

Lasernytt



1-2017



KALENDARIUM 2017

OKTOBER

- 4 LaserNytt 2-2017
- 5 Laserdag Volvo AB, Umeå Per Westerhult

NOVEMBER

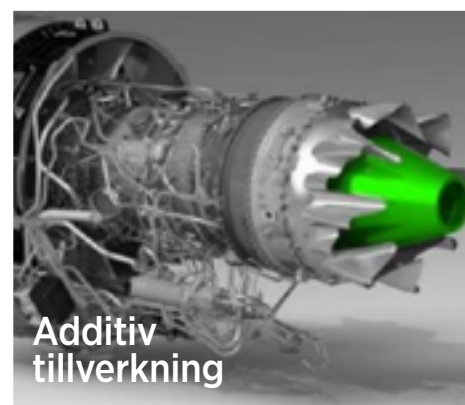
- 9 eller 16 Seminarium Additiv tillverkning, Swerea IVF, Göteborg Per Westerhult

DECEMBER

- 8 LaserNytt 3-2017 Per Westerhult

LASERNYTT NR 1-2017

Prestanda och produktivitet Laserpolering i verktygsmaskin



Additiv tillverkning



Rapport från AKL16 - del 1b



Rapport från LANE 16 - del 1b

Lasernytt utkommer med 3 nummer/år och ges ut av

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

Redaktör

Hans Engström
Telefon: 070-626 90 96
E-post: hans.engstrom@levitronics.se

Redaktionellt arbete och kansli

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

Ansvarig utgivare

Per Westerhult

Lasernytt på Internet

www.lasergruppen.eu

Omslagsbild

Laserpolering av tryckplåtar och stansverktyg efter maskinbearbetning.

Produktion: Ineko Creative, Stockholm

Tryck: Ineko Production, Stockholm
www.ineko.se

LASER
LASERGRUPPEN

INNEHÅLL

RAPPORT FRÅN AKL '16 EUROGRESS - DEL 1B	
Laserskärning	2
LASER ANWENDERFORUM 2016	
Additiv tillverkning	10
RAPPORT FRÅN 9TH LASER ASSISTED NET SHAPE ENGINEERING [LANE] - DEL 1B	
En blandad kompott av användnings-områden för lasertekniken	20
I-PFO - DEN NYA TEKNIKEN	
Den nya tekniken för enkel och flexibel tillämpning av högproduktiva "on-the-fly" processer	27
Senaste Nytt från Lasergrupp FoU	29
LASER PROCESSING AROUND THE WORLD - DEL 4	
Integration av två tekniker fördubblar prestanda och produktivitet	30
SAMTAL KRING LASERTRENDER DEL 26	
Lasersvetsning under reducerat lufttryck förbättrar svetskvalitet och reducerar svetsnsprut	32
Fråga Laserdoktorn	35
RAPPORT FRÅN AKL '16 EUROGRESS - DEL 2	
Technology Business Day och Innovation Award Laser Technology	36
RAPPORT FRÅN 9TH LASER ASSISTED NET SHAPE ENGINEERING [LANE] - DEL 2	
En blandad kompott av användningsområden för lasertekniken	44

En gammal laserman.....

Nu har vi kommit en bra bit in i 2017 och man förvånas ständigt över hur snabbt tiden och utvecklingen går framåt. Precis som Mikael skrev i senaste Lasernytts "Tankar från styrelsen" så är lasern idag ett väl etablerat produktionsverktyg. Utvecklingen har gått framåt i en mycket hög takt för såväl laserkällor, maskin-system med automation och mjukvaror därtill. Det är bara Hans i styrelsen för Lasergruppen som är oförändrad, han är faktiskt precis sig lik som jag minns honom 1988 när vi första gången sågs i Luleå.

Med detta sagt kan jag inte låta bli att tänka tillbaka på mina tidigare egna erfarenheter av att praktiskt arbeta och underhålla laserkällor, maskiner och styrsystem.

Min resa i Laserns värld började över en hamburgare på Max i Umeå sommaren 1988 och ett sällskap vid bordet i form av en mycket entusiastisk och övertygande entreprenör med stora visioner om laserns kommersiella möjligheter kring insmältning av keramer i metalliska ytor och påsvetsning "cladding" eller DMD som Trumpf valt att kalla metoden när de levererar teknisk och kunnande kring detta, där man reparerar eller förändrar ytors egenskaper, friktion, korrosion, etc. Dvs. dess tribologiska egenskaper så att livslängden på produkterna ökar mångfalt.

Äventyrslysten som man är och i en arbetsmarknad som den såg ut på sent 80-tal med att det var i stort sett hur lätt som helst få jobb om man nu inte skulle trivas med det nya man gav sig in i, fanns det ju inget att tveka kring att få lära sig laser och pulverteknologi på det som på den tiden var Luleå Tekniska Högskola. Det blev många sena kvällar och nätter där vi hyrde in oss på den laseranläggning som stod till förfogande med ett ständigt



TANKAR FRÅN STYRELSEN
THOMAS HÄGGLUND, DIN MASKIN AB

experimenterande med optik, munstycken och pulvermaterial, när systemet väl fungerade och var stabilt vilket inte alltid var fallet....

Ett styrsystem med hållremsa från SAAB (MTC-10) och tvärströmlasern på 2,5 kW från Spectra Physics krävde en hel del arbete för att prestera på topp. Jämförelsen med dagens Lasrar med 1 mikrometers våglängd och distribution till processoptiken genom optisk fiber är ju ljusår ifrån varandra utan att överdriva. Exempelvis var det mer eller mindre tvunget att varje 200:de timme plocka isär resonatorn, rengöra katoden och anoderna samt linjera upp internoptiken samt den yttre strålgången.

Skärning och svetsning med laser är som sagt idag väl etablerade metoder, om än det finns potential att utveckla dessa vidare, där det inom automation och mjukvaruoptimering samt auto-rapporterande system och system för beställning av detaljer via ERP kommer att utvecklas vidare. Detta för att investeringar skall kunna motiveras i länder med högre kostnadsräddning och avstånd till marknaden.

Slutligen känns det glädjande för mig som på sent 80-tal med god hjälp av Hans, Greger, Istvan, Göran, m.fl. uppe i Luleå utvecklade verktyg och metoder för laser och pulverteknologi att nu se den renässans som sker inom detta område eller liknande applikationer.



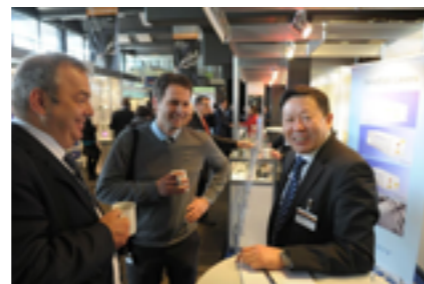
Rapport från AKL'16,
Eurogress, Aachen, Tyskland
27-29 april 2016
DEL 1b

Fristående fortsättning på Del 1a som finns pulicerad i LaserNytt 3 – 2106.

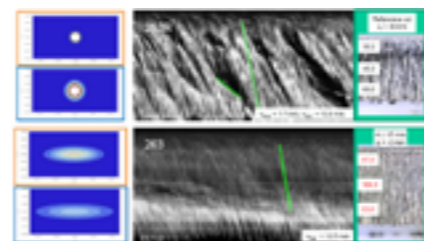
Laserskärning

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering

Även i sessionen kring laserskärning var det ordföranden, i detta fall Dr. Wolfgang Schulz från ILT, som gav det inledande föredraget [Fig. 18]. Detta var en beskrivning av det pågående EU-projektet "HALO" [High power Adaptable Laser beams for materials processing] där konsortiet bl.a. består av Trumpf, Synova, University of Southampton, Luleå Tekniska Universitet, Laser Expertise och ILT. Det mesta handlar om laserskärning och de huvudsakliga forskningsområdena är skärning av glas, metaller och precisions-skärning. Ett generellt problem vid all laserskärning är att det smälta materialet skuggar laserstrålen vilket leder till en instabil process. Denna skuggningseffekt är emellertid avhängig det s.k. Fresnel-numret, vilket förklarar att problemet endast uppträder vid laserkällor med 1 µm våglängd och inte vid 10 µm. Genom en mångfald simuleringsaktiviteter hade man kommit fram till att problemen vid den kortare våglängden kan övervinnas om man arbetar med en i skärriktningen elliptiskt formad fokalfunkt [Fig. 19]. En sådan stabiliserar smältflödet i nyckelhålets framkant, samtidigt som laserstrålens infallsvinkel relativt nyckelhålet minskar, men tyvärr kunde man inte se någon förbättring av själva snittkvaliteten. Avslutningsvis nämnde Dr. Schultz att man nu kommer att gå in med en ny finansieringsansökan hos EU för projektet "BALL" [Business cases for high Adaptable Laser beams].



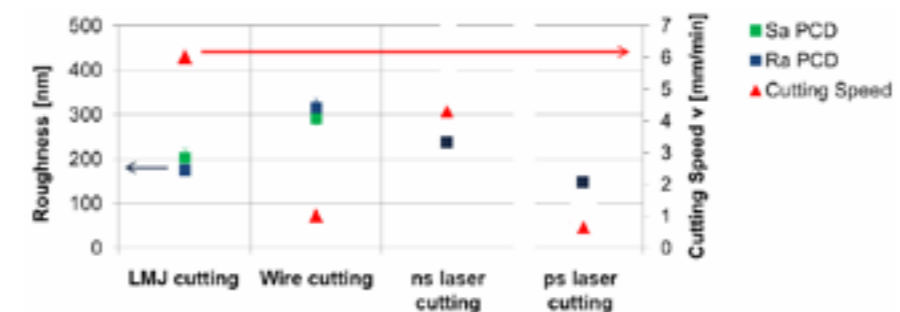
Figur 18. Replikskiftena var många mellan bl.a. Lara Bauer, Andy Clarkson och ordföranden Wolfgang Schulz under sessionen kring laserskärning



Figur 19. Med hjälp av en i skärriktningen elliptiskt formad fokalfunkt kan inverkan av skuggningseffekter i nyckelhålets framkant minimeras, vilket stabiliserar smältflödet.

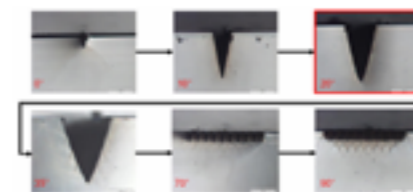
Näste talare var Andy Clarkson från ORC [Optoelectronics Research Centre] vid University of Southampton som fortsatte att berätta om andra resultat från "HALO"-projektet. Hans forskargrupp hade specifikt arbetat med laserkällor kring 2 µm våglängd. Just denna våglängd har visat hög absorptionsförmåga vid bearbetning av polymerer. I "HALO"-projektet hade man undersökt olika energifördelningar i laserstrålen och speciellt studerat ringformade intensitetsfördelningar av s.k. doughnut-typ. Här är alltså energitätheten lika med noll i laserstrålens centrum, och strålar med såväl radiell som azimutell polarisation hade studerats. Strålförmeringen kan ske såväl i själva laserresonatoren som efter densamma med hjälp av olika linssystem. Det som var unikt med ORC:s lösning är att man arbetar med en avsmalnande optisk fiber just efter pumplaseren som ger råstrålen en ytterdiameter på 100 µm men med ett centralt energilöst "hål" med 50 µm diameter [Fig. 20]. En experimentell uppställning visade hur en Tm:fiberlaser via en dylik fiber pumpade en Ho:YAG-kristall, vilket resulterade i en utgående laserstråle med 2,09 µm våglängd. Ett för "lasernördar" nog så intressant föredrag, men frågan om användningsområden för denna teknik kvarstår.

Ett lite mer applikationsinriktat föredrag fick vi från Trumpf Laser GmbH då Lara Bauer redogjorde för UKP-laserskärning av spröda material. Hon visade först för de typiska skador som kan uppstå både på själva snittytan, men också strax under densamma inuti själva materialet. Lösningförslaget var att använda hög laserintensitet fördelad över ett antal fokalfunkter, s.k. multispot-teknik, vilka var positionerade efter varandra men med en viss vinkel i förhållande till skärriktningen. Den experimentella uppställningen, med vilken man skurit i glas, bestod av en TruMicro 5050-laser med en våglängd på 1.030 nm och en pulsfrekvens kring 200 kHz. Vidare använde man ett "scanner"-verktyg med en f-theta-lins med 56 mm brännvidd.



Figur 20. Med en avsmalnande optisk fiber utvecklad vid ORC går det att skapa intensitetsfördelningar av "doughnut-typ" med såväl radiell som azimutell polarisation.

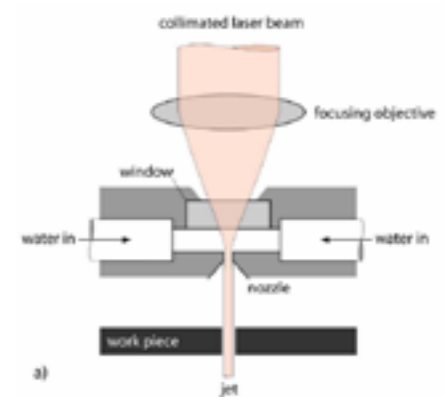
Medelvärden för fokalfunkternas diameter var $16,8 \pm 0,4 \mu\text{m}$, och antalet punkter liksom deras inbördes avstånd hade varierats. Den bästa processeffektiviteten, uttryckt i avverkat material per tidsenhet, fick man då pärlbandet av fokalfunkter var placerat i 35° vinkel i förhållande till skärrikt-



Figur 21. Med multispot-teknik (ovan) går det utmärkt att skära i exempelvis glas. Dock har vinkeln mellan fokalfunkterna och skärriktningen (θ) betydelse för resultaten; 35° gav högsta avverkningsgrad per tidsenhet medan 20° resulterade i bästa snittkvaliteten.

ningen. Ju större antal fokalfunkter som användes desto mindre antal repetitioner krävdes för att nå samma ablationsdjup med konstant total energitillförsel. Däremot visade sig en vinkel på 20° ge den bästa snittkvaliteten [Fig. 21]. Man hade även tittat på att arbeta med flera parallella rader av fokalfunkter för att ytterligare reducera skadorna vid glasskärning, men mera härom lär vi få höra vid kommande laserkonferenser.

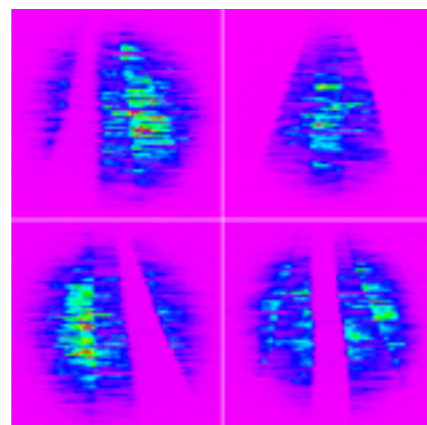
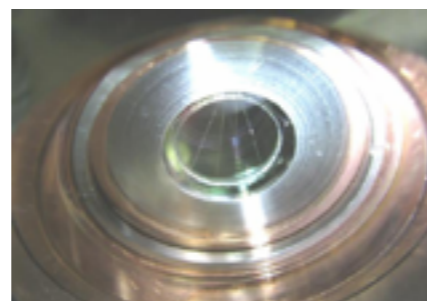
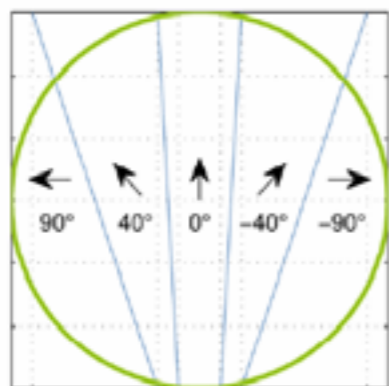
Härnäst stod Dr. Bernold Richerzhagen från Synova S.A. i tur att berätta om skärning av PCD/WC [WolframCarbider med en 0,4 mm tjock PolyCrystalline Diamond-beläggning] –verktyg med en teknik man valt att kalla Laser MicroJet® [LMJ]. Metoden innebär att man kombinerar en laser med upp till 200 W effekt med en vattenstråle som har ett maximalt tryck kring 700 bar. Den senare kyler det material som skall laserskäras, vilket har en positiv inverkan vid skärning av spröda material som keramer och diamanter. Dock har metoden sina begränsningar då



Figur 22. I jämförelse med såväl trädgnistning som konventionell laserskärning av tungstenkarbid ger Laser MicroJet®, vars princip syns (ovan), såväl en högre processhastighet som bättre skärnsnitt.

produktiviteten med en skärhastighet som var 10(!) gånger högre jämfört med konventionell laserskärning med ps-långa pulser. Trots detta var snittkanternas ytjämnhet ungefär jämbördiga med ett Ra-värde på 0,2 µm. Beträffande snittytorna var dessa mer parallella med LMJ-metoden jämfört med de övriga och resulterade inte heller i någon erosion mellan substrat och ytbeläggning vilket är fallet vid trädgnistning. Dr. Richerzhagen avslutade med att berätta att man uppnått dylika goda resultat med Laser MicroJet® i material med upp till 20 mm tjocklek.

Skärning med olika polarisation hos laserstrålen var temat för Herrn Tobias Häckers [Trumpf Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG] presentation. En första ansats var att ersätta en randomiserad polarisation med en radiell sådan, och då med en p-polarisation som visat sig ge högre absorption jämfört med en s-polarisation. Vid p-polarisering ligger det elektriska fältet parallellt med skärriktningen. Men p-polariseringens goda absorptionsegenskaper avtar ju längre ner i materialet man kommer p.g.a. nyckelhålets lutande framkant, varför denna polariseringstyp inte är optimal vid skärning i grövre material. De experimentella försöken hade utförts på 15 mm tjockt rostfritt material och föregåtts av omfattande simuleringsaktiviteter. Idén var att med en segmenterad s.k. vågplatta skapa en randmönstrad polarisation, där man i varje segment individuellt kan rikta in det elektriska fältet från en inkommande polariserad laserstråle. Dylika vågplattor hade tillverkats av företaget Gooch & Housego, och den typ av vågplatta som sedan användes i experimenten hade fem



Figur 23. Exempel på en s.k. segmenterad vågplatta tillverkad av företaget Gooch & Housego vilken ger laserstrålen en randmönstrad polarisation

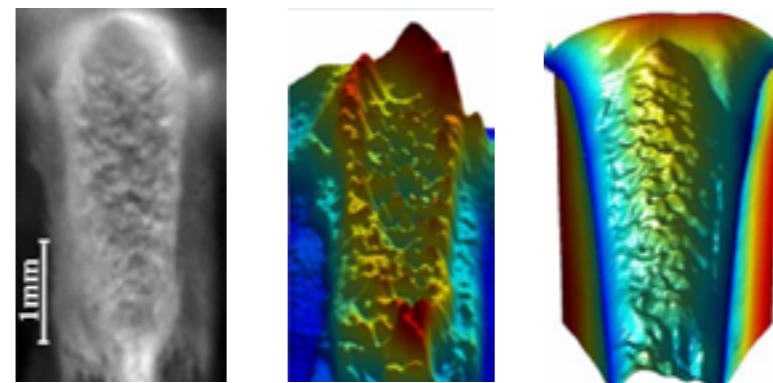
stycken segment [Fig. 23]. Resultaten från skärexperimenten med 4 kW lasereffekt visade att man med en randomiserad polarisation nådde en godkänd snittkvalitet upp till 0,35 m/min i skärhastighet och en absolut högsta hastighet på 0,47 m/min. Vid skärning med normal radiell polarisation var motsvarande värden 0,50 respektive 0,52 m/min, medan den randmönstrade polarisationen gav bäst resultat, nämligen 0,83 respektive 0,90 m/min [Tab. 1]. Alltså kan skärhastigheten i princip fördubblas då man använder denna skraddarsydd polarisation, dock är effekten av den betydligt mindre vid skärning i tunnare material. Den intresserade har mer att hämta genom att besöka "HALO":s hemsida www.halo-project.eu.

Sist i raden av talare vid denna laserskärningssession var "vår egen" professor Alexander Kaplan från Luleå Tekniska Universitet. Hans föredrag, som de flesta av oss närvarande svenskar kände igen, handlade om höghastighetsfilmning av skärfronten med 6.000 fps [frames per second] vid skärning av 7 mm tjockt kolstål. Särskild uppmärksamhet hade riktats mot

de "smältvågor" som rör sig neråt längs skärfronten med varierande hastighet och ger en skuggningseffekt som påverkar den infällande laserstrålen. De experimentella försöken hade kompletterats med simuleringar där gråskalebilder från höghastighetsfilmningen hade kombinerats med en enklare 2D-topologi för att på så sätt skapa en förenklad tredimensionell simuleringsmodell [Fig. 24]. Med denna hade det sedan gått att göra en absorptionsanalys av skärprocessen.

Tabell 1. Resultat vid skärning av 15 mm tjockt rostfritt material med 4 kW lasereffekt vid olika former av polarisering av laserstrålen.

	Randomiserad polarisation	Radiell polarisation	Randmönstrad polarisation
Skärhastighet vid godkänd snittkvalitet	0,35 m/min	0,50 m/min	0,83 m/min
Maximal skärhastighet	0,47 m/min	0,52 m/min	0,90 m/min
Förekomst av "skägg"	Klart synligt	Minimalt	Minimalt
Snittyta			



Figur 24. Genom att konvertera gråskalebilder från höghastighetsfilmning av nyckelhålsfronten vid laserskärning till enklare 2D-topologi, och vidare till en tredimensionell modell, får man ett utmärkt analysverktyg för att utvärdera effekten av det nedåtriktade smältflödet i nyckelhålets framkant.

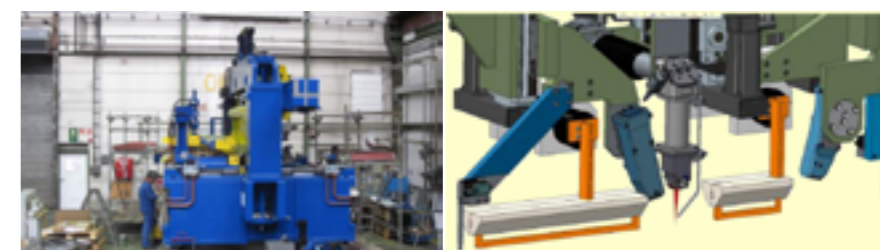
Lasersvetsning

Sessionen kring lasersvetsning leddes av gamle bekantingen Dr. Dirk Petring från ILT [Fig. 25], och förste talare var f.d. TKS-medarbetaren Herrn Christian Dornscheidt, numera verkande för SMS Group. Denna företagsgrupp har specialiserat sig på att leverera utrustningar till stålverk, och ett sådant exempel är deras "X-Pro® Laser Welder" för stumsvetsning av stålband "on-line". Kraven på dessa svetsar är att de endast behöver hålla i cirka 5 minuter, vilket är den tid det tar att haspla av en komplett stålroll med en processhastighet på 1.200 m/min! Under denna tid utsätts svetsen för dragspänningar kring 65 ton och tryckspänningar motsvarande 1.800 ton. En genomsnittlig kallvalslinje har en kapacitet på 2.400.000

ton per år, och typiska plåttjocklekar ligger mellan 1,0-6,5 mm och bandbredderna mellan 700-1.850 mm. Svetsmaskinen "X-Pro® Laser Welder" har måtten 3,5x7,5x3,8 meter och väger 65 ton [Fig. 26]. Den är försedd med två parallella precisionsklippverktyg och betjänas av en 8 kW slab-laser från Rofin Sinar. Svetsfogen kan värmas med två induktions-spolar, en framför och en bakom svetsen, och spolarnas inbördes avstånd kan varieras. Denna lokala värmeförsörjning gör att svetsgodset blir mindre sprött, vilket annars är risken med många HSS [High Strength Steel] -kvaliteter. Detta exemplifierades med en mätning av svetsgodset hos DP1000-material där eftervärmningen kunde sänka hårdheten från 500 till 400



Figur 25. Förnsnack inför sessionen kring lasersvetsning med frv. Christian Dornscheidt, Stefan Lindner och ordföranden Dr. Dirk Petring som ledde det hela med sedvanlig ackuratess.



Figur 26. Färdigställande av svetsmaskinen "X-Pro® Laser Welder" avsedd för sammansvetsning av stålband i en kallvalslinje, och t.h. de induktionsspolar placerade på vardera sidan om svetsen vilka kan nedbringa hårdheten i svetsgodset med ungefär 100 HV0.5.

Stefan Lindner från Outokumpu Ni-rosta berättade om lasersvetsning av austenitiska stål för kallformning, men också om martensitiska för varmformning. De förstnämnda tillhandahålls i kvaliteterna Forta H500, H800 och H1000, medan de varmformade finns i kvalitet Forta H1200, där H-värdet anger materialets sträckgräns. Grundläggande svetsförsök på Forta H800 med plåttjockleken 1,5 mm hade utförts enligt SEP [Stahl-Eisen

Prüfblatt] 1220-3 med en 4 kW disk-laser och man nådde då en svets-hastighet på 6,4 m/min. Ett annat försök visade på ett dynamiskt trepunkts böjprov av en profil som bestod av en platta som punktsvetsats till en med WIG [Wolfram Inert Gas] skarvad hattprofil [H800/H1000]. Islags-hastigheten låg på 24,5 km/tim, och man kunde efter detta fallprov konstatera en avsevärd ökning av hårdheten i svetsgodset [Fig. 27]. Ett praktikfall visade en bat-

Hv0.5. Därefter gick Herrn Dornscheidt in på att beskriva hur man säkrar kvaliteten och hur man väljer laserparametrarna vid olika ställkvaliteter. Det senare bygger på en automatiserad parameterberäkning baserad på en kolekivalentberäkning av själva götet. Denna har tagits fram i samarbete med Salzgitter Mannesmann GmbH, och man använder idag 16 olika parameteruppsättningar. Själva lasersvetsprocessen övervakas av ett Plasmo-system och en kamera, en annan kamera registrerar gapet mellan plåtarna medan en tredje utvärderar svetsgeometrin. Även en pyrometer ingår i utrustningen för kvalitetskontroll. Idag är det som sagt 8-12 kW CO₂-lasrar som gäller, men trenden tycks vara att gå mot fastkroppslasrar för att minska investerings- och driftskostnader. Här uttryckte emellertid herrn Dornscheidt vissa farhågor då dessa laserkällor har högre säkerhetskrav, men också snävare processfönster. Därför har man genomfört ett integrationstest med en 4 kW fiberlaser från IPG med goda resultat vid svetsning av 2 mm tjock stålplåt vilket gav en svets-hastighet på 6 m/min. När man emellertid valde plåttjocklekar över 3,5 mm verkade det svårt att undvika svets-sprut med denna typ av laserkälla. Förutom nya laserkällor för detta plåtskarvningssändamål överväger man också att införa laserskärning, istället för mekanisk klippning, av plåtändarna innan svetsning.

terikasett för "E-Mobility" i 1,2 mm tjockt Forta 1000, utvecklad i samarbete med ILT, vilken både laserskurits och -svetsats för att minimera inbyggda spänningar och distorsioner. Därpå övergick Herrn Lindner till att tala om varmformningskvaliteten Forta H1200PH som man tillhandahåller i tjockleken 1,5 mm. Detta är ett material som efter varmformning presenterar förlängningsvärden kring 15%, detta beroende på det höga austenit-innehållet på

mellan 30-50%. I FOSTA [Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V.] -projektet "P905" hade detta material lasersvetsats såväl före som efter varmförning. Vid stumsvetsning av materialet i dess mjukare tillstånd får man en markant hårdhetsökning i svetsgodset. Denna ökas ytterligare något under varmförningsprocessen, men kan till viss del reduceras om svetsprocessen föregåtts av en förvärmning av materialet [Fig. 28]. I samma projekt hade man i samarbete med ILT också tillverkat en demonstrator för krockprov som bestod av en vertikal sektion tillverkad i Forta H1200PH och en horisontal dito gjord i zinkbelagd HC340LA. Materialtjockleken i båda var 1,5 mm och de hade svetsats samman med hjälp av en 4,4 kW diskaser. Svetshastigheten låg på 3,2 m/min och som skyddsgas använde man Argon med ett flöde på 15 l/min.

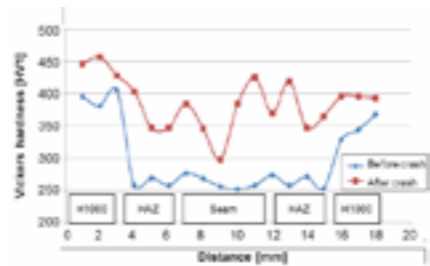
Välbekante professor Michael Schmidt, institutionsföreståndare för "Photonic Technologies" vid Friedrich-Alexander-Universität i Erlangen-Nürnberg hade med höghastighetsfilmning studerat förloppet vid lasersvetsning. Han menade att det är ytterst viktigt att kunna prediktera uppkomsten av svetsdefekter, och att den stora utmaningen ligger i att förebygga uppkomsten av desamma. Två olika uppställningar hade använts vid försöken, vilka båda byggde på två höghastighetskameror. I den första visualiserades nyckelhålet från ovan med en kamera, medan den andra registrerade hur nyckelhålets framkant betedde sig. I den andra uppställningen övervakades nyckelhålets framkant på liknande sätt, medan den andra kameran filmade nyckelhålet från sidan genom en glasplatta. I det senare fallet rörde sig smältan långsammare p.g.a. att laserljuset till viss del transmittades genom glasplattan. Därefter gick professor Schmidt över till att tala om den bildbehandling som är nästa steg i analysen, och där han ställde några välbefogade frågor:

Hur många bilder är nödvändiga med tanke på förekommande fluktuationer för att ge tillförlitliga värden?

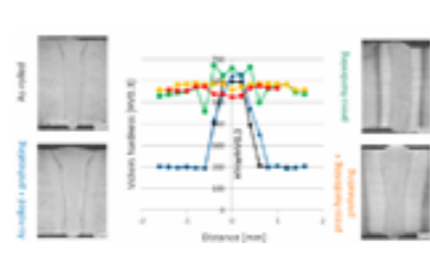
Är en förändring av svetsprocessens beteende överhuvudtaget mätbar?

Sker processförändringar omedelbart eller förekommer det en viss fördröjningstid?

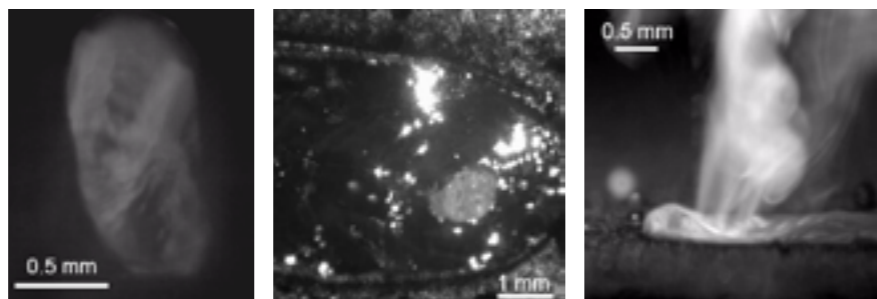
Hans slutsats var att övervakning av nyckelhålet ger de bästa indikationerna på en svetsprocess' stabilitet, i motsats till både övervakning av smältan, som kräver särskild belysning och uppvisar låg dynamik, som övervakning av plasmat som medför



Figur 27. Vid dynamisk belastning av en laser-svetsad stumfog i Forta-kvaliteterna H800/H1000 sker en avsevärd hårdhetsökning i svetsgodset.



Figur 28. Lasersvetsade stumfogar i Forta H1200PH har en hög hårdhet i svetsgodset, vilken ytterligare ökar under varmförningsprocessen. Att förvärma materialet innan svetsning kan emellertid motverka detta.



Figur 29. Enligt professor Michael Schmidt ger övervakning av nyckelhålet (t.v.) de bästa indikationerna på stabiliteten hos en lasersvetsprocess, medan övervakning av smälta respektive plasma är mindre tillförlitligt.

en större fördröjningstid vid registrering av svetsförloppet [Fig. 29].

Additiv tillverkning

Den additiva tillverkningen med laser är fortfarande ett "hett" ämnesområde, och förutom några traditionella presentationer inbakade i det ordinarie konferensprogrammet, hade en heldag, innan AKL:s officiella start, avsatts för detta tema. Denna dag avslutades också med praktiska demonstrationer vid ILT:s laboratorium. Vid denna heldag inledde Dr. Johannes Witzel från ILT med att hälsa en omfattande grupp LAM [Laser Additive Manufacturing] -entusiaster välkomna. Dr. Witzel, som f.ö. även är chef för det nya nätverket ACAM [Fig. 30], lämnade därpå över ordet till sin kollega Dr. Wilhelm Meiners som gav en bred föreläsning i ämnet. Dr. Meiners inledde med att jämföra de två metoderna LMD och SLM, där den senare medger en högre dimensionsnoggrannhet, $\geq 0,1$ mm mot $\geq 0,3$ mm, men den förstnämnda tillåter högre produktivitet i form av uppbyggnad per tidsenhet, 10-40 cm³/tim mot 2-10 cm³/tim. Därpå följde några praktiska fall med LMD såsom rekonditionering av tätningsspår i materialet Ti6246, gitterstrukturer i Inconel625, kompressorblad för turbiner och direktuppbyggnad av s.k. BLISKS



Figur 30. Stolta föreståndare för det nygrundade ACAM; Dr. Johannes Witzel (t.v.) och Dr. Kristian Arntz (t.h.).

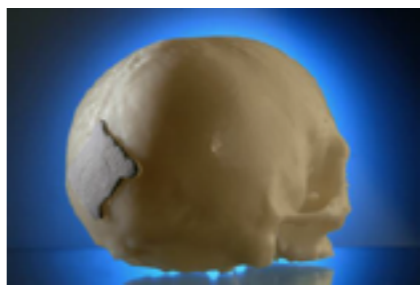
[Bladed discs]. Exempel på SLM-metoden var tandersättningar och implantat, men också insprutningsmunstycken för turbomaskiner och det "klassiska" Airbus-gångjärnet [Fig. 31]. Dr. Meiners menade att det är fyra succéfaktorer som bidragit till det stora intresset för additiv tillverkning;

- Kort tillverkningsstid då inga extra formverktyg krävs
- Monolitisk design där allt kan tillverkas som en integrerad enhet, vilket exemplifierades med ett insprutningsmunstycke som med konventionell tillverkningsmetod kräver 18 detaljer
- Bättre prestanda hos produkterna där extra funktioner kan integreras
- Viktsreduktion

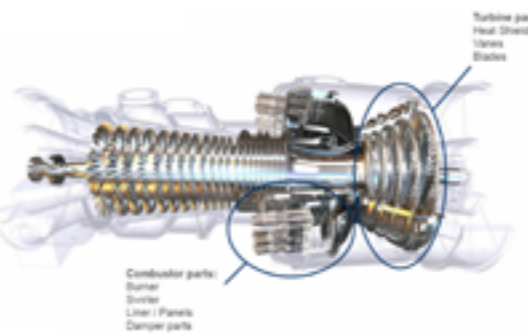
Vidare talade han om vertikala och horisontella tillverkningskedjor, där de förstnämnda utgjordes av pulver, process och maskinutrustning understödd av simuleringar och processkontroll. Den horisontella axeln bestod av design, additiv tillverkning, efterföljande värmebehandling och slutfinish.

Bland nyheter visade Dr. Meiners upp en "flerstrålemaskin" som arbetar med fyra separata laserstrålar för att öka produktiviteten, vilket fortfarande är LAM-teknikens "Achilles-häl". Ett annat sätt att öka processhastigheten är att jobba med en mångfald fokuspunkter genererade från diodlaser kombinerade med lokal skyddsgastillförsel. Bland nya pulvermaterial som håller på att undersökas vid ILT nämndes NiTiNOL som är en magnesium/koppar-legering samt Inconel738 LC. Avslutningsvis presenterades en monolitisk design, alltså ett objekt tillverkat som en enda detalj genom SLM, men som i sig hade rörliga delar.

Tidigare Alstom-medarbetaren Dr. Julius Schurb, numera representerande General Electric [GE] berättade om tillverkning och provning av SLM-tillverkade komponenter till gasturbiner. Han menade att den additiva tillverkningen inte längre begränsas till s.k. rapid prototyping utan metoderna används numera för tillverkning av riktiga produkter. Reservdelar blir lätta att tillverka mot behov och önskemål, reparation av dyra komponenter är ekonomiskt fördelaktigt jämfört med att tillverka nytt, och metoden möjliggör små designförändringar i sent skede av produktutvecklingen. Han visade på hur brännkammare och turbindetaljer till motorer ledde till avsevärd ledtidförkortning [Fig. 32], men att problemet vid provning är att denna måste utföras på kompletta och dyra motorer. Bland de "läxor" man lärt på GE är att SLM och konventionella tillverkningsmetoder måste komplettera varandra, och att man verkligen från början konstruerar för additiv tillverkning och inte kopierar en befintlig design. Detta är väl något som vi hört förr



Figur 31. Några exempel på SLM-tillverkade artiklar; frv. tandersättningar, skallimplantat, insprutningsmunstycken och det välkända Airbus-gångjärnet tillverkat med konventionell teknik (överst) respektive SLM (underst).



Figur 32. Hos General Electric används SLM-tekniken inte bara till prototyper utan även till rena produktionsdetaljer av komponenter som ingår i brännkammare och turbiner.

då det gäller laserbearbetning, eller hur? Mr. Schaub avslutade med att betona att det numera är GE:s kunder som kräver LAM-tillverkade produkter.

Ett företag som specialiserat sig på just additiv tillverkning är Polyshape S.A.S., och nu fick vi möjlighet att lyssna till dess grundare Dr. Stephane Abed. Företaget har idag 62 anställda och opererar på fyra olika produktionsorter. Sammantaget förfogar man över 24 maskiner för additiv tillverkning med såväl laser som elektronstråle. På lasersidan använder man maskiner av fabriken EOS, Trumpf, Concept Laser och SLS med en maximal effekt på 1 kW, men det märktes tydligt att Dr. Abed hade en viss förkärlek till EB [Electron Beam]. Här har man tillgång till modellerna Arcam A2X och Arcam 220, där den förstnämnda kan ha en temperatur i kammaren upp till 1.100 °C [Fig. 33]. Oftast använder man 3 kW effekt och en kammartemperatur mellan 700-750 °C vilket gör att man direkt kan frigöra de spänningar som annars byggs in i strukturen. Vakuumtrycket i kammaren ligger på 10-3

mbar och man använder helst Helium som skyddsgas. Typiska skiktjocklekar ligger kring 90 µm, och det är också fullt möjligt att bygga med s.k. överhäng.



Figur 33. Arcam A2X är en elektronstrålebaserad maskin för SLM. Temperaturen i dess vakuumkammare kan varieras upp till 1.100 °C, vilket gör att man kan undvika de spänningar som annars riskeras byggas in i den tillverkade komponenten.

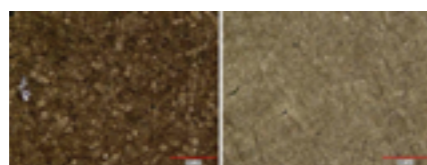
Därefter uppehöll sig Dr. Abed med lite synpunkter kring designen då det gäller additiv tillverkning med pulver. En finess kan vara att integrera den s.k. supportstrukturen i själva konstruktionen, vilket gör att man inte måste skapa stöd som skall koppla till arbetsplattformen [Fig. 34]. Oftast är det en tidskrävande operation av avlägsna dessa supportstrukturer, något som med en ”smart” design kan undvikas. Ett praktiskt fall som visades upp handlade om en luftkanal till flygplansmodellen Falcon vilken tidigare tillverkats av åtta separata detaljer, men som nu kunde tillverkas i ett stycke med pulverbäddsteknik. Då komponenten tillverkades med elektronstråle använde man förvärmning av pulverbädden för att erhålla en bättre kvalitet och lägre pormängd. Nackdelen med detta förfaringsätt är att processen kräver en viss avkylningstid mellan de olika uppbyggnadsskikten. Detta innebar att den totala tillverkningstiden blev 26 timmar per luftkanal med en pormängd på 0,4%. Om man istället använde SLM-maskinen 500HL med fyra parallellarbetande laserkällor med vardera 400 W effekt kunde såväl tillverkningstid som porositet reduceras. I det senare fallet användes ingen förvärmning av pulverbädden, skyddsgasen var Argon, tillverkningstiden per luftkanal blev 16 timmar med endast 0,3% pormängd. Alltså var lasertekniken i detta fallet att föredra framför elektronstrålebaserad additiv tillverkning. Dock hävdade Dr. Abed att om det rörde sig om mer svårbehandlade och sprickkänsliga superlegeringar var EB-tekniken att föredra.

GKN Sinter Metals Engineering representerades här av Simon Höges, som inledde med att berätta att företaget tillverkade 11 miljoner additivt tillverkade detaljer om året, vilket motsvarar en global marknadsandel på 18%. Man har ett intimt samarbete med Höganäs, som i sin tur producerar 285.000 ton pulver om året vilket är en fjärdedel av marknadsbehovet. Därför var det inte överraskande att hans föredrag mest handlade om pulvermaterial där rostfritt 316L och verktygsstålet 1.2709 är de som mest används inom GKN-företaget. Om man tittar på kostnadsfördelningen vid additiv tillverkning utgör maskinkostnaden 38% och materialkostnaden 13% idag, men Herr Höges menade att fördelningen i framtiden kommer att vara den omvända där tillverkningsdelen, med snabbare maskiner, kommer att ligga kring 25% medan pulvermaterialet kommer att



Figur 34. Genom att integrera supportstrukturen i konstruktionen kan man bespara det annars kostsamma avlägsnandet av densamma vid efterbearbetning av detaljen.

utgöra 35% av totalkostnaden. Det pågår omfattande forskning inom pulvermetallurgi, där pulverkvaliteten utvärderas med s.k. Avalanche test, och en trend är att gå ifrån dagens gasatomiserade pulver till vattenatomiserat sådant [Fig. 35]. Det senare ger lägre E-modul och förlängningsvärden, men medför i gengäld högre sträck- och brottgränsvärden än detaljer additivt tillverkade med gasatomiserat pulver.



Figur 35. Mikrotvårsnitt genom detaljer tillverkade med gasatomiserat (t.v.) respektive vattenatomiserat pulver (t.h.).

En mer handgriplig presentation kring LMD hölls av Mr. Scott Poepel från Joining Technologies Inc., ett företag med cirka 70 medarbetare lokaliserat i Connecticut i USA. Man har specialiserat sig på beläggning av rör och andra komponenter för ångpannor till elproduktionssektorn, detta för att öka deras livslängd och på så sätt minska WTE [Waste To Energy] vid elproduktion. Målet var att fördubbla pannornas livslängd, vilket kan vara en utmaning i sig då de vanligtvis har arbetstemperaturer mellan 870-1.100 °C och arbetstrycket ligger på 60-83 bar. Grundmaterialet är det låglegerade stålet SA-213-122 vilket beläggs med Ni-Cr-W-pulver. Typiska skiktjocklekar ligger mellan 0,75 och 1,75 mm och beläggningen har en hårdhet på mellan 880-1.100 Hv. Sin första stororder fick man 2013, vilken krävde 24/7-arbetstid då rören som skall beläggas ofta överstiger 10 m i längd [Fig. 36]. Mr. Poepel påpekade att ytbehand-

lingen innan påläggning är viktig om man skall kunna minimera inlösningspulver i substratet. Idag har man levererat och installerat 27 stora ångpannor, och prognosen för 2016 är att man kommer att förbruka 28.800 kg pulver under året.



Figur 36. Laserpåläggning av rör för ångpannor har blivit något av en specialitet för företaget Joining Technologies Inc., och då rören oftast är mer än tio meter långa är det tillverkning ”round the clock” som gäller.

Siste talare i sessionen kring additiv tillverkning var svenske Peter Jonsson från GKN Aerospace i Trollhättan. Denna division inom GKN-koncernen sysselsätter 17.500 anställda av koncernens totala 56.000 personer. Additiv tillverkning har länge varit ett fokusområde med drivkrafter som reducerade ledtider, minskade kostnader och högre prestanda. I och med förvärvet av Fokker 2015 har behovet av kompetens inom additiv tillverkning ytterligare accentuerats. Idag förfogar man över tre utvecklingscentra; St. Louis i USA, Filton nära Bristol i England samt Trollhättan i Sverige. Forskningen kan indelas i tre huvudområden;

- LMD av storskaliga komponenter som utförs med tråd kombinerad med antingen laser eller plasma
 - LMD av finare strukturer vilket utförs med såväl tråd som pulver
 - SLM där man använder både laser eller elektronstråle som energikälla
- Det vanligast förekommande materialet vid additiv tillverkning är Ti6Al4V, men för SLM förekommer också en hel

del Inconel-kvaliteter. En imponerande demonstrator var en förvaringsbox i Ti-6-4 som helt byggts upp med LMD och tillsatsstråd och som vägde hela 18 kilo. I Trollhättan förfogar man över en 8 kW diskklaser i eget laboratorium, men annars sker ett intimt samarbete med PTC [ProduktionsTekniskt Center] vid Högskolan Väst. Där hittar vi en 6 kW fiberlaser från IPG som används för additiv tillverkning med trädmateriäl, men också till vad Herr Jonsson valde att kalla adaptiv lasersvetsning.

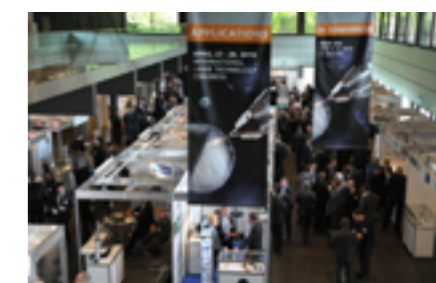
I den här delen av min rapportering från AKL'16 har jag beskrivit senast nytt vad beträffar laserkällor samt de senaste forskningsrönen inom laserskärning,

-svetsning och additiv tillverkning med lasern som verktyg.

Fortsättning följer i del II, sid. 36, då jag främst kommer att fokusera på den s.k. Technology Business Day [TBD] som föregick den egentliga konferensen. Då kommer ni att få veta mer om lasermarknaden i stort med speciell tyngdpunkt på Tyskland, Kina, Japan och den amerikanska kontinenten. Därtill kommer utvecklingen inom laserspecifika branscher som metallbearbetning, flyg- och bilindustri samt mikroelektronik att diskuteras. Slutligen kommer vi att avslöja vem som tog hem det eftertraktade ”Innovation Award Laser Technology” med tillhörande prischeck på 10.000 euros vid den högtidliga

banketten i Aachens rådhus [Fig. 37].

Mitt sammanfattande intryck blir emellertid att årets AKL-konferens var något av en besvikelse. Nyheterna var få och det var mycket ”gammal skåpmat” som vi kände igen från AKL'14. Deltagarantalet är emellertid fortfarande högt, men det krävs nog att organisationskommittén med Dr. Axel Bauer i spetsen, höjer ribban till nästa evenemang, annars lär man nog förlora en del trogna besökare till den konkurrerande laserkongress som arrangeras av Fraunhofer-kollegorna vid IWS [Institut für Werkzeug- und Strahltechnik] i Dresden. ■



Figur 37. Stämningen var hög under AKL'16:s bankett i Rathaus Aachen då de församlade spånt väntade på att få se vem som vunnit det prestigefyllda ”Innovation Award Laser Technology”



Additiv tillverkning var specialtemat vid Laser-Anwenderforum i Bremen

Johnny K Larsson,
Autokropolis Engineering

Laser AnwenderForum, eller kort och gott LAF, är en gemytlig laserkonferens som sträcker sig över två dagar och arrangeras av BIAS [Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik]. Det som främst skiljer denna från andra laserkonferenser är dess fokusering på industriella tillämpningar av lasertekniken i alla dess former. Således hade BIAS' egen forskning tonats ner i presentationerna, men vi deltagare fick trots detta en inblick i denna i samband med andra dagens besök i BIAS' laboratorier i den imponerande LION-byggnaden. Då gavs ett tiotal forskardoktorander möjlighet att först beskriva sin forskning i en tvåminuters s.k. flashpresentation, varpå vi efteråt kunde besöka motsvarande demonstrationer i laboratoriet, där möjligheter gavs till en djupare dialog med de olika forskarna.

I sitt traditionella inledningsanförande bekräftade institutsförstandaren, professor Frank Vollertsen, att LAF-konferenserna genom åren gått från en akademisk till en mer industriell inriktning. LAF'16 var den tionde i ordningen, och det hela inleddes 1987 på initiativ av dåvarande BIAS-förstandaren professor Seepold, vilken f.ö. alltså brinner för lasertekniken och därför, trots sin aktionsvärda ålder, fortsätter att bevista arrangemangen. Årets konferens hade lockat 130 deltagare, av vilka 80% kom från industrin, vilket var något av ett rekord, men samtidigt indikerar detta att



man är på väg att "växa ur" de lokaler i Dorint Park Hotel där LAF-konferenserna traditionsenligt avhålls [Fig. 1]. Vid Laser AnwenderKreis' styrelsemöte, där under tecknad har förmånen att sitta med på Svetskommissionens mandat, diskuterade vi därför att kanske nästa gång avhålla LAF'18 i Bremen Congress Centrum. Inte minst lider den fackutställning som är kopplad till konferensen av de begränsade lokalerna, och detta år tvingades organisationskommittén att begränsa antalet utställare. Liksom andra laserkonferenser börjar även LAF få en mer internationell prägel, och Dr. Vollertsen lät meddela att man förutom från Tyskland kunde räkna in deltagare från bl.a. Kina, Japan, Australien, Ungern, Polen etc.

Årets "keynote"-talare var Dr. Claudio Dalle-Donne från Airbus som berättade om olika laserprocesser som används inom koncernen. Inte minst inom området additiv tillverkning ser man en stor potential, men väljer att gå långsamt fram då det gäller att kvalificera såväl teknologin som de processer den är sammankopplad med, vilket också innefattar pulvermaterialet som sådant. Ett annat intressant användningsområde var laserchockpening där ett plasma genereras i vatten och därmed skapar tryckvågor mot det aktuella objektet. Metoden används

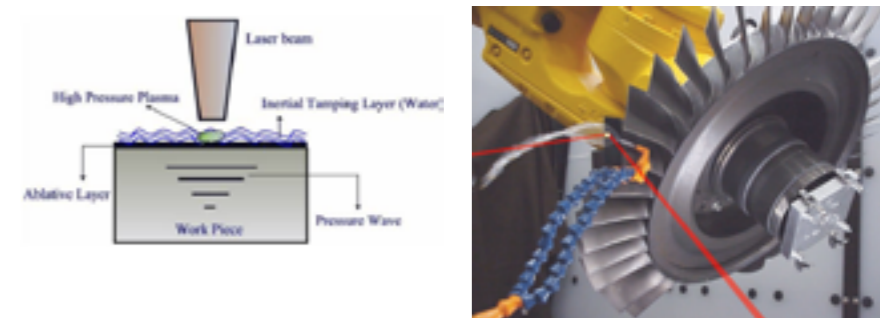


Figur 1. I sitt inledningsanförande kunde professor Vollertsen konstatera att LAF-konferenserna numera samlar så pass många deltagare att man kanske vid nästa evenemang tvingas skiljas från konferenslokalerna i anrika Dorint Park Hotel.

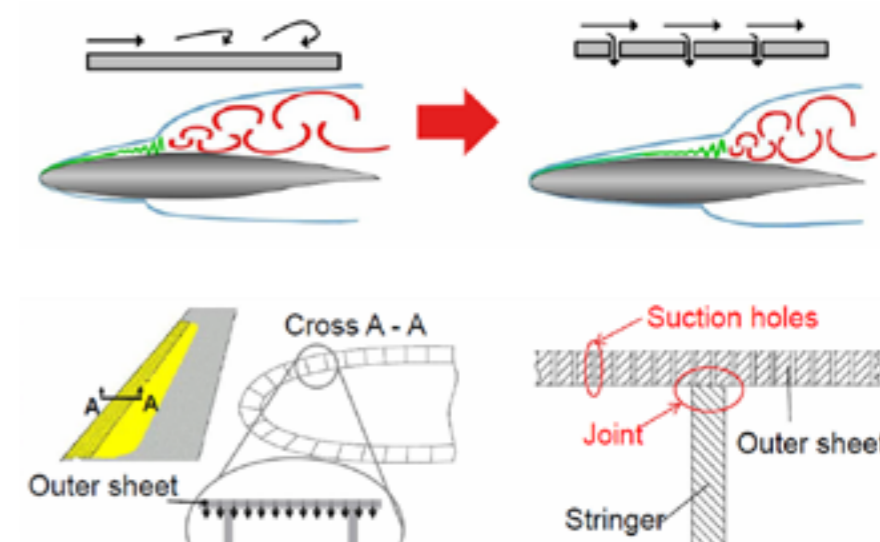
för att förbättra utmattningssegenskaperna hos turbinblad då djupverkan blir större jämfört med kulblästring [Fig. 2]. Sålunda hade man i experiment konstaterat en tiofaldig ökning av livslängden och en halvering av tillväxten av ytsprickor jämfört med konventionell kulblästring. Metoden kan även användas vid plåtförning och vid reparation, och här fick vi veta att Toshiba marknadsför ett verktyg för laserchockpening som arbetar i det gröna våglängdsområdet och som väger omkring 40 kg.

För att åstadkomma en bättre limvidhäftning till Titanium använder Airbus lasern som ett ytbehandlingsverktyg, men den kanske mest spännande tillämpningen var borring av stora mängder mikrohål i flygplanens vingar och paneler. Detta görs för att öka den laminära strömningen kring flygplanskroppen och minska turbulent dito [Fig. 3]. Därmed minskas luftmotståndet, vilket gör att bränsleförbrukningen kan reduceras, alternativt att lastkapaciteten kan ökas. Praktiska exempel på detta fick vi under det ovan nämnda laboratoriebesöket, men eftersom denna omfattande perforering kan leda till andra problem som exempelvis reducerad hållfasthet, kan jag lugna läsaren med att detta fortfarande är på forskningsstadiet och inte har implementerats på verkliga flygplan.

Holger Alder från Photon AG, som f.ö. är ett avknoppningsföretag till INPRO [Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH] har ni ju tidigare fått stifta bekantskap med i artikelserien "Samtal kring lasertrender", och nu fick den gode Holger möjlighet att för ett större auditorium beskriva sin succéartade tillverkning av vagnskorgar till järnvägsagnar med hjälp av lasersvetsning [Fig. 4]. DB [Deutsche Bundesbahn] planerar att ersätta tidigare ICE-tåg med en fjärde generation [projekt ICx] under 2017-2022. Det rör sig om totalt 130 kompletta tågsätt, och då varje sådant 12-vagnarståg betyder 8.000 meter lasersvets torde Herr Alder få fullt upp att göra under den närmaste framtiden. Idag tillverkar Photon AG 30 olika varianter av vagnssidor med 7 olika svetsföljder och totalt använder man 2.400 (!) svetsprogram. Men Holger har ambitionen att utvidga verksamheten till tillverkning inom andra branscher. Detta illustrerade han med lasersvetsning av förstärkningsrillor, i tjocklekar upp till 22 mm, till fartygspaneler, och svetsning av koniska avgasmunstycken i 0,7-1.0 mm



Figur 2. T.v. principen för laserchockpening, en metod som bl.a. kan användas för att förlänga livslängden hos turbinblad.



Figur 3. Den laminära luftströmmen kring en flygplansvinge kan göras gynnsammare genom att perforera vingens framkant med 40 µm stora "mikrohål", vilka borras med hjälp av en pulslas TruMicro-laser.



Figur 4. Såväl vagnssidor som takpaneler till ICE-tågens vagnskorgar lasersvetsas i nybyggda lokaler hos Photon Laser Manufacturing GmbH i Schönwalde-Glien nära Berlin. Lasercellen har en längd på 25 meter och totalt använder man sig av 2.400 olika svetsprogram.



Figur 5. Den utvidgade verksamheten kring lasersvetsning inkluderar såväl 22 mm tjocka fartygspaneler (t.v.) som avgasmunstycken (grönmarkerad t.h.) i Ti-6Al4V med en vägg tjocklek på 0,7-1,0 mm.

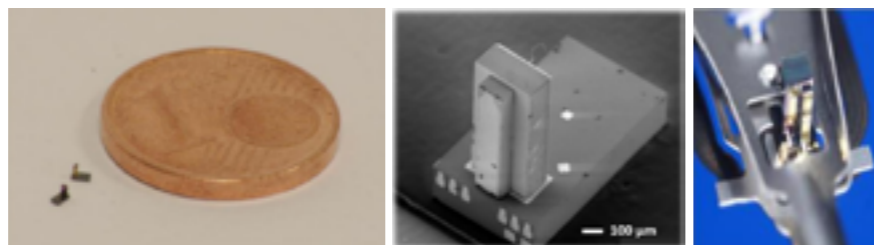
tjockt Ti6Al4V för jetmotorer [Fig. 5]. Beträffande additiv tillverkning visades på en brännkammare till en gasturbin tillverkad i Nickelbaslegering med hjälp av LMD [Laser Metal Deposition], och en SLM [Selective Laser Melting] –tillverkad ring till en brännkammare även denna tillverkad i Nickelbas.

Beträffande bilindustrin har Photon AG en lång erfarenhet inom främst laserlödning där man hjälpte VW med det första laserlödda taket introducerat på Passat-modellen 1995 i Emden-fabriken. Denna följdes senare av laserlödda bakluckor till modellerna Bora och Jetta 1997, och 1998 följde så laserlödning av takpanelerna till Polo-modellen. Förutom i Tyskland har man varit framgångsrika med liknande applikationer i USA som exempelvis laserlödda bakluckor till Chryslers Dodge Dart. Framledes sade sig Herr Alder tro på en omfattande laseranvändning inom s.k. e-Mobility där batterikomponenter i aluminium och koppar kan lasersvetsas samman.

Efter dessa inledande exempel på laseranvändning på makro-nivå var det dags för två föredrag kring mikrobearbetning med lasertechnik. Det första hölls av Moritz Seyfried från ficon TEC Service GmbH, ett företag med cirka 100 medarbetare och en årsomsättning på 15 miljoner euros. Man tillverkar skriv- och läsdon för s.k. HAMR [Heat Assisted Magnetic Recording] –teknik, där komponenter på sub-mikrometernivå laserlöds på plats med en linjärriktighet på $\pm 0,5 \mu\text{m}$ och en vinkelnoggrannhet på $\pm 0,1^\circ$ [Fig. 6]. För ändamålet används en diodlaserkälla med 12 W effekt och en våglängd på 915 nm, och lödningoperationerna utförs med en hastighet kring 1 sekund/fog. Man hade även undersökt alternativa sammanfogningsmetoder såsom ”hot plate”, ultraljud, mikrovågor och induktion, men det visade sig att det var endast vid laserlödning som de snäva toleranskraven kunde innehållas.

Ett annat exempel handlade om mikrosvetsning av s.k. TOSA [Transmitter Optical SubAssembly] -element till optiska fiberändar [Fig. 7]. Här var kravet på geometrisk noggrannhet efter svetsning inom $2 \mu\text{m}$, och svetsningen utfördes med en pulsad Nd:YAG-laser från Miyachi. Pulsenergin var 25 J med en varaktighet på 5 ms, och med en särskild uppställning kunde man skapa tre närliggande fokuspunkter vilka var vertikalt åtskilda.

Det andra föredraget om mikrobearbetning hölls av diplomingenjören Peter



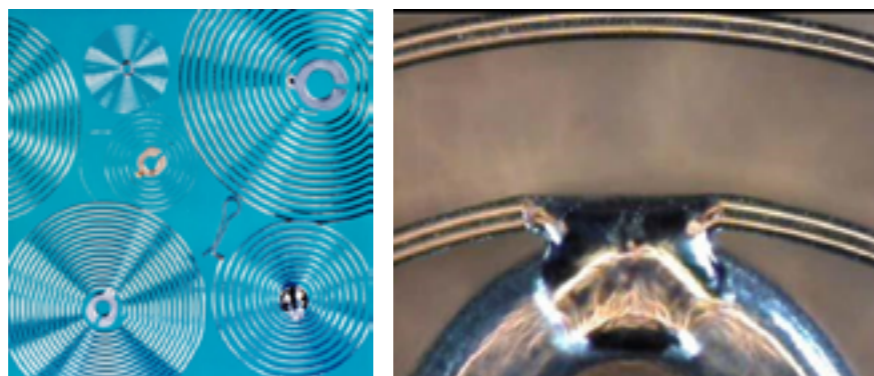
Figur 6. Skriv- och läsdon på sub-mikrometernivå laserlöds på plats med en linjärriktighet på $\pm 0,5 \mu\text{m}$ och en vinkelnoggrannhet på $\pm 0,1^\circ$



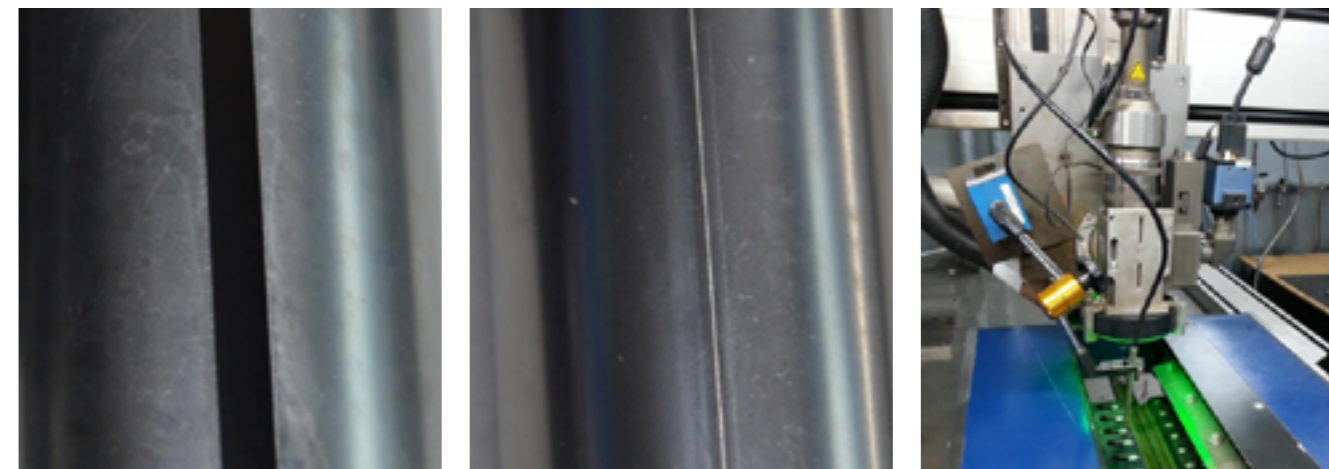
Figur 7. Dessa TOSA-element lasersvetsas med en pulsad Nd:YAG-laser, där pulsenergin ligger på 25 Joule och där man använder en uppställning (t.h.) som ger tre närliggande fokuspunkter.

Schlüter från LMB Laser-Materialbearbeitungs GmbH. Initialt arbetade företaget med laserpåläggning men övergick så småningom till mikrosvetsning av tunna plåtar och trådar. Materialtjockleken hos de förra ligger under 0,5 mm och trådarnas diameter understiger vanligtvis 0,4 mm. Lägg därtill att materialen oftast utgörs av koppar eller aluminium så är det lätt att förstå de utmaningar man ställs inför. Vid cw [continuous wave] –svetsning används effekter upp till 1 kW, medan högst 100 W nyttjas då det rör sig om pulsad svetsning. Fokalpunksstorleken varierar mellan 0,02 och 0,6 mm beroende på applikation, och brännvidden ligger vanligtvis kring 200 mm. Ett exempel på användningsområde är

svetsning av fjädrar till mekaniska klockor [Fig. 8]. Andra tillämpningar hittar vi hos allehanda kopplingar, bipolär-plattor och tunnväggiga rör. Med tanke på de senares tunna väggtjocklekar påpekade Herr Schlüter att fixeringen av detaljerna blir av avgörande betydelse, och att man bl.a. använder sig av rörliga mothåll för att kompensera för rörelser i materialet [Fig. 9]. Typiska värden för dessa rör är att de har en diameter mellan 40-110 mm och en godstjocklek på 0,2 mm. En TruDisc4002-laser hade använts vid rörsvetsningen och som ovan nämnts använde man som mest 1 kW. Svetsastigheten uppgick till 700 mm/min, fokalpunksdiametern var 0,4 mm och Argon användes som skyddsgas såväl på rørets utsida som dess insida.

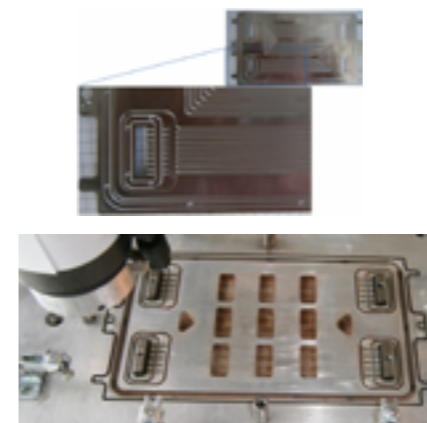


Figur 8. Mikrosvetsning av fjädrar till mekaniska klockor där fjädermaterialet Nivarox svetsas till ett nav i brons.



Figur 9. Vid svetsning av tunna rör med en väggtjocklek på 0,2 mm används en fixtur (t.h.) med rörliga mothåll för att kompensera för de rörelser som uppstår i materialet under svetsningen.

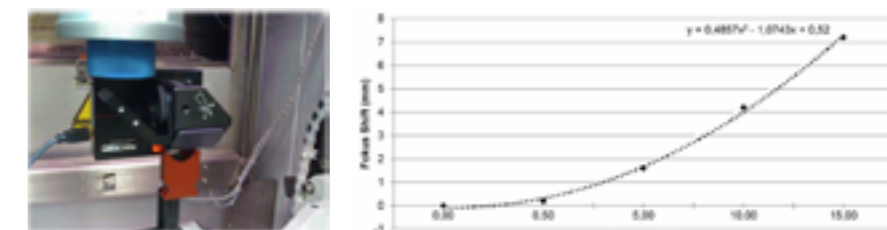
Bland andra exempel kan nämnas svetsning av tunna kopparfolier där man med en laser i det gröna våglängdsområdet hade förbehandlat ytan i så måtto att den fick en grövre struktur och ett oxidskikt. Detta visade sig vara gynnsamt för inkopplingen av laserstrålen vid svetsoperationen vilken genomfördes med effekter mellan 700-1.350 W, men Herr Schlüter menade att man inte behövde förbehandla hela ytan utan endast i det område där svetsprocessen avsågs att starta. Ett sista exempel handlade om bipolärplattor till solceller med måtten $200 \times 100 \text{ mm}$. Här var fixturen försedd med skåror för tryckluft vilket gjorde att man fick en absolut tillslutning mellan de tunna membran som skulle sammansvetsas [Fig. 10]. Svetsningen genomfördes sedan med en TruFiber-laser från Trumpf med 160 W medeffekt pulsad med 500 Hz, en $20 \mu\text{m}$ stor fokuspunkt och koaxiellt tillförd skyddsgas i form av Argon.



Figur 10. Svetsning av bipolärplattor till solceller utförs i en fixtur försedd med skåror för tryckluft, vilket gör att man åstadkommer en nollspalt mellan de tunna membran som skall sammansvetsas.

Därpå följde ett block av presentationer som behandlade nyheter kring laserverktyg, och förste talare här var Markus Revermann från Ophir Spiricon Europe GmbH som berättade om beröringsfri mätning av stråLPARAMETRAR hos högefektlasrar. För detta kan man idag erbjuda produkter som kan mäta upp till 5.000 J i pulsenergi och 120 kW medeffekt. Det är energitätheten, uttryckt i W/cm^2 , som registreras med mellan 2-10 mätvärden per sekund. Värdena varierar över tiden genom påverkan från laserkälla, distributionsfiber och använda laserverktyg. Med verktyget Spiricon Beam Profiler

med integrerad CCD-kamera går det att mäta fokalpunksposition [Fig. 11] liksom ett antal andra stråLPARAMETRAR angivna i standarderna ISO-13694 och ISO-11146. Det hela illustrerades med uppmätningar från dels en 100 kW fiberlaser, dels en 16 kW disk laser. Vidare presenterade Herr Revermann fokalpunksförskjutningen i z-led för några olika lasereffekter och fokalpunksstorlekar [Tab. 1]. Han avslutade med en tänkvärd reflexion: Genom att använda sig av en bättre strålkvalitet krävs lägre effekt vid laserbearbetning, vilket totalt sett leder till kostnadsbesparingar.



Figur 11. Med verktyget Spiricon Beam Profiler med integrerad CCD-kamera kan man mäta fokalpunksförskjutningen vid olika lasereffekter.

Tabell 1. Exempel på uppmätta fokalpunksdiametrar och -förskjutningar vid olika lasereffekter.

Lasereffekt [W]	Fokalpunksdiameter [μm]	Fokalpunksförskjutning [mm]	Strålkvalitet [M ²]
500	386	0,2	18
5.000	407	1,6	26
10.000	418	4,2	26
15.000	430	7,2	26

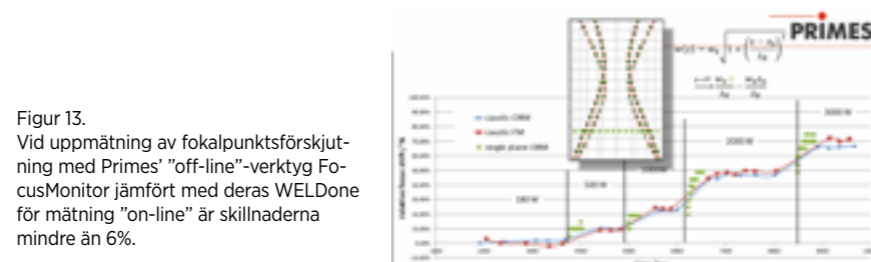
En välkänd profil i dessa sammanhang är Dr. Otto **Märten** från Primes, ett företag som kan erbjuda ett stort utbud av produkter för effektmätning och strålanalys [Fig. 12]. Primes grundades 1992 och har idag 70 anställda, samt har sedan starten levererat mer än 10.000 dylika verktyg. Denna gång hade den gode Otto valt att berätta om stråldiagnostik "on-line". För detta har Primes utvecklat verktyget PRIMES WELDone, vilket är mer kompakt jämfört med liknande verktyg utvecklade hos BIAS och Trumpf, och registrerar mätdata varannan sekund. Man hade jämfört "on-line"-resultaten med de "pre-process"-uppmätningar man gjort med Primes' väl beprövade FocusMonitor och kunde konstatera att avvikelserna i mätresultat vid 3 kW lasereffekt var mindre än 6% [Fig. 13]. WELDone är okänsligt för emissioner från själva laserprocessen och har framgångsrikt integrerats i ett antal kommersiella produkter som exempelvis "Smart Beam Control" i Trumpfs laserskärmaskiner. Nu går Primes vidare med att undersöka metodens användbarhet vid RLW [Remote Laser Welding] och SLM.

En av de mer innovativa lösningarna presenterades av Alexander **Laskin** från AdIOptica och handlade om strålomformning med hjälp av diffraktiva optiker. Ämnet hade även föredragits på LANE-konferensen tidigare under året, varför detaljerad information finns att hitta på annan plats i detta nummer av LaserNytt. Med sagda optik går det att omfördela laserenergin såväl längs den optiska axeln som vinkelrätt mot densamma [Fig. 14]. Presentationen handlade främst om det förstnämnda fallet där man genom att överlagra 2-4 separata fokuspunkter kan kontrollera svetsdjupet alternativt förbättra förutsättningarna vid laserskäring av grövre materialtjocklekar. Några intressanta svetsförsök utförda på aluminiumskum visade att man med olika fokalpunktsarrangemang kunde minska svetsstrutet avsevärt.

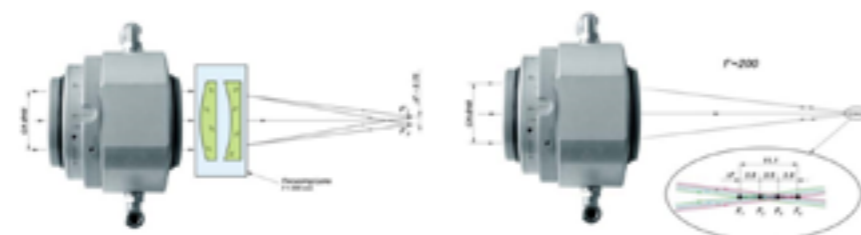
En annan välkänd profil i dessa sammanhang är Florian **Albert** från Scansonic. Även detta företag är liksom tidigare nämnda Photon AG, en avknoppning från INPRO och grundades 2000. Idag har man hela 256 medarbetare och har hittills sålt i storleksordningen 2.100 laserverktyg. Denna gång handlade Dr. Alberts presentation om aluminiumsvetsning med målsättningen att minimera svetsrågens ojämnheter. Bland exempel som visades upp var svetsning med taktill fögföljning med hjälp av tillsatsstråden vid



Figur 12. Några av Primes' verktyg för effektmätning och strålanalys.



Figur 13. Vid uppmätning av fokalpunktsförskjutning med Primes' "off-line"-verktyg FocusMonitor jämfört med deras WELDone för mätning "on-line" är skillnaderna mindre än 6%.

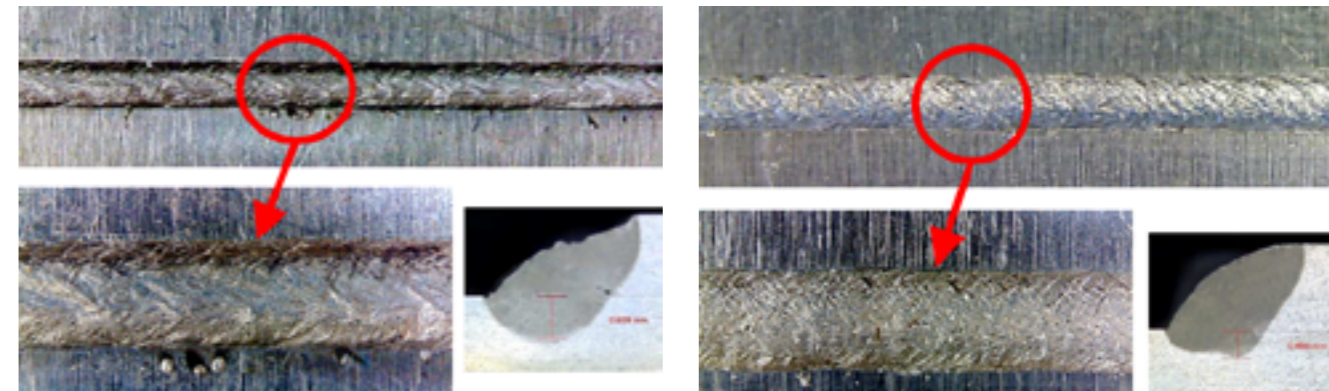


Figur 14. Med olika diffraktiva optiker från AdIOptica kan man skapa flera fokalpunktsmönster.

sammansättning av Audi Q5-bakdörren och fjärrlasersvetsning av A8-modellens sidodörrar. Åtgärder för att erhålla en slätare toppyta på fogen kan t.ex. vara att använda sig av tillsatsmaterial med hög Kisel-halt då detta minskar ytspänningen och därför resulterar i en visuellt tilltalande svets. Andra lösningar kan vara att använda en bifokal laserstråle där effektiviteten är högst i centrum för att optimalt kunna smälta ner tillsatsstråden, alternativt att använda sig av en oscillerande laserstråle. Experimentet hade genomförts med företagets klassiska ALO3-verktyg där AISi-tråd användes vid svetsning av AA6000-legeringar och motsvarande AlMgMn-tillsats vid svetsning av AA5000-material. Skyddsgasens inverkan hade överraskande nog marginell påverkan på svetsrågens utseende även om såväl Ar, He samt blandningar av dessa hade undersökts. Vid "remote"-experimenten hade man använt sitt "scanner"-verktyg RLW-A som inkluderar en fogföljningsfunktion baserad på triangulering, men med vilken det även går att detektera spaltvariationer

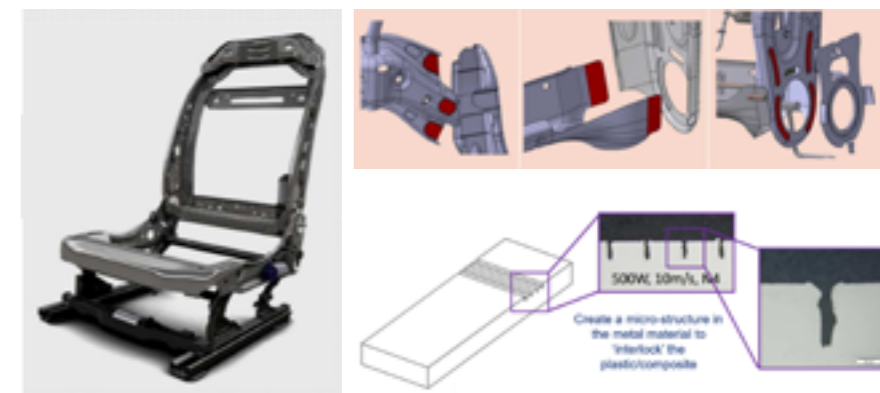
vid överlappsfogar. I verktyget finns vidare integrerat två "scanner"-uppsättningar; en för justering av fokalpunktspositionen och en avsedd för oscillering av laserstrålen. Man hade utfört svetsförsök såväl utan som med oscillering, där föga överraskande den senare gav en slätare toppyta hos svetsen, speciellt då amplituden sattes till $\pm 0,1$ mm [Fig. 15]. Större amplituder gav sämre resultat, och beträffande svetsstrut gav 600 Hz i oscilleringsfrekvens mindre av den varan jämfört vid svetsning med 200 Hz. Oscillering längs framföringsriktningen gav också mindre svetsstrut jämfört med oscillering tvärs densamma. Fokalpunkten var alltid placerad mellan plåtarna i överlappsfog, och en 200 μ m stor fokuspunkt gav jämnare svetsar än då en 600 μ m stor fokuspunkt användes.

En av många intressanta "laserbekantskap" som jag gjort under senare år är Geert **Verhaege** från Faurecia, ett företag som är stor underleverantör till bilindustrin inte minst då det gäller sätesramar och kompletta säten till personbilar. Även inom detta komponentområde är viktsbe-



Figur 15. Aluminiumsvetsning utan (t.v.) och med (t.h.) oscillerande laserstråle ger avsevärda skillnader i såväl utseende som tvärsnittsprofil. Oscilleringen utfördes med 600 Hz frekvens och en amplitud på $\pm 0,1$ mm.

sparing en avgörande faktor, varför man börjat titta på att kombinera polymert material med metaller i den bärande sätesstommen. Nu redogjorde sympatiske Geert för några resultat från EU-projektet "PMjoin", som hade genomförts i samarbete med bl.a. PSA [Peugeot Société Anonyme] och Valeo S.A. Här hade man studerat hur sätesgavlar i glasfiberförstärkt PolyAmid [PA-GF30] kunde fogas till övre och nedre tvärbalkar i medelhöghållfast stål [HC240LA] med hjälp av laser. I en föroperation strukturerades metallytan med 15-20 μ m breda och 100-125 μ m djupa skårer med 500 W lasereffekt och en processhastighet kring 10 m/sek, vilket gjorde att denna förbehandling tog inalles 15 sekunder [Fig. 16]. Därefter ansattes laserstrålen fokuserad till en relativt stor, kvadratisk fokuspunkt från metallsidan, varvid man fick polymeren att smälta och flöda in i dessa skårer för att därigenom skapa en maximal hållfasthet i fogen. Inverkan av olika variabler såsom skår djup, distans mellan skårorna, i vilken vinkel i förhållande till belastningsriktningen skårorna var positionerade, skårornas vinkel i förhållande till substratyten samt inverkan av cw respektive pulsd laserbearbetning för att skapa sagda skårer eller räfflor hade undersökts. Dragprov visade att skårer lagda vinkelrätt mot dragriktningen gav en högre hållfasthet i skjvbelastning jämfört med de som var applicerade i 45°, medan i drag- och fläkbekantning det inte



Figur 16. De med rött markerade områdena på sätets metalldelar strukturerades med 500 W lasereffekt enligt principen nedan t.h. innan dessa fogades till sätesgavlarna i glasfiberförstärkt polyamid.

gick att se några distinkta skillnader. Dessa dragprov hade även utförts vid olika temperaturer. Hybridlösningen gav en styvare sätesrygg jämfört med dagens stålreferens, men däremot kollapsade den vid lägre lastnivå p.g.a. materialbrott i polymeren.

F.d. LZH [LaserZentrum Hannover] –medarbetaren Oliver **Meier** är en återkommande gäst vid dessa LAF-konferenser, och han driver sedan ett flertal år tillbaka sitt eget framgångsrika företag LASER on Demand GmbH, som med mobila enheter erbjuder diverse lasertjänster. Inledningsvis berättade han om en nyligen installerad anläggning för laserpåläggning i Tallin, vilken är baserad på en begagnad laserkälla [Laserline LDF 4000-40]. Annars handlade Dr. Meiers

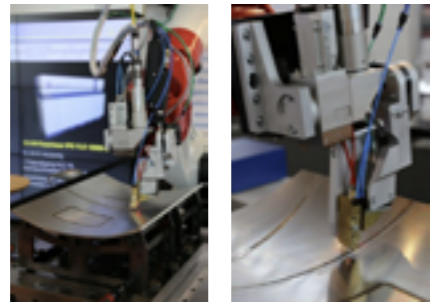
föredrag denna gång om laserbearbetning med en nyanskaffad CNC [Computer Numerical Controller] –robot avsedd för mobil användning, vilken hade utvärderats i samarbete med ibs Automation GmbH. Roboten är en KR150-modell från KUKA [Keller und Knappich Automation] med 150 kg bärkapacitet och kravet är att man skall kunna svetsa och skära i hastigheter upp till 6 m/min och med radier ner till 50 mm med en noggrannhet på ± 70 μ m i förhållande till ett "bör-värde". I försöksuppställningen hade även ingått en ILV-"scanner", en trådmatningsenhet från Dinse, en fogföljningsensor från Falldorf samt Siemens' styrprogram Sinumerik 840D [Fig. 17]. Bland de applikationer som visades upp hittade vi bl.a. en verk-



Figur 17. Senaste utrustningstillskottet hos LASER on demand är denna KR150-robot från KUKA, vilken behändigt kan förpackas i företagets container för "laserupp-gifter" på annat håll.

tygsform i CFK [CarbonFiber Kunststoff] för laminering av flygplansvingar, laser-svetsning av formverktyg med integrerade kylkanaler [Fig. 18] samt svetsning med fogföljning av en B-stolpedemonstrator. Avslutningsvis lät den gode Oliver meddela att man nu kommer att flytta verksamheten till nya lokaler i Burgdorf, och att nästa stora satsningsområde kommer att bli laserpåläggning.

Näste talare var Thomas **Kimme** från Laservorm GmbH i Altmittweida som spannar vidare på temat laserpåläggning och visade upp de olika utrustningar som finns att tillgå på företaget. Huvudanvändningsområdena är reparation och diverse slitskyddsbeläggningar på exempelvis turbinblad. Men processen kan också användas för att bygga strukturer med såväl pulver som tråd, vilket exemplifierades med små sfärer i rostfritt material med vägg tjocklekar mellan 0,4-0,6 mm [Fig. 19]. Andra material som används för dessa ändamål är Ni, Fe, Al och Ti. Några intressanta applikationer där additiv teknik används redan idag är textning av blindskriftskyltar samt ID-märkning av järnvägsräls. Dr. Kimme avslutade sin presentation med något som han kallade adaptiv LMD, där man vid reparation



Figur 18. Lasersvetsning av formverktyg med hjälp av en fogföljnings sensor från företaget Falldorf är bara ett av många användningsområden för den nya robotinvesteringen.

optiskt mäter den skadade detaljen och jämför med originalet, varefter avancerade algoritmer talar om för LMD-maskinen vilka parameterinställningar som skall användas för att återskapa den ursprungliga formen. Ett annat exempel på adaptivitet vid laserpåläggning är att man mäter smältans temperatur och när denna faller utanför ett bestämt parameterfönster regleras processhastigheten automatiskt. Detta illustrerades med några tillverkade s.k. bioniska strukturer, där man använt ett egenutvecklat, tvåaxligt "scanner"-verktyg som har beteckningen LV®SpinScan.

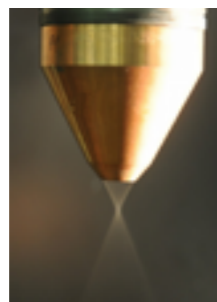


Figur 19. Med LMD kan man bl.a. bygga små sfärer i rostfritt med vägg tjocklekar mellan 0,4-0,6 mm, men mer praktiska användningsområden är textning av blindskriftskyltar och ID-märkning av räls.



Laser-Anwenderkreis hade valt additiv tillverkning som tema för andra dagens eftermiddag, och talade gjorde fr.v. Jens Walter, Theodor Fleitmann, Vanessa Seyda, Ingo Uckelmann, Nils Keller, Bernd Klötzer och Kai Schimanski.

Som huvudtema för årets LAF-konferens hade programkommittén föga överraskande valt additiv tillverkning. Därför var andra dagens eftermiddag öronmärkt för sju presentationer i ämnet, och inledde gjorde Jens **Walter** från Riwalas Lasertechnik & Engineering. Företaget sysslar med reparation av komponenter och nötskyddsbeläggning med hjälp av laser. Man arbetar företrädesvis med pulver av partikelstorlekar mellan 40-150 µm, och använder en 6 kW diodlaser från Dilas/RofinSinar för detta ändamål. Herrn Walter visade upp ett rikhaltigt sortiment av olika påläggningsmunstycken såsom ett koaxiellt sådant med 1 mm pulverfokus, ett munstycke med diskreta öppningar och ett munstycke som täcker en större yta med hjälp av en rektangulär



fokalpunkt [Fig. 20]. I mindre omfattning arbetar man med tråd, men för detta använder man ett munstycke med koaxiell matning av densamma. Temperaturkontroll nyttjas som processövervakning men även Precitecs kapacitiva sensor för höjdetektering kommer till användning.

Figur 20. Olika munstycken för laserpåläggning används hos Riwalas Lasertechnik & Engineering, fr.v. ett koaxiellt, ett med fyra diskreta öppningar samt ett som kan täcka en rektangulär yta.

Näste talare var Theodor **Fleitmann** från Nutech Gesellschaft für Lasertechnik und Materialprüfung mbH. Företaget grundades 1986 och har idag 82 medarbetare, men hela 16 lasermaskiner och lasersvetsar och -skär cirka 30 miljoner artiklar om året! Vi har vid tidigare LAF-konferenser kunnat lyssna till presentationer från företaget, och blivit imponerad av den omfattande laserverksamheten hos ett relativt litet underleverantörsföretag. Nu har man även börjat intressera sig för laserpåläggning med pulver främst för att förbättra komponenters slit- och korrosionsskydd, men tekniken används även för reparation och 3D-printning. Dr. Fleitmann redogjorde för ett stort antal applikationsexempel där jag vill nämna flerskiktbeläggning av stora armaturer med Inconel625 i komplexa geometrier, utförd med 6 kW lasereffekt och en

7,5 mm stor fokuspunkt, och där man konstaterar att sekvensen vid påläggning hade stor betydelse för resultatet. Andra exempel var reparation av en dysa där NiCrNb-pulver lades på i 16 lager med 4,9 kW lasereffekt och en ljuddämpare i Stellite21 som belades med Stellite6 med hjälp av 6 kW lasereffekt kombinerat med en förvärmning på 400 °C [Fig. 21]. Förvärmningen skedde med hjälp av en induktionsspole och samma tillvägagångssätt användes då ljuddämpare i rostfritt 316-material belades med X-H7-pulver. Ett stort område för LMD är påläggning inuti rör där diameter och längd sätter begränsningar för åtkomsten. Vid Nutech har man hittills lyckats belägga 50 mm stora rör som är 1.500 mm långa samt klarat ett instick på 500 mm vid en rördiameter på 30 mm. Dessa specialverktyg är vattenkylda och deponeringsmängden ligger



Figur 21. Reparation av en ljuddämpare där Stellite21 beläggs med Stellite6 och 6 kW lasereffekt.



Figur 22. Invändig laserbeläggning av rör kräver speciellt utformade verktyg, vilka är vattenkylda och klarar rörlängder på 500 mm (ø 30 mm) respektive 1.500 mm (ø 50 mm).

kring blygsamma 20-30 g/min, vilket Dr. Fleitmann påpekade beror på att pulverätgången är mindre vid denna form av LMD jämfört med extern beläggning av en yta [Fig. 22]. Dock har man i vissa försök uppnått en deponeringseffektivitet på 5 kg/tim. Inlösningen av pulver i substratet ligger kring 90% för typiska skikt tjocklekar på strax över 200 µm. Merparten av dessa experiment hade utförts med en 8 kW fiberlaser från IPG, en pulvermatningsenhet från GTV och det vid IWS [Institut für Werkstoff und Strahltechnik, Dresden] utvecklade påläggningsverktyget COAXpowerline, vilket manipulerades av en industrirobot från Reis. Kvalitetsövervakningen skedde i begränsad omfattning med hjälp av en pyrometer, men Nutech håller själva på att utveckla verktyg för monitorering av påläggningsprocessen.



Att kombinera LMD och traditionell fräsning i en och samma maskin är ett relativt nytt tillvägagångssätt för att skapa tredimensionella komponenter i "near net shape". Om en dylik hybridprocess informerade Vanessa **Seyda** från Hoedtke GmbH & Co. KG där man vid LMD-processen använt en 2 kW diodlaser och dysor med munstycksöppningar på 1,6 respektive 3 mm. Skikt tjockleken låg mellan 0,4-1,5 mm och exemplifierades med ett försök där rostfritt 1.4404-material belades med Stellite6. Bland andra applikationer kan nämnas kopparrör för vakuumanläggningar som belades med FeNiXXX, men där resultatet blev mindre lyckat då förekomst av porer och bindfel avslöjades vid böjprov. Ett annat mindre framgångsrikt exempel handlade om reparation av skovelhjul med 500 mm diameter där det uppstod sprickor mellan

de olika påläggningslagren, vilket fick Frau Seyda att poängtera att det är av yttersta vikt att termiska spänningar, som är oundvikliga under processen, hålls inom rimliga gränser. Ett bättre exempel var 3D-printning av reservdelar för marina komponenter som exempelvis propellrar. Traditionellt tillverkas en sådan i brons med en tillverkningstid på 130 timmar, medan när den nu 3D-printades i rostfritt 316L-material blott tog 35 timmar att tillverka. Dr. Ingo **Uckelmann** från det globala företaget Materialise adresserade det nog så viktiga ämnet att konstruera på ett korrekt sätt för att utnyttja SLM-teknikens fördelar. Materialise förfogar idag över mer än 130 SLM-maskiner, har drygt 1.200 anställda "world-wide" och producerar mer än 2.000 3D-printade detaljer om dagen. Man hoppas kunna minska

produktionskostnaderna uttryckta i andelen smält volym [EUR/cm³] med hjälp av större maskiner. Idag ligger byggplattformarna på måtten 250x250 mm, men redan 2017 räknar man med att ha tillgång till en tre gånger så stor maskin. Dr. Uckelmann påpekade den välkända fördelen med SLM, nämligen "complexity for free", d.v.s. oavsett den tillverkade komponentens komplexitet blir priset konstant eftersom kostnaden enbart beror på mängden sammansmält pulver. Däremot finns begränsningar i form av behovet av efterbearbetning, att överhäng hos strukturerna inte kan överskrida 45° lutning, samt en begränsad tillgång på pulvermaterial. Idag använder sig Materialise främst av AlSi10Mg, rostfritt 1.4404 eller 316L samt Ti-6-4. Avslutningsvis presenterades ett antal praktikfall där det första handlade om tillverkning av en led till framhjul-

fjädringen för en racerbil [Fig. 23]. Denna var tillverkad i Titan och tog 10 dagar från design till färdig produkt. Ett annat exempel var en tryckventil för "aerospace" där man samarbetat med Altair, VTT [Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus] och Nurmi och där SLM-designen möjliggjorde en viktreduktion från 2,5 kg till 600 g samtidigt som luftgenomströmningen i ventilen förbättrades. För just dylika rymdapplikationer spelar låg vikt stor roll och det finns en tumregel som säger att för att få ut 1 kg massa i rymden får detta kosta cirka 20.000 euros! Därför blev en lösning med SLM-tillverkade sandwichpaneler i Titan för en satellit ett tilltalande alternativ då sandwichelementens vikt kunde reduceras från 1.454 till cirka 600 gram [Fig. 24]. Andra tänkbara applikationer är olika slags kylelement och formverktyg med integrerade kylkanaler som idag kan byggas ner till en upplösning på 200 µm.

Ett föredrag rörande simulering av defektuppkomst vid additiv tillverkning fick vi oss till livs från Nils Keller från AdditiveWorks som är ett "spinnoff"-företag från Universität Bremen. Han redogjorde för defekttyper som sintereffekter, lokal överhettning, sprickor och distorsioner genererade från processen p.g.a. uppkomsten av interna spänningar [Fig. 25]. En speciell mjukvara med namnet "Amphyon" hade använts vid simuleringarna. En särskild del av presentationen handlade om vilka "scanning"-strategier man borde använda vid SLM för att minimera distorsioner. Normalt blir dessa störst i "scanning"-riktningen. Därför är det bäst att orientera "scanningen" i 45° i förhållande till objektets yttre avgränsningar eftersom man då får samma förskjutning i alla riktningar.

Vid bkl-lasertechnik användar man laserprocesser vid additiv tillverkning men även för yttexturering. Tyngdpunkten i Dr. Bernd Klotzers föredrag låg på tillverkning av verktyg för formsprutning med integrerade kylkanaler med hjälp av SLM-tekniken, och kom mest att handla om hur kylkanalerna skulle positioneras för att ge optimal avkylningseffekt. Genom att selektera temperaturen mellan 80-140 °C på olika områden av verktygsytan kunde man vid tillverkning av en speciell komponent reducera halltiden i verktyget från 54 till 21 sekunder. Samtidigt kunde verktyget göras betydligt lättare genom att man med SLM-tekniken kunde skapa en halrumsstruktur. Verktygsmaterial var t.ex. 1.2709-stål, rostfritt 17-4 [1.4542], varmförningsstalet Corrax®, det brons-



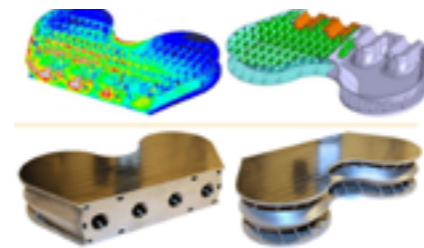
Figur 23. Det tog blott 10 dagar från design till färdig produkt för att med SLM-teknik tillverka denna led i Titan till framhjulsupphangningen för en racerbil.



baserade DM 20, AlSi10Mg, Titan samt Inconel. Den minsta kylkanal man åstadkommit matte 0,5 mm i diameter och vidare var Dr. Klotzers rekommendation att en kylkanal inte bör placeras närmare formverktygets yta än 2 mm. Betrafande ytstrukturering av verktygsytan så använde man sig av ett "scanner"-verktyg för detta [Fig. 26].



Sista föredrag i denna dedikerade session för additiv tillverkning hölls av Dr. Kai Schimanski från Premium Aerotech och handlade om hur additiv tillverkning av Titan-komponenter för "aerospace"-applikationer utvecklats från prototyp- till serietillverkning. Som praktikfall visade han upp en SLM-tillverkad kopplingsenhet för bränslepåfyllning som var en dubbelvaggskonstruktion med beteckningen "VentBent" [Fig. 27]. För att tillförsäkra repeterbarhet hade man tillverkat 69 detaljer vilka samtliga var helt defektfria. Premium Aerotech har tillgång till 5 SLM-maskiner, främst modellerna M2 och X-line från Concept Laser, vilket innebär att man har en arlig kapacitet kring 49.000 driftstimmar per år i dessa maskiner. Dr. Schimanski tryckte på nödvändigheten av att ta hela processkedjan i beaktande vid additiv tillverkning, och för att säkerställa



Figur 24. Med topologi-optimering och SLM kunde vikten för denna sandwich-panel minskas från 1.454 till 600 g.



Figur 25. Misslyckade resultat vid SLM-tillverkning p.g.a. lokal överhettning t.v. och distorsioner orsakade av inbyggda spänningar (ovan).



Figur 26. Med "scanner"-verktyget t.v. går det att skapa olika ytstrukturer på exempelvis verktygsytor avsedda för formsprutning.

detta har ett nätverk kallat MepNet [Metal Printing Network] bildats mellan 17 industriföretag som alla sysslar med 3D-printning med metalliska pulver. Dessa serietillverkar idag 14 olika detaljer med SLM, samtidigt som man har identifierat några nya applikationer såsom hydraulikfordelare, flodesaktivatorer, strukturhallare och kabinkonsoler. Vidare räknar man under hösten med att ha en första bioniskt designad artikel i produktion.



Figur 27. I mars 2016 ackrediterades företaget Premium Aerotech att få tillverka dessa "VentBent", en kopplingsenhet för bränslepåfyllning avsedd för "aerospace"-applikationer, genom additiv SLM-tillverkning.

Eftersom det regionala kompetensnatverket HansePhotonik e.V. var en av konferensens huvudsponsorer föll det sig naturligt att professor Vollertsen i samband med avslutningen delade ut det s.k. HansePhotonik Forderpreis 2016 [Fig. 28]. Mottagare var Dr. Damian N Barre som fick priset för sina arbeten med optisk synkronisering med fs-noggrannhet genom att använda UKP [UltraKurzPuls]-lasrar. Idag utförs dylik synkronisering med hjälp av radiovågor, men Dr. Barres lösning erbjuder en helt annan noggrannhet i tidsdimensionen.

Figur 28. 2016 års HansePhotonik Forderpreis tilldelades Dr. Damian N Barre för dennes forskning kring optisk synkronisering med hjälp av lasertechnik. Här överlämnas bevis och prischek av Dr. Frank Vollertsen i samband med avslutningen av LAF 2016.

Lat mig som avslutning få nämna några av de innovationer som vi blev presenterade för under vår rundvandring i BIAS' laboratorium:

- Stabilisering av ljusbågen med en 400 W diodlaser vid laserhybridsvetsning
- Ytmodifiering av verktygsytor för att kunna forma artiklar i rostfritt utan användning av pressolja
- Mikrobearbetning i form av polering av "stents"
- Mikrofogning med hjälp av laserchockvagor, en metodik som också kan användas som klippverktyg
- Vibrationsunderstodd lasersvetsning av aluminium
- Svetsreduktion genom användning av axiell stralomformning
- Laserlodning med två laserstrålar där den ena förvärmer substratmaterialet
- Pulver- alternativt tradtillforsel i ett och samma verktyg för LMD
- Forbattad utmattningshållfasthet hos SLM-komponenter genom omsmalning av pulvret



Den elfte upplagan av Laser-Anwenderforum ar inplanerad till 28-29 november 2018, så låt oss då se vilka nya innovationer lasertechniken har att erbjuda vid den tidpunkten. – Välkomna!



Fristående fortsättning på del 1a publicerad i LaserNytt 3 – 2016

En blandad kompot av användningsområden för lasertekniken avslöjades vid LANE 2016

Johnny K Larsson,
Autokropolis Engineering

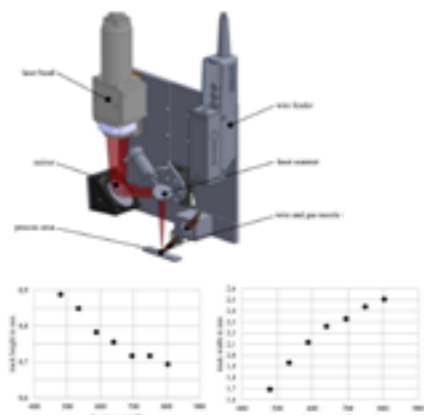
Additiv tillverkning, forts

Alexander Barroi från LaserZentrum i Hannover [LZH] har jag haft möjlighet att lyssna på vid flera tidigare laserträffar, och denna gång genomförde den gode Alexander en mer generell presentation som handlade om "scanner"-baserad laserpåläggning med trådmaterial. Som laserkälla hade han använt en 2 kW diodlaser från Laserline och en trådmatningsenhet från Dinse där tråddiametern uppgick till 0,6 mm [Fig. 17]. Fokalpunkten var defokuserad till en diameter på 2,9 mm på arbetsstycket, och pendlingen som skedde med ett omfång på 4 mm tvärs påläggningsriktningen utfördes med frekvensen 50 Hz. Det gick att konstatera att en lägre framföringshastighet resulterade i högre påläggningsskikt, varför en processhastighet kring 2,2 mm/sek tycktes vara en god kompromiss [Fig. 18]. Minst 500 W krävs för att smälta tillsatstråden medan en ökande effekt därutöver resulterar i tunnare men bredare påläggningsskikt. Den lägsta bygghöjd som nåddes i experimenten var 0,6 mm vilket då gav det bredaste påläggningsspåret på 2,7 mm. Kontaktvinkeln mellan påläggning och substrat minskar med ökande effekt ner till ett minimum på 50°.

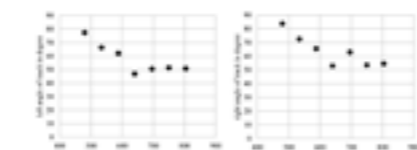
Gleb Turichin från Institutionen för Laser- och Svetsteknik vid St. Petersburg State Polytechnic University var en flitig herre med två efterföljande presentationer under sessionen kring additiv tillverkning. Den första handlade om höghastighetsdeponering och exemplifierades med ett fläckhjul till en turbomotor med 80 cm diameter. Hjulet består av en ytterdel i stål och en innerdel gjord i Titan och brukar representera en kostnad på 3.000



Figur 17. Principskiss (t.v.) över det verktyg med integrerad trådmatningsenhet och laser-scanner som användes vid påläggningsförsöken.



Figur 18. T.v. påläggningsspårets höjd och bredd som funktion av lasereffekt, och t.h. kontaktvinkel mellan påläggning och substrat likaså som funktion av lasereffekten.



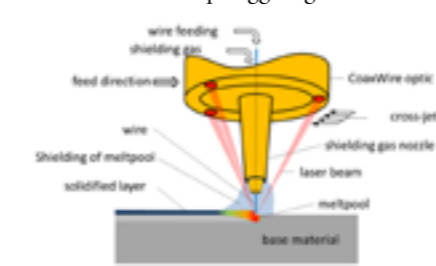
euros om man använder konventionella tillverkningsmetoder. För att då kunna vara konkurrenskraftig i ett additivt perspektiv krävs en uppbyggnadshastighet kring 45 mm³/sek, vilket Dr. Turichin menade var möjligt så länge man inte smälte pulverpartiklarna, som i det aktuella fallet utgjordes av Inconel625, helt utan lämnade kvar en solid kärna! I en gedigen rysk formelsamling kunde man beräkna hur smälthastigheten utbrede

sig i pulverpartiklarna, och vid analys av pulverflödet hade man använt sig av Schlieren-metoden. Olika munstycksöppningar hade undersökts [Fig. 19]; cirkulära, avlånga och koaxiala med fyra pulverutgångar, samtliga med laminärt flöde. Laserkällan var en 5 kW fiberlaser och deponeringshastigheter på 18 kg/timme ansåg Dr. Turichin inte vara någon omöjlighet. Han kunde t.o.m. visa upp ett praktikfall där en komponent tillverkad av

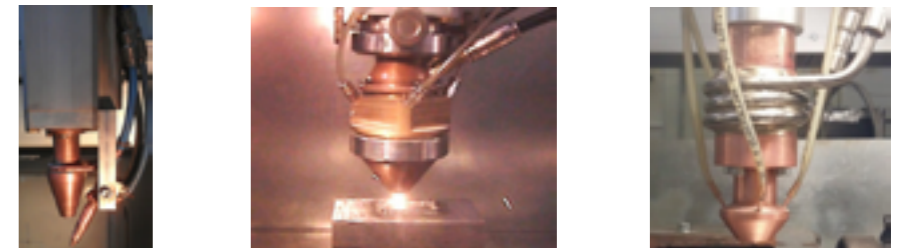
Nickel-pulver med LMD faktiskt uppvisade bättre egenskaper än då detaljen göts i samma material [Fig. 20]. Avslutningsvis presenterade han ett adaptivt system där smältans diameter mättes i realtid och kunde korrigeras genom att lasereffekten justerades.

Professor Turichins andra presentation handlade om laserpåläggning med nickelbaserade superlegeringar. Samma utrustning som i de tidigare refererade experimenten hade använts, nämligen IPG:s fiberlaser YLS-5000, pulvermataren Twin 10-C från Sulzer Metco, samt HighYags processverktyg "BIMO" [Fig. 21]. Här hade han och hans kollegor kommit fram till att egenskaperna för LMD-tillverkade objekt var likvärdiga med smidda komponenter och t.o.m. bättre i vissa avseenden, och dessutom kan en efterföljande värmebehandling avsevärt förbättra additivt tillverkade komponenters utmattningshållfasthet. René-material, som är en form av nickellegering, används ofta i turbinblad. Här hade man jämfört LMD-tillverkade objekt i detta material med motsvarande gjutna komponenter. Tack vare den finare kornstruktur man får vid laserpåläggning blev dessa objekt mindre spröda och uppvisade tre gånger så hög brottöjning [Fig. 22]. Risken för uppkomsten av sprickor under uppbyggnadsfasen kan motverkas med hjälp av induktiv uppvärmning. Viktigt att beakta vid LMD-uppbyggnad av René-liknande material är att deponeringshastigheten halveras eftersom mycket av den tillförda laserenergin går åt till att värma substratmaterialet. I övrigt innehöll presentationen en hel del kring olika faser i mikrostrukturen som jag inte avser att betunga läsaren med.

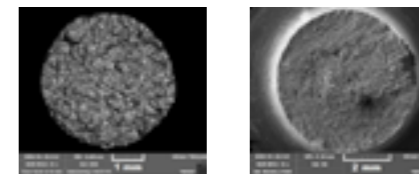
Som jag nämnde inledningsvis hade LANE-konferensens programkommitté valt att dela upp bidragen i "akademiska" och "industriella", med en klar övervikt för de förstnämnda. En av de mera handgripliga industripresentationerna föredrogs av Sörn Ocylok från Laserline GmbH. Den handlade om laserpåläggning av 316L-



Figur 23. Principen för IWS:s CoaxWire-munstycke som delar upp laserstrålen i tre, och därmed vid lämpligt arbetsavstånd även får tre separata fokalpunkter.



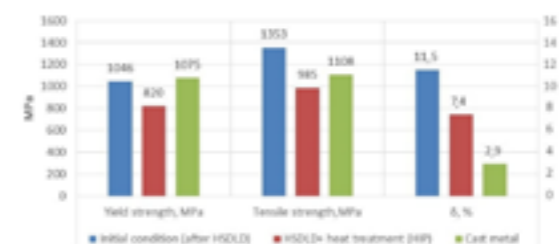
Figur 19. De olika munstycksutformningar som användes i försöken; fr.v. lateral pulver-tillförsel samt koaxiell kontinuerlig eller med fyra pulverutgångar.



Figur 20. Brottytor hos stavar tillverkade genom gjutning (t.v.) och LMD-teknik (t.h.) av samma René-liknande nickelmaterial.



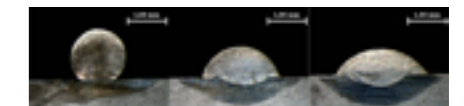
Figur 21. T.v. den utrustning som användes vid försöken inklusive en 5 kW fiberlaser, och t.h. några av de objekt som tillverkats med höghastighets-LMD.



Figur 22. De mekaniska egenskaperna hos objekt tillverkade med LMD är nästintill likvärdiga med dem som gjutna dito, och i vissa fall t.o.m. bättre då den finare kornstrukturen innebär ökad förlängningsvärdet.

material i form av en koaxiellt matad tråd med hjälp av det hos IWS [Institut für Werkstoff und Strahltechnik] i Dresden utvecklade verktyget CoaxWire [Fig. 23]. Eftersom nedsmältningen av tråden här blir okänslig för påläggningsriktningen erbjuder den ett mer flexibelt angreppssätt jämfört med då tråden matas in i laserstrålen från sidan. Som laserkälla vid experimenten hade man använt företagets LDF-5000-30 med 30 mm*mrad i strålkvalitet. Fokalpunkten hade en diameter kring 2 mm och med tråddiametrar mellan 0,8-1,6 mm erhöll man en deponeringseffektivitet på 1,5 hg/tim. Genom att öka avståndet mellan munstycke och den yta som skall beläggas, kunde man gå från en fokalpunkt till tre stycken med ty åhörande tre inlösningszoner. Denna inlösningszon av pulvermaterialet i substratet tilltar med ökande framföringshastighet. Även variabler som lasereffekt och trådmatningshastighet hade undersökts [Fig. 24a,b]. Jämfört med påläggning med pulver får man vid användning av tråd en slätare yta. Dr. Ocylok avslutade med ett praktikfall som visade hur man byggt upp en tunnväggig struktur i 150 lager [Fig. 25]. Här hade 1,6 kW lasereffekt använts med defokuserad stråle som

gav en fokalpunktsdiameter på 2 mm, framföringshastigheten låg på 1,2 m/min och trådmatningen något högre, närmare bestämt 1,5 m/min.



Figur 24a. Tvärsnittsutseende vid påläggning med olika lasereffekt; fr.v. 1,0, 1,4 och 1,8 kW vid en processhastighet på 1,2 m/min och en trådmatning på 1,9 m/min

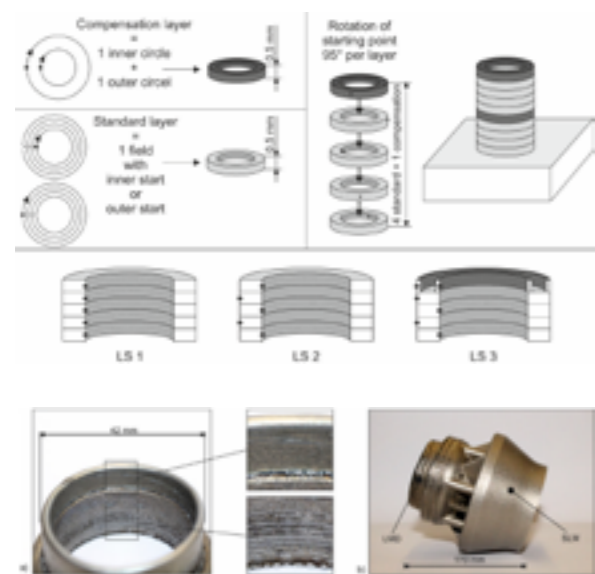


Figur 24b. Tvärsnittsutseende vid påläggning med olika trådmatningshastigheter; fr.v. 1,5, 2,5 och 4,0 vid 2,5 kW lasereffekt och en processhastighet på 0,6 m/min.



Figur 25. Cylindrar uppbyggda med LMD-teknik och bestående av 150 skikt nedsmält tillsatstråd

En lite annorlunda presentation hölls av doktoranden **Maiji Leino** från Lappeenranta University of Technology där hon studerar på en fakultet som vi i Sverige skulle kalla "Hållbar utveckling". Denna hållbarhet hade hon fokuserat på LMD och dess inverkan på miljön då metoden används vid reparation, rekonditionering eller återtillverkning (re-manufacturing) – olika nivåer i värdekedjan. Hon hade ägnat sig åt att göra en litteratursökning i ärendet, men upptäckt att området är en vit fläck i forskningsvärlden så här långt, även om man kan skönja en viss ökning av publicerade artiklar över åren. De branscher som främst börjat titta på miljöpåverkan vid laserpåläggning är energisektorn, aerospace, spårbanden trafik, samt motor- och verktygstillverkning. Ett avslutande konstaterande var att upp till en 15- till 20-procentig reparation



Figur 26. T.v. Principupbyggnaden för de tre olika cylinder-varianterna, och ovan resultat från tidiga försök.

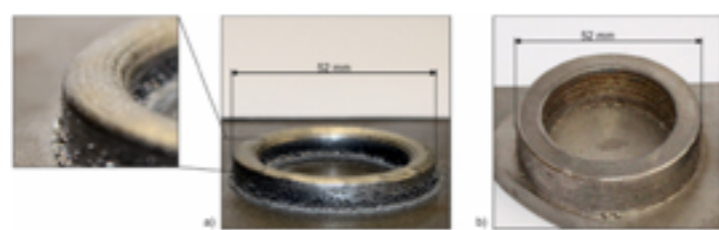
Figur 27. T.v. den med LMD-teknik reparerade SLM-komponenten, dock ligger hårdheten i den reparerade delen 50-100 Hv lägre jämfört med SLM-originalet.

Då många av de pulvermaterial som används vid LMD är dyra, som exempelvis Inconel718, kan det vara lönsamt om överblivet material går att återanvända. Eftersom man kan befara en viss degradering av pulverkvalitén, vilket i sin tur skulle påverka de pålagda skiktens egenskaper, är detta ett relevant forskningsområde. Detta hade professor **Aitzol Lamikiz** från University of Basque Country i Bilbao tagit fasta på. Han menade att det finns stora pengar att tjäna om avancerat pulvermaterial kan recirkuleras, men samtidigt betonade han att man måste beakta de hälsovådliga aspekterna vid hantering av dylikt pulver. Han och hans kollegor hade utfört påläggningsför-

av en komponent kan försvaras ur ett miljöbelastningsperspektiv, men för högre andel reparation rekommenderas i stället nyttillverkning.

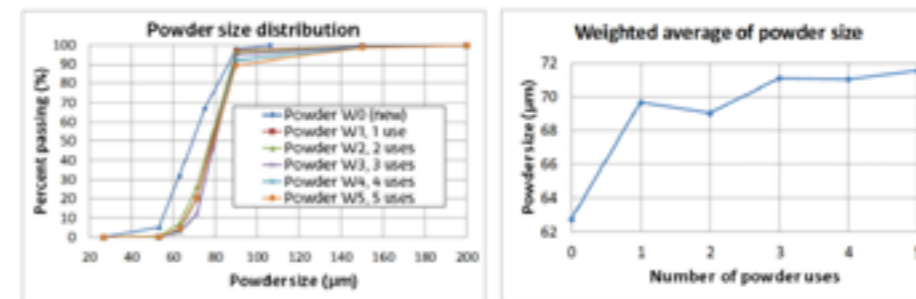
Näste talare var **Torsten Petrat** från Fraunhofer IPK [Institut für Produktionstechnik und Konstruktionstechnik] i Berlin. För att kunna använda LMD vid reparation av från början SLM-tillverkade gasturbinbrännare i Inconel718 hade en försöksserie genomförts där cylindrar byggdes upp med denna teknik, men med lite olika angreppssätt. Som laserkälla användes en 2 kW TruDisc-laser från Trumpf och ett påläggningsmunstycke med tre utgångar för pulvret. Assistentgasen var Helium 5.0 med ett flöde av 4 l/min, medan skyddgasen var Argon 5.0 med 10 l/min i flödes hastighet. Tre olika tillvägagångssätt användes för att bygga dessa cylindrar [Fig. 26]. Den första serien

bestod av homogena ringar som samtliga byggdes "inifrån/ut". I serie två byggdes varannan ring på samma sätt medan varannan byggdes "utifrån/in". Den tredje varianten slutligen motsvarade det andra byggnationssättet med undantaget att var femte ring endast byggdes som ett "skal" och ej homogent. I alla tre fallen försköts startpunkten 95° mellan de olika ringarna. Metod nummer tre var den som gav det stabilaste utfallet beträffande vägg tjocklek och som bäst överensstämde med den CAD [Computer Aided Design] -geometri som beskrev brännaren. Resultaten från dessa försök användes sedan vid reparationen av en verklig detalj, och här visade LMD-delen en porositet på 3% vilket torde vara acceptabelt. Vad som var mindre bra var att hårdheten låg 50-100 Hv lägre jämfört med hårdheten i SLM-delen [Fig. 27].



respektive 0,742%, något som till viss del kan förklaras av skillnader i storleksfraktioner hos kornen. Däremot låg hårdheten i de pålagda skikten inom ställda toleransgränser oavsett hur många gånger pulvret hade recirkulerats.

sök i en dedikerad Aktinos 500-cell, och som laserkälla hade man använt en 1 kW fiberlaser från Rofin Sinar [FL010]. Oxider som bildats på de överblivna pulverpartiklarna avlägsnades med hjälp av magneter. Pulvret recirkulerades fem gånger, och efter varje cykel avlägsnades korn som var större än 150 µm. Det visade sig nämligen att pulverkornen hade en tendens att öka i storlek efter den första påläggningsoperationen, men därefter förhöll sig kornstorleken tämligen konstant [Fig. 28]. Pulverkornens form efter recirkulering är densamma som hos helt nya korn, men porositeten i de pålagda skikten tenderar att öka. Mellan första och fjärde cykeln uppmättes porositetsnivåer på 0,414%

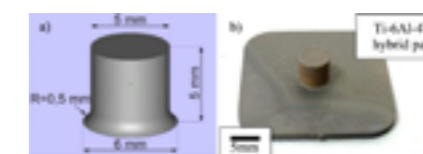
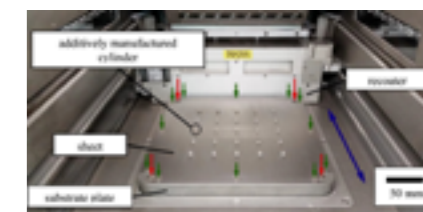


Figur 28. Initialt har recirkulerade pulverkorn en tendens att öka i storlek, men därefter håller sig storleken konstant oavsett hur många gånger pulvret återanvänds.

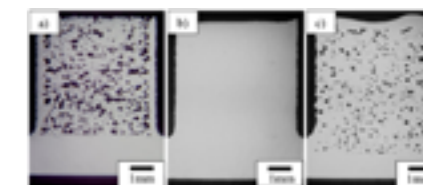
Hittills har min redogörelse kring additiv tillverkning handlat om LMD eller laserpåläggning, men det gavs också några intressanta presentationer kring den andra additiva tekniken SLM eller s.k. pulverbäddsteknik. Sälunda berättade **Adam Schaub** från Institute of Manufacturing Technology vid Friedrich-Alexander-Universität i Erlangen om hur processerna plåtförning och SLM kan kombineras i en hybridprocess. I sina försök hade man använt en 1,5 mm tjock platta i Ti6Al4V och på denna byggt små cylindrar med 5 mm:s diameter och höjd i samma material [Fig. 29]. Utrustningen utgjordes av en SLM280HL-maskin från SLM Solutions GmbH där byggplattformen höll en temperatur på 200 °C, och laserkällan var en Yb-fiberlaser med en maximal effekt på 400 W. Skikt tjockleken låg på 50µm och pulverpartiklarnas storlek varierade mellan 25-45 µm i diameter. För att studera energitätets inverkan på de tillverkade cylindrarnas kvalitet hade lasereffekt och framföringshastighet varierats. En sträckenergi på 46 J/mm visade sig ge den bästa strukturen medan såväl lägre som högre energitillförsel resulterade i en porös struktur [Fig. 30]. Detta avspeglade sig också i de skjvbelastningsprov som cylindrarna utsattes för. 46 J/mm gav en brottgräns på cirka 600 MPa, ett värde att jämföras med ett maskinbearbetat provobjekt vars brottgräns låg mellan 700-800 MPa. En intressant jämförelse hade gjorts mellan hybridtillverkning, ren subtraktiv maskinbearbetning och ren SLM, där tillverkningstiderna för ett referensobjekt låg på 17, 8 respektive 65 minuter. Således är kombinationen av plåtbearbetning/SLM ett attraktivt alternativ tagit i beaktande att materialåtgången endast är 10% av vad som åtgår vid subtraktiv tillverkning.

Även om SLM-tillverkade objekt kan tillverkas näst intill "färdig form" kan det ju tänkas att andra detaljer behöver svetsas till SLM-komponenten. Vår finländske bekant professor **Antti Salminen** från Lappeenranta University of Technology hade därför studerat svetsbarheten hos additivt tillverkade plattor i rostfritt

316L-material och jämfört resultaten med svetsade dito i kallvalsat utförande. Pulvermaterialet hade tillhandahållits av Höganäs AB medan Outokumpu OY stod för det kallvalsade materialet. Laserkällan som använts vid svetsförsöken var en 10 kW YLS-10000 fiberlaser från IPG och svetsverktyget var Precitecs YW50 med 300 mm fokallängd och 150 mm kollimering. Lasereffekten hade varierats mellan 1,5-4,0 kW och framföringshastigheten mellan 1,5-2,0 m/min för att se inverkan av olika sträckenergier. Även två olika diametrar på distributionsfibern, 200 och 600 µm, hade använts i samma syfte. Vid svetsning av de SLM-tillverkade objekten hade den mindre fiberdiametern en gynnsam effekt. Inte bara reducerades svets sprutet jämfört med svetsning av det kallvalsade material, men risken för centrumsprickor eliminerades också. Sådana uppstod då svetsen blev bredare vilket var fallet då 600 µm-fibern användes. Generellt var emellertid de SLM-tillverkade objekten mer sprickbenägna. Om man tittar på svets tvärsnittet korresponderar deras storlek väl med mängden tillförd energi [Fig. 31]. Dock har tvärsnittet något olika form då man jämför svetsar i kallvalsat och SLM-material. De förstnämnda tycks till en viss andel bestå av värmeledningssvetsning,

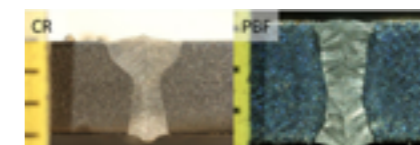
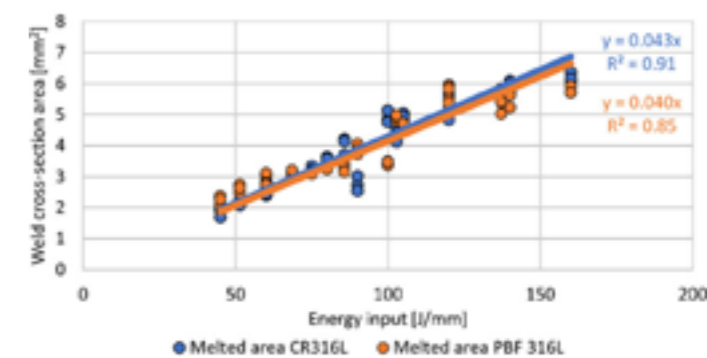


Figur 29. SLM-byggnation av små cylindrar av Ti6Al4V.



Figur 30. Energitäteten har stor betydelse vid tillverkning med SLM-processen som här frv. 19, 46 respektive 139 J/mm³.

medan svetsarna i SLM-objekten har den för lasersvetsning karaktäristiska timglasformen.



Figur 31. Svetsarnas tvärsnittsarea korresponderar väl med den tillförda energin både för det kallvalsade som det SLM-tillverkade rostfria 316L-materialet. Dock tycks svetsarna i plåtmaterialet delvis utgöras av värmeledningssvetsning (t.v.).

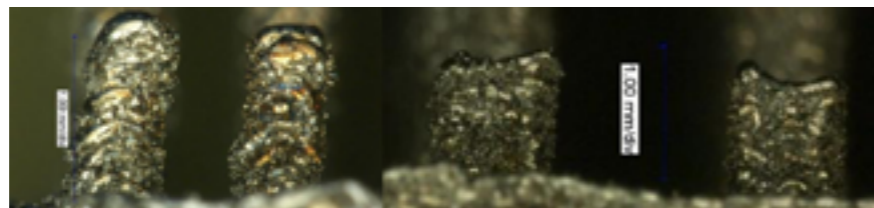
Ett av användningsområdena för SLM är att bygga gitterstrukturer, och i ett föredrag som hölls av Karim Abbas från Universität Aachen och Goethe-laboratoriet där, fick vi ta del av några grundläggande forskningsresultat. I rostfritt 316L-material hade man tillverkat fem olika former av ”mikro-pelare” med varierande tvarsnittarea och höjd. Detta hade gjorts i en SLM-maskin från Concept Laser med en 200 W cw fiberlaser och med processhastigheten 1.400 mm/sek. De ”mikropelare” som gick att tillverka med minsta tvärsnittsmått [0,165 mm] hade ett kvadratisk tvärsnitt, medan runda tvärsnitt låg på omkring 0,2 mm. Begränsningarna för att bygga tunnare ligger i pulverstorlek och energitillforelse. Pelare byggda med de mindre tvärsnitten tenderade att få en konvex toppyta medan de större fick en konkav dito [Fig. 32], och pelare med ett tvärsnittsmått mindre än 0,5 mm fick generellt ett större värde än

En annan flitig talare under LANE-konferensen var Heidi Piili från Lappeenranta University of Technology som förutom ett antal intressanta föredrag under olika teman, bidrog med två presentationer under en av sessionerna för additiv tillverkning. Den första handlade om massfabricerade, men individanpassade solglasogonbagar. Vid tillverkningen hade man använt sig av gasatomiserat rostfritt 316L-pulver och tillverkningen hade skett i universitetets EOSINT M270-maskin med en 200 W fiberlaser från IPG och ett ”scanner”-verktyg från Scanlab. Kostnader och produktivitet hade studerats, och de förstnämnda fördelade sig på maskinkostnad 43%, material 26% och arbete 21%. Högt maskinutnyttjande ar önskvärt och tiden för tillverkning av själva bågen som var 2,5 mm tjock tog 3.600 sekunder, medan den 5 mm höga supportstrukturen skapades på 4.560 sekunder, och motsvarande deponeringsvarden låg på 0,98 mm³/sek respektive 1,37 mm³/sek. Ett horisontellt byggnadsforfarande visade sig inte överraskande vara snabbast och därmed billigast i jämförelse med då man byggde vertikalt eller vinklat [Fig.33]. Det som Dr. Piili menade ”förstör” business-caset ar borttagandet av supportstrukturer vilket fortfarande måste göras manuellt och därmed bidrar till att efterbearbetningstiden utgör cirka 25% av den totala tillverkningstiden. vad som hade inprogrammerats.

Dr. Piilis andra föredrag var en designstudie kring hur man kunde omkonstruera en hydraulikkomponent så att denna

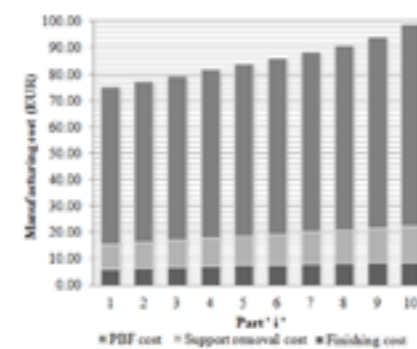
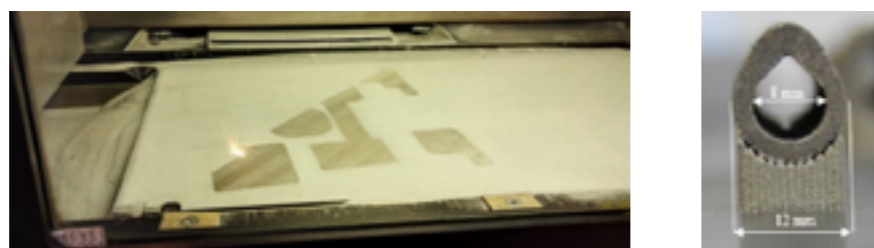


Figur 32. Ovan några av alla de ”mikro”-pelare med varierande tvärsnittsarea och höjd som ingick i studien, och därunder går det att konstatera att tunnare pelare får en konvex toppyta medan grövre erhåller en konkav sådan.

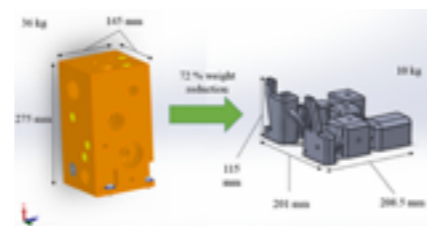


Figur 33. De tre olika byggsätt som användes vid SLM-framtagnin av solglasogonbagar i rostfritt 316L-material, och t.h. ser man att borttagandet av supportstrukturer utgör en stor andel av den totala tillverkningstiden.

gick att tillverka med SLM och därmed minska dess vikt från 36 till 10 kg, vilket innebär en 72%-ig viktsreduktion [Fig. 34]. Komponenten innehåller en mängd kanaler och hal för diverse slangkopplingar, varför den passar utmärkt för additiv tillverkning, samtidigt som dess prestanda kan forbattas genom komplexa kanal-dragningar. Det material som använts var igen rostfritt 316L-material som har låg varmeledningformaga. Svårigheter man träffade på var exempelvis att vertikalt bygga runda hal då dessa tenderade att bli droppformiga i sin kontur. För att nå den optimala funktionen för denna hydraulikkomponent krävdes ett helt års konstruktionsarbete, medan Dr. Piili uppskattade den totala tillverkningstiden till att ligga kring 200 timmar.



Figur 34. Genom omkonstruktion och SLM-tillverkning av denna hydraulikkomponent blev det möjligt att sänka dess vikt med 72%. Dock upptäckte man problem med att bygga vertikala, cirkulära hal då dessa tenderade att bli droppformiga.

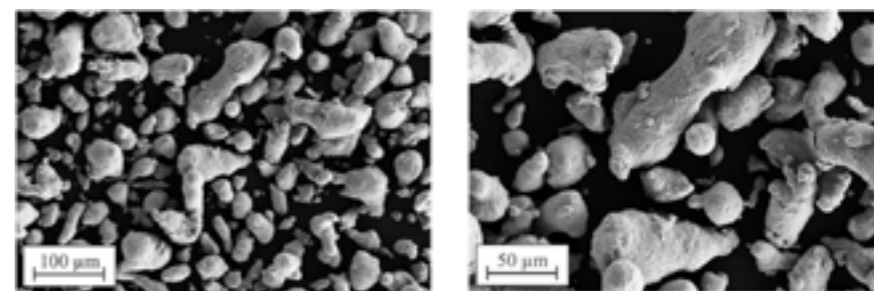
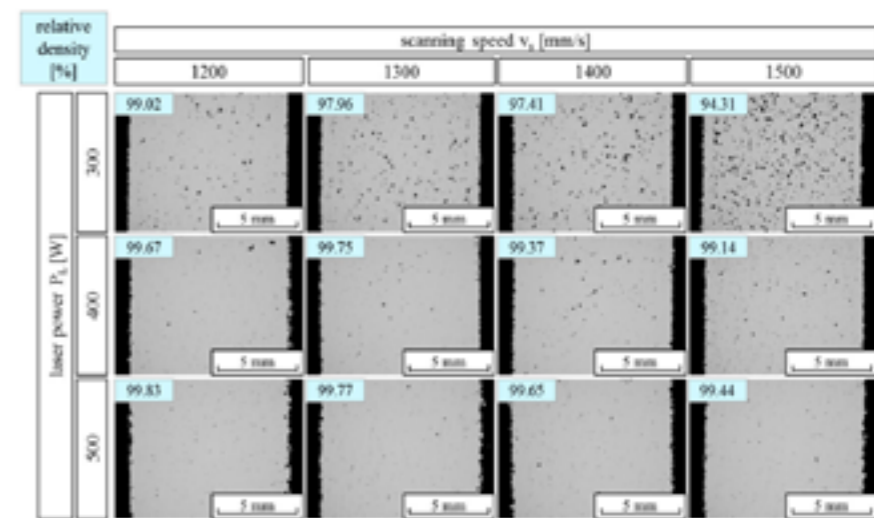


Det sista föredraget rörande additiv tillverkning hölls av Nico Kaufmann från LZH. Denne hade studerat SLM-tillverkning med den ”osvetsbara” aluminiumlegeringen AA7075. Han hade använt sig av gasatomiserat pulver med kornstorlekar mellan 20-63 μm, men menade att pulverkvaliteten var låg då merparten av kornen hade en elliptisk form. Försöken hade genomförts i en SLM 250HL-maskin och laserkällan var en 1 kW fiberlaser från RoFin Sinar [FL010S]. Tillverkningen hade skett i en skyddsatmosfar av Argon och uppbyggnaden hade gjorts i skikt om 50 μm. Lasereffekten hade varierats mellan 100-600 W och ”scanning”-hastigheten mellan 200-2.000 mm/sek för att studera dessa parametrars inverkan på strukturen. Här gick det att konstatera att ökande lasereffekt medför en högre densitet, medan en hög ”scanning”-hastighet har motsatt påverkan [Fig. 36]. Genomgande erhölls varmsprickor i uppbyggnadsriktningen vilket gick att härleda till restspanningar. Att förvärma arbetsplattformen till 200 °C avhjalpte inte detta problem. En annan iakttagelse var den avsevärda mängden Zink som foragades under SLM-processen. Dr. Kaufmann avslutade med att sammanfatta framtida aktiviteter med syfte att lösa sprickproblematiken. Dessa var; HIP [Hot Isostatic Pressure] -behandling efter den additiva tillverkningen, forvarming med hjälp av laser samt alternativa legeringskoncept.

Avslutningssession

Årets avslutningssession fokuserade på laserteknikens ställning i Finland och leddes inte helt överraskande av en av de verkliga trotjanarna i LANE:s programkommitté, nämligen professor Veli Kujanpaa från VTT [Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus], och som inledde med att ge ett koncentrat av pågående laseraktiviteter vilka traditionellt varit riktade mot den tyngre industrin, men som numera även börjar finna andra användningsområden.

En av de första industriella tillämpningarna handlade, liksom i Sverige, om tvådimensionell laserskärning. I Finland var det företaget Tammermeom som var pionjär i och med införskaffandet av en 500 W CO₂-laser. På forskningsidan startades laserverksamheten vid Lappeenranta University of Technology 1985 och 1992 följde VTT efter med egna laserinstallationer. Förutom dessa två ”giganter” bedrivs numera laserforskning även i Tampere [Tammerfors], Aalto och Oulu. Inalles



Figur 36. Överst framgår att densiteten av SLM-byggda objekt i aluminium AA7075 tilltar med ökande lasereffekt, men minskar med tilltagande ”scanning”-hastighet. Pulverpartiklarnas storlek och form är tvarvar inte alltid homogen vilket framgår av SEM-bilderna ovan.

finns idag hela 10 skolor som på något sätt bedriver utbildning i laserteknik. Finland statar ju ocksa med en egen tillverkare av laserkällor i form av företaget Corelase, vilket numera ägs av RoFin Sinar, och som i sitt produktprogram erbjuder fiberlasrar med höga effekter upp till 8 kW. Ett annat välkänt finskt märke är FinnPower, numera ägt av Prima Industries, som är en stor leverantör av planskarningsmaskiner baserade på laser, och slutligen har ju EOS en specifik finsk division som tillverkare pulverbaddmaskiner. Den gode Veli bedömer att det idag finns 70-80 system för lasersvetsning i Finland. Lägg därtill 700-800 installationer för laserskärning och 300-400 maskiner för lasermarkning så behöver man inte tveka om vilket land i Norden som hunnit längst med att implementera laserteknik i verkstadsindustrin. Bland exemplen hittar vi ”remote”-svetsning i Daimlers Uusikaupunki-fabrik [tidigare Valmet] där Mercedes A-Klassmodellen tillverkas. Vidare 3D-skärning och svetsning hos SSAB, fiberlasersvets-

ning hos företaget Veldo, diodlasersvetsning av katalysatorer hos EcoCat [Fig. 37], samt sönderdelning av TV-monitorer hos Proventa Automation för att avskilja miljöskadligt blyinnehåll. Andra företag varlda att nämna är Pemamek, Primocelar som sysslar med glasprocessering samt Cavitar-Cavilux som erbjuder belysningslösningar



Figur 37. Lasersvetsning av katalysatorer gör man med diodlaser hos det finska företaget EcoCat.

baserade på laser.

Näste talare var tidigare omnämnde professor Antti **Salminen** från Lappeenranta University of Technology som berättade om processparametrarnas inverkan på nyckelhålets form vid lasersvetsning av tjockt material upp till 25 mm. Resultaten var hämtade från kollegan Mikko **Vanskas** doktorandarbeta som till stora delar genomförts vid IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] i Stuttgart. Laserkällan som använts vid försöken var en TruDisc 5001 från Trumpf och försöksmaterialen utgjordes av austenitiskt rostfritt 1.4301- och 1.4404-material i tjocklekarna 5 och 8 mm. Tre olika typer av nyckelhålsform hade kunnat urskiljas, vilka Dr. Salminen valt att kalla "trap"-, "cylinder"- och "kaleidoscope"-form. Penetration som funktion av fokuspunktens placering hade studerats och här kunde man utläsa vissa skillnader beroende på om svetsarna utförts som BOP [Bead-On-Plate] eller stumsvetsar. Bäst korrelation mellan nyckelhålsform och penetrationsdjup fick man vid höga svets hastigheter. Försök hade också gjorts på Optim 900 QC-material med 3 mm tjocklek, men då med annan laserkälla vilken levererade 9,5 kW. Fokuspunkten var placerad 1 mm ner i materialet och tre olika svets hastigheter [1,5, 2,0 och 2,5 m/min] och två fiberdiametrar [200 resp. 600 µm] hade ingått i försöksmatrisen. Här visade det sig att endast svetsar utförda med den större fiberdiametern klarade slagseghetskraven vid -40 °

Att med hjälp av SLM tillverka verktyg i H13-material med hög densitet var temat för Alejandro **Revuelta** från VTT. Den utrustning som använts vid försöken var en SLM 125HL-maskin från SLM Solutions med 400 W lasereffekt. Uppbyggnaden hade skett i skikt om 30 µm och pulverbädden var förvärd till 200 °C. Provobjekt i storleksordningen 10×10×10 mm hade tillverkats i två olika försöksserier, samtidigt som simuleringar skedde med hjälp av en numerisk, termisk processmodell. I den första hölls effekten konstant till 175 W medan process hastighet och avståndet mellan påläggsspåren varierades, medan man i den andra serien höll det senare konstant till 160 µm och varierade process hastighet och effekt. En sträckenergi mellan 50-100 J/mm krävdes för att uppnå en acceptabel densitet. Som högst nåddes en densitet på 99,96% och då låg uppbyggnads-effektiviteten på 10,8 mm³/min.

Härefter var det dags för Olli **Nyrhilä**

från EOS Finland att ta vid. Företaget grundades år 2000 efter att dessförrinnan varit delägt av Electrolux. Man tillverkar inte bara SLM-maskiner utan tillhandahåller även metallpulver, och de största kunderna har man bland företaget som tillverkar medicintekniska produkter. Herr Nyrhilä påpekade att tre faktorer måste samverka för att uppnå goda resultat vid pulverbäddstillverkning, nämligen pulvermaterial, maskinkoncept samt själva SLM-processen. Som ett hjälpmedel erbjuder man sina kunder ett mjukvaruprogram kallat "Parameter Editor" innehåller omkring 200 parametrar för bl.a. val av supportstruktur, avstånd i gitterstrukturer och konturutformningar. Man har också ett inbyggt system för kvalitetskontroll som bygger på fotodioder vilka registrerar laserljusets intensitet.

Professor Petri **Vuoristo** från Tampere University of Technology tog sedan över "taktpinnen" för att beskriva pågående aktiviteter kring laserpåläggning. Dessa innefattar LMD med såväl pulver som tråd där den senare används såväl kall som förvärd. De första försöken i Finland utfördes i Lappeenranta 1988, men det som nu var nytt enligt Dr. Vuoristo var påläggning med hjälp av "scanner"-optik. Man har särskilt studerat LMD med effekter över 10 kW och då i samarbete med University of St Petersburg där man har tillgång till en 15 kW Yb-fiberlaser från IPG. Försök hade utförts med material som Inconel625, S235 och S355 och där pulvermatningen skedde med en utrustning från Medicoat. Verktyg som Coax11, Coax8 och CoaxWire hade kombinerats med en ILV-"scanner" och man hade uppnått påläggningsvärden på 335 g/min med ett mer än 70%-igt pulverutnyttjande. Som sagt hade även påläggning med tråd utvärderats, såväl enkel som dubbeltråd, och då med en diameter på 1,6 mm. Tillsammans med IWS i Dresden hade koaxiell varmrådspåläggning genomförts, och i samarbete med TWI [The Welding Institute, Cambridge] och LTU [Luleå Technical University] hade man studerat laserunderstödd kallsprutning. Det senare med syfte att öka adhesionsstyrkan hos det pålagda pulvret. Slutligen redogjorde Dr. Vuoristo för några försök med påläggning med varmråd hos KETEK, där man kunnat konstatera varmsprickskänslighet vid påläggning med Inconel625.

Siste talare i denna finska exposé och tillika i hela LANE-konferensen var professor Jouni **Partanen** från Aalto University, som bildades 2010 genom en

sammanslagning av tre skilda universitet i Helsingforsstrakten. Hans ämne rörde verktygsfri, digital produktion som inledningsvis exemplifierades med laserbaserad 3D-printning av implantat och andra medicintekniska produkter. Men han torgförde några andra verktygslösa tillverkningsmetoder som t.ex. så kallad inkrementell plåtformning där en kulformad tapp formar det plana plåtämnet. Detta är en teknik som är väl lämpad vid enstyckstillverkning eller lågserieproduktion och illustrerades här med små plåtboxar till skogsmaskiner. I en annan metod användes lasern för uppvärmning av grundmaterialet, vilket sedan formades genom att applicera ett koncentrerat lufttryck över detsamma. Dr. Partanen avslutade sin något udda presentation med några kostmodeller som kunde indikera vilken metod som var bäst vid olika seriestorlekar.

Sammanfattningsvis kan man säga att LANE-konferensen behåller sin höga organisatoriska förmåga och fortsätter att attrahera en stor publik. Dock är fortfarande presentationer från universitet, högskolor och forskningsinstitut i klar majoritet, även om vi kunde lyssna till en del intressanta bidrag från industrin. Keynotesession visade än en gång på laserteknikens mångfasetterade användningsområden, och det är uppenbart att professor Michael **Schmidt** och hans stab vill fortsätta att göra LANE-konferenserna så heltäckande som möjligt. Hursomhelst ges utmärkte tillfällen till gemytligt umgänge och utbyte av erfarenheter konferensdeltagarna emellan, och förhoppningsvis kommer många av oss att återvända till Fürth om två år då nästa LANE-konferens går av stapeln. I del 2 sid. 44 återkommer jag med en summering från övriga sessioner som jag besökte, och vilka bl.a. handlade om svetsning, skärning, ytbehandling, sensorer och processövervakning m.m. ■



I-PFO - Den nya tekniken för enkel och flexibel tillämpning av högproduktiva "on-the-fly" processer

Mikael Olsson,
Trumpf Maskin AB

Standardiserade produktionssystem som kan bli implementerade, programmerade, underhållna och inköpta på ett enkelt och effektivt sätt är nyckeln till en framgångsrik global produktion av bilar eller relaterade delar hos komponentleverantörer. Detta gäller även för system som är byggda för laserbaserade processer. En av nyckelapplikationerna är fjärrlasersvetsning (Remote Laser Welding) av "Body i White" (BIW) komponenter (såsom påhållningsdelar, B-stolpar, sidoramar, etc.), men även inbyggda komponenter (t.ex. bilsäten, batterier, etc.). Majoriteten av RLW applikationer bygger på implementering av en 3-D scanner-optik som positionerar laserstrålen på de olika komponenttyperna som skall svetsas.

Under de senaste 10 åren har det visat sig att det mest effektiva sättet att bygga upp RLW processen är att ha ett system där en industrirobot och en scanner-optik kombineras i en produktionscell. De samarbetar vanligtvis inom en "On-The-Fly" (OTF) process eftersom det garanterar minimicykeltider. Hittills finns det flera tekniker på marknaden som kan samordna både roboten och skannern i OTF läget, men ingen av dem uppfyller alla krav för globala standardiserade produktionslösningar.

Med införandet av I-PFO (Intelligent programmerbar fokuseringsoptik) teknologi har situationen förändrats. Det är nu möjligt att programmera eller anta komplexa fjärrprocesser på ett snabbt och enkelt sätt med "Teach-in" funktion via robotens teach-panel. Med hjälp av en 3D offline programvara går det att skapa den idealiska fjärrprocessen automatiskt baserat på detalj, fixtur, produktionscell

och nödvändiga processparametrar.

I-PFO teknik behöver inte ytterligare hårdvara på grund av det faktum att det körs på kontrollenheten inom PFO 3D. Vidare fungerar systemet ihop med olika typer av industrirobotar (exempelvis ABB, Fanuc och KUKA) som möjliggör högsta flexibilitet för produktionsplaneringsfasen. Dessutom kan en enda TRUMPF laserkälla leverera ljus till upp till sex stycken I-PFO optiker. Detta garanterar maximal effektivitet vid produktionslinjen. Nedan beskrivs begreppet I-PFO och jämförs med andra befintliga metoder för Remote Laser Welding.

Introduktion

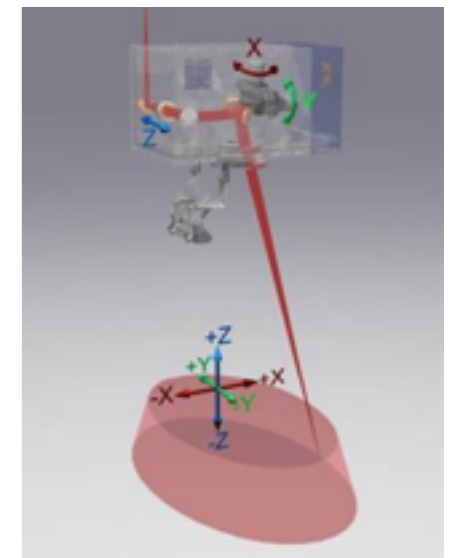
Arbetsområdet för en PFO 3D (men även av andra tillgängliga laserskannrar) är inte tillräckligt för att skapa alla nödvändiga överlappsfogar för stora BIW komponenter (exempelvis en bildörr). **Figur 1** visar arbetsområdet för en PFO 3D som är en stympad kon. Laserstrålen kan riktas till en punkt inuti arbetsvolymer. Genom att använda PFO program kan olika svetsfogarformer (t.ex. C-form överlappningssvetsar) utföras av laserstrålen inom detta arbetsområde. När ett program startas utförs alla dessa former av PFO 3D.

Vid en brännvidd på 450 mm (punktstorlek av 650 micro m) har detta arbetsområde följande mått:

- Övre oval: 190 x 320 mm
- Lägre ovala: 206 x 352 mm
- Full Z- slaglängd: 140 mm

Vektorbaserad

Vektorbaserat samarbete är det enklaste sättet för OTF bearbetning. Det utförs

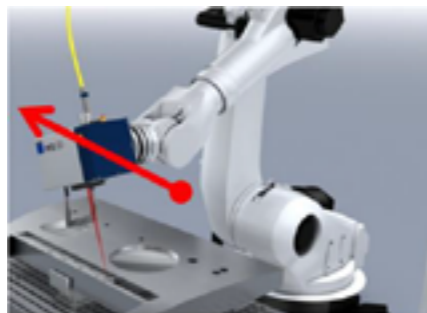


Figur 1. Arbetsområde av den programmerbara fokuseringsoptiken: PFO-3D.

av en inbyggd funktion inom PFO 3D som kallas "enkel koordinering". Den möjliggör för PFO 3D för att beakta sin rörelse längs en 3-D linjärvektor (X, Y, Z). Vektorn informationen sparas i laserprogrammet. Under förflyttningen av PFO 3D kan programmen startas genom externa triggers. Den "enkla koordinerings"-funktionen säkerställer att alla svetsar är på den plats där de ska vara. Därför finns det ingen påverkan på svetsprocessen som skulle kunna orsakas av PFO3-D:ns rörelse. Vid robotrörelseändringar (orientering eller hastighet) är det nödvändigt med acceptans av vektorinformation. Om detta inte görs kommer formen och läget för svetsfogarna inte vara som de ska vara.

Med denna lösning finns det inte någon kommunikation mellan PFO 3D

och industriroboten. Även om detta ett mycket enkelt och kostnadseffektivt sätt att genomföra RLW så begränsar restriktionerna av linjära vektorer användningen av tekniken. Större detaljer kan behöva delas upp i olika vektorer. Offline-programmering finns inte tillgänglig för alla olika industrirobottyper (endast för ABB-robotar). **Figur 2**



Figur 2.
Vektorbaserad OTF bearbetning

Robotbaserad

Det finns dessutom robotbaserade lösningar för OTF bearbetning. De flesta av dem är specifika och utvecklade av industrirobotleverantörer. En "robot baserad" lösning är till exempel att PFO 3D programmeras och styrs som en extern enhet med ytterligare tre axlar (axel 7, 8 och 9 på robotstyrningen). Detta är vanligt när man använder positioneringsenheter (t.ex. vändbord i svetsceller), men används också tillsammans med en laserscanner.

En annan "robot baserad" lösning är en teknik som fungerar endast med en KUKA Robot. Inom denna teknik triggar robotprogrammet starten av OTF processen vid PFO 3D. Denna trigger måste programmeras på det geometriska läget där svetsömmen är och inom ett visst avstånd till arbetsområdet för PFO 3D. Efter triggen får PFO 3D kontinuerligt positionsinformation av TCP från KUKA Roboten ur vägplaneringen som görs av robotstyrningen. Baserat på denna information införlivar PFO 3D sin rörelse i början av svetsningen. Starten av svetsningen utförs av PFO 3D inom en definierad tidsfördröjning efter trigg av KUKA roboten.

Även om dessa lösningar kan bygga kompletta OTF processer utan begränsningar så är de komplicerade att programmera och optimera eftersom förändringar i robotrörelsen (bana eller hastighet) måste läras in och valideras.

Ett annat sätt för samarbete mellan industriroboten och PFO 3D är en så kallad tidssynkroniserad process. För denna lösning beräknas OTF-programmet utifrån ett befintligt robotprogram. Detta görs genom en extern styrenhet som tillhandahålls av leverantören av denna typ av lösning. När beräkningen av OTF-programmet (som styr laserscannern) är avslutad finns det två program (robot och skanner) som startas synkront i början av RLW processen.

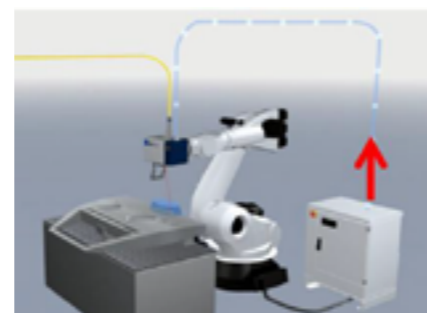
I-PFO teknologi – ett nytt positionsbaserat system

Det fjärde sättet att samarbeta mellan laserscanner och industriroboten är "Position baserade" system. För denna teknik känner laserscannern sin position inom robotens arbetsområde och vet också positionerna för processområdena (t ex svetsfogar) på arbetsstycket. **Figur 3**

Den nya I-PFO (Intelligent programmerbar fokuseringsoptik) tekniken från TRUMPF är för närvarande det enda "Position baserade" systemet på marknaden. När behandlingspunkten ligger inom arbetsområdet för PFO 3D och alla processrelaterade förhållanden (t ex definierade vinkeln för laserstrålen) är uppfyllda så börjar I-PFO systemet bearbeta självständigt. Detta möjliggörs av en pågående kommunikation mellan PFO 3D och industriroboten (under sin rörelse).

PFO 3D och industriroboten är anslutna via realtidsgränssnitt till banplaneringen på robotstyrningen. Banplaneringsfunktionen används främst av de servodrivna axlarna hos roboten (Axel 1 till Axel 6) för att flytta Tool Center Point (TCP) vid axeln 6 utmed den programmerade banan. Gränssnittet till denna funktion är tillgänglig på alla större industrirobotar. Detta gränssnitts positionsinformation (X, Y, Z och orientering) är tillgänglig och uppdateras kontinuerligt. Det finns en omräkning av dessa positioner under robotstyrningens interpoleringscykel (typiska cykeltider 3-12 ms). Denna information är också tillgänglig och används av PFO 3D för att identifiera sin position inom robotens arbetsområde.

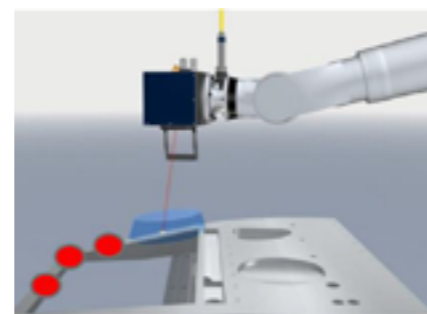
Eftersom denna lösning är baserad på befintliga standardgränssnitt som finns på nästan alla robottyper finns det normalt ingen begränsning till dedikerade robottyper. Detta garanterar maximal flexibilitet för produktionsplaneringsprocessen hos globala biltillverkare eller deras underleverantörer.



Figur 3.
Robotbaserad OTF bearbetning

I allmänhet finns det två sätt att programmera I-PFO: Teach-In eller offline programmering. Teach-In programmering är ett mycket enkelt sätt att programmera en OTF process med I-PFO. Den allmänna principen är vanlig vid programmering av industrirobotar. När en position under programmeringsprocessen behövs kommer roboten inklusive Tool Centre Point (TCP) flyttas till önskad position genom användning av industrirobotens teach-panel. När positionen har nåtts kan den helt enkelt sparas. Programmeringen av I-PFO fungerar på ett liknande sätt. Genom användning av pilotlaser (vilken skjuter bearbetningsgeometrin på arbetsstycket) för PFO 3D som flyttas till den position där svetsgeometrin skall placeras (som skall realiseras genom rörelsen av roboten). När läget har nåtts sparas enkelt positionen av bearbetningspunkten.

I-PFO är en metod som är oberoende



Figur 4.
Positionsbaserad OTF bearbetning

av industriroboten. Dessutom kräver I-PFO lösningen den minsta mängden av relaterade moduler och minskar därmed komplexiteten i hela systemet, vilket säkerställer minskade insatser för drift och underhåll. Den nya I-PFO teknologin stödjer nuvarande och framtida krav på produktionsystem som ska installeras i produktionsanläggningar över hela världen. ■

Senaste Nytt från Lasergrupp FoU

Johnny K Larsson,
Autokropolis Engineering

Redan i LaserNytt 2-2016 berättade vi om den konstituerade **Lasergrupp FoU**, vars huvudsakliga syfte är att koordinera den svenska industriella laserforskningen vid de tre forskningsutförarna Swerea-KIMAB, Luleå Tekniska Universitet och Högskolan Väst i Trollhättan. Att bedriva laserforskning var en av de ursprungliga ansatserna då Lasergruppen bildades för 30 år sedan, men det är först nu som vi genomför en verklig satsning på detta. Avsikten är att forskningen skall utgå från ett reellt, uttalat behov från Lasergruppens medlemsföretag, och där finansieringen huvudsakligen sker genom ansökan om medel från statliga myndigheter såsom VINNOVA, KK-stiftelsen eller Energi-myndigheten. Att som medlemsföretag i Lasergruppen engagera sig i Lasergrupp FoU innebär ett unikt tillfälle att kunna påverka svensk laserforskning, varför den intresserade uppmanas att kontakta någon av:

Johnny K. Larsson/ordförande **Lasergrupp FoU**, johnny.jk.larsson@gmail.com
Kjell-Arne Persson/SwereaKIMAB, kjell-arne.persson@swerea.se
Torbjörn Ilar/Luleå Tekniska Universitet, torbjorn.ilar@ltu.se
Fredrik Sikström/Högskolan Väst, fredrik.sikstrom@hv.se

Och att **Lasergrupp FoU** har en stark påverkansmöjlighet bevisas inte minst av att vi nyligen beviljades ett anslag från VINNOVAs FFI [Fordonsstrategisk Forskning och Innovation] –program på över 4 miljoner kronor för vår projektansökan LAWA [Production Friendly Solutions for Laser Welding of Aluminium]. Deltagande industripartners i detta projekt är AGA Gas, GKN Aerospace, Gestamp HardTech,



Permanova Lasersystem, SAPA AB och Volvo Cars.

Andra pågående forskningsuppdrag handlar om adaptiv kontroll vid laser-svetsning med varierande spalt mellan plåtarna, samt lasersvetsning av lättvikts-material som aluminium och magnesium. Men även om det kan tyckas att "utvecklingsportföljen" är välfylld ligger inte Lasergrupp FoU på latsidan utan gick nyligen in med två projektinitiativ i en utlysning från Jernkontoret. Dessa idéer är:

- Projektinitiativ #47: Defektfria svetsar i metalliska material
 - Projektinitiativ #68: Låg vakuum atmosfär för extremt djup, smal och högkvalitativ lasersvetsning
- Så om ni gillar dessa finns mer information att hämta på <http://www.metalliska-material.se/>

I vår idébank hittar man även följande förslag:

- Porformering – prediktering, bedömning och detektering
- Varmsprickor vid lasersvetsning – prediktering, bedömning och detektering
- Datalagring och -användning
- Avancerade laseroptiker

- Fjärrlasersvetsning av stål och aluminium [utan tillsatsmaterial]
- Lokal mjukgörning med laser
- Lasersvetsning av tjockt material ≥ 15 mm
- Laserborrning av olika material
- Lasersvetsning av presshårdade komponenter
- Additiv tillverkning, inklusive efterbearbetning (med laser)
- Utvärdering av laserskärbarheten hos kopparlegeringar

Hjälp oss nu att fylla på ovanstående lista genom att engagera Dig och Ditt företag i Lasergrupp FoU. Deltagandet är helt gratis, men vi kan lova att "avkastningen" kommer att gagna svensk laserverksamhets konkurrenskraft! ■



Integration av två tekniker fördubblar prestanda och produktivitet

Johnny K Larsson,
Autokropolis Engineering

En arbetsstation, konstruerad och tillverkad i Italien, framställer metallprodukter i världsklass. Mauro Tanini, ägare till Tanini Fotoincisione i Rosano, förklarar hur systemet producerar tryckplåtar i mässing, stål och aluminium. Han hävdar att förmågan att både avverka metall och därefter polera ytan med en och samma utrustning har optimerat såväl prestanda som cykeltider hos företagets produkter, samtidigt som bearbetningsprocesserna är stabila över långa seriestorlekar.

Italien är världsberömt för sina viner; Prosecco, Brunello di Montalcino, Chianti och Franciacorta m.fl. Många företag bidrar till den här "Made in Italy"-succén genom att stödja exporten av dessa viner över hela världen. Bland företagen finns Fotoincisione Tanini, i Rignano sull'Arno, Toscana, som i många år har specialiserat sig på tillverkning av tryckvalsar som används för att tillverka etiketter till dessa vinbuteljer.

Företaget, som grundades 1975, tillverkar stansar och dynor för tryckeri-



Figur 1. Exempel från företaget Fotoincisione Tanini på graverade verktyg för varmtryckning eller präglning. Samtliga har tillverkats i maskinen "Gamma Dualtech" från Cielle.



ändamål, litografmaskiner och etiketryckare. De startade med att göra plåtar för offset-tryckning genom s.k. fotosättning, och fortsatte sedan med datorbaserade fotoplottrar. 1992 introducerades den första maskinen för kemisk gravyr av magnesiumstämplar för varmtryckning och präglning. Utvecklingen inom denna bransch ledde in företaget på CTP [Computer-to-Plate] -system, vilka fotografiskt kan avbilda en ritning direkt på metallplattor. För att hitta nya möjligheter att tillverka präglingsverktyg med tredimensionell djupkontrast och bättre kvalitet än vad som är möjligt med kemisk gravering, utvecklade Fotoincisione Tanini 1998 en tillverkningsprocess som inkluderade CNC [Computer Numerical Control] -maskiner från Cielle. En sådan senare variant är den s.k. Gamma Dualtech vilken introducerades 2006 [Fig. 1]. "Det primära behovet", säger Mauro Tanini, "var att ha tillgång till en kraftig, robust och precis maskin som kunde användas vid produktion av gravyrplattor för varmtryckning och präglning. Och med Cielles "Gamma Dualtech" har vi funnit exakt vad vi behöver".

Cielles "Gamma Dualtech 60/50" är en fyraxlig maskin för att tillverka tryckplåtar

och stansverktyg [Fig. 2]. Maskinens konstruktion möjliggör maskinbearbetning av material genom att nyttja och kombinera två teknologier; en Ytterbium-laser med en medeleffekt på endast 20 W avsedd för polering av komplexa geometrier, och en vätskekyld 8 kW HSK-E40 elektrisk spindel med 36.000 rpm, vilken är idealisk för snabb materialavverkning. Med denna dubbellösning kan man fräsa fram och märka gravyrverktyg med extrem precision och hög produktivitet.

Maskinen är utrustad med tre rörliga axlar kompletterade med en fjärde rotationsaxel för cylindrisk bearbetning. Alla axlarna har CNC-DSP [Digital Signal Processing] -styrda motorer, omvändbara kulleleder, block och ledskenor, samt ett automatiskt magnetsystem för anslutning av laserverktyget. Allt är inbyggt i ett säkerhetskabinett med kameraövervakning av laserprocessen, och vidare ingår en kylhet och ett evakueringsystem som tar hand om avverkade metallpartiklar.

"Valet av "Gamma Dualtech" hörde samman med behovet av en högpressterande maskin för gravering av mässingscylindrar för varmtryckning av det självhäftande material som används för etikettering av vin- och spritflaskor," säger

signore Tanini. "I de flesta fall tar materialavverkning med laser längre tid jämfört med mekanisk fräsning, men då det gäller mikrogravering måste mekaniska metoder upprepas ett flertal gånger p.g.a. verktygsförslitning. Lasertekniken garanterar ett färdigt slutresultat efter blott en bearbetningsomgång.

Ett exempel kan vara graveringen av ett mässingsverktyg med mycket små detaljer som t.ex. den inre delen av bokstaven A. Efter att ha importerat den vektorfil som tillhandahålls av kunden, identifierar Cielles mjukvaruprogram "Incicam", vilket är installerat i "Gamma Dualtech", möjliga problem såsom skärningspunkter i layouten. Därefter utförs en första maskinbearbetning, t.ex. med ett cylindriskt verktyg med en skärbredd på 3 mm, vilken skapar en grov form ur mässingsämnet. En andra bearbetningsomgång görs sedan med ett koniskt verktyg med en skärbredd på 0,4 mm vilket avverkar de rester som finns kvar från den första operationen, varefter en tredje bearbetning sker med ett 0,1 mm grovt skärverktyg. Om mönstret kräver ytterligare finbearbetning använder man laserverktyget, vilket kan åstadkomma en detaljnoggrannhet kring 0,04 mm. När proceduren väl är etablerad tar det endast 10-15 minuter för att sätta upp ett nytt jobb, vilket då konverteras över till maskinens styrprogram. När maskinen sedan startar väljer den ut de verktyg som behövs och genomför de olika ovan beskrivna operationerna, vilket också innefattar laserbearbetningen, till dess att den slutgiltiga geometrin och mönstret har uppnåtts på verktyget.

"När vi tidigare utförde precisionsbearbetning med enbart mekaniska verktyg tvingades vi alltid kontrollera utfallet på den präglade tryckplåten, och vi fastslog ofta att det finaste verktyget hade förlitits och därför frekvent måste ersättas med ett nytt för att erhålla den önskade detaljnoggrannheten", menar Tanini. "Att på nytt bearbeta samma plåt innebar extra tidsåtgång och en risk för att undergräva kvalitén. Genom att vi tillfört laseroperationen behöver vi inte omarbota gravrymönstret längre, och inte heller bekymra oss om att resultatet inte skulle bli det önskade. Dessutom, om maskinbearbetningen är komplex, rekommenderar vi alltid att använda lasern för att få ett repeterbart utfall, något som skulle vara svårare om man ständigt måste byta ut det 0,1 mm stora skärverktyget p.g.a. att det går sönder eller förslits.

Genom att använda Cielles kombina-



Figur 2. Kombinationsmaskinen "Gamma Dualtech 60/50" från företaget Cielle kombinerar fräsning och laserpolering. Den är utrustad med fyra axlar och har ett mobilt arbetsbord för tillverkning av tryckplåtar och stansverktyg.

tionsteknik har företaget kunnat optimera arbetstid och produktivitet. "I början använde vi nästan enbart kemisk gravering av magnesiumverktyg p.g.a. den höga processhastigheten, vilken innebär att man kan åstadkomma tryckplåtar i vilken dimension som helst på mindre än en timme", säger Tanini. Däremot lämpar sig den metoden inte vid långa produktionstider, och den är framförallt inte lämplig för både varmtryckning och präglning. "Med "Gamma Dualtech", förklarar Mauro Tanini, "kan vi utföra allt från att gravera en mindre cylinder på 1,5 timmar till 32 timmars kontinuerlig bearbetning av storskaliga cylindrar där hela mantelytan graveras. Vidare vill jag påstå att andra graveringsformer, som exempelvis mikrogravering av koppar, vore otänkbara utan denna kombinationsprocess. Eftersom vi enbart arbetar med unika mönster kan vi inte tillåta oss några felmarginaler. Mässing kan vara speciellt svårbehandlat, men med den process som Cielle erbjuder kan varje objekt, utan några risker, bearbetas i två steg i en och samma maskin. Detta optimerar maskintid och effektiviserar genomförande av varje order. Det var garantin för ett tillfredsställande slutresultat som gjorde att vi fastnade för denna kombinationsmaskin från Cielle", avslutar signore Tanini. ■

Lasersvetsning under reducerat lufttryck förbättrar svetskvalitet och reducerar svetsssprut

Johnny K. Larsson,
Autokropolis Engineering

Dr. Klaus Dilger träffade jag första gången på tidigt 1990-tal i samband med ett samprojekt mellan Volvo, BMW och Jaguar LandRover. Projektet syftade till att bygga kunskap kring lättviktskarosser i aluminium och hur dessa skulle sammanfogas på bästa sätt. Tyngdpunkten låg på utveckling av strukturlimmar och förbehandlingsmetoder av aluminiumytorna för att åstadkomma en god vätnings och vidhäftning. Därför hade Dr. Dilger anlåtats som limexpert i gruppen p.g.a. hans dåtida arbetsuppgifter vid Technische Universität München. Några år senare flyttade han sina bopålar till Braunschweig och tillförordnades som institutionsföreståndare vid ifs [Institut für Füge- und Schweißtechnik] där. Institutet sorterar under Technische Universität [TU] Braunschweig och har genom åren haft ett nära samarbete med Volkswagen AG, vilket är naturligt då bilföretagets huvudsäte ligger i Wolfsburg, blott ett stenkast från ifs. Nu är det inte enbart limning man studerar vid institutet utan man förfogar över utrustningar för de flesta svetsmetoder, något som vissa av Lasergruppens medlemmar kunde konstatera under den uppskattade studieresan dit i oktober 2010. Samarbetet med VW har fördjupats över åren och lett till att man nu grundat ett nytt forskningscentrum, Open Hybrid Lab Factory e.V., nära Wolfsburg, där Dr. Dilger leder arbetet tillsammans med utvecklingsansvariga inom VW-koncernen [Fig. 1]. Forskningscentrat invigdes under sommaren förra året, och byggnadskostnaden på 30 miljoner euros har delvis finansierats av BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung]. Här är det meningen att 200 heltidsanställda

forskare tillsammans med 150 doktorand-studenter skall utveckla nästa generation av VW-produkter med tyngdpunkten på lättviktskonstruktion

Under det här samtalet kommer den gode Klaus att breda ut sig i ett ämne som rönt stor uppmärksamhet på senare tid, nämligen lasersvetsning under reducerat lufttryck.

Inom det statligt finansierade projektet "LaReD" har vi undersökt potentialen hos fastkroppslasrar med hög strålkvalitet och hur man kan förbättra svetskvaliteten vid användning av denna typ av laserkällor. Projektet har till största delen genomförts här på ifs med stöd från DVS [Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.].

Målet är att möjliggöra användningen av den senaste generationens fastkroppslasrar för svetsning av komponenter med extremt höga kvalitetskrav som exempelvis växellådor till personbilsindustrin. I det här fallet innebär svetsning under reducerat lufttryck en avsevärd skillnad då det gäller att åstadkomma högkvalitativa svetsar. Jag vill emellertid påpeka att det



Figur 1. Dr. Dilger avslöjar oanade färdigheter då han symboliskt lägger de första stenarna till "Open Hybrid Lab Factory", under överinseende av bl.a. Gabriele Heinen-Kljaji, Bundesland Niedersachsens minister för vetenskap och kultur, borgmästare Klaus Mohrs, komponentutvecklingsansvarig inom VW-koncernen Thomas Schmall, och professor Jürgen Hesselbach, rektor vid TU Braunschweig.

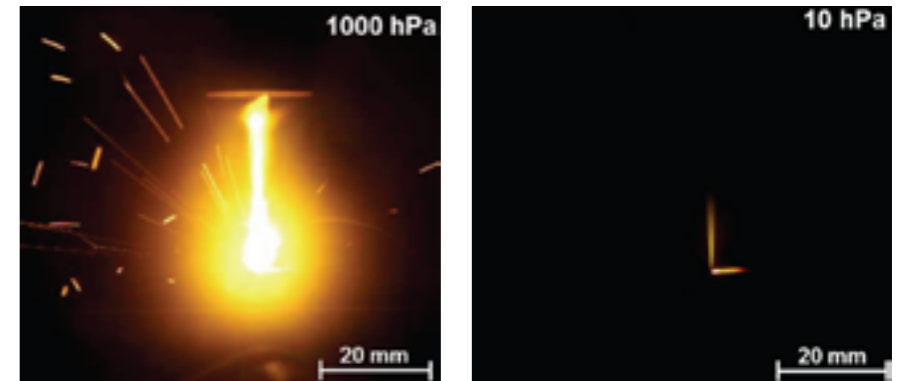


inte rör sig om svetsning i vakuum, utan som sagt endast under reducerat lufttryck. Det går att urskönja en viss kvalitetsökning redan vid ett tryck på 100 hPa, men den bästa kvaliteten har vi fått vid lufttryck i området 10 till 1 hPa.

Som bekant sker vid lasersvetsning en lokal förångning av materialet i laserstrålens fokuspunkt p.g.a. den höga energitätheten, som gör att ett s.k. nyckelhål bildas. Den förångade metallen lämnar nyckelhålet med högt tryck, vilket kan observeras som ett intensivt ljus ovanför svetsområdet, något som vanligtvis benämns plasma [Fig. 2]. Det skarpa skenet från plasmat orsakas av värmeutstrålning från koncentrationen av förångade metallpartiklar. Dessa partiklar absorberar delvis den infallande laserstrålen, vilket leder till interaktion mellan denna och plasmat. En mångfald svetsförsök som vi genomfört gav vid handen att laserljuset sprids p.g.a. denna interaktion och orsakar en instabil svetsprocess.

Genom att minska det omgivande lufttrycket reduceras det intensiva ljuset och därmed plasmat. Vid omgivningstryck under 10 hPa syns praktiskt taget inte längre något plasmaljus, och inte heller ser man någon nämnvärd spridning av den infallande laserstrålen. De kvarvarande luftmolekylerna kan inte längre bromsa upp de förångade metallpartiklar som avlägsnar sig ur nyckelhålet, utan dessa kan ostört lämna detta i en kontrollerad riktning. Dessutom är förångningstemperaturen hos järn lägre vid reducerat lufttryck vilket gör att de förångade metallpartiklarna får en lägre temperatur och därmed utstrålar mindre ljus. Interaktionen mellan laserstråle och plasma undertrycks vid svetsning under reducerat lufttryck, vilket påverkar såväl svetsprocessen som den färdiga svetsen, något som jag vill beskriva i de följande resultaten från svetsning i 3 mm tjockt sätthärdsningsstål i kvaliteten 16MnCr5.

Vid lasersvetsning träffar de förångade metallpartiklarna nyckelhålets bakre vägg och slår hål på dess ytspänning, vilket resulterar i uppkomsten av svetsssprut. I en produktionsmiljö leder svetsssprut till flera allvarliga problem såsom metallpartiklar som fastnar på den svetsade komponentens ytor, men också till nedsmutsning av optikens skyddsglas. Vidare innebär svetsssprut en materialförlust i själva svetsgodset vilket kan visa sig i form av insjunkna svetsar. Nackdelarna blir då en svagare svets något som får en negativ inverkan på komponentens livslängd. Vid laser-

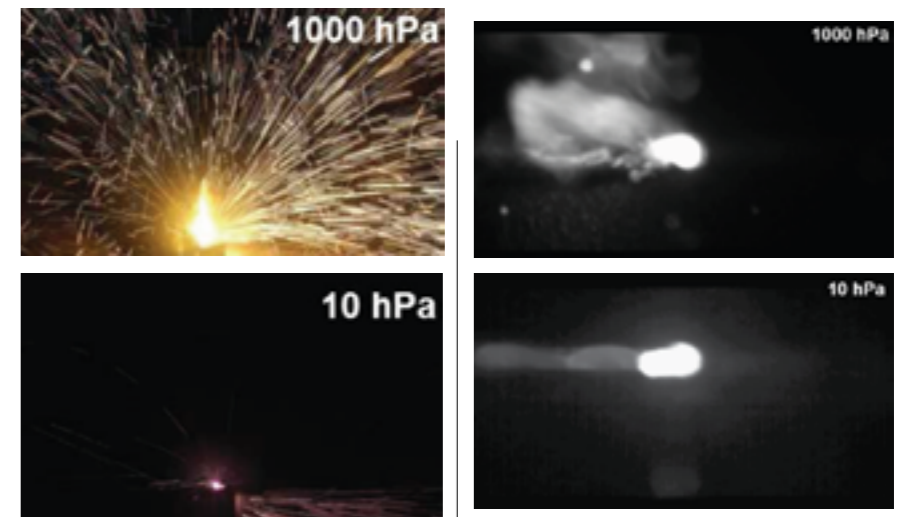


Figur 2. Utseendet på förångningsplasmat vid olika omgivande lufttryck.

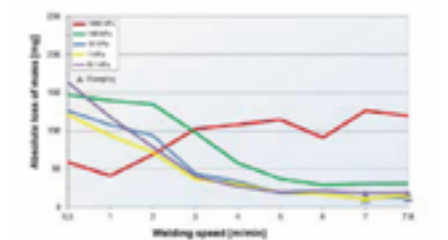
svetsning under atmosfäriskt tryck kan man observera kraftigt svetsssprut, medan fastsittande metallpartiklar på plåtytan kraftigt reduceras vid svetsning under ett reducerat lufttryck på 10 hPa [Fig. 3].

Provobjekten vägdes före och efter svetsning på en precisionsvåg, och svetsssprutet karaktäriserades som viktsminskning hos provplåtarna [Fig. 4]. En reduktion av lufttrycket till 10 hPa går hand i hand med en minskad förekomst av svetsssprut. Karaktäristiskt vid denna form av lasersvetsning är också att förekomsten av svetsssprut minskar vid ökande svets-hastighet, medan en ytterligare minskning av lufttrycket inte har någon signifikant inverkan på mängden svetsssprut. Detta att minskat svetsssprut vid reducerat lufttryck är tydligast vid höga svets-hastigheter är igen ett resultat av undertryckandet av förångningsplasmat.

På bilder från höghastighetsfilmning vid svetsning i normal atmosfär kan man se hur svetsssprut separerar från smältan [Fig. 5]. I detta fall skapar de förångade metallpartiklarna pulserande krafter på nyckelhålets bakkant vilket leder till



Figur 3. Observationer av svetsssprut under lasersvetsning.



Figur 4. Uppmätning av de lasersvetsade provplåtarnas vikt vid olika omgivande lufttryck och svets-hastigheter.

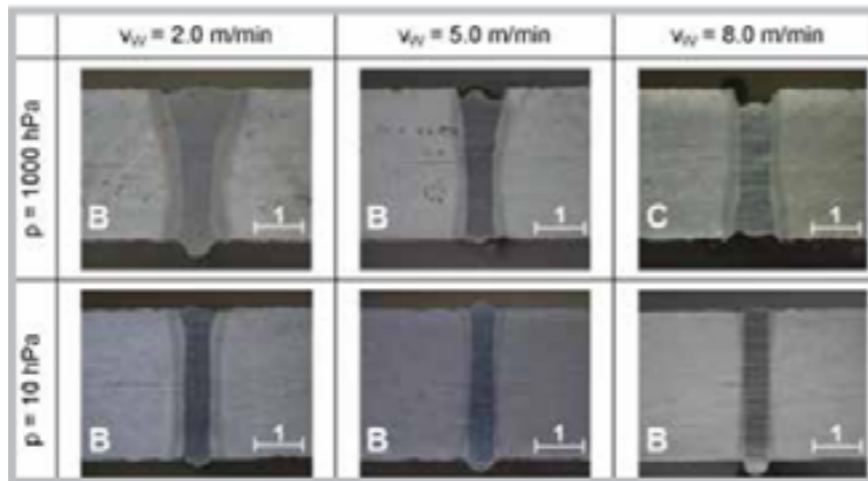
separation av ytterligare metallpartiklar. Vid reducerat lufttryck får nyckelhålets öppning, speciellt vid höga processhastigheter, en avlång form vilket underlättar för förångningspartiklarna att avlägsna sig ur nyckelhålet. Dessa lämnar detsamma utan att komma i kontakt med nyckelhålets bakre vägg och därmed utsätts denna inte för de pulserande krafter som annars ger upphov till svetsssprut. P.g.a. det minskade svetsssprutet, som är en konsekvens av undertryckandet av förångningspartiklar, uppstår ett mindre dynamisk smältbad. Vid reducerat lufttryck är svetsprocessen stabilare och uppvisar inga fluktuationer

eller några kraftiga rörelser i smältan.

Figur 6 visar flera svetsvärnsnitt där kvalitetsnivån anges i överensstämmelse med den internationella standarden ISO 13919-1. Den hastighetsberoende viktsförlusten i form av svetsprut som tidigare visades i **figur 3** kan klart korreleras till tvärsnittet genom de förekommande geometriska defekterna. Vid svetsning under normalt atmosfäriskt tryck uppvisar tvärsnittet endast fåtaliga defekter vid en svets hastighet på 2 m/min. Defekterna ökar med tilltagande svets hastighet. Makrosnittet från svetsar utförda med 5 och 8 m/min visar tydliga defekter såsom insjunkna svets och roffel, vilka har orsakats av svetsprut. Vid svetsning under reducerat lufttryck är svetsarna mycket homogena utan några oregelbundenheter hos svetsgeometrin. Skälet går att härleda till mindre svetsprut, vilket reducerar materialförlusterna så att det finns tillräckligt med material kvar för att skapa en defektfri svets. Speciellt vid höga svets hastigheter föreligger en klar fördel vid svetsning med reducerat lufttryck eller i vakuum.

Vid fortsatta försök svetsades verkliga komponenter i vakuum. **Figur 7** visar en typisk svetsapplikation vid tillverkning av växellådor. En kopplingsdel pressas till ett kugghjul varefter detaljerna sammansvetsas med laser i en stumfogsgeometri. Detaljerna är förhållandevis små, med en diameter kring 100 mm, och är därför en ideal applikation att utföra i en liten vakuumkammare. Komponenten svetsades med en hastighet på 5 m/min med excellent kvalitet och helt sprutfritt. Tvärsnittssektionen visar en mycket smal, homogen och defektfri svets med ett penetrationsdjup på 4 mm. Att uppnå en likartad högkvalitativ svets är inte möjligt om svetsningen utförs under atmosfäriska tryckförhållanden.

Våra undersökningar visar klart på



Figur 6. Tvärsnitt genom lasersvetsar utförda på 3 mm tjockt 16MnCr5 vid olika omgivande lufttryck och svets hastigheter.



Figur 7. En typisk lasersvetsapplikation vid tillverkning av växellådor.

att svetsa under reducerat lufttryck med fastkroppslasrar erbjuder en enorm potential för kvalitetsförbättringar i form av minskat svetsprut och optimal svetsprofil. Därför kan gränserna för moderna laserkällor med hög strålkvalitet avsevärt utvidgas med hänsyn till de svets hastigheter de har att erbjuda. Fördelarna är således både av ekonomisk och av kvalitativ art.

P.g.a. dessa fördelar kan vi förvänta oss att denna form av lasersvetsning, speciellt då det gäller applikationer som kräver

höga krav på svetskvalitet och minimalt svetsprut, inom de närmaste åren kommer att introduceras i verklig produktion. Detta kan jag påstå, eftersom fördelarna med lasersvetsning under reducerat lufttryck har transfererats till en industriell miljö redan under projektets gång, och till en sådan nivå att kunder börjar göra förfrågningar kring komponenter som skulle kunna svetsas med denna process. ■



Fråga Laserdoktorn

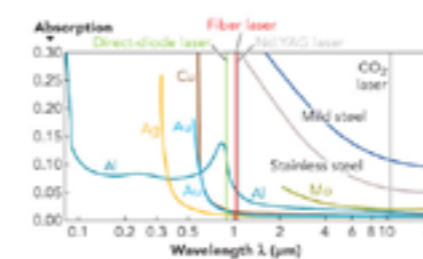
Hej!

Vi har en lite äldre lasermaskin som fungerar väldigt bra för skärning av "svart" material. Nu har vi fått in ett jobb där vi ska skära aluminium. Problemet är att vi har bekymmer med att speglarna går sönder i resonatorn, och att vi får en snittkvalitet som är betydligt mycket sämre än när vi skär vanligt stål. Vad kan detta bero på? N.n

Hej!

Jag förutsätter att ni har en CO₂-laser. Problemet vid skärning av aluminium och vissa andra icke järn-metaller som t.ex koppar är den ökade risken för reflektion av laserljuset, framför allt vid start av

skärningen. En bidragande orsak till detta är att vid den karaktäristiska våglängden 10,6 µm har material som aluminium och koppar en betydligt högre reflektivitet än konstruktionsstål, framför allt vid rumstemperatur (**fig 1**). I olyckliga fall kan reflexerna gå tillbaka in i resonatorn och skada speglarna. Nyare maskiner har dock en konstruktion som minskar risken



Figur 1. Absorption som funktion av våglängd vid laserskärning av olika material (källa Laser Focus World)

för detta. Vid skärning med fiberlaser medför den kortare våglängden att risken för reflektion av laserljuset minskar.

När det gäller snittkvaliteten är det lite svårare att dra långtgångna slutsatser. Faktorer som påverkar är reflektiviteten hos materialet och vilken typ av aluminiumlegering som ska skäras. Det svåraste materialet att skära är ren aluminium. Magnesium, kisel och mangan påverkar skärbarheten i många fall, i vissa fall genom ökad absorption men också genom att påverka flytbarheten hos det smälta materialet. En tumregel i dessa sammanhang är att ju högre legerat material, desto bättre skärbarhet. Ingen regel utan undantag dock. Oavsett vilken legering som ska skäras får man i regel något sämre kvalitet på det skurna snittet än vid motsvarande skärning av stål.

"Laserdoktorn"



Rapport från AKL '16,
Eurogress, Aachen, Tyskland
27-29 april 2016
DEL 2

”Technology Business Day” och ”Innovation Award Laser Technology” – stående inslag under Aachen Kolloquium för Lasertechnik

Johnny K Larsson,
Autokropolis Engineering

Technology Business Day

Ett populärt och återkommande inslag vid alla AKL [Aachen Kolloquium für Lasertechnik]-konferenser är den s.k. Technology Business Day, som ger utmärkta möjligheter till insikt kring lasersituationen i olika delar av världen, samt inom vissa specifika branscher. Liksom tidigare år var det Dr. Peter Loosen [Fig. 1] från ILT [Institute für Laser Technik, Aachen], som höll i takt pinnen och som introducerade oss för förste talare, den i dessa sammanhang välkände Dr. Klaus Löffler [Fig. 1] Trumpf Maschinenbau GmbH, med ett tidigare förflutet inom VW-koncernen.

Inledningsvis redogjorde den gode Klaus för siffror framtagna av VDMA [Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.] AG Laser, vilka för 2015 visade på en total produktionsvolym av laserrelaterade produkter i Tyskland på 962 miljoner euros, och motsvarande beställningsordrar på 1.123 miljoner euros [Fig. 2a]! 801 miljoner av dessa utgjorde exportprodukter fördelade på 29% till Västeuropa, 15% till vardera Kina, USA och Östeuropa samt Japan som stod för 7% av exportmarknaden [Fig. 2b]. Vidare tyckte han sig kunna se en trend att fastkroppslasarnas andel ökar på bekostnad av gaslasrarna. Därefter visade Dr. Löffler på den globala lasermarknaden som under 2015 hade en omsättning på 10,7 miljarder euros, och visade på en starkare tillväxt i jämförelse med försäljningen av verktygsmaskiner [Fig. 3]. Intressant var också att få veta att 2.132 laserbearbetande företag har en omsättning < 10 miljoner US dollars och utgör 4% av den totala marknaden, medan 69(!) företag omsätter > 5.000 miljoner US dollars och står för



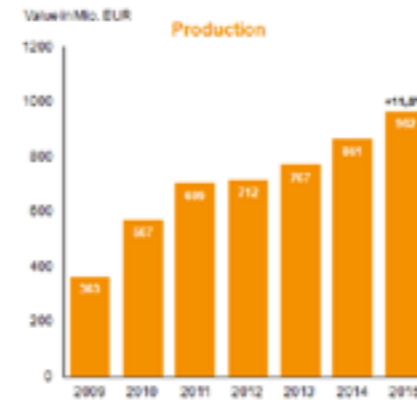
Figur 1. Dr. Peter Loosen (t.v.) ledde årets ”Technology Business Day”, vars förste talare var välbekande Dr. Klaus Löffler från Trumpf Maschinenbau GmbH.

69% av världsmarknaden.

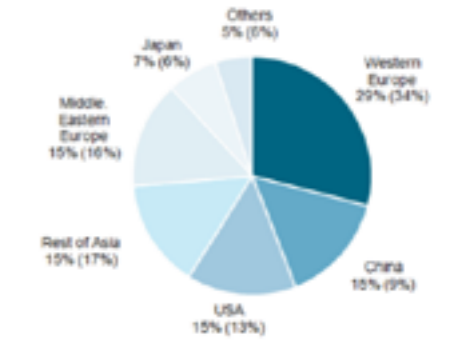
Dr. Löffler fortsatte med att nämnda Coherents dagsaktuella övertagande av RofinSinar, samt lyfte fram företagen Ingeneric och Amphos som han ansåg ligga i teknikfronten då det gäller laserverktyg. Därefter gick han in på att beskriva vad han kallade Photonics 4.0, vilket som

mål har produkter vilka helt och hållet tillverkas med olika lasertekniker. I en och samma cell använder man en laserälla med verktygsväxling för additiva liksom subtraktiva processer och ytmodifiering [Fig. 4].

Vidare sade han sig tro mycket på additiv tillverkning vilket kommer att förändra



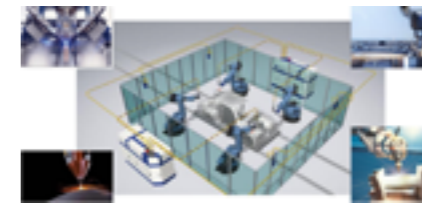
Figur 2a. Produktionsvolym och beställningsordrar av laserrelaterade produkter i Tyskland.



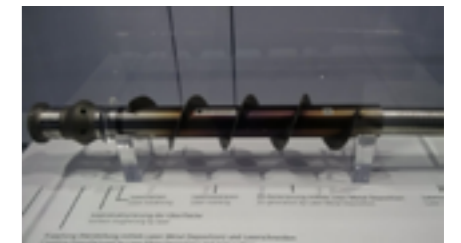
Figur 2b. Exportfördelningen av laserprodukter från Tyskland 2015 (inom parentes siffrorna för 2014).



Figur 3. Utvecklingen av den globala marknaden för lasersystem respektive verktygsmaskiner.



Figur 4. En framtida vision där flera laserprocesser, såsom påläggning, härdning, ytstrukturering och märkning, kan utföras i samma cell med hjälp av en laserälla och ett sortiment av olika laserverktyg.

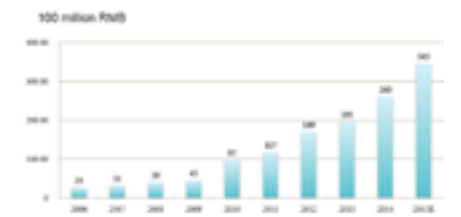


hela tillverkningsprocessen. UKP [Ultra-KurzPuls]-lasrar som idag representerar cirka 1% av sålda laserkällor prognosticerades till att utgöra 25-30% av marknaden i framtiden, samtidigt som det finns stora frågetecken kring CO₂-lasrarnas framtid. Dessa torde dock ha ett berättigande i så måtto att dess längre våglängd är ytterst lämplig vid bearbetning av organiska material, annars torde denna typ av laserälla på sikt bli utkonkurrerad av fastkroppslasrar även då det gäller laserskärning.

Näste talare var f.d. IPG-medarbetaren Dr. Bo Gu, numera verkställande direktör i egna företaget BOS Photonics som gav oss en uppdatering beträffande lasermarknaden i Kina. Han började emellertid med att beskriva den sociala och ekonomiska förändring som pågår i landet. Befolkningen uppgår idag till 1,35 miljarder människor och år 2030 beräknas 70% av dessa bo i städer, vilket betyder att till dess kommer 400 miljoner kineser, alltså mer än USA:s nuvarande totalbefolkning, att flytta från landsorten in till städerna. Detta i sin tur kommer att innebära att 40 miljarder kvadratmeter bostadsyta behöver nyproduceras inom de närmaste 20 åren! För att få en uppfattning om denna storlek kan den jämföras med golvytan hos 10 stycken New York eller hela Schweiz landyta. Detta kan ju tyckas vara en god



Figur 5. Dr. Bo Gu från BOS Photonics informerade om lasermarknaden i Kina där produktionen av laserkällor och system stadigt växer och uppgick till 345 miljoner RMB 2015.



grogrund för tillväxt men verkligheten visar på något annat, nämligen tumult på aktiemarknaden, en devalverad valuta en avstannande tillväxt och överproduktion av varor med en därtill hörande ökad arbetslöshet. Dock är BNP fortsatt högre jämfört med världen i övrigt och så även BNP-tillväxten, eller 15 respektive 25%. Den högteknologiska industrin visar en årlig tillväxt kring 10%, och även om arbetslösheten ökar är den fortfarande låg eller < 4,2%. Med fortsatt starka utländska investerare, en ökad försäljning av industrirobotar med 20% jämfört med föregående år samt en 80% ökning av nya elektriskt drivna personbilar uppvisar Kinas ekonomi alltjämt positiva tecken. Efter denna bakgrundsinformation gick Dr. Gu mer specifikt in på lasersituationen i landet. 2015 producerades det laserkällor och

lasersystem till ett värde av 345 miljoner RMB [1 RenMinBi (kinesisk Yuan = 0,135 euro, Fig. 5)]. Den största tillväxten sker bland fiberlasrar med låg eller medelhög effekt, men också för UKP-lasrar med effekter mellan 10-50 W. Även vad gäller laserskärning är tillväxten av fiberlasrar med medeffekter anmärkningsvärd, och beträffande lasersvetsning går trenden mot allt högre cw-effekter. Märklasrar med effekter < 20 W har nu blivit så billiga att konkurrensen här hårdnar och det blir allt svårare att få dylik verksamhet att gå ihop. Dr. Gu talade här om en form av kostnadserosion!

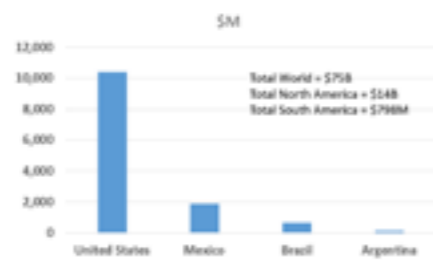
Därpå visade han på några industriella exempel och började med lasersvetsning av 18 mm tjockt rostfritt material för kärnkraftsindustrin med en 15 kW fiberlaser, något som torde bli en bra affär

då kinesiska centralkommittén tagit beslut om att bygga ytterligare 40 kärnreaktorer. Vidare visades på kombinerad skärning/svetsning med laser vid tillverkning av höghastighetståg och pipelines för gas- och oljedistribution. Då arbetskraft varit förhållandevis billig i Kina under många år är antalet robotar per 1.000-tal anställda mycket låg jämfört med USA och Västeuropa. Men Dr. Gu menade att detta nu kommer att förändras varför Kina framledes kommer att dominera marknaden för industrirobotar. Andra tillväxtområden är "tailored blanking" eller skräddarsydda ämnen samt additiv tillverkning något som Dr. Gu menade var en nationell högsta prioritet. Han avslutade sin presentation med en video som visade på verksamheten hos Han's Laser, som idag är IPG:s största kund vad gäller fiberlaserkällor.

Ronald Schaeffer som vi känner igen som en god entertainer vid ICALEO:s "get-together"-träffar hade denna gång lämnat gitarren där hemma för att istället redogöra för laserverksamheter i USA och övriga Amerika. Den gode Ron hade här fått hoppa in som ersättare för välbekante David Belforte som annars "prenumererat" på denna del av Technology Business Day. Om man tittar på försäljningssiffrorna för verktygsmaskiner under 2015 får man en bra fingervisning om var tyngdpunkten i industriell verksamhet ligger "over there". Således såldes dylika utrustningar till ett värde av 14 miljarder dollars i Nordamerika, att jämföras med 798 miljoner USD för hela Syd- och Melanamerika [Fig. 6]. I det senare fallet är det Brasilien som är det stora "problem-barnet". Här hade man ju räknat med en kraftig ekonomisk tillväxt, men landet uppvisar nu en 4%-ig negativ BNP-tillväxt. P.g.a. diverse skatteincentiv är det här billigare att köpa ett helt lasersystem jämfört med enbart en laserkälla.

I USA är den stora orosfaktor omvärldens utveckling i Nordkorea, Ryssland och Syrien, men också de omfattande personaluppsägningarna i stora inhemska företag som exempelvis IBM, Freightliner, Monsanto och Lockheed. Vidare såg Ron en fara i den investeringsvillighet i Sydamerika som visats från kinesisk sida, vilket han symptomatiskt sammanfattade som att USA skickar dit trupper, Kina skickar pengar. Därutöver är amerikansk verkstadsindustri inte längre den "motor" den varit tidigare och idag utgör denna sektor endast 12,1% av BNP [Fig. 7].

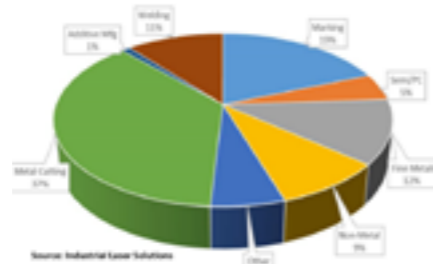
Därpå gav Dr. Schaeffer oss några siff-



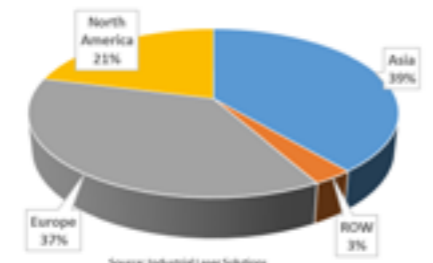
Figur 6. Ett stapeldiagram, som visar försäljningen av verktygsmaskiner på den amerikanska kontinenten, avslöjar på ett tydligt sätt var vi hittar tillverkningsindustrins tyngdpunkt



Figur 7. Verktadssektorn är inte längre samma dominant inom amerikansk ekonomi som tidigare, och utgör idag blott 12,1% av BNP.



Figur 8. Några intressanta "tårt-diagram" över de globala investeringarna för (överst fr.v.) industriella användnings-områden, typ av laserkällor samt produktionsorter för desamma.



ror rörande den globala lasermarknaden, som han fortfarande tillskriver en 7%-ig årlig tillväxt. Här är metallbearbetning i form av laserskärning helt dominerande och utgör 37% av de globala investeringarna, följt av märkning 19% och svetsning 11% [Fig. 8]. Om man istället tittar på typen av laserkällor representerar fiberlasrar 42% av investeringarna, följda av CO₂-lasrar 29%, fastkroppslasrar 16%, medan diod- och excimer-lasrar utgör 13% av de globala investeringarna i laserkällor [Fig. 8]. Då vi tittar på var tillverkningen av laserkällor sker står Asien för den största investeringen eller 39%, sedan följer Europa med 37% och Nordamerika med 21% [Fig. 8]. Beträffande användarsektorer utgör energi, aerospace och medicinteknik de segment som profiterar mest på att använda laserteknik.

Kunihiko Washio [Paradigm Laser] är en annan "trojjanare" i dessa sammanhang och nu berättade han om senaste nytt från Japan. Han inledde med att förklara att den japanska ekonomin har stagnerat och numera uppvisar en blott 1-1,5% årlig ökning av BNP. Excimer-lasrar är den typ av

laserkällor som produceras i högst antal i Japan, följda av CO₂- och fastkroppslasrar, men det är fiberlasrarna som för tillfället visar den högsta tillväxttakten [Fig. 9]. Här har de inhemska lasertillverkarna Fujikura och Furukawa båda nyligen lanserat 6 kW-fiberlasrar. Vad gäller användningsområden för laser dominerar skärning med klar marginal framför svetsning som fortfarande utgör en mindre andel [Fig. 10]. Just skärning och borrar i tunna material och folier är den nisch som nu tycks växa snabbast.

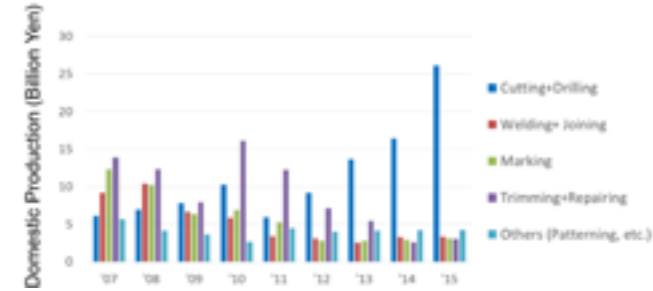
Andelen lasermaskiner som importeras är stor och de flesta källorna levereras från Tyskland. Bland inhemskt producerade lasrar levereras merparten till andra länder i Asien, men även USA utgör en mindre exportmarknad [Fig. 11].

Beträffande s.k. jobshops i Japan berättade Dr. Washio att dessa idag uppgår till 548 stycken, men antalet håller på att minska, något som kan ses som en effekt av den låga arbetslösheten kring 3% i landet [Fig. 12].

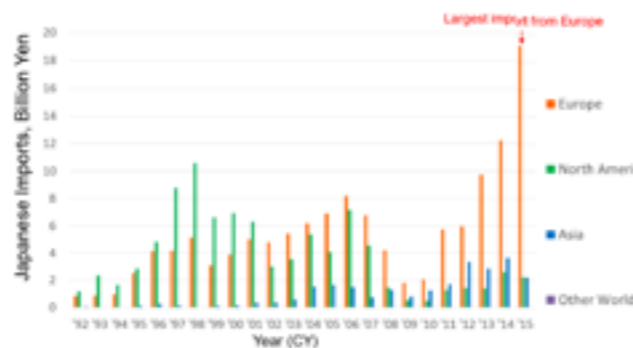
Bland applikationer lyfte han fram Toyotas s.k. screw welding som införts



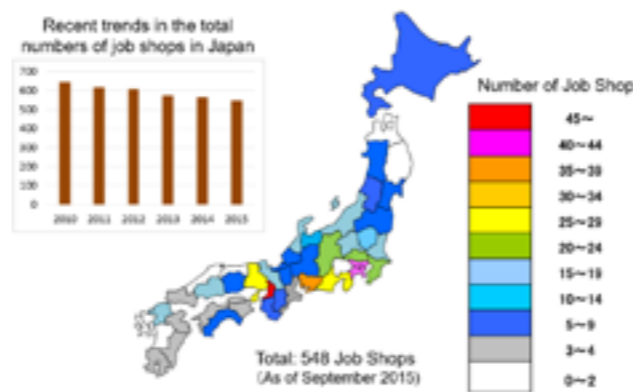
Figur 9. Excimer-lasrar är den mest tillverkade lasertypen i Japan, där fiberlasrarna dock är på stadig framfarsch.



Figur 10. Liksom i Sverige dominerar laserskärning som användningsområde för nyinvesterade laser-källor i Japan.



Figur 11. Japansk import (t.v.) och export (t.h.) av laserkällor fördelad på olika geografiska områden över tiden.



Figur 12. Den geografiska spridningen av olika japanska laser-jobshops, vars antal emellertid håller på att minska.

på Lexus- och Prius-modellerna för att göra dessa karosser mer rigida. Metoden beskrevs första gången vid EuroCarBody-konferensen i Tyskland 2015 och går så till att man låter fokuspunkten rotera med hjälp av en "scanner" och kan på så vis skapa helt fyllda cirkulära svetsar med ett utseende som påminner om konventionella punktsvetsar. Med "screw welding"-tekniken är det möjligt att överbrygga gap på upp till 1 mm mellan plåtarna i en överlappsfog. En annan fördel är att man kan positionera dessa svetsar väldigt tätt för att uppfylla ställda styvhetskrav utan några risker för läckströmmar, något som annars begränsar en tät punktsvetsdelning utförd med motståndssvetsning. Laser-

hybridsvetsning inom skeppsbyggnadsbranschen är något av State-of-the-Art i Japan, medan man på forskningssidan lägger mycket resurser på att med laser foga metalliska material till fiberförstärkta polymerer. Slutligen nämnde Dr. Washio några aktiviteter kring additiv tillverkning där en maskin från Yamazaki Mazak [Integrex i400AM, Fig. 13] hade använts kombinerad med en laserkälla på 800 W. Maskinen var försedd med verktygsväxling varför man kunde välja mellan snabb eller långsam deponeringshastighet. De material som man främst studerat var SUS316 och Inconel718 i samband med ett cylindriskt oljehus.

Härpå fick vi lyssna till några axplock



Figur 13. Yamazaki Mazak har lanserat en maskin för additiv tillverkning där man kan växla mellan påläggnings-munstycken avsedda för snabb respektive precis deponering. T.h. ett oljehus av SUS316-material som belagts med Inconel718 i denna maskin.

kring laseranvändning inom skilda verksamhetsområden. Denna del inleddes av vår gamle bekantning John Powell som ju har viss anknytning till laserverksamheten vid Luleå Tekniska Universitet. John har ju under många år bedrivit en framgångsrik

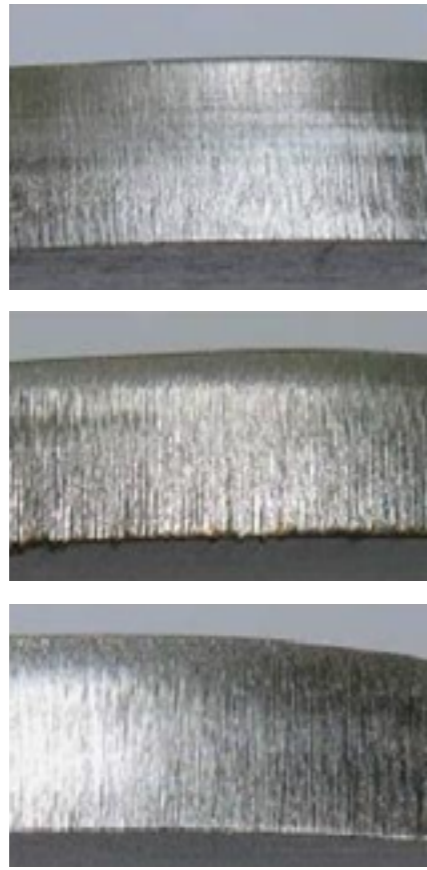


Figur 14.
Att perforera viklinjer i plåtar som senare bockas till tredimensionella artiklar har blivit ett nytt användningsområde för laserskärning/-börning.

jobshop-verksamhet i Nottinghamområdet med sitt företag Laser Expertise Ltd. I det dagliga arbetet rör det sig mest om laserskärning av lågvolumordrar, och John såg här risken att mer och mer av denna verksamhet tas om hand av stålproducenterna själva. Relativt nytt är emellertid att perforera viklinjer i plana plåtar för att underlätta då dessa sedan bockas till tredimensionella artiklar [Fig. 14].

John har ju tidigare presenterat jämförelser mellan laserskärning med CO₂-laser respektive fiberlaser. Konklusionen är att vid samma effekt skär fiberlasern avsevärt snabbare, men detta gäller främst då man har raka skärnitt. Vid mer komplex konturskärning är det istället oftast robotens kinematiska egenskaper som sätter gränserna på skärhastighet, varför CO₂-lasern fortfarande kan vara ett ekonomiskt alternativ i dessa fall. Även skärnittsmässigt ger CO₂-lasern en bättre snittkvalitet framförallt vid skärning av tjocklekar > 5 mm, vilket John exemplifierade med ett rostfritt skärnitt. Dock menade han att man med Trumpfs nya Brightline®-fiber kan åstadkomma en likvärdig kvalitet vid användning av en fastkroppslaser [Fig. 15]. Den stora fördelen med fiberlasrar ansåg han annars vara att de i princip inte kräver något underhåll, eller som han uttryckte det "when it dies – it dies"! Det som Dr. Powells kunder främst efterfrågar är snäva toleranser och vinkelräthet hos de skurna objekten.

En del andra engelska jobshops har försökt utvidga sina tjänster till att även omfatta lasersvetsning, men det har visat sig vara svårt att få lönsamhet i dylika



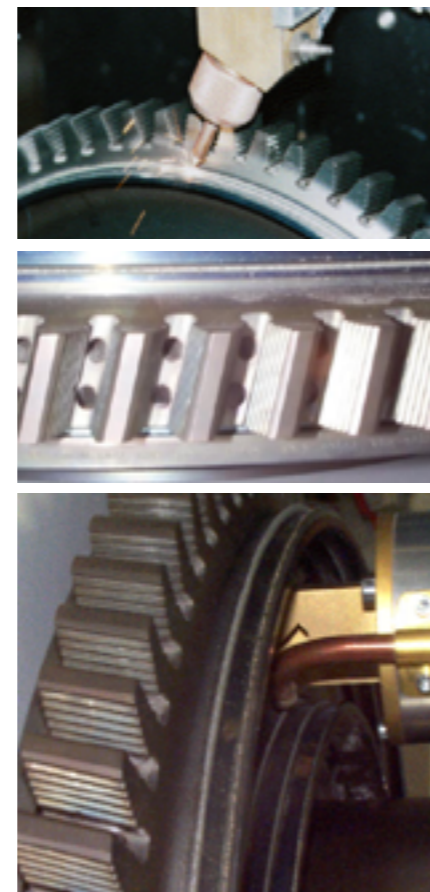
Figur 15.
Jämförelse i snittkvalitet mellan fr.v. CO₂-laser, fiberlaser och Trumpfs Brightline®-fiberlaser.



Figur 16.
För att bredda sin verksamhet har John Powell provat några nya användningsområden för lasertekniken, som exempelvis mikrosvetsning med tillsatsstråd, laserpåläggning, texturering samt tillverkning av filterkomponenter.

jobb. John beskrev vidare några andra arbeten som han utfört på senare tid, såsom mikrosvetsning med tillsatsstråd, laserpåläggning för reparation av mikroformverktyg, lasergravering och tillverkning av filter åt företaget Croftman Company [Fig. 16]. Slutligen menade John att framtiden för jobshops ligger i att man kan erbjuda lasertillverkade komponenter som har ett högt förädlingsvärde, och här kommer säkerligen den additiva tillverkningen med laser att få stor betydelse hos, för dessa tekniker speciellt inriktade, jobshops.

Näste talare var Dan Roth-Fagaraseanu från RollsRoyce. Här använder man sig flitigt av teknikerna LMD [Laser Metal Deposition] och SLM [Selective Laser Melting]. Reparation av kompressor- och turbinbladstoppar med den förstnämnda metoden är att betrakta som en mogen och etablerad teknik. Även vid reparation av de kanaler som tjänar som bärare av en tätning i turbiner används denna teknik. Detta exemplifierades med reparation av en sådan komponent tillverkad i UDIMET720-material [Fig. 17], vilken efteråt inte krävde någon ytterligare värmebehandling, något som är nödvändigt då andra konventionella reparationsmetoder används.



Figur 17.
Reparation av tätningsbärande kanaler i turbiner tillverkad i UDIMET720-material.

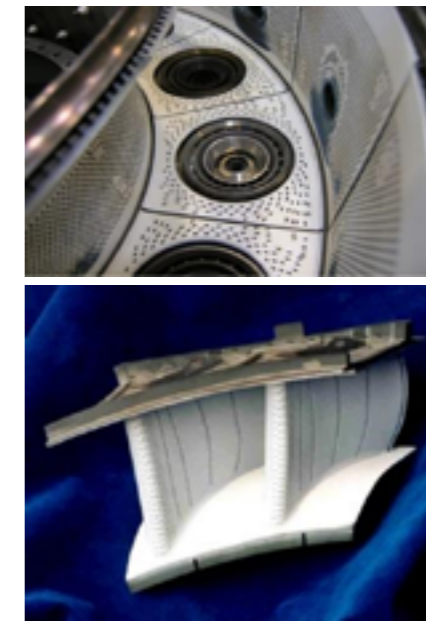
Ett annat exempel handlade om reparation av en kassett tillverkad i Nickellegeringen NimonicPE16, vilken lagats med nedsmält Amdry625-tråd. Vidare visade Dr. Roth-Fagaraseanu en med elektronstråle 3D-printad skiva med 600 m diameter som kopplade samman en fläkt med en kompressorenhet [Fig. 18].



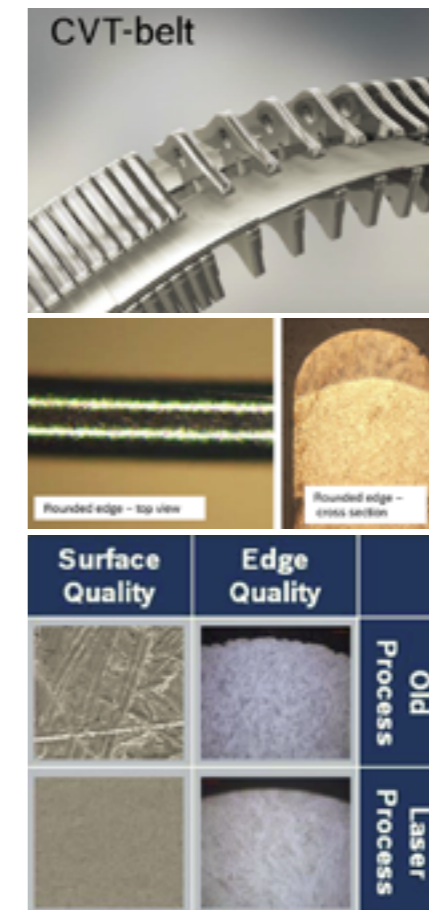
Figur 18.
En med elektronstråle 3D-printad skiva (i blått) som kopplar samman fläkt och kompressorenhet i en turbin har minskat tillverkningstiden från 2 år till mellan 2-4 månader!

Just när man tillverkar små detaljer med hjälp av SLM-tekniken kan det vara svårt att hitta tillförlitliga metoder för kvalitetssäkring, där CT-"scanning" kan vara ett alternativ men ställer sig tämligen dyrt. Avslutningsvis påpekade föreläsaren att gastemperaturerna i de aktuella brännkammarna går mot allt högre temperaturer som en följd av ökande prestanda hos jetmotorerna. Därför kommer framtida komponenter att kräva ännu mer kylkanaler och luftningshål jämfört med idag [Fig. 19], och Dr. Roth-Fagaraseanu menade att RollsRoyces filosofi är att lösa detta genom additivt uppbyggda struktu-

rer med kylkanaler hellre än att belägga komponenterna med värmeskyddande skikt som TBC [Thermal Barrier Coatings] eller keramer.



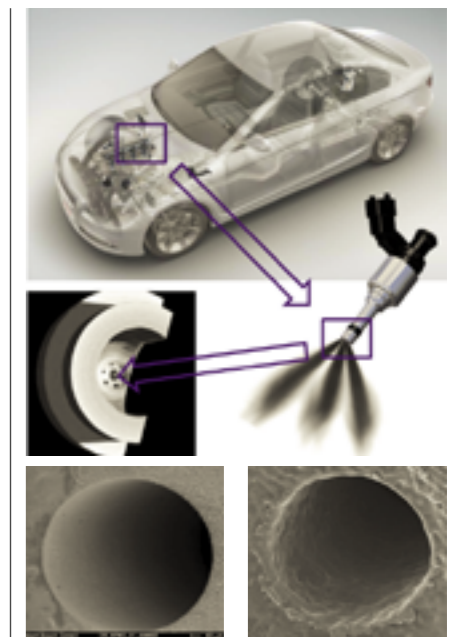
Figur 19.
Framtida komponenter i jetmotorer kommer att kräva ytterligare kylkanaler och luftningshål, något som pekar mot en ökad användning av additiv tillverkning.



Figur 20.
Genom att omsälta topppytorna på de element som ingår i tryckbälten för steglösa växellådor går det att öka utmattningshållfastheten hos dessa komponenter med 200%!

Siste talare under Technology Business Day var Thomas Kiedrowski från Bosch, vars produkter för det mesta har högt ställda precisionskrav. Han illustrerade detta med några exempel från bilindustrin där det första handlade om laserbehandling av tryckbälten för steglösa växellådor eller CVT [Continuous Variable Transmission]. Dessa kan bestå av upp till 18 ringar och 400 element, där elementen först rengjorts med en CO₂-laser, varpå man framgångsrikt hade omsält dess toppyta med laser. På så sätt blev elementytorna extremt släta [Fig. 20] vilket ledde till en 200%-ig ökning av utmattningshållfastheten jämfört med traditionellt tillverkade tryckbälten.

Man borrar även bränsleinsprutningshål med UKP-lasrar där frekvensen ligger på 800.000 pulser/sekund! Med denna ablationsprocess, där avverkat material endast förångas och inte smälts, undviker man de slaggprodukter som annars sätter sig på hålväggarna som vid exempelvis EDM [Electrical Discharge Machining] – bearbetning [Fig. 21]. Med mindre håldiametrar i kombination med släta hålväggar kan bränsleförbrukningen reduceras med 20%.



Figur 21.
Genom att borrar bränsleinsprutningshål med ultrakorta laserpulser undviker man de slaggprodukter som uppkommer vid alternativa metoder som exempelvis EDM (nederst t.h.).

Dr. Kiedrowskis sista exempel handlade om en oljeeldad brännare av typ Buderus Logano vilken tillverkas i ett antal varianter av blandningskammare med insprutningshål av olika storlek och antal. P.g.a. den stora variantfloran i kombination med små seriestorlekar blir det inte

ekonomiskt att ta fram pressverktyg för var och en, utan här blir flexibel tillverkning med laser ett gynnsamt alternativ.

Innovation Award Laser Technology

Ett annat stående inslag vid AKL-konferenserna är utdelandet av prischecken på 10.000 euros som ett handgripligt bevis åt den forskargrupp som gjort sig förtjänt av det s.k. Innovation Award Laser Technology, ett pris instiftat av Arbeitskreis Lasertechnik e.V. och ELI [European Laser Institute]. Prisceremonin skedde i anslutning till banketten i Aachen Rathaus, där Dr. Paul Hilton [Fig. 22] i egenskap av talesman för den internationella juryn, berömde de tre finalistgrupperna för deras utmärkta innovationer inom området laserteknik.



Figur 21. Dr. Paul Hilton (överst) presenterade de tre finalisterna i "Innovation Award Laser Technology" och redogjorde för juryns beslut. Prisceremonin skedde i samband med banketten i Krönungssaal Karl der Große i Aachen Rathaus, där Frau Annett Möller agerade moderator till allas, och inte minst professor Poprawes, belåtenhet (nederst).

Första pris gick till ett projekt med beteckningen "VCSEL-arrangemang för en ny, digital värmebehandlingsteknik med högeffekt-laser", och överräcktes till Dr. Ir. Armand Pruijboom, som leder verksamheten vid Philips GmbH Photonics i Aachen [Fig. 23]. Akronymen



Figur 23. Dr. Ir. Pruijboom gör sefergesten sedan hans team från Philips GmbH Photonics tagit hem det prestigefyllda "Innovation Award Laser Technology". Övriga är fr.v. moderatör Annett Möller, Dr. Ulrich Berners som representant för Arbeitskreis Lasertechnik e.V., Carsten Deppe, Felix Ogiewa, Ralf Conrads, Günther Derra, Pavel Pekarski samt Dr. Paul Hilton som representerade ELI.

VCSEL står för Vertical-Cavity Surface Emitting Laser-diodes. Det innovativa arbete som utförts av forskarteamet innefattar utvecklingen av chips som klarar höga lasereffekter, uppbyggnaden av själva VCSEL-strukturen och den termiska expansionen hos VCSEL-elementen, vilket inkluderade omfattande FEM-simuleringar. Dessutom hade designen optimerats genom att sammanfoga precisionstillverkade standardelement för specifika industriändamål, applicerade på olika användningsområden.

Idag använder industriella produktionsanläggningar konventionella värmekällor för uppvärmning av stora ytor. P.g.a. begränsad energitäthet, hög termisk tröghet och begränsad rumslig avgränsning blir uppvärmningen med dessa metoder oprecis och långsam. De kan inte heller skapa komplext varierande värme profiler i en komponent. Å andra sidan har utvecklingen av konventionell laserteknik koncentrerats på höga effekter och hög strålkvalitet, varför bearbetning av stora ytor kräver komplexa optiker och "scanner"-utrustningar, vilket lett till tekniska begränsningar och höga systemkostnader.

VCSEL erbjuder här en innovativ lösning, där uppvärmning kan ske lokalt och endast i de områden som är nödvändiga, med kostandeffektiva, kompakta och robusta system. I jämförelse med konventionella icke-laserbaserade värmebehandlingstekniker erbjuder VCSEL-arrangemangen flexibilitet, hög verkningsgrad och lång livslängd. Som fastkroppsteknologi främjar VCSEL trenden att gå mot komplett digitaliserade tillverkningsflöden. Teknologin torde få genomslag i talrika tillverkningsprocesser och tillför en ny och kostnadseffektiv medlem till familjen av högeffekt-lasrar.

Andrapriset tilldelades projektet "Fjärrlasersvetsning av aluminium för lättviktskonstruktioner inom bilindustrin" och ett team från Audi AG i Neckarsulm under ledning av Dr.-Ing. Jan-Philipp Weberpals [Fig. 24]. Ansatsen bygger på erfarenheter från fjärrlasersvetsning av stål kombinerad med de för aluminium specifika materialegenskaperna. Hittills har lasersvetsning av aluminium skett i form av kälfgögar där verktyg som bygger på taktillfogning används, något som resulterar i förhållandevis långa processstider. Den nya metoden med fjärrlasersvetsning uppvisar i jämförelse med taktillsvetsning en tidsbesparing på 53%, samtidigt som den möjliggör en kontrollerad värmepåverkan hos den svetsade komponenten. Audi står som första biltillverkare i begrepp att införa fjärrlasersvetsning av karosskomponenter tillverkade av konventionella aluminiumlegeringar.

Tredjepriset gick slutligen till projektet



Figur 24. Bilindustrin, i form av Audi AG, lade beslag på andrapriset för sin lösning av fjärrlasersvetsning av aluminium med kontrollerad energitillförsel. Glada pristagare var Daniel Böhm (t.v.) och Dr. Jan-Philipp Weberpals.

"UVblade – serietillverkning av flexibla bildskärmar". Utvecklingen hade gjorts av sex kollegor från Coherent LaserSystems GmbH & Co. KG i Göttingen under ledning av Dr. rer.nat. Ralph Delmdahl [Fig. 25]. Idén gick ut på att kombinera funktionalitet med attraktivitet för något som man ville kalla mobila bildskärmar, vilka med ett enkelt handgrepp skulle kunna förpackas och rullas upp som en antik papyrusrulle. UVblade-systemet åstadkommer en meterlång, tunn "klinga" av laserljus med UV-våglängd, som på ett varligt sätt avlägsnar ett flexibelt polymerskikt från en styv bärare av glas medelst s.k. LIFT [Laser Induced Forward Transfer] –teknik. De på så sätt avskilda display- och elektronikskikten läggs därefter på den lätta, böjbara polymerfolien och skapar därigenom en lövtunn och flexibel bildskärm. Genom denna LIFT-bearbetning med UVblade-systemet har det för

första gången blivit möjligt att transferera bildskärmelement till polymerbärare vars tjocklek endast är tiondelen av vad som tidigare varit State-of-the-Art i branschen. Med hjälp av den innovativa utvecklingen av UVblade-plattformen har Coherent börjat marknadsföra en Eximer-laser som möjliggör en kostnadseffektiv volymproduktion av den senaste generationen av flexibla bildskärmar.

Som synes visade de tre finalist-teamen upp helt skilda användningsområden för lasertekniken, något som ytterligare understryker dess mångfasetterade möjligheter. Eftersom priset är internationellt



Figur 25. För sin innovation "UVblade – serietillverkning av flexibla bildskärmar" fick forskarna från Coherent LaserSystems GmbH & Co. KG tredjepriset. I teamet ingick fr.v. Sven Passinger, Thorsten Geuking, Hans-Stephan Albrecht, Kai Schmidt och Ralph Delmdahl.

är det inte bara tyska forskningskonstellationer som har möjlighet att söka detsamma, varför något av Lasergruppens medlemsföretag kanske skall överväga att söka "Innovation Award Laser Technology 2018" om man har innovationer på gång som återspeglar en industriell nytta. Hursomhelst hoppas jag se ytterligare svenska delegater vid AKL'18! ■

Såväl traditionella som nya användnings-områden för lasertekniken presenterades vid LANE 2016

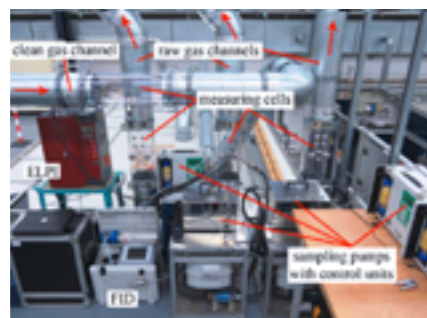
Johnny K Larsson,
Autokropolis Engineering

I förra numret av LaserNytt redogjorde jag för mina intryck från bl.a. plenar- och avslutningssessionen vid LANE-konferensen i Fürth i september förra året. Nu återkommer jag med kortfattade redogörelser från de olika tekniska sessionernas mest intressanta presentationer, och börjar med:

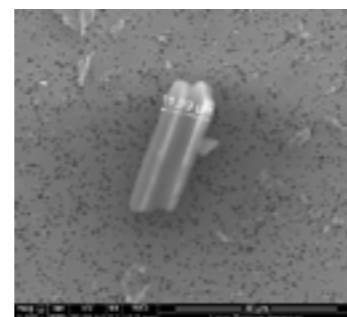
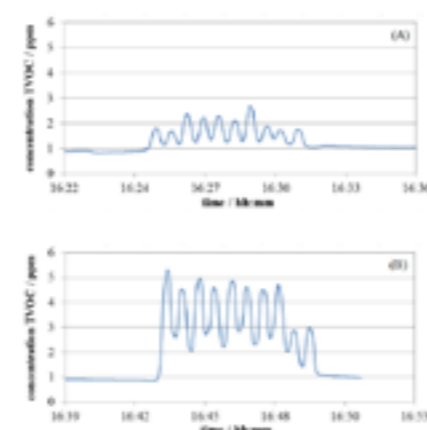
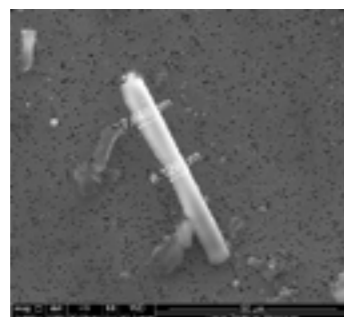
Bearbetning av polymerer

Laserbearbetning av polymerer har väl ännu inte blivit något stort forskningsområde. Dock fick vi oss till livs några presentationer under LANE 2016 som behandlade detta ämne. Således hade Jürgen **Walter**, från LaserZentrum Hannover [LZH] studerat emissioner vid pulslaserskärning av såväl CFRP [Carbon Fiber Reinforced Plastics] som GFRP [Glass Fibre Reinforced Plastics]. Försöken hade utförts med 1,5 kW medeleffekt och en pulsfrekvens på 50 kHz. Mängden s.k. VOC [Volatile Organic Compounds], främst då kolmonoxid, hade uppmätts och dessa var mer förekommande i de glasfiberförstärkta materialen än i de kolfiberförstärkta [Fig. 1]. De frigjorda fiberpartiklarna hade diametrar mellan 6-8 µm, vilket är utanför de kritiska gränsvärden som är satta av WHO [World Health Organization]. Dessa säger att partiklarnas diameter ej bör överstiga 3 µm, dess längd inte överstiga 5 µm, och inte heller skall längd/diameterförhållandet överstiga 3:1 [Fig. 2].

Figur 2.
SEM-bilder på de frigjorda fiberpartiklarna vilka visade sig ligga utanför de av WHO fastlagda, kritiska gränsvärdena.



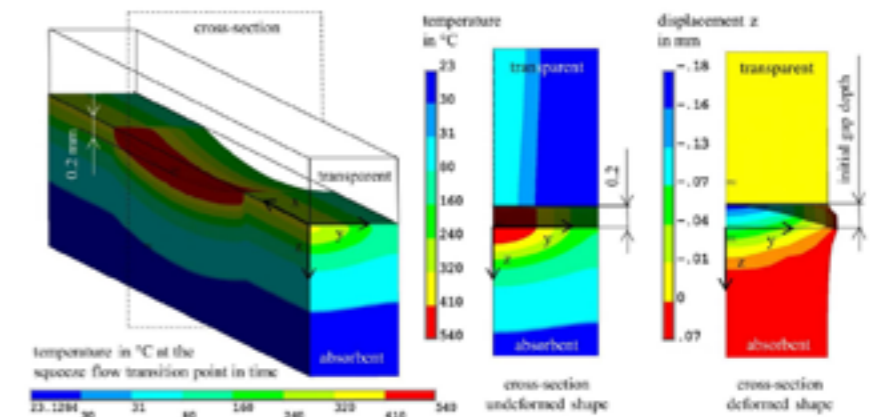
Figur 1.
Ovan den utrustning som användes för att mäta mängden VOC vid pulslaserskärning, där en större förekomst av kolmonoxid kunde fastläggas för de glasfiberförstärkta materialen (nederst t.h.) jämfört med de kolfiberförstärkta (överst).



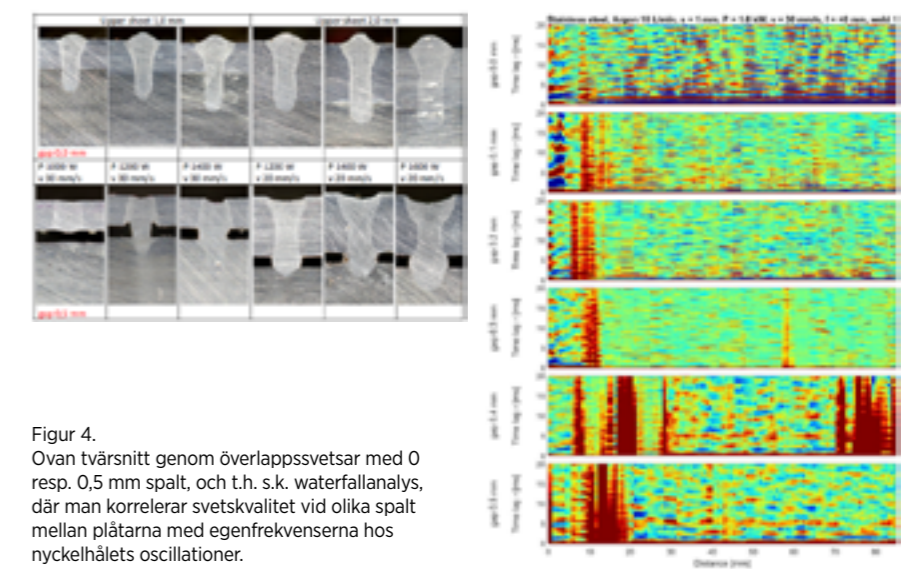
Anton **Schmailzl** från Ostbayerische Technische Hochschule [OTH] i Regensburg hade undersökt spaltöverbrygnadsförmågan vid kvasi-simultan lasertransmissionssvetsning av T-fogar i PE [PolyEtylen]. Till sin hjälp hade han använt en 3D-"scanner" med koaxiellt integrerad pyrometer för processkontroll. Lasern var en Yb-disklaser med 1.070 nm våglängd och arbetsavståndet var satt till 500 mm. Spalten mellan polymerdetaljerna var 0,2, 0,4 och 1,0 mm och hade skapats genom urfräsning till dessa djup i den underliggande absorberande polymeren [Fig. 3]. Lasereffekten var 90 W och "scanning"-hastigheten uppgick till 4 m/sek vilket gjorde att det krävdes 109 repetitioner för att uppnå kravet 0,5 mm på svetsbredden. Pyrometern gav en temperaturtopp så snart en spalt förelåg, och vid den större spalten kvarstod den höga temperatursignalen, medan den minskade för 0,2-gapet i takt med att spalten slöts. Konklusionen var att svetsförloppet kunde indelas i tre steg där steg 1 slöt spalten genom materialets termiska expansion i kombination med att det smältes, steg 2 innebar en sluten spalt men fortfarande med zoner av mindre god svets, och steg 3 slutligen en sluten spalt med hög svetskvalitet.

Sensorer och processövervakning

Sessionen kring sensorer och processövervakning leddes av professor Martin **Booth** från Oxford University, vilken vi lärde känna redan under första dagens "keynote"-session, och förste talare här var Libor **Mrna** från Czech Academy of Sciences i Brno. Han hade studerat hur spalter mellan plåtarna påverkar oscillationer i nyckelhålet och därtill hörande plasmabeteende både vid stumfogar och överlappsdito. Försöken hade genomförts med en YLS-2000 fiberlaser från IPG och Precitecs svetsverktyg YW30 monterat på en IRB 2400 ABB-robot, och där en fotodetektor registrerade plasmaljuset. Materialet vid överlappssvetsarna utgjordes av 1-3 mm tjockt austenitiskt Inox X5CrNi 18-10, där gapet varierades mellan 0-0,5 mm [Fig. 4]. Svetsastigheten hade varierats i intervall om 10 mm/sek, och lasereffekten mellan 1-2 kW, fokuspunkten var placerad 1 mm ovanför arbetsstycket och skyddsgasen utgjordes av Argon. Genom s.k. waterfallanalys kunde man korrelera svetskvaliteten med egenfrekvenserna hos nyckelhålets oscillationer. Sammanlagt gällde för stumsvetsarna där 2 mm tjockt DC01 svetsades med varierande gap mel-

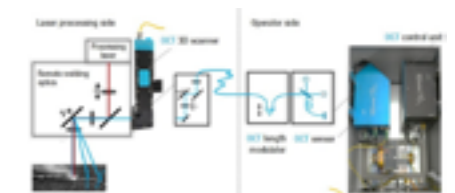


Figur 3.
Experimentella försök hade kompletterats med processsimuleringar där exemplet t.v. illustrerar polymermaterialens beteende vid transmissions-svetsning och en 0,2 mm stor spalt mellan den transparenta och den absorberande partnern.

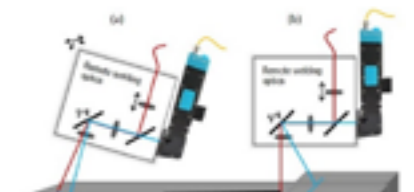


lan 0-0,3 mm.

Dr. Nataliya **Deyneka-Dupriez** från Lessmüller Lasertechnik GmbH presenterade deras OCT [Optical Coherence Tomography] -lösning för processövervakning vid fjärrlasersvetsning [Fig. 5]. Principen bygger på interferens mellan infallande och reflekterad laserstråle och är en byggesten i företagets WeldEye®-plattform som i övrigt består av CMOS-kamera och fotodioder. Mätområdet täcker 12 mm och har en upplösning på 12 µm. OCT-enheten går lätt att tillsammans med kameraövervakning integrera i en FSO-svetsoptik, och har visat sig vara okänslig för nedsmutsning eller mekaniska och termiska distorsioner. Konceptet fungerar både som följning och analys av svetsprofilen [Fig. 6], och samma utrustning kan även användas vid laserlödning. Genom ett samarbete med Scanlab är det numera också möjligt att få OCT-enheten integrerad i deras intelligenta weld30-svetsverktyg.



Figur 5.
Schematisk skiss över de ingående komponenterna i Lessmüllers OCT-koncept.

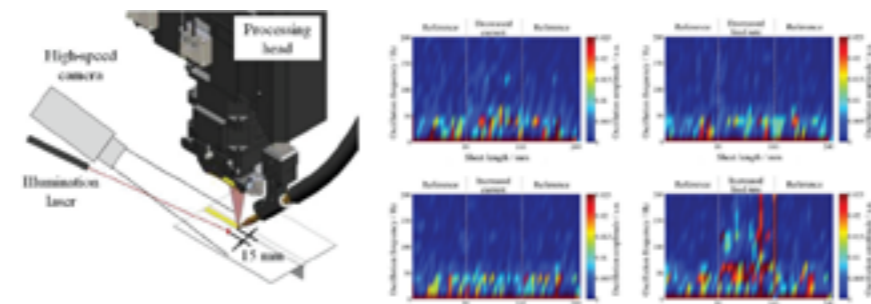


Figur 6.
Vid fjärrlasersvetsning kan OCT tjäna som både följning och analys av svetsprofilen.

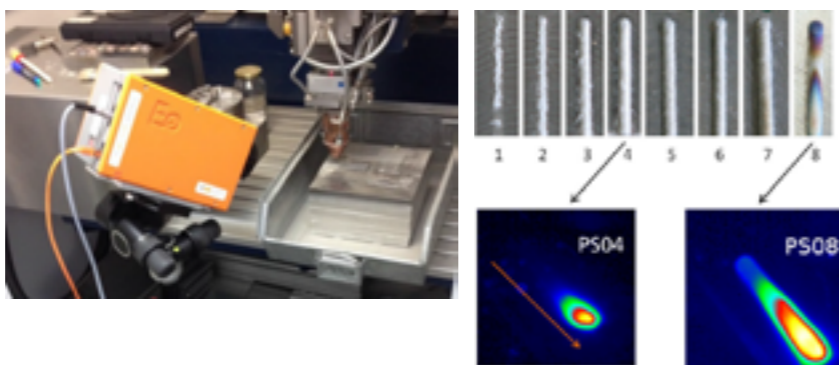
Felix **Tenner** från Lehrstuhl für Fotonik Technologien vid Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen presenterade en intressant metod för att bestämma kvaliteten vid laserlödning av zinkbelagd tunnplåt. Genom s.k. speckle-teknik, via illuminering med en laser, kunde man med hjälp av en höghastighetskamera observera oscillationer hos de plåtar som bearbetades [Fig. 7]. Rörelser som alltså genererades från själva lödprocessen. De mönster som då uppstod gick att korrelera till lödfogens kvalitet i termer av ojämna vätning och porositet. Vid de experimentella försöken gick det att fastlägga att trådmatningshastighet och förvärmning av tråden påverkar lodmaterialets utflytning. I de fall då den observerade oscilleringen blev hög var detta ett bevis på att en alltför låg lasereffekt hade använts. Dyliga defekter kan inte upptäckas genom visuell avsyning av fogen, men annars fick den gode Felix medge att metoden inte hade lett till en helt tillförlitlig bedömning av lödfogens kvalitet.

Även vid laserpåläggning eller LMD [Laser Metal Deposition] kan det behövas någon form av processövervakning. Detta hade Ulf **Hassler** från Fraunhofer IIS [Institut für Integrierte Schaltungen] tagit fasta på och redogjorde här för en lösning som baserades på infraröd termografi, och som ingått i projektet "ForNextGen" vilket finansierats av Bayerisches Forschungsförbund. Med detta angreppssätt var det möjligt att detektera såväl interna som externa defekter ner till 0,5 mm i storlek i det pålagda pulverlagret [1.2343 eller X37CrMoV5-1] genom de temperaturgradienter som då uppstod. Experimenten hade kompletterats med temperaturflödessimuleringar i programmet Comsol 3.5 där kontraster i temperaturfördelningen visar på defekter [Fig. 8]. Vid försöken hade man använt en IR-kamera av typen Equus 327K SM som är lämplig vid temperaturer i området 300-1.500 °C, och som har en pixel-storlek på 125 µm. Lasereffekt och pulvermatning hade varierats och man hade även borrarat små hål i det pålagda skiktet för att på så sätt skapa artificiella defekter, vilka sedan gick att registrera med nämnda infraröda termografi [Fig. 9].

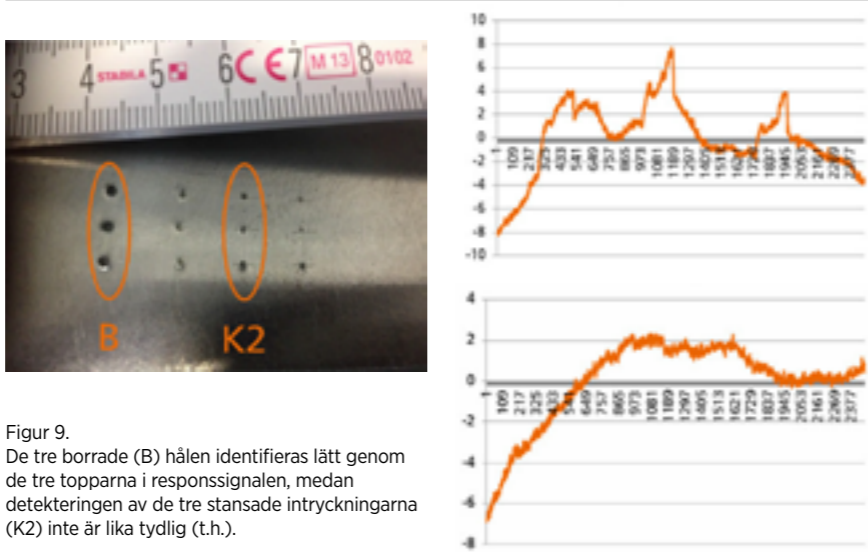
En omfattande studie där OCT-resultat validerats med tvärsnittsanalys framfördes av Wilrid **Dubitzky** från Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH. Hon visade mest på bristerna med tekniken där hög effekt i kombination med hög processhastighet gör att OCT-signalen störs av ett



Figur 7. Vid laserlödning går det att via s.k. speckle-teknik observera oscillationer i materialen under processen. Dessa kan sedan korreleras till lödfogens kvalitet som funktion av graden av förvärmning (t.v.) alternativt trådmatningshastighet (t.h.).



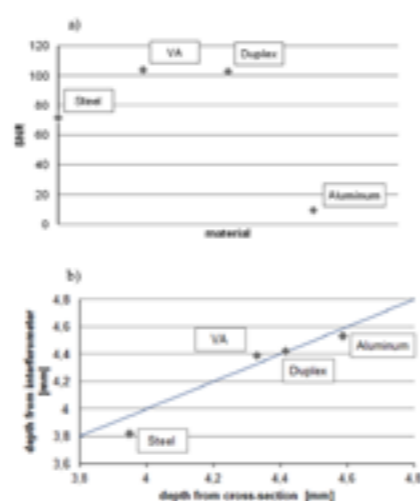
Figur 8. Med infraröd termografi går det att detektera uppkomna defekter vid laserpåläggning, där parallella temperaturflödessimuleringar korrelerar väl med de fysiska experimenten.



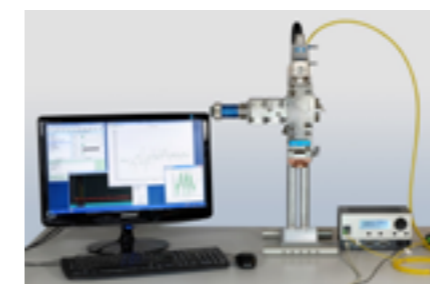
Figur 9. De tre borrarade (B) hålen identifieras lätt genom de tre topparna i responssignalen, medan detekteringen av de tre stansade intryckningarna (K2) inte är lika tydlig (t.h.).

instabilt och böjt nyckelhål. Dock krävs att ett nyckelhål föreligger eftersom OCT inte fungerar vid låga effekter kring 500 W då det istället blir fråga om värmeledningssvetsning. En alltför stor fokalfunkt/distributionsfiber ledde till stora störningar i OCT-signalen. Detta var också fallet vid aluminiumsvetsning med 4 kW effekt och 5 m/min i framföringshastighet även då en 200 µm grov distributionsfiber användes [Fig. 10].

Figur 10. Trots stora störningar i OCT-signalen vid aluminiumsvetsning (övre) kan man se en god överensstämmelse mellan verkligt penetrationsdjup och interferometrivärdet (undre).



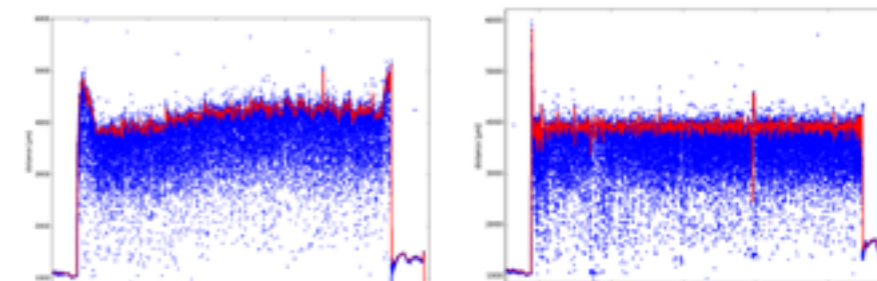
Dr. Markus **Kogel-Hollacher** [Precitec GmbH & Co. KG] har nu vid ett otal tillfällen beretts utrymme för att beskriva företagets IDM [In Depth Monitoring, Fig. 11] –lösning som bygger på s.k. Low Coherence Interferometry och är avsett att användas för online-kontroll av penetrationsdjupet vid lasersvetsning. Metoden är alltså snarlik den för OCT, men har ett mätområde > 10 mm, en upplösning < 1µm, och arbetar med en frekvens kring 70 kHz. Men Precitec erbjuder även IDM med en "closed loop"-funktion där laser-effekten kan regleras i realtid för att på så sätt garantera ett konstant penetrationsdjup [Fig. 12]. I samband med Blechmässan senare under året introducerade man "IDM Twintec" som utöver tidigare finesser även kommer att kompensera för variationer i avståndet mellan svetsverktyg och arbetsstycke. Vidare nämnde den gode Markus att robottillverkaren Blackbird kan tillhandahålla ett IDM-verktyg med integrerad fogföljning. Men det är inte bara vid svetsning denna process är användbar, utan kan även användas för processövervakning vid SLM [Selective Laser Melting], ablation av kolfiberförstärkta polymerer, laserskärning och uppmätning av svetsprofilen, det senare byggt på en idé från Blackbird. Sammanfattningsvis påpekade Dr. Kogel-Hollacher att den stora fördelen med IDM är att den är helt okänslig för all form av processtrålning, och att informationen inte bygger på sekundär information om penetrationsdjupet, vilket är fallet då exempelvis svetsmältans storlek eller emissioner från plasma eller förångad metall registreras.



Figur 11. Precitecs IDM-system här anpassat till ett kommersiellt tillgängligt svetsverktyg.

Hybridprocesser

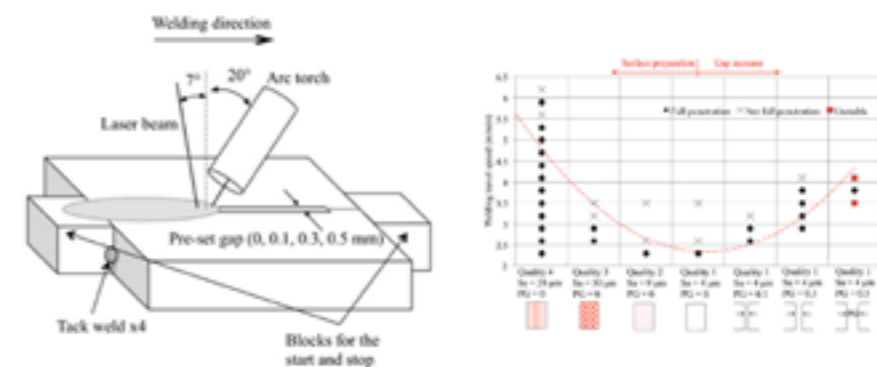
Tyvärr hann jag inte bevaka så många presentationer som handlade om laserhybridsvetsning, men en som kan vara värd att nämna var den som gavs av Farhang **Faroukhi** från Aalborg University. Denne hade studerat snittkanternas ytstruktur och dess inverkan på penetrationsdjup och svetsastighet. Laserhybridsvets-



Figur 12. IDM-systemet kan numera även fås med "closed loop"-funktion som styr med lasereffekten. T.v. responssignalen utan adaptivitetens inkopplad och t.h. med densamma aktiverad vid svetsning med 2,2 kW effekt och ett inställt penetrationsdjup på 3 mm.

ningen hade utförts på 25 mm tjockt S355J2-stål och de laserskurna objekten hade skurits med hjälp av en YLS-3000 SM fiberlaser från IPG och ett skärverktyg från företaget HighYag. Vid svetsningen hade man använt en diskaser från Trumpf [TruDisc 16002] med 16 kW effekt och företagets RFO [Reflecting Focus Optics] –optik kombinerad med en MAG-utrustning. Den senare var monterad "släpande" och framför lasern. Tillsatsmaterialet var ESAB:s O.K. 12.50 med en diameter på 1,2 mm och skyddsgasblandningen utgjordes av 92Ar/8CO2. En grövre yta, som exempelvis kan vara ett resultat av de "striation"-linjer som uppstår vid skär-

ning i grovplåt, innebär en bättre absorption av laserstrålen. Samma effekt verkar man få vid stumsvetsning med en kontrollerad spalt mellan plåtarna [Fig. 13]. Även vissa föroreningar på snittkanten, som exempelvis svavel som restprodukter från en blästringoperation, kan ha en gynnsam påverkan på absorptionsförmågan och därmed även på penetrationsdjupet vid laserhybridsvetsning. Sammanfattningsvis menade Dr. Faroukhi att laserskurna kanter kan öka svetsastigheten med upp till 30% jämfört med slätare, frästa plåtkanter, och därför var hans rekommendation att använda detta förfarande vid rotsvetsning av grövre plåtkonstruktioner.



Figur 13. T.v. principupställningen vid den utförda laserhybridsvetsningen, där snittkanternas ytråhet, liksom en viss spaltbredd mellan plåtarna, är gynnsam ur absorptionsynpunkt och därmed ökad svetsastighet

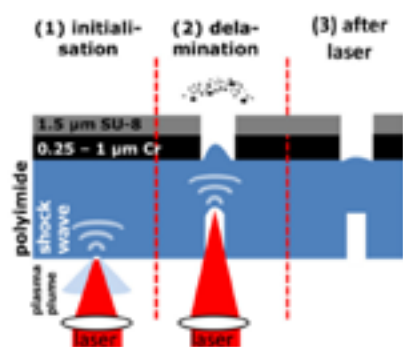
Ytbehandling

Dr. Alberto **Piqué** från Naval Research Laboratory som vi stiftat bekantskap med redan under "keynote"-sessionen satt ord förande vid den del av konferensen som behandlade ytbehandling med hjälp av laser. Förste talare här var Klaus **Zimmer** från Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung i Leipzig, och han berättade om en metod man valt att kalla SWIFD [Shock-Wave-Induced thin-Film Delamination]. Den handlade om hur man med chockvågor genererade av en laser lokalt kunde lösgöra en s.k. funktionell beläggning från ett substrat. Detta kan vara ett alternativ till strukturering av funktionella

skikt på halvledarelement. Laserpulserna ansattes från substratsidan och man hade kunnat konstatera att picosekundlånga laserpulser gav det bästa resultatet i jämförelse med nano- eller femtodito [Fig. 14]. Den laserkälla som använts vid försöken var en excimer-laser och materialet var ett 25 µm tjockt polyimidsubstrat belagt med ett 1,5 µm tjockt fotoresistent skikt kombinerat med ett 1 µm-skikt av krom. Det är alltså inte fråga om att beläggningen smälts bort utan det är p.g.a. kraften i chockvågen som delaminering sker. Metoden hade även provats på ett metalliskt substrat i form av en rostfri plåt med samma ovanstående

beskrivna beläggning. Nackdelen med metoden enligt Dr. Zimmer är att den laterala precisionen är förhållandevis låg vilket gör att man inte alltid lösgör beläggningen på exakt det ställe som önskas.

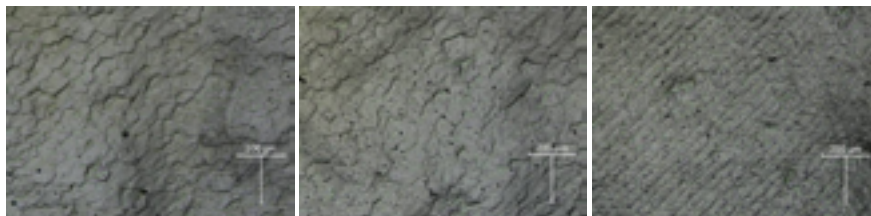
Wojciech S Gora från Heriot-Watt University i Edinburgh redogjorde för hur man med laser kunde förfina ytan hos additivt tillverkade objekt av Titan [Ti6Al4V] alternativt Koboltkrom [CoCr]. För ändamålet hade en fiberlaser med en maximal effekt på 40 W från SPI använts där strålkvaliteten var $M2=3,1$, och försök



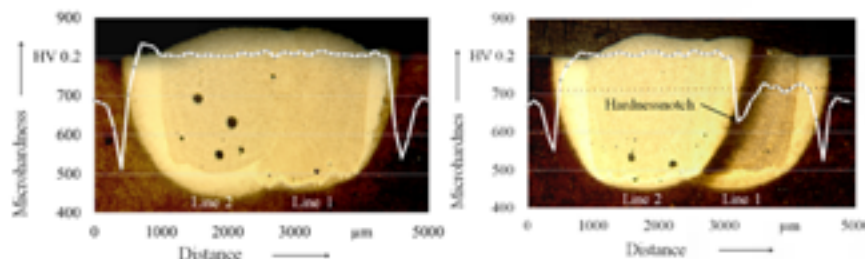
Figur 14. Principen för SWIFD där man genom att skapa chockvågor genom ett substrat lokalt kan lösgöra en funktionell beläggning.

hade utförts på såväl plana kuponger som cylinderytor tillverkade genom SLM i en Renishaw AM250-maskin. Vid denna form av laserpolering omsmälter man ett ytterst tunt ytskikt och får på så sätt en slätare yta [Fig. 15]. För Titan-objekten kunde ytgrovheten på mikronivå reduceras med 85% och för Koboltkromprovkropparna med 97% då det gällde de plana kupongerna och 84% för cylinderytorna.

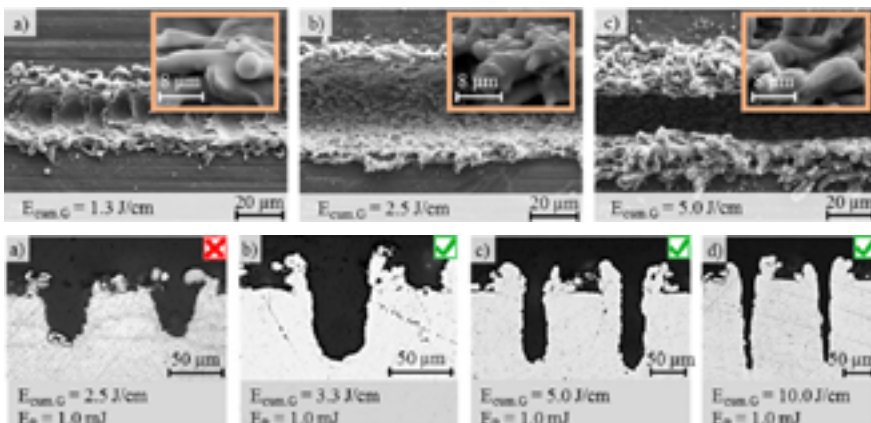
Upplering med hjälp av en laserstråle och tillsatsmaterial var temat för Konstantin Hofmann från BLZ [Bayerisches LaserZentrum GmbH] i Erlangen. Detta kan exempelvis tillämpas för att förbättra hårdheten hos verktyg avsedda för presshärdning vilka är utsatta för höga krafter och därmed ett högt slitage. Försöksupställningen bestod av en fiberlaser med tillhörande "scanner"-verktyg med vars hjälp man åstadkom en spiralformig oscillation av laserstrålen med 50 Hz frekvens och en amplitud på 1,5 mm. Lasereffekten som användes var 500 W och våglängden 1.070 nm. Substratet var varmförningsstålet WP7P och tillsatsstråden från Alunox hade den kemiska sammansättningen NiMoCr90. Man hade utfört legeringsspar med och utan kyltid mellan de olika uppleringarna, och konstaterat att man fick



Figur 15. Laserpolering av ytorna hos additivt tillverkade Ti6Al4V-objekt där laserstrålen "scannats" över ytan i fyra olika riktningar (18°, 71°, 0° och 45°). Resultaten visar ytan efter fr.v. 1, 2 och 3 repetitioner.



Figur 16. Vid upplering av en verktygsyta med NiMoCr90 går mikrohårdheten ner om man använder en viss kyltid mellan påläggningsspåren (t.h.). Avståndet mellan spåren var 1,5 mm, skyddsgasen Ar 4.6 och fokalkanter placerad på substratets toppyta.



Figur 17. Ett räfflat ytmönster visade sig ge bättre förutsättningar jämfört med ett stokastiskt sådant då det gällde att skapa gastäta förbindningar mellan polymer och metall. Dock krävs en energitäthet över 2,5 J/cm för att skapa ur hållfasthetssynpunkt tillräckligt djupa räfflor.

en lägre mikrohårdhet då man använde sig av kyltid [Fig. 16]. Då det i sammanhanget är önskvärt att omvandla en dendritisk kornstruktur till en kubisk sådan är det viktigt att processtemperaturen hela tiden hålls över 100 °C.

Sammanfogning av metaller till plast

Att med hjälp av laserteknik sammanfoga polymerer med metaller har med blandade resultat redovisats under ett flertal år. Nu visade André Heckert från Technische Universität München en lösning där man i en föroperation ytmodifierade metallpartnern med hjälp av en pulslaser för att skapa en gastät förbindning. Olika ytmönster, s.k. stokastiskt och räfflat, hade utprovats på metallen som i detta fall var aluminium innan den förbands med polymeren [PP

= PolyPropylen] genom att en laserstråle ansattes mot aluminiumsidan i denna överlappsfog. Via värmeledning genom metallen smälte polymeren och i kombination med en tryckkraft gav detta förfaringsätt en stark bindning. Därefter hade gastätheten provats med Helium enligt DIN EN 1779-1999. Resultaten var godkända, men då de upprepades efter det att förbandet utsatts för klimatbelastning föll polymeren i vissa fall av. Det visade sig att det krävs en energitäthet på 5-10 J/cm [Fig. 17] då ytan modifieras med laser för att kopplingen till polymerpartnern skall klara täthetsprovet, där det räfflade mönstret gav de bästa resultaten. ■

Forts. i nästa nummer 2-2017.

Ny hemsida för LaserGruppen

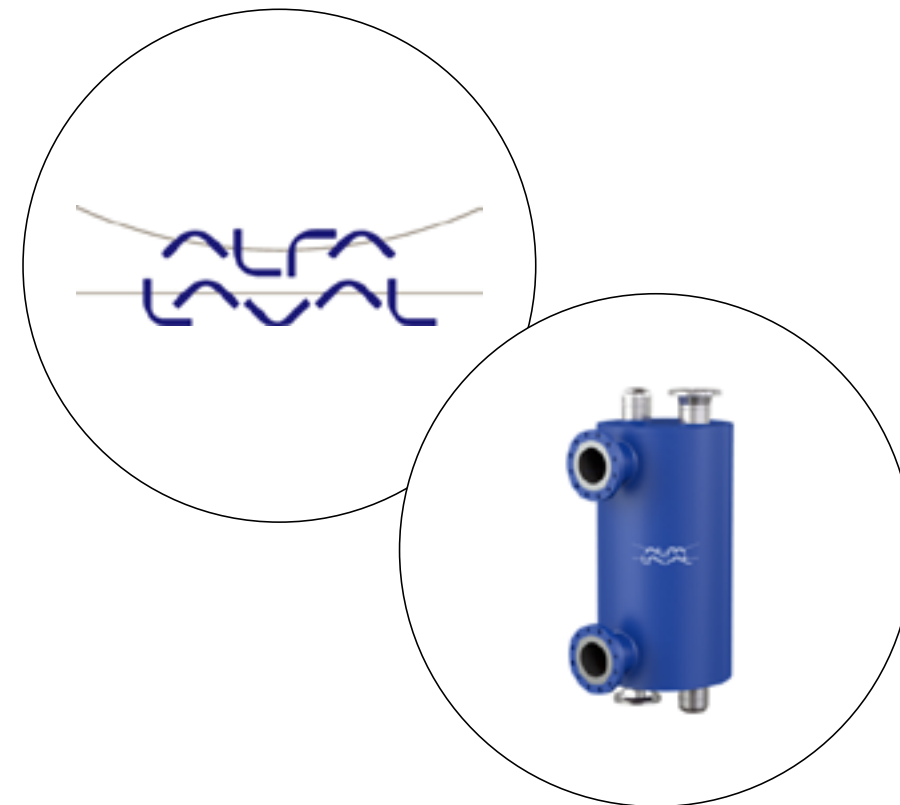
Vi utvecklar just nu en ny hemsida för LaserGruppen, se exemplet nedan. Du kan lämna synpunkter på LaserGruppens nuvarande hemsida i Laserenkät 2017, som just nu distribueras till medlemmarna. Dessa kommer att beaktas i nya hemsidan.



I nästa nummer av LaserNytt bl.a.

Tankar från styrelsen – Bo Willamsson
Laserdagen hos Alfa Laval AB i Lund
Rapport från EALA
Rapport från LAM konferensen
och mycket mera.....

LaserNytt 2 utkommer den 4 oktober 2017.



Laserenkät 2017.

Lasergruppens styrelse genomför nu en undersökning, Laserenkät 2017, om hur medlemmarna upplever Lasergruppens verksamhet. Det gäller våra arrangemang med Laserdagar, seminarier mm, och vad som känns viktigt för er med gruppens verksamhet. Vi vill också veta mera om hur ni upplever LaserNytt och Lasergruppens hemsida. Enkäten distribueras till företagets kontaktpersoner. Svar önskas senast den 26 maj.

1. Var finns Din organisation? Ange Ortsnamn!
2. Hur många anställda har ert företag/organisation?
 1-10
 11-20
 21-50
 51-100
 101-200
 > 200
3. Hur stor omsättning har ert företag/organisation? (MSEK)
 < 1
 1-5
 6-10
 11-20
 21-50
 51-100
 > 100