konstruerar sin kaross, trycker på en knapp och efter en viss tidrymd kommer den färdiga karossen ut ur en sådan "Black Box". Detta är naturligtvis en framtidsvision, som är avsedd att ge en uppfattning om principen, men utan visioner sker inga framsteg!

*Stort tack för samtalet!*

Fortsättning "Prototal AB" från sid 44



Bild 3. Renskärning av stora flexformade plåtdetaljer sker i Prima Optimomaskinen, som är utrustad med dubbla skärbord.



Bild 4. Diskho tillverkad genom flexformning i Quintuspress.

Maskinerna hos Prototal kan leverera 93 000 ton presskraft och ett formningstryck på 1400 bar vilket ger möjlighet att forma stora och djupa plåtdetaljer. De lär föresten var de enda maskiner som finns utanför ABB-koncernen.

Prototal är inne i ett mycket expansivt skede och har ökat omsättningen cirka 1.5 gånger de senaste 3 åren.

LaserGruppen tackar för ett intressant och givande besök!

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

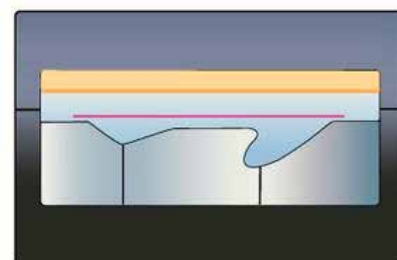
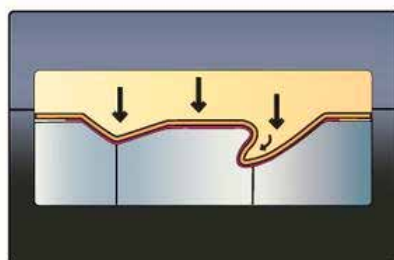
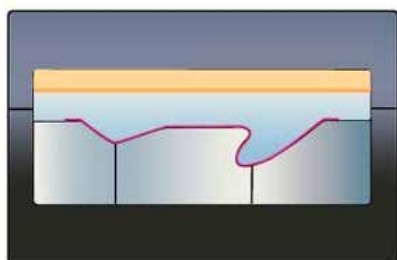


Bild 5. Principen för flexformning. En plåt läggs ovanpå verktyget. Ricinolja trycksätts mot en tjock gummiduk vilken överför trycket som kan uppgå till 1400 bar likformigt (isostatiskt) mot plåten som pressas och formas mot verktyget. Efter pressning lyfts membranet upp igen och en ny detalj kan pressas.

# Gränslös utbildning inom laserbearbetning

Peter Norman,  
Svetskommissionen

Tillverkare, arkitekter och konstruktörer försöker hela tiden flytta tekniken framåt och utmanar svetsarens hantverkskunskaper, detta leder naturligtvis till utveckling och nya processer och tekniker som snabbt blir till konventionell kunskap och arbetssätt.

Det globala arbetssättet och den allt striktare kontrollen på tillverkade produkter har också bidragit, genom att leda till en tillämpning av ett brett internationellt erkännande av personalkvalificering, till att skapa samarbete över gränserna.

## Behov att skapa internationellt harmoniserade utbildningsstandarder

Behovet av att utveckla internationellt harmoniserade utbildningsstandarder ökar med svetsprocessens komplexitet, eftersom att det är ytterst viktigt att försäkra sig om att de blir internationellt accepterade. Ett exempel på en svetsprocess med höga utbildnings- och kvalificeringskrav är lasersvetsning [Bild 1], som spreds under tidigt 90-tal och idag ses som en nyckelprocess hos många svetsande företag. Ökningen i användandet under senaste tiden kan

framförallt tillskrivas utvecklingen hos fastkroppssvetsningarna. Detta har gjort att processen har blivit mer konkurrenskraftig, även om den medför stränga svetskrav. Processens mångsidighet och möjlighet att utföra de svåraste svetsarna och de med högst noggrannhetskrav har gjort att tillverkningsindustrin alltmer har tagit till sig denna process. Fastän industrin växer kontinuerligt har användandet av lasersvetsning inte varit överväldigande, speciellt hos små och medelstora företag. En av orsakerna till detta är bristen på kvalificerad personal med kunskap, förmåga och tillräcklig kompetens inom lasersvetsning.

För att stödja ett snabbare införande av lasersvetsning genom att tillhandahålla kvalificering av personal som kan svara på efterfrågan, så har EWF tillsammans med laserexperter med kunskaper inom ämnet tagit fram utbildningsriktlinjen (EWF-651r1-12-SV-00) för utbildning av laserprocesspersonal. Den finns tillgänglig för alla länder som är EWF medlemmar. Den är uppdelad i två nivåer, standard (B) och omfattande (C) inom områdena laserskärning (ELC), -svetsning (ELW), -ytbehandling (ELST) och -bearbetning (ELP) [Tabell 1].

Riktlinjen beskriver i detalj innehållet i de åtta delarna och ger också en uppfattning om antalet timmar i respektive modul samt vilka förkunskapskrav som finns för att få delta. I Sverige finns ingen som utbildar enligt denna men Luleå tekniska universitet har i flera år utbildat lasersvetssspecialister, 48 stycken, enligt en modifierad utbildningsriktlinje, men inför nästa utbildningsomgång kommer de att anpassa sig efter ovanstående riktlinjer och till en början inom lasersvetsning, för att sedan gå in på fler områden.

## Vägar till flera kvalificeringar

De nya riktlinjerna är anpassade mot de hårdare kraven som ställs på svetsaren och ingenjören inom laserbearbetning. Möjligheten till flera kvalificeringar tydliggörs i tabellen där det syns att den modulära strukturen öppnar för karriärutveckling, från standardnivå till omfattande nivå, vilket borde öka intresset att följa denna utbildningsriktlinje.

Luleå tekniska universitet planerar preliminärt att ge kursmodulen ”Svetsning” (ELW standard/nivå B) under första halvåret 2017.

## Kontakta för mer information

Greger Wiklund (greger.wiklund@ltu.se)



Bild 1.  
Lasersvetsning

Tabell 1.  
Översikt kursstruktur

Module	Teaching hours				Required for qualification at the level:	
	ELC	ELW	ELST	ELP	B	C
1: Basics of laser technology	12	12	12	12	X	X
2: Basics of laser processes	4	8	4	16	X	X
3: Materials and their behaviour during laser processing	8	12	4	24		X
4: Design of laser processed construction	4	12	4	20		X
5: Case studies in laser processing industry	4	12	4	20		X
6: Quality assurance and safety in laser processing	8	8	8	8	X	X
7: Practical work in laboratory for laser processing C (B) level	8	16	8	32	X	X
<b>TOTAL FOR THE COMPREHENSIVE (BASIC) LEVEL</b>	<b>48</b>	<b>80</b>	<b>44</b>	<b>132</b>		
8: Laser safety officer (for comprehensive level, voluntary)	(52)	(68)	(52)	(172)		16

## Några synpunkter ur en gasleverantörs perspektiv

# CO<sub>2</sub>-laser eller fiberlaser för skärning?

Bo Williamsson,  
AGA Gas AB

På senare år har försäljningen av fiberlasrar ökat dramatiskt, ofta på bekostnad av de "gamla" CO<sub>2</sub>-lasrarna. I vissa läger hyllas fiberlasern som ett mirakelverktyg som klarar alla produktionsfall med bl.a. förbättrad snittkvalitet och produktivitet som följd. Det förutsås till och med i vissa fall att fiberlasern kommer att konkurrera ut CO<sub>2</sub>-lasern inom en snar framtid. Men hur är det egentligen? Är fiberlasern alltid det bästa alternativet? Beroende på vem man frågar, och hur frågan ställs så får man en mängd olika svar som inte alltid är så lätta att tolka. Denna artikel är baserad på ett föredrag som hölls vid Laserdag 2 i Värnamo den 8 oktober, och är ett försök att reda ut några av begreppen. Fördraget omfattade också lasersvetsning, men av utrymmesskäl tas detta inte upp i artikeln.

### Marknadsutveckling

Den lasertyp som har dominerat marknaden för framför allt skärning har varit CO<sub>2</sub>-lasern, ett universellt instrument för skärning av ett flertal olika material.

Idag ser vi en utveckling mot ökande investeringar i alternativa laserkällor där fiberlasern intar en särställning. Det råder dock delade meningar om den framtida utvecklingen. Vissa hävdar att fiberlasern kommer att ta över helt, medan andra anser att CO<sub>2</sub>-lasern kommer att minska i betydelse, men att det kommer även fortsättningsvis att finnas applikationer där denna lasertyp ger signifikanta fördelar, **fig 1**. I artikeln inkluderas även disklasrar i begreppet fiberlaser. Det finns en del skillnader mellan lasertyperna, men sett ur ett funktionsperspektiv är det relativt små skillnader mellan de olika lasertyperna.

### Industriella lasrar

I **fig 2** visas de vanligaste lasertyperna för industriellt bruk och en del viktiga parametrar.

### Skillnader mellan fiber- och CO<sub>2</sub>-laser vid skärning

#### Skärning med Nitrogen

Vid laserskärning med nitrogen avgörs

processens effektivitet av i vilken grad laserstrålen absorberas i skärfronten. Efter som absorptionen styrs av strålens infallsvinkel, och våglängd kommer materialtjockleken att spela en väsentlig roll i sammanhanget. För att förenkla förklaringen kan man säga att vid skärning av tjockt material får en skärfrontsvinkel på ca 80°, medan man vid skärning av tunnare material har en vinkel runt 88°, **fig 3**.

**Fig 4** visar absorptionen som funktion av våglängden. I diagrammet kan utläsas att CO<sub>2</sub>-lasern har maximal absorption vid ca 80°, medan fiberlasern har motsvarande absorption vid ca 88°. Således kan man dra slutsatsen att fiberlasern är effektivare vid skärning i tunt material medan CO<sub>2</sub>-lasern ger fördelar vid skärning av tjockare material.

En sammanställning av ovanstående resonemang visas i **fig 5**.

Vid skärning i tjockare material gäller det omvända förhållandet, **fig 6**.

I **fig 7** illustreras den praktiska skillnaden ytterligare i form av en snittkvalitetsjämförelse. Bilden visar tydliga

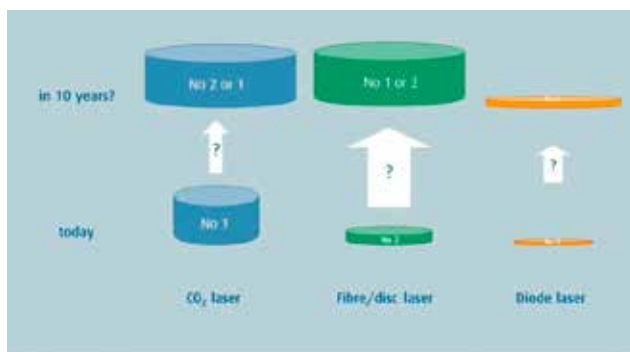


Fig 1. Möjlig utveckling av framtida laserinvesteringar Industriella lasrar

Lasertyp	CO <sub>2</sub> laser	disklaser	fiberlaser	diodlaser
Våglängd	10.6 µm	1.03 µm	1.05 – 1.07 µm	0.9 – 1.07 µm
Resonatörgas	LASERMDX® eller He + N <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	Nej	Nej	Nej
Processgas	Ja	Ja	Ja	Ja
Distr. via fiber	Nej	Ja	Ja	Ja + direkt

Fig 2. Olika industriella lasrar. Skillnader mellan fiber- och CO<sub>2</sub>-laser vid skärning

skillnader i snittkvalitet, något som också illustreras i **fig 8**.

En konsekvens av ovanstående resonemang är att fiberlasern skär betydligt snabbare i tunt material än CO<sub>2</sub>-lasern då nitrogen används som skärgas. Skillnaden minskar ju tjockare material som skärs. Vid s.k ”fusion cutting” med CO<sub>2</sub>-lasern minskas skillnaden, dock fortfarande till fiberlaserns fördel. Vid skärning av tjockare material ger CO<sub>2</sub>-lasern en fördel rent skärtekniskt. En parameter att ta hänsyn till är också att fiberlasern förbrukar betydligt mer

nitrogen vid skärning, i vissa fall ända upp till en faktor 3 i jämförelse med CO<sub>2</sub>-lasern.

**Skärning med oxygen**

Vid skärning med oxygen i konstruktionsstål är skillnaden i prestanda mellan de olika lasertyperna marginell. Här är det förbränningen av järn i materialet i kombination med bildandet av järnoxider som styr processen i hög grad. Våglängden har inte samma betydelse för laserns skärprestanda som vid skärning med nitrogen. Skärprocessen fungerar på samma sätt i båda fallen, varför

likvärdig skärhastighet och snittkvalitet uppnås med båda lasertyperna. Viktigt här är att använda en oxygenkvalitet med minimum 99,5% renhet, helst bör dock en renhet på 99,95% användas för att ge optimala prestanda. En sammanfattning av ovanstående resonemang visas i **fig 9**. Gränsen mellan tunt och tjockt material rent definitionsmässigt kan diskuteras. Men rent teoretiskt ligger den runt 5-6 mm.

Det finns ytterligare faktorer som påverkar valet av lasertyp, t.ex. verk-

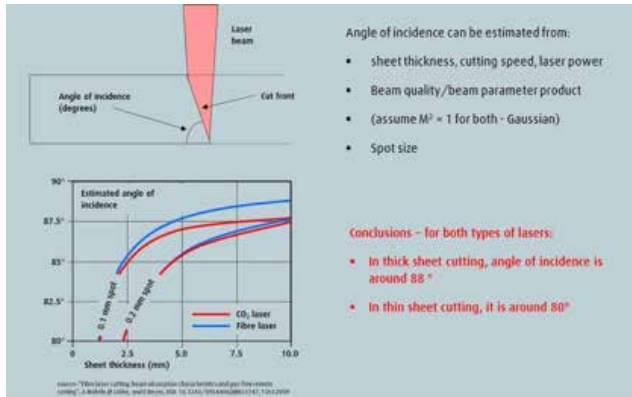


Fig 3. Skärfrontens vinkel vid skärning av olika materialtjocklekar.

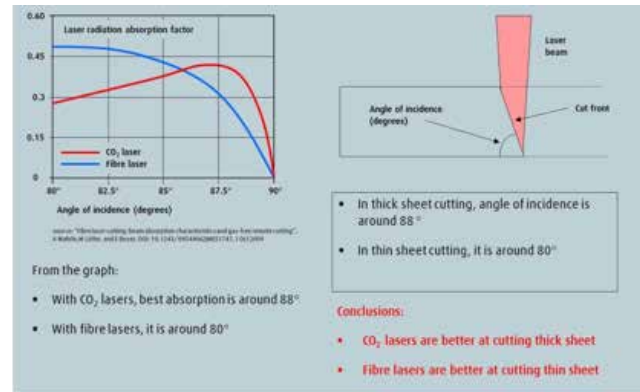


Fig 4. Vinklarnas betydelse för absorptionen vid skärning med fiber- resp. CO<sub>2</sub>-laser och nitrogen.

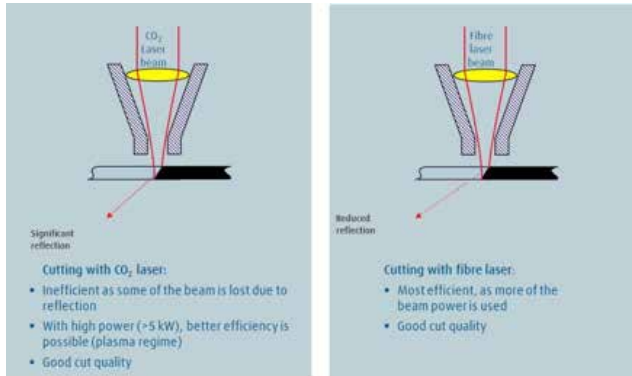


Fig 5. Vid skärning i tunt material med nitrogen ger fiberlasern ett bättre resultat.

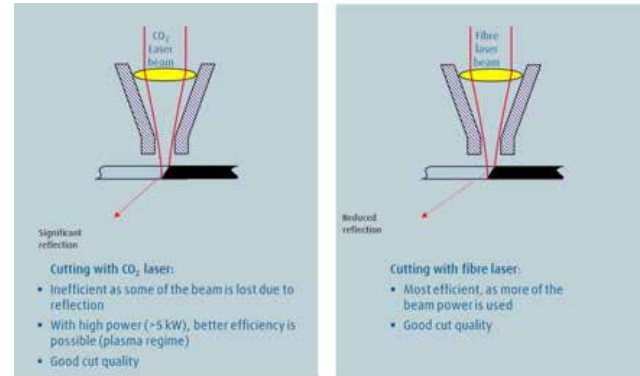


Fig 6. Vid skärning i tjockare material ger CO<sub>2</sub>-lasern skärtekniska fördelar.

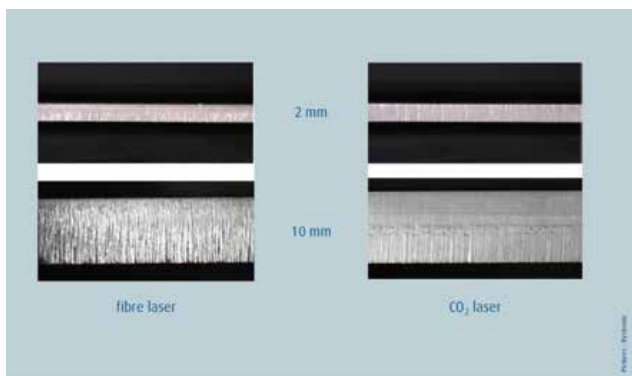


Fig 7. Exempel på snittkvalitet vid skärning med nitrogen i olika materialtjocklekar.

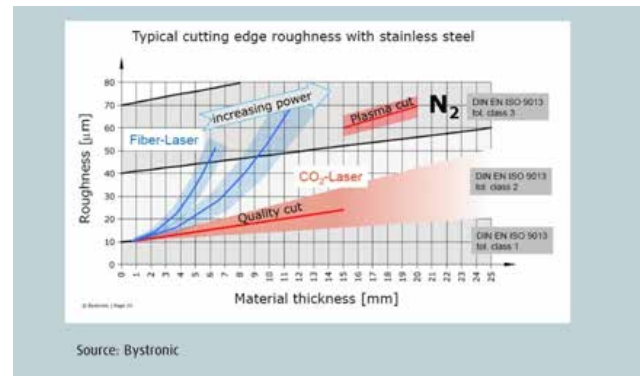


Fig 8. Klassificering av ytfihet enligt ISO 9013

ningsgrad, säkerhetsaspekter etc., men de tas inte upp i denna artikel.

### Summering

- Med fiberlasern uppnås högre skärhastigheter i tunt material än med CO<sub>2</sub>-lasern, i vissa fall ända upp mot 3x högre hastighet.
- Nitrogen används numera även för skärning av tunnare ”svart” material (konstruktionsstål).
- Nitrogenförbrukningen ökar vid användning av fiberlasern, men kompenseras i viss grad av den ökade skärhastigheten.
- Skärning med fiberlaser och nitrogen i tjockare material ger en sämre snittkvalitet än vid skärning med CO<sub>2</sub>-laser.
- Oxygen används företrädesvis vid skärning av tjockt ”svart” material.
- Snittkvalitet och skärhastighet är jämförbara för de två lasertyperna vid skärning med oxygen.

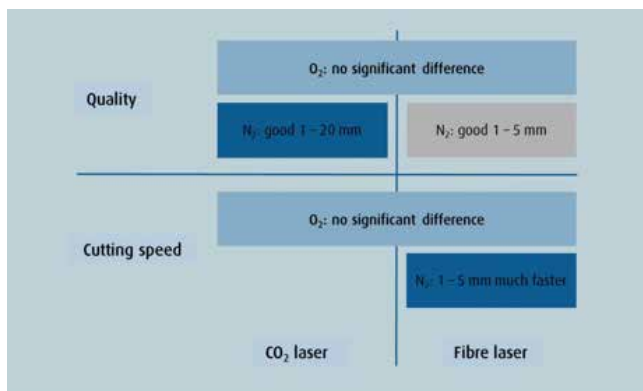


Fig 9. Sammanfattning av snittkvalitet och skärhastighet vid skärning med fiber- resp. CO<sub>2</sub>-laser med nitrogen och oxygen.

### Slutsatser

- Valet mellan fiber- och CO<sub>2</sub>-laser är inte självklart (!)
- Vid tunnplåtsskärning och krav på oxidfria snitt ger fiberlasern fördelar.
- Vid skärning av tjockare material och krav på oxidfria snitt ger CO<sub>2</sub>-lasern ett bättre resultat.
- Vid skärning med oxygen ger båda lasertyperna jämförbara resultat i både tunt och tjockt material.
- Slutsatsen är således inte helt entydig. Varje fall måste analyseras med avseende på produktivitet, kvalitet, ekonomi etc.

## Fråga laserdoktorn Bo Williamsson

Hej, vi använder för närvarande en CO<sub>2</sub>-laser för vår skärning i produktion. För en vecka sedan hade vi ett tillbud i maskinen med ett linshaveri som följde. Linsen kollapsade och ett pulver spred sig i maskinen och i lokalen. Vår fråga är nu vad detta pulver består av, och om det finns risker i att låta vår egen personal sanera maskin och lokal?

LH



### SVAR

Hej,

Linser för användning i CO<sub>2</sub>-lasrar består lustigt nog inte av glas. Våglängden omöjliggör användning av optiskt glas eftersom strålen absorberas i detta material, i stället används linser tillverkade av galliumarsenid (GaAs) eller zinkselenid (ZnSe). Båda materialen används inom halvledarindustrin och är i linsutförande transparenta för ljus med CO<sub>2</sub>-laserns våglängd. Ett haveri hos linsen kan bero på en överdriven absorption av laserstrålen i linsen, ofta p.g.a metallånga som kondenserat på

linsytan. Det finns dock en del andra möjliga orsaker till det haveri ni beskriver. Den temperaturstegring som följer medför att linsmaterialet förångas och bryts ner. Ångorna som bildas är hälsovådliga att inandas. Framför är det om arsenik och selen som påverkar hälsan negativt, även i måttliga halter kan dessa komponenter anses vara giftiga. Zink och gallium kan också påverka hälsan. De senare föreningarna är dock inte giftiga i samma utsträckning som de tidigare beskrivna. De partiklar som faller ut på ytorna består av oxiderat lins-

material med liknande egenskaper som de förgasade komponenterna. Utan att överdramatisera riskerna rekommenderas att helst anlita utbildad personal och adekvat skyddsutrustning vid saneringen. Inandning, hud- och ögonkontakt ska undvikas. Jag rekommenderar en kontakt med er maskinleverantör för att diskutera frågan. Med rätt tillvägagångssätt och skyddsutrustning minimeras riskerna, och saneringen kan utföras riskfritt.

Laserdoktorn

# Laser vinner fortfarande mark hos småföretagen

Bengt Johansson,  
Teknikcentrum i Gnosjö AB

Begagnade lasrar kommer ut i allt större omfattning till attraktiva priser som är överkomliga för den lilla plåtverkstaden. Bara i år har ett stort antal lasrar installerats i min hembygd, inte bara begagnade utan även flertalet nya. Det handlar framförallt om fiberlasrar och rörskränningslasrar.

Efter att ha varit med i branschen ett tag känner man, om man tittar i backspegeln och jämför, att vi nu ser ett pågående och avgörande tekniskifte. Inte bara inom 3D-printning, som verkligen är i ropet nu, (Additive manufacturing) utan även traditionell planskärning.

Naturligtvis är det lockande att kunna skära upp till tio gånger fortare med halva driftkostnaden för el och dessutom slipa lasergaserna med en ny fiberlaser. Skärresultatet framförallt i tunnplåt ser också fantastiskt bra ut. De traditionella CO<sub>2</sub>-lasrarna har minskat dramatiskt vid nyförsäljning.

Men hur ser det ut för den lilla verkstaden?

Hur kommer tekniken att påverka det lilla företaget som har en äldre laser? Hänger man verkligen med i priskonkurrensen och snabbheten?

Svaret på den frågan ligger nog i seriestorleken och vilken typ av service som företaget erbjuder. Vid mindre serier och för företag som lägger en större tyngd på konstruktion och utveckling av en produkt spelar inte hastigheten någon större roll. Smidigheten ligger i att enkelt kunna gå till lasern och få sin idé förverkligad och att snabbt kunna göra korrigeringar under produktutvecklingen. För en sådan verkstad blir även en bra begagnad CO<sub>2</sub>-laser ett mycket värdefullt och lönsamt verktyg. Kanske det bästa?

Ytterligare en fördel med CO<sub>2</sub>-lasern och stav-YAG-lasern är att de är ganska hands-on och är lättservade. Ett haveri behöver inte betyda att laserkällan måste sändas tillbaka till tillverkaren för reparation och med ohejdbara faktura som följd. Särskilt då garantitiden löpt ut.

En bra maskinförsäkring är närmast nödvändig då det gäller fiberlasrar. Särskilt då de fått några år på nacken.

## Läget för lasersvetsning

På lasersvetssidan verkar inte tekniken ännu ha nått fram inom den allmänna industrin på det sätt som den gjort t.ex. inom fordonsindustrin. Utrustningen

är fortfarande dyr och specialiserad.

Dock tror jag att vi kommer att få se en ljusning inom svetsområdet särskilt en kombination av båda metoderna. De nu allt vanligare fiber- och fiberkopplade lasrarna kombineras med vanliga industrirobotar som på senare tid fått bättre precision, men framförallt bättre programmeringsverktyg. Detta kommer då att bli ett mycket lovande ”multiverktyg” för både 3D-skärning och -svetsning.

Vad händer i framtiden? Är fiberlasern här för att stanna för evigt? Personligen tror jag inte det!

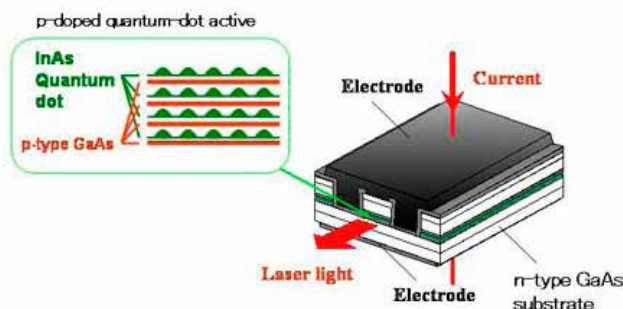
## Framtiden är prickig?

Nya laserkällor kokar redan på forskningslabben. Till exempel quantum-dot-lasern, som är en typ av laser där laserljuset framställs av nanometerstora sk ”kvantprickar”, som befinner sig mellan två plattor av halvledarmaterial.

Lasertypen finns redan kommersiellt ute i lågeffektvarianter för instrument och kommunikation.

Själva konstruktionen påminner något om en traditionell diodlaser.

Fortsättning längst ner, sid 26 ➔





# KALENDARIUM 2015

## MARS

17

Laserdag  
Lasergruppens årsmöte  
Lasertech LSH AB, Karlskoga (prel)

Per Westerhult

## APRIL

19

Konstruera för laser  
Seminarium,  
Permanova Lasersystem AB (prel)

Per Westerhult

## MAJ

6

LaserNytt 1-2016  
Laserseminarium, Elmia Svets, Jönköping

Per Westerhult

10-15

Per Westerhult

## OKTOBER

Laserdag II  
LaserNytt 2-2016

Per Westerhult

## DECEMBER

10

LaserNytt 3-2016

Per Westerhult

# LASER

LASERGRUPPEN