

LASER *nytt*

I-2015

Lösnummerpris 85 kr



Många intressanta
laserapplikationer vid LAF 2014



AKL'14



Laserdag hos
Alingsås Tunnpåttentrum



ICALEO 2014



**Vi förser tillverkande industri med
nyckelfärdiga robotceller för lasersvetsning**

PERMAFLEX
samlad kunskap i en robotcell



Kvalitet. Produktivitet. Lönsamhet.
www.permanova.se

Lasernytt utkommer med 3 nummer/år
och ges ut av

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

Redaktör

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

Lasersvestade inlägg ("patch")
för reparation av uppläggningsbord i INVAR

Produktion: Ineko Creative Stockholm

Tryck: Ineko Production, Stockholm
www.ineko.se

TANKAR FRÅN STYRELSEN

När arbetet med laser blir en passion

1

RAPPORT LANE 2014

Intressanta "kombinationsprocesser" med laser diskuterades

2

RAPPORT LAF 2014

Många intressanta laserapplikationer visades upp

12

MIKROARBETNING MED LASER DEL 15

Laserskärning av flätad metalltrådsduk

20

Alvesta 3 Plåt AB investerar i laser

21

SAMTAL KRING LASERTRENDER DEL 20

Från en kontorsgarderob till ett globalt kompetenscenter för laserteknik

22

LASERDAG HOS ALINGSÅS TUNNPLÅTCENTRUM

Lokalt laserinitiativ stärker tillverkningsindustrin

24

RAPPORT AKL 14 - DEL 2

Additiv tillverkning och kortpuls-lasrar dominerade

28

RAPPORT ICALEO 2014 - DEL 1

Lasersvetsning och additiv tillverkning dominerade

41

Charles H. Townes, laserpionjär och nobelpristagare har avlidit

47

Jetron Pocorni ICALEO-pristagare

48

TANKAR FRÅN STYRELSEN

När arbetet med LASER blir en passion

När det nu blir aktuellt att göra bokslut och reflektera efter nästan 30 års arbete på Volvo Personvagnar i Göteborg är begreppet LASER ett av de första ord jag kommer att tänka på. När jag som trettiofemårig ingenjör flyttade från Skåne till Göteborg för att börja med förutveckling bland Volvos karosskonstruktörer hade säkert både de och jag en tämligen diffus uppfattning om vad LASER egentligen var. Om man vände sig till ett uppslagsverk kunde man utläsa att det handlade om att "stimulera" elektroner och fotoner så att man skapade ljus med hög energitäthet. Det lät ju som något att användas för "rocket science", eller inom medicin- och signalteknik, men hur detta skulle kunna tillämpas i en mekanisk verkstadsindustri, dit man väl får räkna Volvos karossfabriker, kunde ju synas något obskyrt. Hursomhelst skapade vi snabbt ett väl sammansvetsat team vars medlemmar, p.g.a. den i övrigt låga laserkompetensen inom företaget, snart kunde utge sig för att vara "laserexperter". Tämligen omgående etablerades

ett samarbete med, som man på den tiden hette, Luleå Tekniska Högskola, och den laserverksamhet som där bedrevs. Åtskilliga var t.ex. de svetsförsök som utfördes med den gamla tvärströmningslasern "Svea". Även på kontinenten, och då främst i Tyskland, hittade vi andra samarbetspartners, varför det blev många "Weiss bier" som kom att inmundigas under årens lopp.

Detta i och för sig rudimentära utvecklingsarbete ledde till att vi i slutet av 1980-talet hade implementerat såväl laserskärning som lasersvetsning i våra fabriker. Laserskärningen användes främst vid prototypserietillverkning i Olofström och Göteborg, och ett lasersvetsat tak såg för första gången dagens ljus i och med introduktionen av 850-modellen i Gent. Just den senare applikationen kan man som "Volvoit" känna stolthet inför, då detta var det första exemplet på lasersvetsning i huvudflödet i en karossfabrik i Europa! Så där lyckades vi slå våra tyska konkurrenter på fingrarna.

Fortsättning sidan 48



Några "Volvo-klassiker"; Taklasersvetsning av Volvo 850-modellen i karossfabriken i Gent (t.v.) och företagets första laser cell i Pilot Plant i Göteborg (t.h.) utrustad med en 1 kW RofinSinar-laser för skärning av prototypdetaljer.

Intressanta "kombinationsprocesser" med laser diskuterades vid LANE 2014

DEL 2

JOHNNY K LARSSON, VOLVO CARS

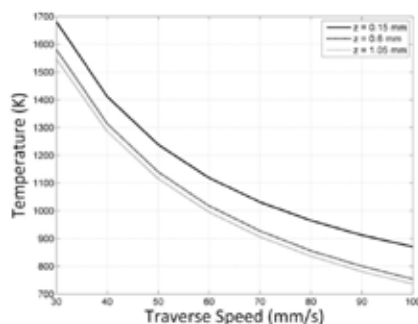
Fjolårets LANE [Laser Assisted Net Shape Engineering] -konferens bjöd på en synnerligen intressant avslutningssession under temat laserunderstödd materialbearbetning, och leddes på ett förtjänstfullt sätt av Dr. Stephan Roth från BLZ [Bay-erisches LaserZentrum GmbH].

Förste talare var Stuart Edwardson från School of Engineering vid University of Liverpool och temat var laserformning där man via en defokuserad laserstråle och en brännfläck med 10 mm diameter på objektet introducerar värme i detsamma. Därmed skapas termiska spänningar i materialet, såväl i form av lokal elastisk töjning som elastisk/plastisk buckling, och på så sätt kan forma detsamma. Tekniken används främst vid precisionslinjering och justering av komponenter på mikronivå, t.ex. delar i kameror, bandspelare och andra elektroniska produkter. Det krävs en objekttemperatur på minst 900 °K för att underlätta formningsprocessen [Fig.1], och i experiment på 1,2 mm tjockt DP [DualPhase] 1000-material hade 1.800 W lasereffekt från en 3,5 kW CO₂-laser använts. Inverkan av parametrarna framföringshastighet, medel-effekt och fokalpunktsstorlek hade undersökts. Arbetsstationen utgjordes av en femaxlig maskin med modellbeteckningen Laserdyne 890, och den optimala processhastigheten låg på 60 mm/sek, vilket hade fastlagts i parallella simuleringsaktiviteter med programmet Matlab. Med laserformning blir det också möjligt att undvika fenomenet med s.k. spring-back, vilket är vanligt förekommande vid mekanisk formning av höghållfasta stål. Dock kunde Mr. Edwardson konstatera att parameterfönstret vid laserformning är tämligen smalt om man vill undvika hårdhetsförändringar i materialet [Fig.2], men ett sätt att motverka detta kan vara att justera strålmoden så att man undvi-

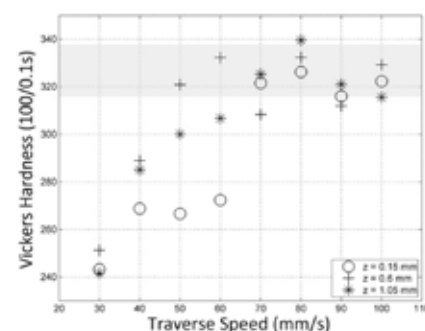
ker alltför höga temperaturer. Ett ytterligare sätt att förbättra noggrannheten vid laserformning är att succesivt med formförändringen ändra laserstrålens vinkel så att den vid varje passage infaller vinkelrätt mot plåtytan.

Näste talare var Michael Lechner från Institute of Manufacturing Technology vid Friedrich-Alexander Universität i Erlangen-Nürnberg, och han berättade om hur lasertekniken kunde bidra till ett optimalt resultat vid en formningsprocess i två steg. Materialet var den utskiljningshårdade aluminiumlegeringen AA6016-T4 i 1 mm tjocklek. Denna legeringstyp har normalt en låg formbarhet och vid formningsoperationen blir det

självkärlat den sida av plåten som sträcks som man önskar skulle vara mer duktil. I det undersökta fallet hade man genom simuleringar kartlagt de sammanlagda effekterna av en förformning följt av en kortvarig värmebehandling med laser, s.k. IHT [Intermediate Heat Treatment] innan komponenten fick sin slutgiltiga form genom hydroformning [Fig. 3]. Som indata till modellen hade man använt experimentella resultat från såväl enaxliga- som tvåaxliga dragprovstavar [Fig. 4]. Dessa var framtagna med hjälp av en 4 kW Nd:YAG-laser där effekten varierades mellan 400-1.200 W. Den defokuserade laserstrålen projicerades som en 30 mm stor fokalpunkt och framfö-



Figur 1.
En objekttemperatur på minst 900 °K krävs för att underlätta formningsprocessen, vilket indikerar en processhastighet på minst 60 mm/sek.



Figur 2.
Uppmätt hårdhet i tre referenspunkter som funktion av processhastighet vid förvärmning av 1,2 mm tjockt DP1000-material. Det skuggade området markerar materialets ursprungliga hårdhet.

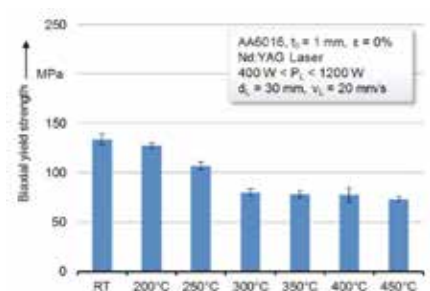
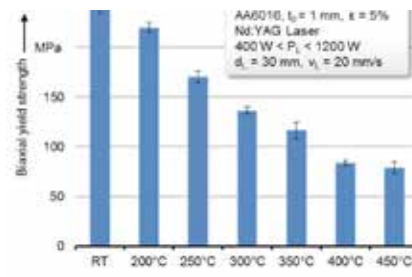


Figur 3.
Genom att använda en mellan-uppvärmning med laser vid denna tvåstegsformning (undre raden) kan man undvika den sprickbildning som annars upp-kommer i aluminiummaterialet (övre raden).

ringshastigheten hade satts till 20 mm/sek. Man kunde konstatera att maximal uppmjukning fick man vid en objekttemperatur på mellan 400–450 °C.

Att underlätta formningen av aluminium ur AA6000-serien var temat också för Alexander Kahrmanidis från Daimler AG, men denna gång var materialet AA6014-T4. Även om han hänvisade till vissa litteraturreferenser beträffande materialuppmjukning med hjälp av laser handlade hans presentation mest om en jämförelse mellan induktiv respektive konduktiv förvärmning, där den senare utfördes i en ombyggd pneumatisk press [Fig. 5]. Som måltemperatur hade man satt 350 °C och kunde konstatera att konduktiv förvärmning var den metod som gav den jämnaste värmefördelningen och därmed den största brottförlängningen, medan då det gällde reduktion av sträckgränsen var förhållandet det omvända [Fig. 6]. Slutligen avslöjade Herrn Kahrmanidis att Daimlers strategi, oavsett valet av värmebehandlingsmetod, kommer att vara uppvärmning utanför presslinjen för att därigenom inte påverka genomloppstiden för karossdetaljerna.

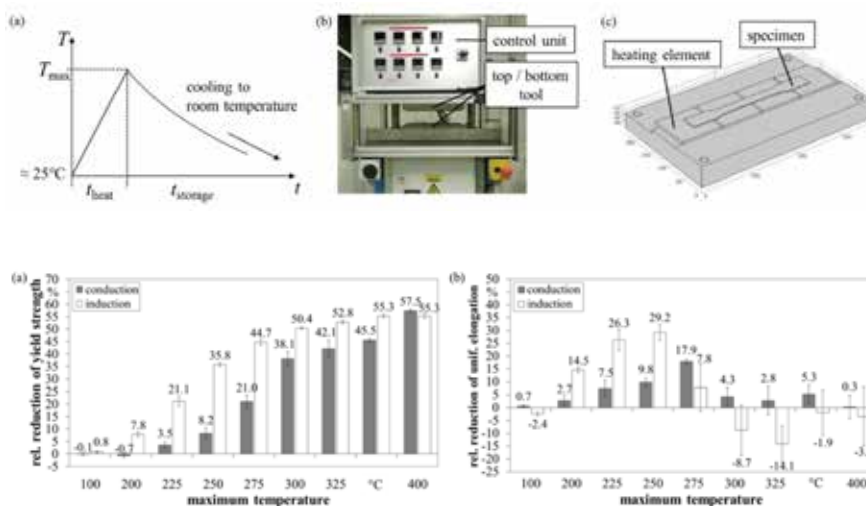
Wolfgang Böhm, även han från Institute of Manufacturing Technology vid Friedrich-Alexander Universität i Erlangen-Nürnberg, berättade om hur man förbättrar formbarheten för aluminium-



Figur 4. Inverkan av värmebehandling med laser på materialets biaxiella sträckgräns utan (t.v.) respektive med (t.h.) 5% förformning.

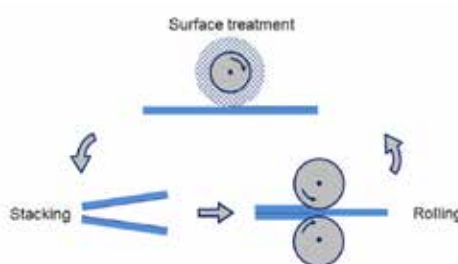
plåtar tillverkade med "Accumulate Roll Bonding" [ARB, Fig. 7]. Denna process sker i tre steg. Först rengöres de enskilda aluminiumplåtarna från oljor och oxider samtidigt som ytan "ruggas upp". Därpå staplas önskat antal plåtar på varandra varpå de valsas samman under högt tryck. Med ARB-metoden sker en kornförfining i materialet vilken leder till ett deformationshårdnande och därmed en hög hållfasthet. Nackdelen är att formbarheten försämras i motsvarande grad, och det var detta man sökt råda bot på genom att med lokal laservärmning göra materialet mer duktilt. Provobjekten tillverkades hos företaget NeueMaterialien Fürth GmbH och bestod av 4 [N2], 16 [N4] respektive 64 [N6] individuella aluminiumplåtar i legeringen AA1050 med en initial

tjocklek av 1,0 mm. Siffran efter N anger antalet genomvalsningar av plåtarna. Laserbehandlingen utfördes med en 4 kW Nd:YAG med Gaussisk strålmod och processhastigheten hölls konstant till 0,1 m/sekund. Man hade undersökt två fokuspunktsstorlekar, 4,3 och 18,0 mm och använt 1.000 respektive 3.000 W lasereffekt för att få en jämbördig energitäthet vilken gav tillräcklig uppvärmning för att rekristallisera materialet. Utvärderingen hade skett i form av hårdhetsmätning och böjprov på 20×56 mm stora kuponger där de senare indikerade en förbättring av formbarheten mellan 40–60% som en effekt av laserbehandlingen [Fig. 8].



Figur 5. I mitten (b) syns underst den lilla pneumatiska press som användes vid den konduktiva förvärmningen. T.v. (a) den schematiska tid/temperaturprofilen för provstavarna och t.h. (c) provstavens läge i förhållande till de fyra värmeelementen i underverktyget.

Figur 6. Den relativa reduktionen av sträckgräns (t.v.) och enaxlig töjning (t.h.) vid konduktiv respektive induktiv förvärmning av aluminium AA6014-T4.



Figur 7. Schematisk skiss av den s.k. Accumulate Roll Bonding-processen vilken sker i tre steg.

Att falska små, skarpa radier vid bearbetning av aluminium är ett välbekant dilemma mycket beroende på materialets åldringsegenskaper. Hongping Gu från Magna International Inc. hade studerat detta och kombinerat rullfalsningsprocessen med lokal laservärmning. Aluminiumlegeringen var AA6016 och rullfalsningen hade skett i tre steg från initiala 90° till 180° [Fig. 9]. Det var endast i det tredje formningssteget från 150° till 180° som lasern hade använts och då med 400 W och en fokuspunkt med 10 mm diameter. På så sätt blev det möjligt att nedbringa innerradien från 0,51 till 0,13 mm och yterradien motsvarande från 1,7 till 1,4 mm jämfört med en kall falsningsoperation. Avslutningsvis presenterade Mr. Gu ett nytt rullfalsningsverktyg med integrerad stråldistribution av lasern som hade använts vid falsning av 1,1 mm tjockt magnesium [AZ31] och då med laservärmning i alla tre processtegen [Fig. 10]. Matthias Weinbach från Fraunhofer IPT [Institute for Production Technology] i Aachen hade studerat hur man kunde förbättra förutsättningarna vid plåtklippning genom att med laser lokalt mjukgöra materialet. Försöken hade utförts på 1,0 mm tjockt fjäderstål i kvalitet 1.4310, vilket vid uppvärmning till 600 °C förlorar cirka hälften av sin ursprungliga hållfasthet där brottgränsen ligger kring 1.900 MPa. Vid konventionell mekanisk bearbetning krävs en klippkraft på ungefär 40 kN vilken kan reduceras till 10 kN vid laservärmning samtidigt som klippverktygens livslängd kan förlängas till omkring 6.000 slag. Samtidigt underlättas klippningen av grövre tjocklek, men Herrn Weinbach menade att här finns en övre gräns kring 4 mm om man ansätter laserstrålen från en sida. Eftersom uppvärmningen av materialet sker genom värmeledning hinner man inte nå önskad temperaturökning genom materialets hela tjocklek, men detta kan lösas om man ansätter en laserstråle från vardera sidan av plåtsubstratet [Fig. 11]. Detta var den lösning som hade applicerats i en pilotanläggning vid IPT/WZL [WerkZeugmaschinenLabor] där laservärmningen skedde i en presslinje som hade en produktivitet på 90 SPM [Strokes Per Minute], och där provplåtarna bestod av det Bor-legerade experimentmaterialet 34MnB5. Två diodlaserkällor om vardera 3 kW hade kopplats till två "scanner"-verktyg, ett som arbetade mot plåtens översida och det andra mot dess undersida innan denna gick in i en C-ramsutformad

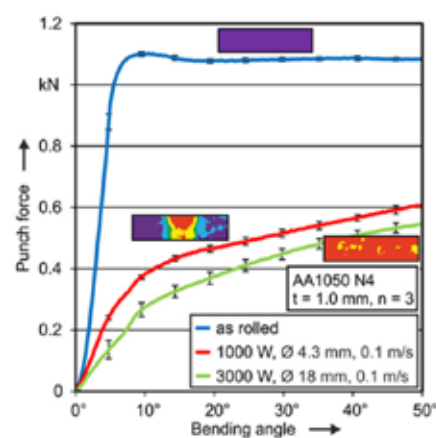
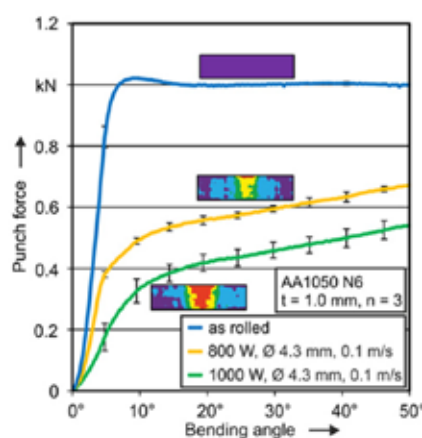
press för klippning. Man kunde konstatera att om lasereffekten fördubblades kunde cykeltiden reduceras med en faktor på 3,5, och man kunde dessutom stansa hål utan brottzon eller klippgrader [Fig. 12] även ner till hålstorlekar kring 1,0 mm i diameter. Imponerande!

Laserbearbetning av polymera material

Energiförbrukning och andra miljöhänsyn gör att lättviktskonstruktioner blir allt vanligare förekommande, och en materialfamilj som uppvisar en ökande användning är fiberförstärkta polymerer och plaster. Därför har det blivit intressant att undersöka vilka möjligheter som finns

för att bearbeta dessa material med olika lasertekniker, och några sådana exempel gavs under LANE-konferensen.

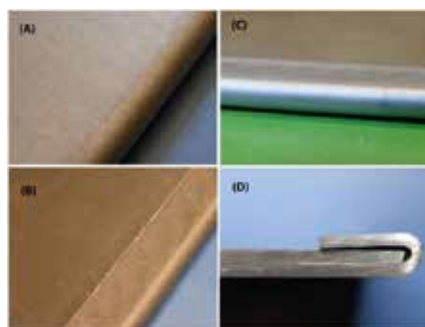
Jenoptik Laser GmbH har ett utbud av ns-pulsade disklasrar som är väl lämpade för dessa ändamål och deras talan fördes här av Nikolas von Freyhold. Modellen JenLas® Disc IR70E [Fig. 13] har en våglängd på 1.030 nm och kan leverera 30-300 ns långa laserpulser med en frekvens mellan 10-300 Hz. Energiinnehållet i pulserna är då 6,5 mJ och strålkvaliteten ligger på $M2 < 1,2$. Med 30 ns långa pulser nåt man en topp effekt på 200 kW(!), medan för pulser på 100 respektive 200 ns hamnar densamma på 65 respektive 32,5 kW.



Figur 8. Här kan man se en avsevärd reduktion av den kraft som fordras vid böjprov av laseruppmjukade provstavar i AA1050-material tillverkade med ARB-tekniken, 64 lager t.v. och 16 lager t.h. De blå kurvorna representerar det obrändade materialet.



Figur 9. Illustrationer av rullfalsningsprocessen som görs i tre steg (ovan), och där man förvärmer med laser i samband med det slutliga formningssteget.

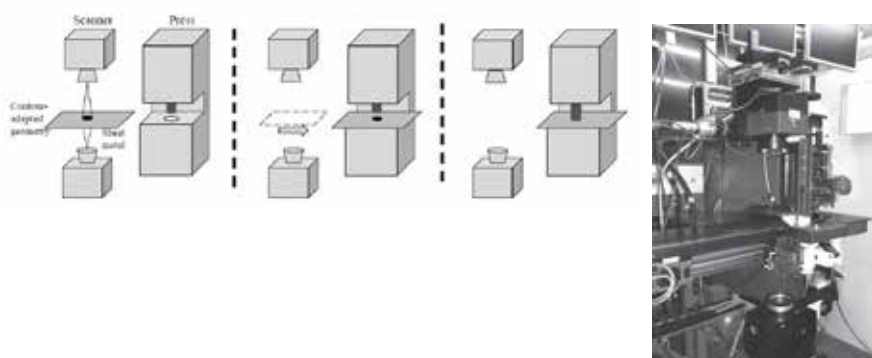


Figur 10. Laserunderstödd falsning av 1,1 mm tjockt magnesium i kvalitet AZ31. a) Falsen sedd från utsidan b) Falsen sedd från insidan c) Den yttre falsraden d) Tvärsnitt genom falsen

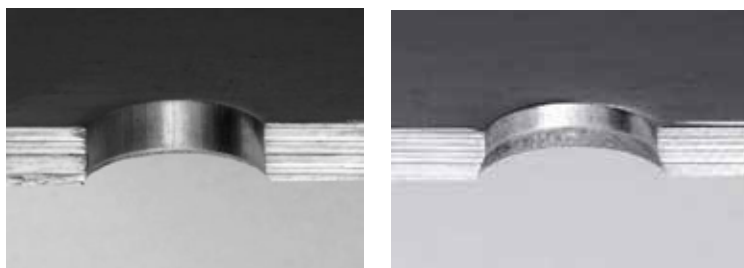
Med en processhastighet på 20 m/sek hade man trepaneringsborrat en fiberförstärkt polymer i tjocklekarna 0,75 och 1,0 mm där hålen i den förstnämnda var 680 μm i diameter och i det senare 300 μm . De större hålen utfördes med en hastighet av 126 hål per minut, medan man hann göra 252 hål på en minut i det tjockare materialet. Den ovannämnda laserkällan hade använts för ytterligare applikationer där en var att medelst ablation texturera polymerytan för att skapa bättre vidhäftning vid limning av densamma. Detta åstadkom man med 30 ns långa pulser med en toppeffekt på 200 kW och där materialavverkningen skedde med 100

mm³/sekund. Ett annat område handlade om laserskärning av CFRP [Carbon Fibre Reinforced Plastic] i tjocklekarna 2,0 och 0,75 mm. Här låg avverkningshastigheterna på 11 mm³/min respektive 20 mm³/min, och där den värmepåverkade zonen [HAZ = HeatAffected Zone] uppgick till 60 μm för det grövre materialet och överhuvudtaget inte var detketerbar i det tunnare [Fig. 14]. Vidare hade man utfört trepaneringsborrning i en aluminiumlegeringen AlMg3. Hålstorleken låg mellan 80-100 μm i diameter och med 30 ns långa pulser åstadkom man den bästa snittkvaliteten och en processhastighet av 340 hål/sek, men den högsta avverknings-

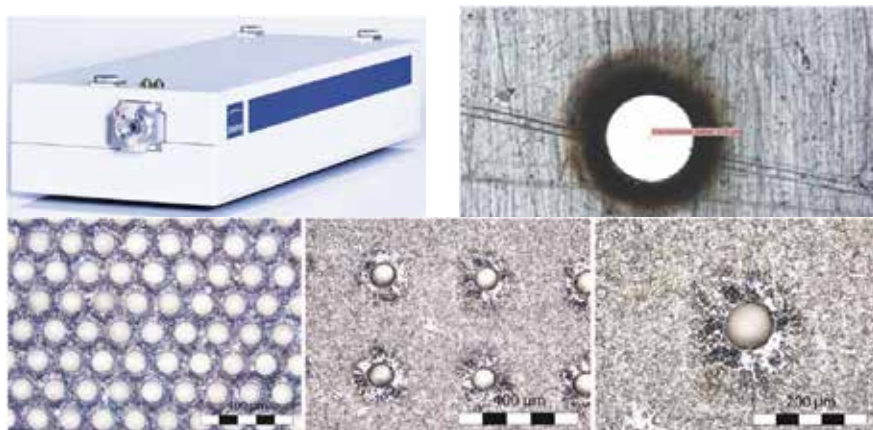
hastigheten fick man vid 700 ns pulslängd med „systemmodellen“ JenLas® Disc IR70 då man åstadkom 620 hål/sek! Samma aluminiumlegering, fast nu i tjockleken 5 mm, hade ytstrukturats med en avverkningsgrad av 130 mm³/min och 40 W lasereffekt, vilket påstods vara fyra gånger effektivare jämfört med om operationen skett med en 50 W fiberlaser. Även trepaneringsborrning av 1 mm tjockt Titanium hade gjorts med 700 ns långa laserpulser och här låg processhastigheten på likaledes imponerande 550 hål i sekunden! Herrn von Freyhold avslutade sin synnerligen intressanta presentation med att nämna några tilltänkta komman-



Figur 11.
Ovan principen för laservärmning av en plåt från två sidor med två "scanner"-verktyg kopplade till var sin laserkälla, och t.h. den experimentella försöksupställningen hos IPT med två 3 kW diodlasrar.



Figur 12.
T.v. Snittkantskvalitet vid konventionell hålstansning i 2,0 mm tjockt 1.4310-material, och t.h. en snittkant nästan helt utan brottzon i det fall en laseruppvärmning skett just innan klippoperationen.

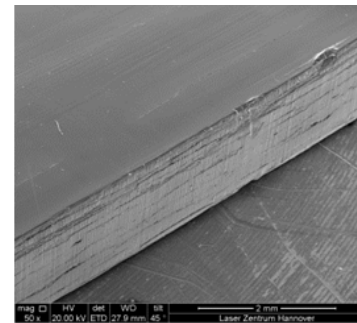


Figur 13.
Jenoptiks modell JenLas® Disc IR70E lämpar sig väl för trepaneringsborrning i såväl fiberförstärkta polymerer (ovan t.h.) som Titanium (undre raden). Håldiametrarna är 810 respektive 50-200 μm och tjockleken för båda materialen 1,0 mm.

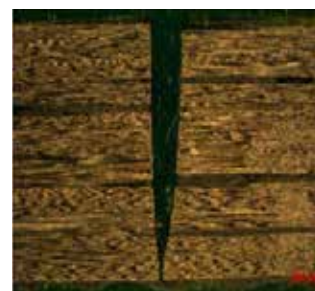
de applikationer såsom borrar av kisel och andra spröda material som exempelvis karbider samt borrar i material med hög värmeledningsförmåga.

Volkher Onuseit från IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] vid Universität Stuttgart redogjorde för några av resultaten från de två BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] -finansierade projekten ProCaV [Produktive und schädigungsarme Laserbearbeitung von Carbonfaser-Verbundwerkstoffen] och T4nPV [Tailored for Next Generation PhotoVoltaic]. Här hade man skurit en 2 mm tjock fiberförstärkt polymer med en hastighet på 10 m/min utan nämnvärda skador på skärkanterna. I samband med detta introducerade den gode Volkher begreppen MEZ, vilket skall uttydas som „Matrix Evaporation Zone“, och som i det aktuella fallet uppgick till 10 μm . Han menade att ns- och ps-pulsade laserkällor är bäst lämpade för detta ändamål även om man också använt cw-lasrar i experimenten. Det viktiga är att energitätheten ligger kring 109 W/cm² för att nå en acceptabel snittkvalitet. Vidare hade man använt märklasern TruMark3230 för att ablationsskära ovannämnda material. Dock visade sig effekten vara otillräcklig för att nå några högre processhastigheter. Sålunda låg denna på 0,12 m/min vid 16 W medeffekt [Fig. 15] och ns-långa pulser respektive 0,06 m/min vid 30 W och ps-pulser.

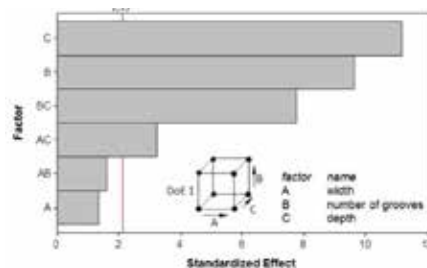
Fogning av en polymermaterial till metaller kan ske antingen som transmissionssvetsning om laserstrålen ansätts från polymersidan eller som värmeledningssvetsning om strålen träffar metallytan. Det senare fallet avhandlades av Martin Stambke från Technische Universität Ilmenau och för att skapa en god förbindning hade man i metallen, som utgjordes av aluminiumlegeringen AA6082, fräst spår med olika bredd, djup och vinkel i förhållande till metallytan i vilka den smälta polyamidplasten [PA66] kunde flyta in. Att fräsa spåren i 45° i förhållande till ytan i stället för 90° gav en högre hållfasthet vid efterföljande dragprovning. I försöken hade Laserlines LDM-1000 använts som laserkälla, vilken har en våglängd på 980 μm och som levererade 1 kW projicerat till en brännfläck med 5 mm diameter. Processhastigheten var 1 m/min, och tack vare den höga fixeringskraften blev det möjligt att få plasten att flyta uppåt i den använda försöksupställningen. Slutsatsen från experimenten blev att spårens djup och antal hade



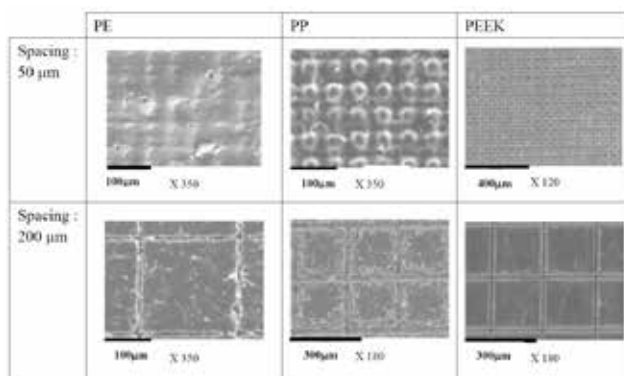
Figur 14.
Exempel på laserskärning av CFRP med ett SEM-foto närmast som påvisar att det inte uppstår någon värmepåverkan av snitt-kanten.



Figur 15.
Märklasern TruMark3230 från Trumpf kan även användas för att ablationsskära fiberförstärka polymerer som det 1,5 mm tjocka exemplaret t.h. som skurits med en tudelad laserstråle och fem repetitioner.



Figur 16.
T.v. den experimentella uppställningen och t.h. resultaten från en genomförd s.k. DoE (Design of Experiments) där man kan se att de frästa spårens djup och antal har störst inverkan på förbandets hållfasthet vid skjuvdragprov.



Figur 17.
SEM-mikrobilder som visar textureringsmönstren utförda på PE-, PP- och PEEK-materialet med nätmönstren c/c 50 μm respektive 200 μm .

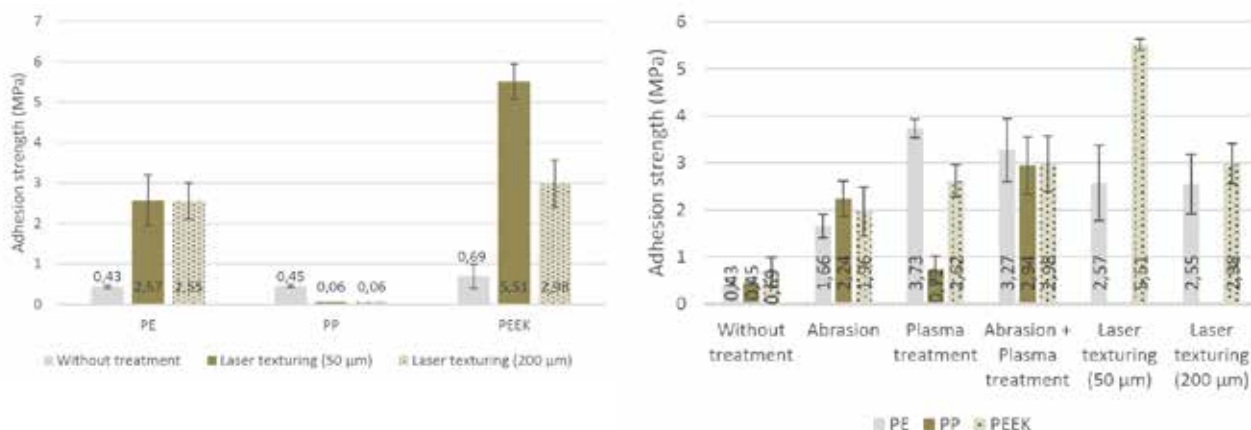
störst inverkan på hållfastheten medan deras bredd var av underordnad betydelse [Fig. 16].

En välkänd profil i lasersammanhang är Dr. Wolfgang Knapp [CLFA = Coopération Laser Franco-Allemande], som här hade jämfört ytstrukturering med laser respektive plasma av polymererna PE [PolyEten], PP [PolyPropen] och PEEK [PolyEterEterKeton], vilka man senare avsåg att belägga med en aluminiumfolie. I försöken hade man använt en laser från JDSU med modellbeteckningen Q301-HD-1000R med en våglängd på 355 nm med möjlighet till pulsfrekvenser upp till 10 kHz. Pulslängden sattes till 33 ± 10 ns och för PE- och PEEK-varianterna hade man använt 150 μ J i pulsenergi men nöjt sig med 100 μ J då PP-materialet bearbetades. Det senare är mer värmekänsligt och visade sig vara mindre lämpligt för laserbehandlingen. Struktureringen gjordes som ett nätmönster med två olika storlekar; c/c 50 μ m respektive 200 μ m [Fig. 17]. Vidhäftningsresultaten för aluminiumfolien låg kring 3 MPa vilket var

likvärdigt med vad man erhöll vid plasmabehandling [Fig. 18], som emellertid är en snabbare metod. Dock påpekade Dr. Knapp att man måste beakta att ytbehandlingen har en åldringseffekt vilket innebär att foliebeläggningen måste ske inom ett par dagar annars förloras vidhäftningsförmågan.

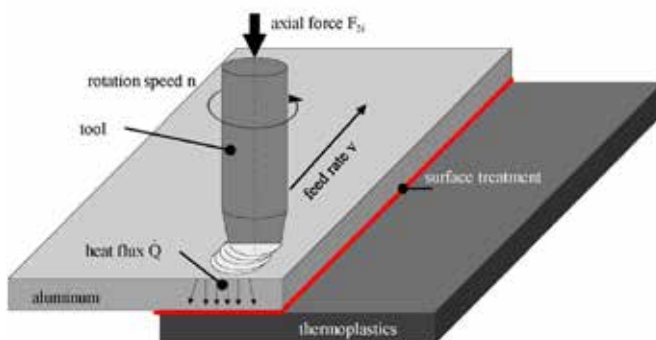
Franz Wirth vid iwv [Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften], Technische Universität München myntade begreppet FPJ [Friction Press Joining] där själva fogningsprocessen mellan polymer och metall inte har så mycket att göra med laser utan är en FSW [Friction Stir Welding] -process där den roterande pinnen ansätts mot metallsubstratet men där pinnens längd är så anpassad att den inte når ner att förstöra polymermaterialet [Fig. 19]. Lasertekniken hade istället använts för att strukturera metallytan på det 2 mm tjocka AA2024-material som använts för att på så sätt skapa en bättre vidhäftning till polymeren. Den senare utgjordes av en 3 mm tjock glasfiberförstärkt termoplast i form av PA6 med 50%

fiberinnehåll. Struktureringen hade gjorts på såväl makronivå, där man använt TWI [The Welding Institute] -metoden "Surfi-Sculpt", som på mikronivå genom att avverka material genom laserskärning. Den senare metoden hade man nämnta att kalla „RAC“, vilket skall uttydas som "Remote Ablation Cutting". Vid yttextureringen hade man använt en SM [Single Mode] -fiberlaser där effekten varierats mellan 600-3.000 W. Som sagt låg emellertid tyngdpunkten av presentationen på FPJ-processen där man kunde konstatera att en „standardpinne“ gav en brottspänning i förbandet på 10 MPa, men om pinnen gavs en konisk form ökade brottspänningen till 14 MPa [Fig. 20].



Figur 18.

T.v. framgår att en alltför finmaskig ytstrukturering har en negativ inverkan på aluminiumfoliens vidhäftning till polymeren, och t.h. jämförs vidhäftningen för laserbehandlingen med andra metoder som slipning och plasmabehandling.



Figur 19.

Principen för s.k. FPJ (Friction Press Joining) avsedd för att foga ett metalliskt material till en polymer.

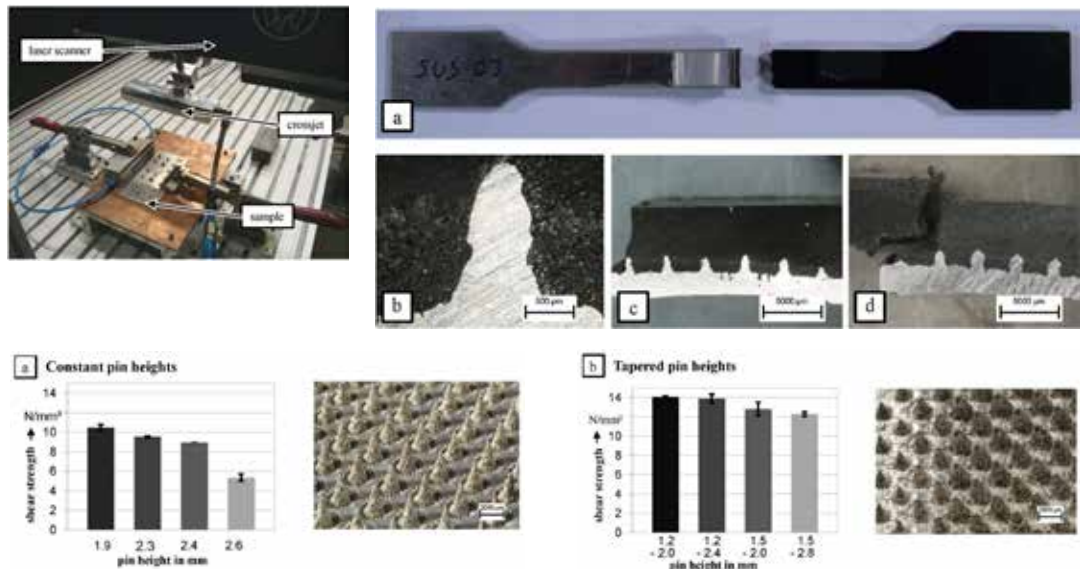
Temat fogning av en polymer till metall adresserades även av Andor Bauernhuber från fakulteten för „Transportation & Vehicle Engineering“ vid Budapest University. Här handlade det om att fästa in stålpinna av S235-kvalitet i ett PMMA [PolyMethylMethAcrylate] -material, där ett urtag gjordes i polymeren i vilket stålpinna monterades varpå laserstrålen ansluttes mot polymersidan [Fig. 21]. Man hade använt en pulssad Nd:YAG-laser med 200 W i medeleffekt och arbetat med en 5 mm stor fokuspunkt för att smälta polymeren. En hög pulsfrekvens kombinerad med låg pulsenergi gav lägre värme jämfört med en lägre pulsfrekvens med hög pulsenergi. Eftersom PMMA-materialet uppvisar en hög värmeabsorption var därför den senare kombinationen mest önskvärd. I jämförande dragprov med limmade objekt uppvisade de lasersvets-

sade såväl en högre brottlast som avsevärt större brottförlängning [Fig. 22].

Slutligen vill jag förmedla några av de resultat som Andreas Büchel från JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH presenterade. Man hade ägnat sig åt att lasersvetsa större plastkomponenter med upp till 30% glasfiberinnehåll och där hållfastheten översteg 90% av plastmaterialens brottgränser. Som laserkälla användes en direktverkande egentillverkad diodlaser där 8 stycken diodstaplar hade sammanlänkats så att man erhölet en brännfläck som mätte 100×1 mm [Fig. 23]. Konceptet kombinerar våglängderna 808, 940 och 980 µm, och medeleffekten är 800 W, dock hade svetsningen utförts i pulsmode för att begränsa värmeförseeln i materialen.

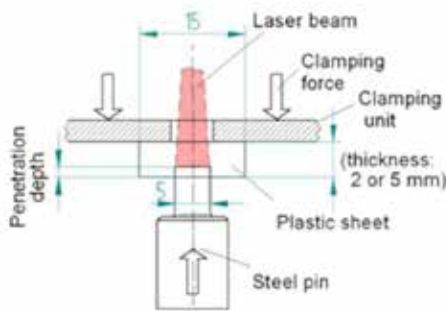
Bland de framgångsrika applikationer som lasersvetsades var:

- Ett lock med måtten 200×350 mm i TPO [ThermoPlastic Olefin] för airbag svetsat till en instrumentpanel i PP [Fig. 24]
- En karossdetalj till Citroën C4 Cactus med måtten 1.400×400 mm där PC-ABS [Polycarbonate-Acrylonitrile Butadiene Styrene] svetsats till TPU [Thermoplastic PolyUrethane]. Här kunde man se att svetsastigheten var avgörande för huruvida man skulle få en missfärgning av plastmaterialen eller inte
- En elektronikkomponent med måtten 120×130 mm där en 25%-igt glasfiberförstärkt PA66 svetsats till en oförstärkt del i samma material
- En 500×700 mm stor detalj i PET [PolyEthylene Terephthalate]/PP till en värmeväxlarenhet i en diskmaskin som svetsades till PP



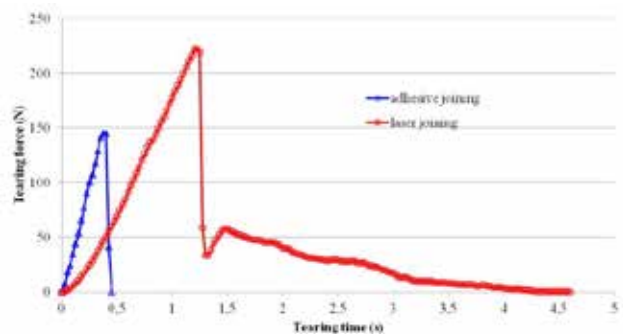
Figur 20.

Överst försöksupställningen för tillverkning av „pinna“ i aluminiumkomponenten samt brottbeteende (a) och tvärsnittsbilder (b-d), vilka liksom de underliggande stapeldiagrammen visar att „raka pinna“ (a) ger ett fogtebrott medan koniskt formade sådana (b) leder till brott i polymeren och därmed en högre hållfasthet i förbandet.



Figur 21.

Schematisk bild av fogningsprocessen där en stålpinne i S235-kvalitet monterats i ett grunt urtag i en 2 alternativt 5 mm tjock PMMA-polymer, vilken är transparent för laservåglängden 1064 nm. Genom den tillförda värmen smälter polymeren lokalt och fäster mot metallpinna.



Figur 22.

Karakteristiska dragprovkurvor för limmade respektive lasersvetsade objekt där de senare uppvisar en högre brottlast och en avsevärt större brottförlängning.

Generellt låg processhastigheten på 50 mm/sekund, och Herrn Büchel avslutade med att hävda att driftskostnaden vid lasersvetsning låg på en tredjedel i jämförelse med andra alternativa fogningsmetoder!

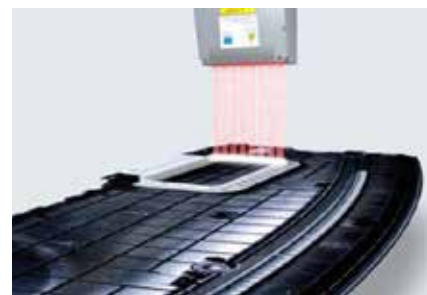
Övrigt

Additiv tillverkning hade också getts stort utrymme vid LANE-konferensen, och såväl LMD [Laser Metal Deposition] som SLM [Selective Laser Melting] hade fått dedikerade sessioner. Tyvärr hann jag inte bevaka detta ämnesormåde i någon större omfattning men kan nämna tre presentationer som jag lyssnade på. Den första gavs av finländske kollegan Ville Matilainen [Lappeenranta University of Technology] och handlade om hur man byggde upp stödstrukturer i form av små stavar vid LAM [Laser Additive Manufacturing] -tillverkning. Dessa är inte bara avsedda som stöd utan bidrar också till värmeavledningen under uppbyggnadsprocessen. Med hjälp av en skräddarsydd maskin från företaget EOS med beteckningen Eosint M hade man med SLM byggt en trapezoid i rostfritt 17-4 PH-material med tillhörande stödstruktur. Laserkällan utgjordes av en 200 W "single mode" fiberlaser från IPG [YLS-200 SM] kombinerad med Scanlabs "hurryScan 20"-verktyg. Stavarna hade tillverkats med olika lutning mot horisontalplanet för att undersöka hur detta påverkade losstagningen från det tillverkade objektet. Stödstrukturen tillverkades i två versioner, dels i form av små rör dels som gitterstrukturer [Fig. 25]. Diametrarna på de förstnämnda varierade mellan 1,3-2,0 mm och för gitterna låg nätstorleken mellan 1,3-1,45 mm. En mindre lutningsvinkel på stavarna underlättade deras losstagnig, och de var betydligt enklare att lösgöra den gitterutformade stödstrukturen. Detta var nästintill omöjligt i fallet med rörstöden då dessa tenderade att smälta samman med varandra.

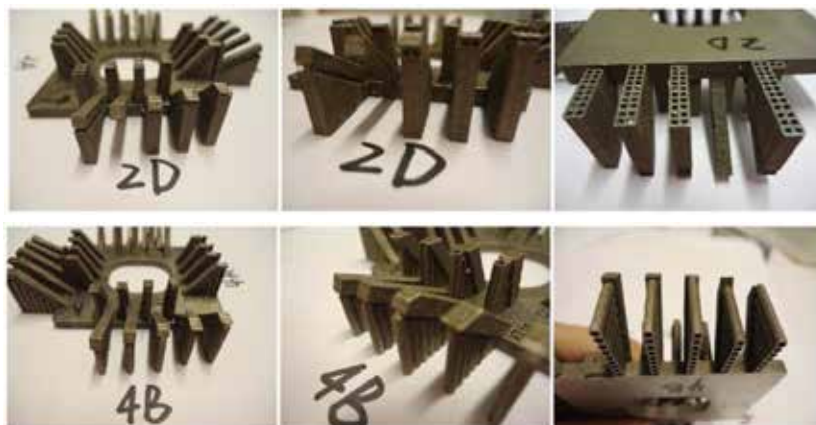
Arne Neef från ILAS [Institute of Laser and System Technologies] vid Hamburg University of Technology hade studerat en teknik för kvalitetsövervakning vid SLM-tillverkning, vilken byggde på s.k. LCI [Low Coherence Interferometry] med ett patenterat verktyg från Precitec Optronik GmbH. Datasamlingen skedde med en frekvens på 70 kHz vilket innebar att det med en 50 μm stor fokuspunkt tog 3,5 sekunder att analysera 1 cm^2 . Sensorenheten kan antingen monteras i maskinkabinettet eller integreras i "scanner"-



Figur 23. Med denna kompakta typ av diodlaserkälla från JENOPTIK, där man har sammankopplat 8 stycken diodstaplar à 100 W, kann man skapa en skräddarsydd brännfläck på 100×1 mm.

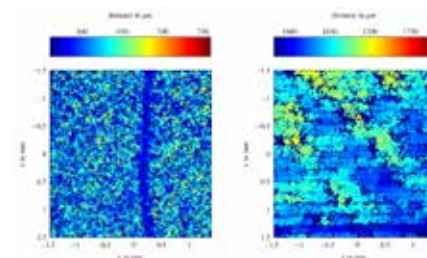


Figur 24. Ett airbag-lock i TPO som transmissionslaser-svetsats till en instrumentpanel tillverkad i PP-material.



Figur 25. T.v. syns den använda testgeometrin och överst t.h. den uppbyggda gitterstrukturen med 2,0 mm nätstruktur, vilken var betydligt lättare att lösgöra från trapezoidplattan jämfört med rörstrukturen (Δ 1,45 mm) därunder.

enheten. Som laserkälla använde man en 1 kW fiberlaser från RoFinSinar [FL010S] kopplad till ett intelliSCAN 30-verktyg från Scanlab. Påläggningen skedde i en EOS M250-maskin och försöken hade gjorts inom ramen för ett projekt kallat "MEGafIT" [Manufacturing Error Free Goods at First Time]. Det man i nuläget kunde analysera var byggplattformens montering och planheten hos dess byggyta. Vidare kunde man detektera defekter i själva pulvret samt pulverlagrens tjocklek. Efter SLM-processen gick det att hitta deformationer i uppbyggnadens tjocklek samt pulver som inte hade smälts. Som synes kunde man alltså endast kontrollera



Figur 26. Med LCI-teknik kan man visualisera det pålagda, osmälta pulvret innan SLM-processen (t.v.), men också efter det att denna är slutförd (t.h.). I den vänstra bilden ser man klart en defekt med cirka 50 μm djup längs y-axeln, medan det hopsmälta pulvret i bilden t.h. har orienterat sig i 100 μm breda band längs x-axeln vilka korresponderar till laserstrålens rörelse.

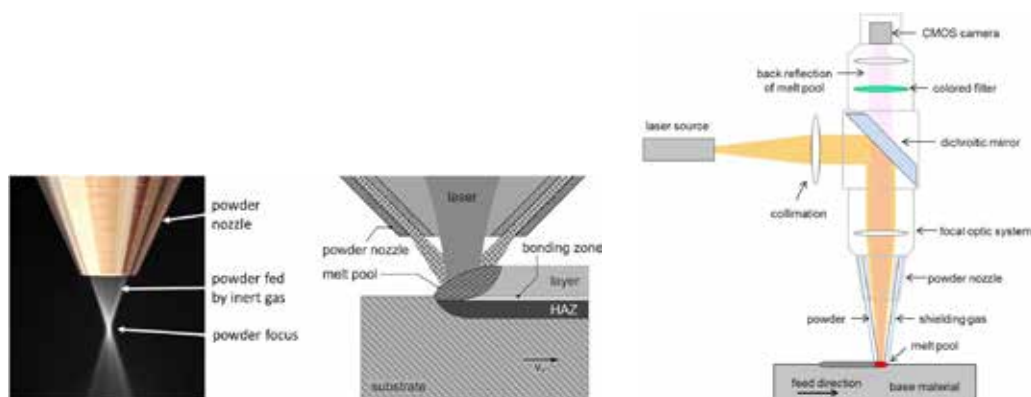
kvaliteten före och efter själva SLM-processen [Fig. 26], men inte under densamma. Detta såg Herrn Neef som nästa steg; att kunna utföra analys under själva uppmältningen av de olika pulverlagren.

En annan form av kvalitetsövervakning, och nu i samband med LMD-processen, kan vara att registrera smältbadets storlek. Detta var något som undersöktes vid Fraunhofer ILT, och Sörn Ocylok redogjorde för detta. Experimenten hade utförts med varierande lasereffekt [700-1.200 W] och en fokalpunktsstorlek på 1,75 mm, där smältbadet registrerades genom en koaxiellt integrerad kameraövervakning [Fig. 27]. Som substratmaterial användes verktygsstålet X38Cr-MoV 5-1, vilket belades med 32CrMoV 12-28-pulver där partikelstorleken låg mellan 45-100 µm. Inte helt överraskande kunde man konstatera att då pålägghastigheten ökade minskade smältbadets bredd, och på motsvarande sätt

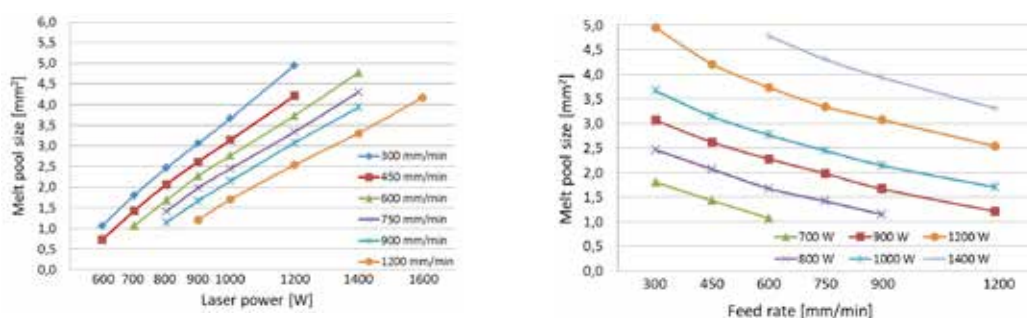
ökade bredden om lasereffekten ökades [Fig. 28]. Däremot hade mängden tillfört pulver per tidsenhet ingen inverkan på smältbadets storlek, men visade sig i form av en högre skiktuppsbyggnad då mer pulver tillfördes. Då byggplattformen förväms ökar smältbadet något i storlek medan skiktjockleken minskar samtidigt som insmältningen i tidigare pålagda lager ökar. Allteftersom försöksstrukturen byggdes upp ökade smältbadets storlek upp t.o.m. det femte lagret, varpå storleken förblev konstant eller minskade något.

Många andra användningsområden för lasertekniken torgfördes under de fyra dagar som LANE-konferensen pågick och här skall jag bara nämna ett som handlade om flexibel härdning av kuggväxlar. Presentationen gjordes av Jan Bouquet från Katolisches Universität Leuven. Arbetsstationen hade integrerats i en femaxlig fräsmaskin [Sauer 70-5 Ultrasonic / DMG 70 eVo], och härdningen utfördes med

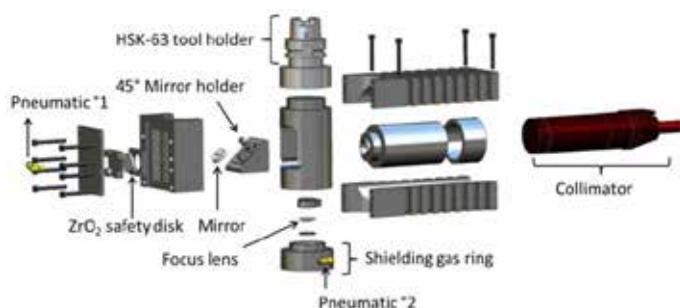
en 500 W Nd:YAG-laser från Lumonics [MW500]. Kvalitetsövervakningen skedde med hjälp av en pyrometer [Fig. 29]. Kugghjulen var tillverkade i C45-stål med en initial hårdhet på 200 Hv. Genom att variera fokalpunktsstorlek och processhastighet kunde man skraddarsy hårdheten mellan 500-750 Hv. En stor fokalpunkt och snabb framföringshastighet resulterade i en lägre hårdhet med grundare inträngning, medan liten fokalpunkt kombinerad med en långsam processhastighet gav ett omvänt resultat [Fig. 30]. Den kritiska temperaturen för att nå en härdningseffekt, något som hade tagits fram genom simuleringar i ABAQUS, låg på 877 °C vid en processhastighet på 100 mm/min. Om den senare överstiger 400 °C kommer härdningseffekten att utebli. Kommande forskning skall inriktas på att undersöka uppmjukningseffekter vid överlappande härdningsspår. Monsieur Bouquet avslutade sin presentation med



Figur 27. Övan ett påläggningsmunstycke med s.k. "kontinuerlig" pulvertillförsel samt principen för LMD, och t.h. en schematisk bild över hur kameraövervakningen är integrerad i verktyget.



Figur 28. Smältbadets storlek i förhållande till använd lasereffekt och processhastighet.



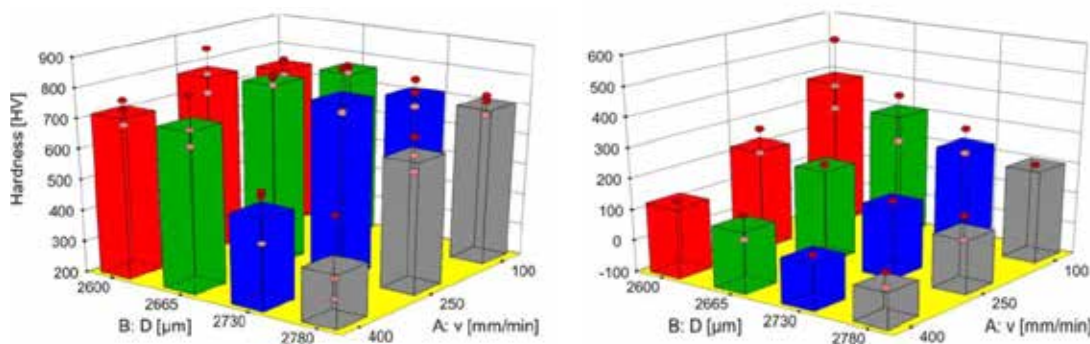
Figur 29. T.v. försökssupställningen med pyrometer för temperaturkontroll och t.h. en sprängskiss på laserverktyget.

att påstå att man med laserteknik kan nedbringa härdningsprocessen för dessa kugghjul från 13 veckor till 24 timmar!? Tro det den som vill!

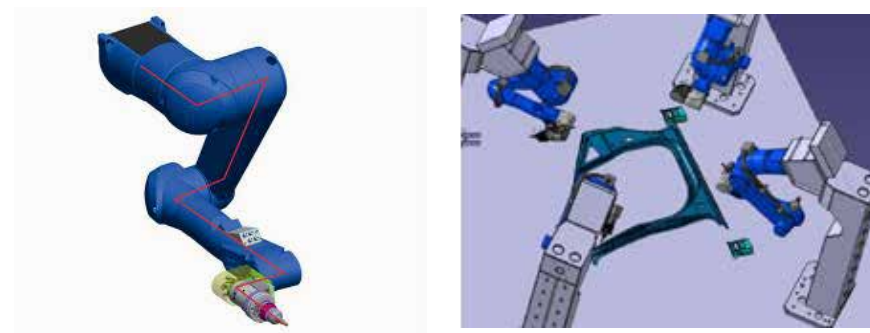
Som tidigare framgår i artikeln var JENOPTIK väldigt aktiva under konferensen med ett flertal presentationer och låt mig därför avsluta med en aktuell industriapplikation i form av flexibel laserskärning av presshårdade karosseridetaler. Hans Baste från JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH berättade om hur detta gjorts med företagets robotkoncept Votan BIM® [Beam-In-Motion, Fig. 31], där laserstrålen distribueras via speglar inuti robotarmen. Detta gör att man kan garantera en noggrannhet motsvarande den som gäller för en portalrobot, och betydligt bättre jämfört med en

vanlig industrirobot [Fig. 32]. Det skärverktyg som hade använts hade två motoriserade axlar och robotens arbetsområde uppgick till 500×800×1.400 mm. Man hade validerat skärprocessen på A- och B-stolpar tillverkade i USIBOR®, vilket är ArcelorMittals produktnamn för ALSibelagt Borstål, med tjocklekar varierade mellan 1,0-2,5 mm. Skärbanorna hade programmerats off-line med hjälp av företaget Cenit, och genomgående användes en processhastighet på 150 mm/sek för skärning av konturerna och 200 mm/sek för övrig håltagning. Hålens positioneringsnoggrannhet låg på $\pm 50 \mu\text{m}$ vid en tillverkningsvolym på 40.000 artiklar! Avslutningsvis presenterade Herr Baste ett "multi-robot"-koncept där fyra robotar simultant laserskar två detaljer.

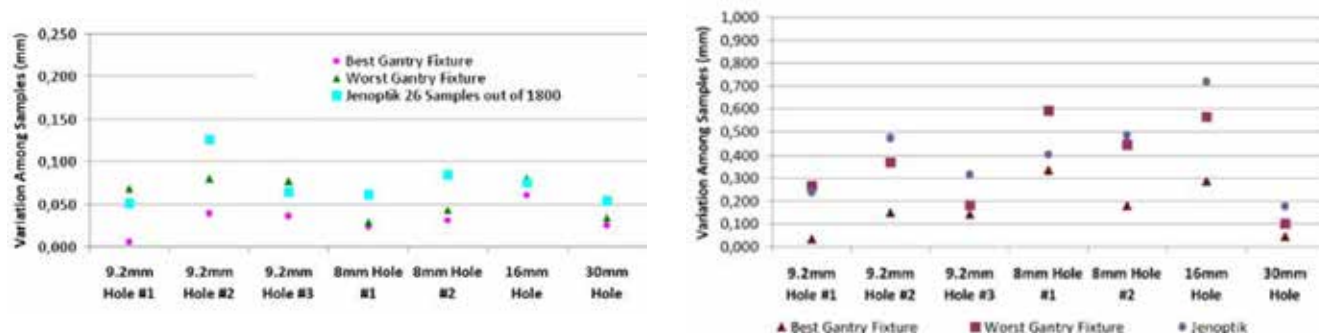
Sammanfattningsvis bjöd LANE 2014 på en blandad "kompott" av presentationer från såväl akademi som industri, även om de förstnämnda fortfarande dominerar. Jag vet att professor Michael Schmidt från BLZ, som numera är huvudansvarig för dessa konferenser har som avsikt att försöka "tvätta bort" den stämpel av alltför teoretiserande laserforskning som många fortfarande tror att LANE handlar om. Han välkomnar därför fler presentationer av fallstudier och praktikfall från industrin och vi får väl se hur väl han lyckas i dessa ambitioner vid nästa LANE-konferens som kommer att äga rum någon gång under hösten 2016.



Figur 30. Hårdhet (t.v.) respektive hård djup (t.h.) som funktion av fokuspunktsdiameter och processhastighet.



Figur 31. JENOPTIKS lösning, Votan BIM®, där laserstrålgången integrerats i robotarmen garanterar en hög noggrannhet och kan med fördel kombineras till ett "multi-robot"-koncept (t.h.).



Figur 32. Vid håltagning i en A-stolpe uppvisar Votan BIM® en repeterbar i fråga om positionering och hålstorlek som är jämbördig med en portalrobot.

Många intressanta laserapplikationer visades upp vid LAF 2014

JOHNNY K. LARSSON,
VOLVO CARS

Konferensen Laser AnwenderForum [LAF], som arrangeras vartannat år av BIAS [Bremer Institute für Angewandte Schweißtechnik], har som främsta syfte att lyfta fram framgångsrika exempel på laseranvändning inom tillverkningsindustrin. För mig som representant för Lasergruppen känns denna inriktning synnerligen lovvärd och tilltalande, och det var med stora förväntningar som jag och nära 100 andra delegater bänkade oss i konferenslokalen på anrika Park Hotel i Bremen. Detta var den nionde upplagan av LAF, och i vanlig ordning hälsades vi välkomna av BIAS' institutsföreståndare professor Frank Vollertsen. Förutom att lyssna till sjutton intressanta föredrag fick vi under en halvdag besöka institutets applikationslaboratorium i den nya LION-byggnaden, där olika doktorandstudenter först fick redogöra för sin forskning varpå vi fick möjlighet att titta på tillhörande praktiska försök. Mer om laserforskningen vid BIAS kommer jag att delge Er i nästa nummer av LaserNytt. LAF-konferenserna ger också utmärkta möjligheter till att knyta nya kontakter och bekantskaper, dels i pauserna under själva konferensen men inte minst under den informella middagen i klassiska "Kuppelsaal", där jag bl.a. fick möjlighet att bekanta mig med flertalet av forskarstudenterna.

Inledningsanförandet gjordes av speciellt inbjudne Dr. Takashi Ishide, en välkänd laserprofil från Mitsubishi Heavy Industries R&D Center i Nagoya. Han gav ett flertal exempel på den kraftfulla satsning på laserteknik som företaget gör, vilket inte minst framgår av införskaffandet av en 100 kW fiberlaser från IPG

[Fig. 1]. Dr. Ishide var tämligen hemlighetsfull då det gällde användningen av densamma, men berättade slutligen att ett användningsområde rörde nedmontering av uttjänta och havererade kärnkraftsanläggningar som den i Fukushima. Här kan det bl.a. röra sig om laserskärning av upp till 300 mm tjockt material. I en annan högeffektsuppställning hade man kopplat samman fyra 10 kW-lasrar med stråldistribution av den resulterande 40 kW-effekten via en 300 µm grov optisk fiber. Användningsområdet här var värmebehandling av komponenter tillverkade i kolstål och rostfritt. Andra innovationer som Dr. Ishida visade var:

- Ett verktyg för laserhybridsvetsning där laserstrålen integrerats koaxiellt i MIG [Metal Inert Gas] –pistolen.
- En borraringsprocess där laserstrålen enbart manipulerades via optiken i form av ett roterande prisma och alltså inte rördes mekaniskt. Detta gjorde att skärhastigheten kunde ökas med en faktor 10!
- Skärning av s.k. TBCs [Thermal Barrier Coating] med hjälp av en kortpuls laser
- En lösning med två integrerade optiska fibrer där en var avsedd för stråldistribution medan den sekundära användes för processkontroll

I fortsättningen kommer min redogörelse att lyfta fram en mångfald produkter där lasertekniken utgör ett väsentligt inslag vid tillverkningen, och vad känns mer naturligt än att låta en av mina kollegor i branschen komma till tals först – nämligen Christian Elsner med många års erfarenhet från såväl Volkswagen som nu

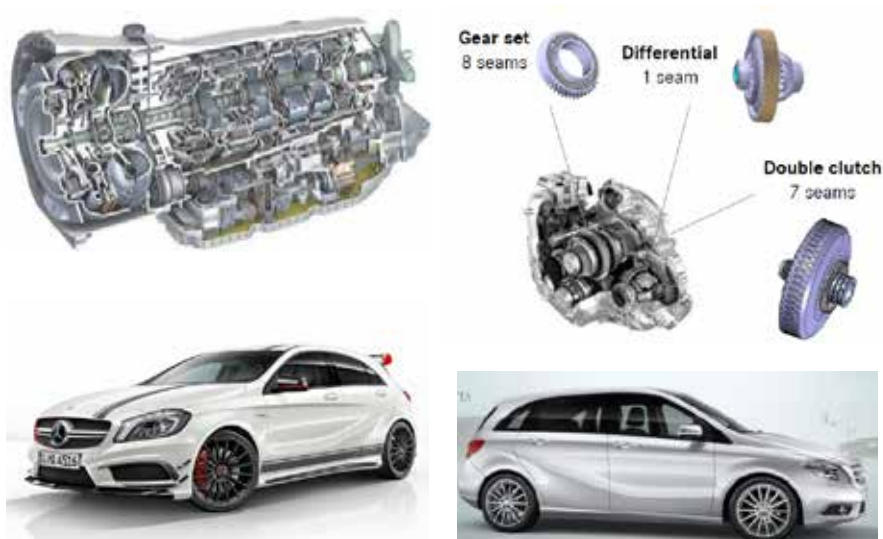


Figur 1.
Ett stolt team av japanska medarbetare poserar framför en nyligen införskaffad fiberlaser med 100 kW cw (continuous wave) effekt.

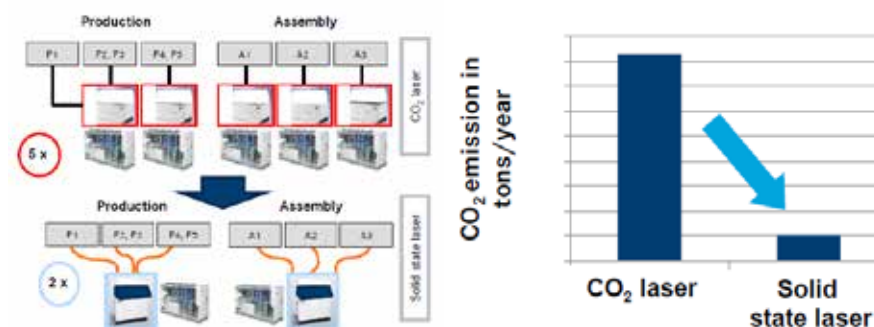
Daimler i Untertürkheim. Tidigare har ni läsare kunnat ta del av den omfattande laserbearbetning som Daimler använder vid tillverkningen av sina transmissionskomponenter och denna gång hade den gode Christian valt att lyfta fram den nya frontmonterade dubbelkopplingen samt differentialväxelenheten till A- och B-Klasse-modellernas 7-växlade låda [F-DCT = Front Double Clutch Transmission]. Växellådan innehåller 16 stycken lasersvetsar [8 för kugghjulen, 1 för differentialväxeln och 7 för dubbelkopplingen, [Fig. 2] där just denna svetseteknik ger ett antal fördelar. Sålunda kan växellådan, tack vare laserstrålens enkelsidiga bearbetningsmöjligheter, göras extremt kompakt trots att den innehåller många kugghjul. Vidare gör det snabba svetsförloppet att man inte får några värmedistorsioner samtidigt som svetsprocessen medför en viss positiv materialhårdning kring svetsgodset. Det stora penetrationsdjupet bidrar till ett ökat vridmoment, samtidigt som man får en tät fog som förhindrar oljeläckage.

Herrn Elsner påpekade nödvändigheten av ett holistiskt synsätt över hela tillverkningskedjan så att de bearbetningsoperationer som görs innan lasersvetsningen, såsom pressning, svarvning, fräsning och rengöring, inte skapar geometriska variationer eller andra fenomen som kan vara till skada för laserprocessen. Tidigare har ju CO₂-lasrar varit helt dominerande hos Daimler vid svetsning av drivlinekomponenter, men dessa har idag ersatts av disklasrar, vilka ger större penetrationsdjup, högre svetshastighet och mindre distorsioner jämfört med gaslasrarna. Dessutom har antalet laserkällor reducerats från fem till blott två något som sparar både pengar och fabriksyta. Eftersom disklasrar även har en högre elektro-optisk verkningsgrad och inte heller behöver skyddsgas som CO₂-lasern har energiförbrukning och miljöpåverkan drastiskt kunnat reduceras [Fig. 3]. Disklasern kommer även till användning vid orbitalsvetsningen av differentialväxeln där kuggdrevet svetsas till sin gjutna axel. Svetsningen sker utan tillsatsmaterial, något som var nödvändigt då CO₂-källorna användes, och fogföljning sker med Trumpfs "SeamLinePro"-verktyg. Även för denna applikation består tillverkningskedjan av många steg; laserrengöring, inpassning av detaljerna, lasersvetsning, effektmätning, borstning av svetsfogen samt ultraljudsinspektion. Framtida utmaningar ansåg Herrn Elsner främst låg i användningen av nya lättviktsmaterial, integration av hybridkomponenter, krav på ytterligare högre vridmoment samt ett globalt produktionsnätverk.

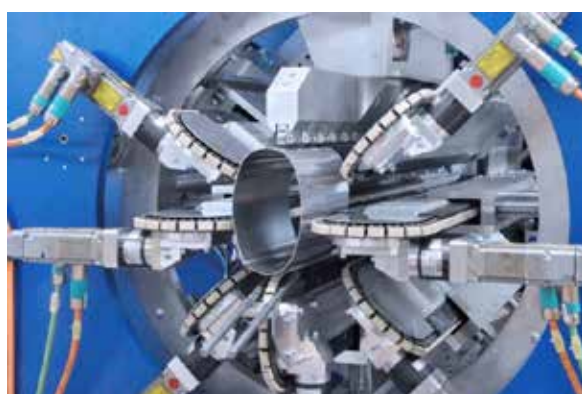
En ständigt återkommande gäst vid LAF-konferenserna är sympatiske Richard Petersen från weil engineering i Müllheim. Denna gång redogjorde han för hur en lasersvetsningscell integrerats



Figur 2.
Daimlers nya 7-växlade F-DCT-växellåda hittar vi i både A45 AMG- och B-Klasse-modellerna. Kuggghjul, differentialväxel och dubbelkoppling lasersvetsas med disklasrar utan användning av tillsats-material.



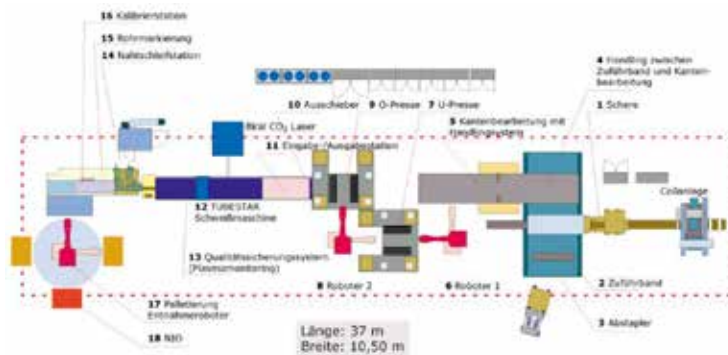
Figur 3.
Förr och nu vid lasersvetsning av transmissionskomponenter hos Daimler. Genom att ersätta 5 gaslasrar med 2 disklasrar, samtidigt som produktiviteten bibehållits, har energiförbrukning och CO₂-emissioner drastiskt kunnat reduceras.



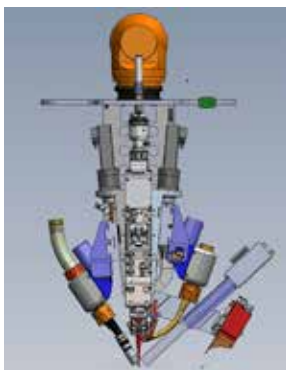
Figur 4.
Närmast en detalj från en produktionslinje för kontinuerlig rörtillverkning, och t.h. hur fixeringen av "korta" rör kan utformas vid lasersvetsning.

i en produktionslinje där man tillverkar kundspecifika rör direkt från en plåtrulle. Rören är tillverkade i ett ferrit-bainitiskt stål med 590 MPa sträckgräns, och tillhandahålls i diametrarna 90 respektive 115 mm samt i väggjocklekarna 2,6, 2,8 och 3,1 mm. Rörens längd är 1.130 mm och årsvolymen ligger kring en miljon. Jämfört med en anläggning för kontinuerlig rörtillverkning blir investerings- plus driftskostnaden lägre vid denna typ av ”enstyckstillverkning” – 3,5 MECU mot 5,9 MECU [Fig. 4]. Tillverkningen går till som så att först kapas plåten till rätt längd varpå de kanter som senare skall stums- vetsas med laser slipas. Därefter sker rör- formningen i två steg, där den slutgiltiga rundhetstoleransen ligger inom 0,5 mm. Nästa steg i tillverkningen är själva laser- svetsningen vilken görs i en svetsmaskin av märket Tubestar®150 försedd med en 8 kW CO₂-laser [Fig. 5]. Kapaciteten är 960 rör i timmen vid en svetshastighet på 10 m/min. Svetskvalitén säkras dels genom processövervakning i form av plasmakontroll samt i form av visuell av- syning. Slutligen slipas svetsrågen och röret ges sin slutgiltiga form och kalibreras via ett antal kallformningsoperationer.

Näste talare var Christian Paul från Carl Cloos Schweißtechnik GmbH som berättade om helautomatiserad laserhy- bridsvetsning. Inledningsvis jämförde han laborieförsök utförda med denna metod och en manuell gasmetallbågs- vetsning av två 8 mm tjocka plåtar i stum- fogskonfiguration. Fördelarna med hy- bridtekniken var att någon fogberedning inte var nödvändig samt att man kunde arbeta med en betydligt enklare fixturut- formning tack vare att man tillför avsevärt mindre värme jämfört med en renodlad bågs- vetsmetod. Svetsningen kunde vidare utföras med en passage medan gasme- tallbågs- vetsningen krävde tre strängar. Sammantaget innebar detta att det tog 16 minuter för den senare att färdigställa svetsen medan hybridtekniken klarade samma uppgift på 30 sekunder – en tids- besparing på 97%! Därpå torgförde Herrn Paul ett antal praktikfall där den första handlade om laserhybridsvetsning av ar- mar till hydrauliska hanteringskranar av märket Palfinger avsedda att monteras på lastflak. Svetsningen hade genom- förts i en ROMAT400-portalanläggning med en 8 kW fiberlaser. Svetsverkt- yget var försett med fogföljning samt en trådmattningsenhet för kalltråd [Fig. 6], detta för att undvika att alltför mycket värme leddes in i materialet.



Figur 5.
Överst några bilder från själva lasersvetsningen vilken görs med en Tubestar®150 i kombination med en 8 kW CO₂-laser.
T.v. en layout över hela rörtillverkningsprocessen.



Figur 6.
Svetsverktg försett med fogfölj- ning och en trådmattningsenhet för kalltråd, vilken bidrar till att minimera värmeförlusten vid laserhybrid-svetsning av hydrauliska hanteringskranar.



Figur 7.
Robotiserad laserhybridsvetsning av "Manitowoc"- kranarmar längs en 19 m lång åkbana, där svets- hastigheten blir 4 gånger så hög i jämförelse med pulverbågs- vetsning.

En annan tillverkare av dylika kranar är företaget Manitowoc och även här var laserhybridsvetsningen gjord med en RO-MAT400-robot monterad på en 19 meter lång åkbana [Fig. 7]. Svetsningen hade tidigare utförts med pulverbåge, men med hybridtekniken kunde den totala svetstiden för en kranarm reduceras från 6 till 1½ timme.

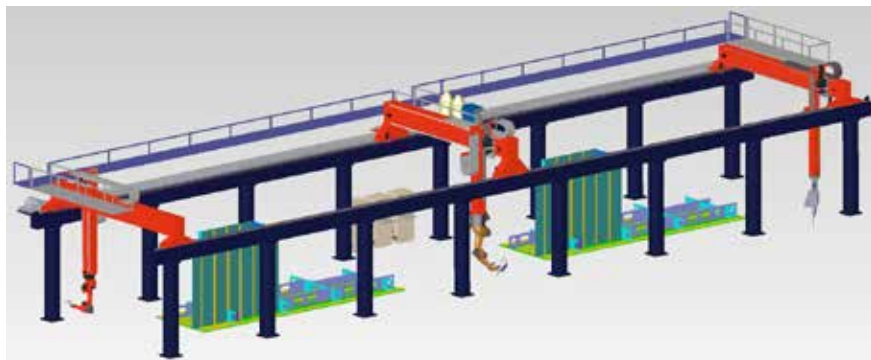
Herrn Paul visade också den 8-axliga lasercell som finns att tillgå i Cloos' applikationslaboratorium [Fig. 8]. Här har man nyligen gjort försök med att laser-svetsa rostfritt stål och aluminium. I det senare fallet hade man använt Precitecs svetsverktyg med pendlingsfunktion, något som är fördelaktigt vid aluminiumsvetsning då man på så sätt kan skapa ett större smältbad.

Slutligen redogjordes för några resultat från det BMWT [BundesMinisterium für Wirtschaft und Technologie] -finansierade QuInLas [Qualitätsgerechte 3D Laserschweißbearbeitung Innovativer Schiffskonstruktionen] -projektet, där laserhybridförsöken företrädesvis har utförts vid LZN [LaserZentrum Nord] i Hamburg. Där har man nämligen tillgång till en portalanläggning med tre separata gantry-system avsedd för hybridsvetsning av fartygspaneler och däckssektioner [Fig. 9]. Anläggningen har de imponerande måtten; längd = 35,5 m, bredd = 7,5 m och höjd 6,2 m.

Dr. Johannes Weiser är en annan trogen LAF-besökare. Han representerar det medelstora verkstadsföretaget BBW Lasertechnik som har en imponerande uppsättning av laserbestyckade arbetsstationer vilka används för svetsning, skärning, borrar och lasergravering [Fig. 10]. Han började med att redogöra för en "sekreteressbelagd" order som man erhållit i form av komponenter till medeldistansroboten "Meteor" och som ingår i bestyckningen av attackplanet Eurofighter. De aktuella detaljerna är en gasgenerator och en brännkammare i materialet 15-5-FH [1.4545] med totalt 72 lasersvetsar med ett svetsdjup mellan 2-3 mm. Såväl stumfog som käl- och överlappsfog förekommer och svetsningen utförs med en 4 kW disk-laser från Trumpf som distribuerar laserstrålen till ett svetsverktyg monterat på en TruRobot 5020 med 4 m åkbana. Inuti den rörformade gasgeneratoren utförs ett antal håfts-vetsar med 1,5 kW lasereffekt och ett specialutvecklat verktyg från företaget Nutech, avsett för svetsningen inuti rör, och som har en räckvidd på 600 mm [Fig. 11].



Figur 8.
Lasercellen i Cloos' applikationslaboratorium är utrustad med robot plus lägesställare vilket medger 8-axlig laserbearbetning med t.ex. Precitecs "Wobbler"-optik för strålpending (t.h.).



Figur 9.
Schematisk skiss över portalanläggningen vid Laser-Zentrum Nord, vilken har tre separata gantry-system avsedda för laserhybridsvetsning av bl.a. däckssektioner till fartyg.



Figur 10.
Ett imponerande antal arbetsstationer för laserbearbetning hittar vi hos BBW Lasertechnik GmbH i Prutting.



Figur 11.
Lasersvetsning av en gasgenerator avsedd för medeldistansroboten "Meteor" där den invändiga svetsningen utförs med ett specialutvecklat verktyg från Nutech.

Livsmedelsindustrin är en stor kund hos BBW Lasertechnik och för den branschen finns ett omfattande regelverk utformat av EHEDG [European Hygienic Engineering & DesignGroup] vilket bl.a. ställer höga krav på svetskvaliteten hos de utrustningar som används vid matvaruhantering. Sålunda accepteras inga ytbrytande porer, svetsen måste var helt tät och såväl plåtyta som svets skall ha ett Ra-värde mindre än 0,8 μm . En mätvåg i rostfri plåt för vägning av bär hade hopsvetsats med hjälp av en diodlaser från Laserline [LDF 6000-40, **Fig. 12**]. Den fulla effekten på 6 kW hade distribuerats i en 400 μm grov optisk fiber till svetsverket som hade en brännvidd på 182 mm vilket gav en brännfläck med 0,7 mm diameter. Svetsningen utfördes med tillsatstråd varför ett push-pull-matarverk från företaget Dinse hade använts.

En annan produkt till samma bransch handlade om höljet till en elektronikenhet, även denna tillverkad i rostfritt. Här fanns krav på visuellt tilltalande svetsar varför man använt sig av värmelednings-svetsning med diodlaser. Eftersom värmedistorsioner måste undvikas försåg man höljet med sensorer för temperaturmätning så att svetsningen aldrig resulterade i temperaturer som översteg 85°C [**Fig. 13**]. På höljets ena väg monterades tre kontaktdon vilka svetsades fast med en pulsad Nd:YAG-laser, detta för att erhålla en god spaltfyllnad. Maximalt tillåten förvridning av denna produkt ligger på 350 $\mu\text{m}/\text{m}$ och årsvolymen uppgår till cirka 1.000 enheter.

Avslutningsvis presenterade pratglade Dr. Weiser några exempel på "scanner"-svetsning av aluminiumprodukter till byggindustrin samt titankomponenter avsedda för elektronikbranschen.

Att skapa gastäta svetsar var temat för tidigare LZH [LaserZentrum Hannover]-medarbetaren Oliver Meier som sedan några år tillbaka driver företaget LASER on demand GmbH. Grundtanken för etableringen är att man skall kunna hyra ut mobila laserstationer till företag som behöver använda sig av lasertekniken, men som inte har tillgång till egen utrustning. Vidare finns möjligheten att med den mobila utrustningen utföra svetsning- och påläggningsoperationer på stora installationer, inom exempelvis processindustrin, vilka är svåra att flytta. LASER on demand har tillgång till disk- och fiberlasrar inom effektområdet 1-12 kW, en 5 kW diodlaser samt Q-"switchade" lasrar med 1.064, 532 och 355 nm våglängd [**Fig. 14**]. Handhållna laserverktyg finns också att tillgå samt en sexaxlig robot med ett arbetsområde upp till 3 x 5 m där strål-gången sker inuti robotarmen.

Den första applikation som den gode Oliver redogjorde för handlade om svetsning av lättviktsbehållare i aluminiumlegeringen AlMg4,5Mn avsedda för rallybilar. LASER on demand tillverkar ungefär 20 sådana behållare årligen, och då det rör sig om en dylik lågvolymproduktion försöker man använda så enkla fixturer som möjligt. Den stora utmaningen var en ganska komplex tredimensionell svetsgeometri samt det tunna plåtmaterialet, vilket gjorde det svårt att överbrygga spalter. Initialt hade man använt en 600 μm stor fokalpunkt, men denna visade sig ge alltför låg energitäthet vilket resulterade i genomgående porer vilket inte kunde accepteras då behållarna skall klara en provtryckning > 1 bar [**Fig. 15**]. Genom att istället använda en brännfläck med en diameter på 150 μm i kombination med hög svetshastighet kunde man minimera smältbadet och därmed risken



Figur 12. Höga krav på svetskvalitet föreligger vid tillverkningen av denna mätvåg i rostfritt stål som sammanfogas med en 6 kW diodlaser.



Figur 13. Höljet till en elektronikenhet värmeledningssvetsas med en diodlaser där ett antal sensorer (t.h.) kontrollerar att temperaturen aldrig överstiger 85°C för att begränsa värmedistorsioner.



Figur 14. Såväl diod- som disk- och fiberlasrar finns att välja mellan, då man beställer laserarbeten med LASER on demands mobila enhet.

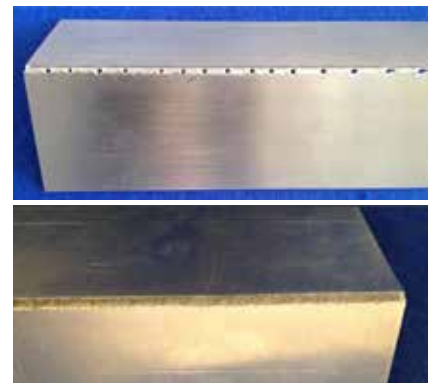
för porbildning, samtidigt som inverkan från aluminiumets oxidskikt och höga reflektivitet begränsades. Laserkällan var en 2 kW fiberlaser från RofinSinar [FL020], och spaltöverbryggnaden klarades genom pendlning av laserstrålen med en ILV-”scanner”.

Nästa utmaning bestod i att lasersvetsa samman lock och cylinder för en behållare i krom-nickel-legering åt BASF [Badischer Anilin und Soda Fabrik] [Fig. 16]. Kravet på inträngningsdjup var minst 2 mm och inga värmedistorsioner tilläts. Samtidigt måste behållaren vara gastät och lasersvetsens ovansida slät. Plättjockleken var 1,5 mm, svetslängden 1.120 mm sammanlagt samt seriestorleken 16 enheter. Svetsningen genomfördes med en 5 kW diodlaser från Laserline [LDF-5000-40] och svetsverktyget manipulerades av den ovannämnda sexaxliga industriroboten.

En intressant applikation var ett gigantiskt uppläggningsbord för tillverkning av ett kolfiberförstärkt vinghölje för passagerarflygplanet Airbus A350 XWB [Fig. 17]. Bordet hade byggts upp av moduler i Nickellegeringen INVAR med tjocklekar mellan 10-15 mm. Fyra stycken 8 meter långa stumfogar lasersvetsades och inträngningskravet var minst 7 mm. Svetsarna skulle dessutom klara ett läckagetest med Helium och samtidigt fick förvridningar inte överstiga 0,1 mm över en längd på 10 meter! En tillkommande aktivitet handlade om att undersöka realiserbarheten av att reparationssvetsa delar av uppläggningsbordets formyta med hjälp av lasersvetsade inlägg s.k. patch.

Ett ytterligare exempel på en gastät konstruktion var en form av värmeväxlare för beredning av biomassa [Fig. 18]. Inte mindre än 75 rör med 4 mm väggjocklek skulle svetsas till en stor, 6 mm tjock cylindrisk mantel där svetsdjupet inte fick överstiga 2 mm för att säkerställa kravet på täthet. Materialen var P235GH2C respektive P265GH. Svetsningen utfördes intermittent och svetsföljden var viktig för att minimera värmedistorsioner. Då det dessutom rör sig om enstyckstillverkning använder man inga speciella fixturer för rören, varför deras lägen kan variera i förhållande till vad som nominellt anges. För att lösa detta problem har en diodsensor för fogföljning från företaget Falldorf monterats på svetsverktyget.

Många i LaserNyttis trogna läsekrets känner säkert igen Dr. Peter Hoffmann, ägaren till ERLAS Erlanger Lasertechnik GmbH. Han har ju refererats i många av mina tidigare konferensrapporter och



Figur 15.
Då vidstående aluminium-behållare till en "Rennwagen" lasersvetsades med en 600 µm stor fokuspunkt (överst t.h.) fick man genomgående porer, vilka emellertid kunde elimineras vid högre svets hastighet och en mindre brännfläck å 150 µm (underst t.h.).



Figur 16.
Denna rostfria behållare svetsades utan nämnvärd värmpåverkan med en 5 kW diodlaser. Kravet på gastäthet kunde också uppfyllas, vilket man förstår av bilden närmast som visar en detalj av fogområdet.



Figur 17.
Ett uppläggningsbord i INVAR-material tillverkat i 10-15 mm tjocka moduler som sammanfogats med fyra stycken 8 meter långa lasersvetsar. Lasersvetsning kan också användas vid reparation av uppläggningsbordet (t.h.).



Figur 18.
I en värmeväxlare för biomassa lasersvetsas 75 rör till den invändiga mantelytan. Svetsningen görs intermittent och i en viss sekvens för att minimera värmedistorsioner.

även figurerat i artikelserien "Samtal kring lasertrender" [se LaserNytt # 1-2011].

Vid årets LAF-konferens hade han valt som tema "Lasersvetsning av små seriestorlekar", och inledde med ett praktikfall som handlade om förslutning av mediekanaler i en ringfördelare som används vid öltillverkning. På själva ringfördelaren, som kan ha olika omkrets och innehålla ett varierande antal kanaler, svetsas en 4 mm tjock stålsarg. Operationen sker i tre steg; först värmeledningssvetsas en rotsvets varpå den penetrerande nyckelhållssvetsningen sker med tillsatsstråd. Slutligen slipas svetsrågen plan av utesendemässiga skäl. Automatiseringen är i form av en imponerande robotanläggning av giljotintyp med två svetsverktyg, ett för värmeledningssvetsning och ett för nyckelhållsdito [Fig. 19]. Det senare verktyget är försett med tryckrullar för att kompensera för formavvikelse hos detaljerna som skall sammansvetsas. Tryckrullarnas presskraft är fritt programmerbar i såväl radiell som vertikal riktning. Fokuseringen justeras via en trianguleringssensor, och trådmattning samt en kameraenhet för kontroll av svetsgeometri och -kvalitet kompletterar bilden av detta avancerade svetsverktyg. Med hittillsvarande manuell TIG [Tungsten Inert Gas] -svetsning låg produktiviteten på 0,1 m/min, medan motsvarande siffra för den kompletta lasersvetsningen hamnar på 0,66 m/min.

Nästa komponent kom även den från bryggerieringen och bestod av en innerfördelare till vilken ett varierande antal flänskopplingar med diametrar mellan 40-80 mm orbitallasersvetsades. Detta skedde i en sexaxlig portalrobotanläggning och med ett svetsverktyg försett med taktill sensor för fogföljning [Fig. 20].

Peters tredje exempel utgjordes av en flödesmätare där MAG [Metal Active Gas] -svetsningen hade ersatts med lasersvetsning för att minimera formavvikelse. Lasersvetsningen sker i tre steg först häfts svetsas de två mätroren till varandra, varpå de svetsas fast i flödesfördelarna. Slutligen orbitalsvetsas dessa till ramen. Man hade använt en 6 kW fiberlaser från IPG [YLS-6000]. Lasersvetscellen, med benämningen ERLASER® weld, var försedd med två stycken rundmatningsbord, portalrobot samt en "scanner"-enhet [Fig. 21]. Flödesmätarna placerades i av ERLAS egenutvecklade justerbara fixturer, något som tycks vara en specialitet hos företaget. Dessa var försedda med spännbultar och induktiva sensorer för att identifiera komponenternas korrekta

positionering, och slutligen kameraövervakades svetsförloppet.

Till sist hade Dr. Hoffmann några goda råd att komma med då det gäller lasersvetsning av små seriestorlekar:

- Korta omställningstider genom snabbt växlingsbara och sensorövervakade fixturer samt programmerbara inspänningssevenser
- Säkert handhavande genom kontinuerlig övervakning av utrustningar, omöjliggörande av felhantering samt parametriserade grundprogram för laserprocessens variabler
- Kvalitetssäkring genom robusta processer, taktill eller kamerabaserad identifiering av ingående komponenters positionering samt automatisk fogsökning

Näste talare var diplomingenjören Peter Leipe från SITEC Industrietechnologie GmbH. Företaget är i första hand en leverantör av kompletta sammansättningslin-

jer, men har under senare år startat med att tillverka produkter på både mikro- och makronivå med hjälp av laserteknik. Här redogjorde han för tillverkning av tunna membran mellan 20 µm till 2 mm i tjocklek, vilka sitter i komponenter som används inom exempelvis petrokemisk-, pappersmasse- och livsmedelsindustri. Membranen som vanligtvis består av nickellegeringar eller rostfritt tillverkas i stora kvantiteter och då variantfloran också är stor blir lasern ett utmärkt, flexibelt verktyg med hög produktivitet för de aktuella svetsapplikationerna. Vidare finns höga krav på gastäthet, precision samt oxidfria ytor samtidigt som åtkomsten kring svetsställena är begränsad. Några exempel visades, dels på s.k. fria membran men också lösningar där membranet fanns placerat mellan två solida kroppar [Fig. 22]. I det förstnämnda fallet låg membran-tjockleken på mellan 25-50 µm, och i det senare cirka 2 mm och där membranet kunde vara utsatt för så pass höga tryck



Figur 19.

En imponerande anläggning med dubbla svetsverktyg, ett för värmelednings- och ett för nyckelhållssvetsning av bryggeriutrustning i form av en s.k. ringfördelare.



Figur 20.

Flänskopplingarna till denna innerfördelare lasersvetsas med en sexaxlig portalrobot och ett svetsverktyg försett med taktill fogföljning (t.h.).



Figur 21.

Processsteget då flödesmätaren orbitalsvetsas med 6 kW lasereffekt vilket ger ett penetrationsdjup på 6,5 mm (t.h.).

som 800 bar. Svetsningen hade utförts med en fiberlaser med mellan 10-600 W i pulserna allt beroende på aktuell applikation. Positioneringsnoggrannheten av fokuspunkten låg på $\pm 1 \mu\text{m}$. Denna liksom lasereffekt och skyddsgasflöde övervakas i realtid då processfönstren för dessa membransvetsningar är tämligen små. Dock har lasertekniken blivit det självklara valet hos SITEC Industrietechnologie GmbH, vilket bevisas av att man i dagsläget serietillverkar membran i flera produktionslinjer.

Reparation och rekonditionering av komponenter i form av laserpåläggning, även kallat LMD [Laser Metal Deposition], var temat för Dr. Florian Wagner från Gall & Seitz Systems GmbH. Man hade gjort en klassificering av olika påläggningsvolymmer ställda i relation till använd lasereffekt. Vid lasereffekter under 200 W menade man att 0-103 mm³ var det lämpliga intervallet. Upp till 3 kW kunde man tänka sig en volym på upp till 103 cm³, och därutöver krävdes självfallet högre effekter. Vid 0,8-1,2 mm tjocka påläggningsskikt får man räkna med en 200 μm bred HAZ [HeatAffected Zone] med avsevärt högre hårdhet än grundmaterialet. Inom varvsindustrin, vilken är den största avnämaren av Gall & Seitz' tjänster utgörs materialen av olika Nickel- och Titanlegeringar, men även stål, gjutjärn och aluminium är vanligt förekommande material. Därefter beskrev Dr. Wagner företagets MoRU-koncept, vilket skall uttryckas som Mobiler Roboter Unit. Man har helt enkelt utrustat en Mercedes "Sprinter" med en sexaxlig robot och en 1,5 kW fiberlaser försedd med en 40 meter lång optisk fiber. Vidare finns verktyg för såväl svetsning som pulverbeläggning samt ett matarsystem för den senare processen.

Denna mobila utrustning hade använts för reparation av en skadad, 9 meter lång mellandrivaxel i materialet C45 avsedd för motorn till en oljetanker. Diametern på axeln uppgår till 550 mm och flänsarna i axelns ändar har en diameter på 1,260 mm. De i dessa flänsar uppkomna skadorna, vilka var 25 mm djupa, berodde på att fel åtdragningsmoment använts vid montering, varför bultförbandet under drift glappade upp och resulterade i dessa skador. Reparationen tillgick så att de skadade områdena slipades ner med 4 mm "råge", varpå flänsen belades med Inconel625 med hjälp av 1,5 kW lasereffekt och en framföringshastighet på 1,5 m/min [Fig. 23]. Ett annat exempel handlade om reparation av en vinschtrumma

i en containerkransanläggning där hela den mobila enheten måste hissas upp innan laserpåläggningen kunde utföras, detta beroende på att den optiska fibern var för kort [Fig. 24]. Avslutningsvis redogjorde Dr. Wagner för konceptet "ALF" [Automated Laser Factory], vilket utvecklats för att rekonditionera kolvarnas spår för montering av kolvrings. Installationen består av två arbetsstationer, laserkälla, industrirobot, automatiserad inmätning

och fixering av kolven samt ett styrprogram för laserpåläggningen. Stationerna kan hantera kolvdiametrar mellan 180-330 mm och har en årskapacitet på 3.000 enheter. På en fråga från auditoriet kunde Dr. Wagner informera oss om att rekonditioneringen kostar halva priset jämfört med en ny tillverkad motorkolv, vars pris ligger mellan 550-3.000 ECU beroende på storlek.



Figur 22.
Hos Sitec Industrietechnologie GmbH lasersvetsar man såväl fria som inneslutna membran, enligt tvärsnittet ovan, avsedda för komponenter till bl.a. olika processindustrier. Den pulserade svetsningen sker i arbetsstationen t.h. vars positionerings-noggrannhet uppges vara imponerande $\pm 1 \mu\text{m}$.



Figur 23.
Laserpåläggning med Inconel625 på flänsen till en mellandrivaxel tillverkad i C45-material. Längst t.v. den nerslipade, skadade ytan, och närmast utseendet efter fullbordad reparation.



Figur 24.
Med den mobila MoRU-utrustningen kan man på plats förstärka en drivaxel till en kätting-vinsch med laserpåläggning även om den samma befinner sig i en svåråtkomlig miljö.

Laserskärning av flätad metalltrådsduk

JOHNNY K LARSSON
VOLVO CARS

Den här applikationen handlar om laserskärning av ett 0,28 mm tunt nätverk i rostfritt stål där varje ”fiber” är tillverkad av en 0,165 mm grov rostfri ståltråd [Fig. 1]. Denna typ av filter har en genomsläpplighet som är jämförbar med den som man hittar i en köksblandare.

Vid försöken användes ett skärverktyg, som var rörligt längs två vinkelräta axlar, med en brännvidd på 63,5 mm vilket gav en brännfläck på 100 μm och ett skärpedjup på 1,8 mm över hela arbetsområdet. Eftersom den optiska konfigurationen för skärning av detta nät av rostfritt 316-material är densamma som används vid skärning av en homogen platta i samma material, blir den viktigaste parametern valet av skärgas. För skärningen av detta flätade nät använde man luft med hög renhet och 5,5 bars [= 80 PSI (Pounds pre Square Inch)] tryck i stället för syrgas. Den använda assistgasen innehåller tillräckligt med syre för att förbättra skärresultatet utan att man orsakar en okontrollerbar förbränning av den tunna tråden.

Genom att använda 200 W effekt från en firestar f-serie-laser kunde man skära till den flätade rostfria metalltrådsduken med en hastighet kring 5 m/min. Det rena skärnittet uppvisar en mindre färgskiftning vilket dock är vanligt förekommande vid laserskärning av rostfritt material. För applikationer där missfärgningar inte kan tolereras, eller för rostfria detaljer som senare skall svetsas, kan användandet av kväve som skärgas ge enastående resultat, om än med en avsevärt lägre processhastighet.

”Tillslutna sprickor” vid märkning av glas

Innan laserbranschen skaffat sig tillräcklig kunskap om de parametrar som gäller vid märkning av glas, ansågs detta vara något som låg utanför CO₂-laserns användningsområden, beroende på att glas spricker genom de värmespanningar som leds in i materialet via dess höga absorptionsförmåga av 10,6 μm våglängden, samtidigt som glas har en hög värmeutvidgningskoefficient.

Numera är CO₂-lasrar vanligt förekommande i glasmärkningsapplikationer över hela världen. För de flesta märkningsoperationerna rekommenderas en optik med 125 mm brännvidd och en fokalpunkt på 180 μm i diameter. Med en dylik fokalpunkt, 25 W lasereffekt och en processhastighet mellan 15-30”/sec [= 381-762 mm/sek] åstadkommer man idag en flisfri mikrospricksmärkning med linjebredder kring 0,4 mm.

Ett annat angreppssätt för glasmärkning är av nyare datum och använder sig av en stor fokalpunkt, hög lasereffekt och en långsam processhastighet. Med denna metod skapas något som kan kallas för ”tillslutna sprickor” beroende på att mikrosprickornas kanter omsmältes in i glassubstratet genom den låga energitätheten i fokalpunkten i kombination med den långsamma processhastigheten.

För att skapa den märkning som syns i **Figur 2** försåg man ett s.k. ”Flyer”-verktyg med en fokuserlins med 370 mm brännvidd som gav en 540 μm stor fokalpunkt på glasytan. Den importerade gra-



Figur 1.
Denna rena snittkant av ett 0,28 mm tunt nätverk i rostfritt stål skars med 200 W lasereffekt vid en framföringshastighet på 5 m/min och där ren luft användes som assistgas med ungefär 5,5 bars tryck.



Figur 2.
Denna 102 × 110 mm stora bild av en kompassros märktes på glas med 60 W lasereffekt och en process hastighet på cirka 127 mm/sek då man använde en fokuseroptik med 370 mm brännvidd. Referensbokstäverna N, S, E och W mäter 10 mm i höjd.



Figur 3.
Lasermärkningen på detta balsaträ resulterade i en ren och skarp gravering. Bilden av örnen märktes med 25 W laser-effekt under en cykeltid på 4,28 sekunder.

fiken, som mäter 102 × 110 mm, märktes på glaset med 60 W lasereffekt och en processhastighet på 5"/sec [= 127 mm/sek], vilket resulterade i en total cykeltid för hela märkningsoperationen på blott 9 sekunder.

Ett viktigt beaktande vid denna typ av märkning är valet av linjebredd. Om man använder en lins med 370 mm brännvidd ökar linjebredden från 0,4 till cirka 1,22 mm. En tumregel då man lasermärker bokstäver och tecken är att texthöjden bör vara 7-10 gånger fokalpunktsdiametern. Därför, när man använder denna "tillslutna sprickor"-form av lasermärkning, skall texthöjden helst inte understiga 8,5 mm för att garantera en ordentlig läsbarhet.

"Graving" av balsaträ

Märkning eller graving i trä är vanliga användningsområden för en CO₂-laser.

Eftersom mekanismerna vid laserskärning av trä går att relatera till en kemisk degradering av materialet, där träfibrerna helt enkelt bränns bort, blir resultaten vid "graving" en vacker, kontrasterande märkning medan "gravyr djupet" kontrolleras genom lasereffekt, hastighet och antalet repetitioner som krävs för att åstadkomma det önskade djupet eller visuella utseendet. Beroende på applikation kan bilder och/eller text "brännas in" i en bred variantflora av träbaserade objekt, alltifrån ekfat till minnesplaketter.

Genom att använda mjukvaruprogrammet WinMark Pro, som är speciellt utvecklat för lasermärkning, blir det enkelt att importera filer med olika grafiska mönster. Om så behövs går det att addera text och nya geometriska mönster genom att använda sig av funktionen WinMark Pro "Drawing Editor". Bilden av örnen som syns i **Figur 3** graverades i en bit

balsaträ genom att man använde ett FH Flyer märkverktyg vars rörelser styrdes av mjukvaran WinMark Pro. "Flyer"-verktyget var försett med en optik med 125 mm brännvidd, vilket gav en fokalpunktsstorlek på 180 µm och ett 3 mm stort skärpedjup.

För att skapa den unika märkningsfilen utformades bilden av örnen i ett vektorbaserat "clipart"-format, varpå man importerade denna .PLT-fil direkt in i mjukvaran WinMark Pro. Märkningshastigheten sattes till 50"/sec [= 1.270 mm/sek] för bildens konturer och 200"/sec [= 5.080 mm/sek] för dess fyllda områden. Under hela märkningsprocessen användes 25 W lasereffekt, och med dessa inställningar kunde den 3,0" × 2,5" [76 × 63 mm] stora bilden graveras på en cykeltid av 4,28 sekunder!

ALVESTA 3 PLÅT AB INVESTERAR I LASER

Det är inte mer än drygt en månads sedan vi berättade att Alvesta 3 Plåt investerade i en SafanDarley servoelektrisk kantpress, E-Brake. Nu är det alltså dags igen! Den här gången är det en Prima Power Platino laserskärmaskin med hantering som nu installeras på företaget!

Hans Torgnyson, VD till företaget, berättar:

– Vår befintliga Prima Power Platino börjar bli till åren och våra laserjobb ökar ständigt. Vi beslutade därför att investera i en fin maskin som Kjell-Arne Thorén, representant för Din Maskin, rekommenderade till oss. Den här har dessutom hanteringsutrustning så vi kommer att kunna köra obemannat i den och det kommer att öka vår kapacitet ytterligare. Vi har en lång historia med Din Maskin och har handlat maskiner av dem sedan de startade företaget. För oss är det viktigt att ha en stabil relation med ömsesidigt förtroende, avslutar Hans.

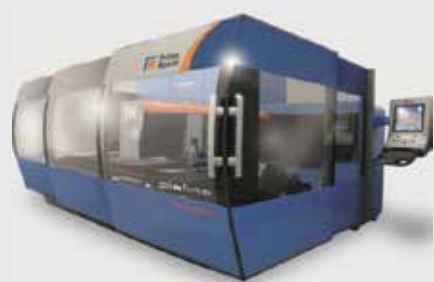
Platino är en flexibel och pålitlig maskin designad för dagens och morgondagens behov. Den skär ett brett register av material och tjocklekar med hög hastighet och precision utan behov av manuella justeringar. Maskinen utrustas med toppmoderna laseraggregat med hög energieffektivitet och kvalitet, med valbar topp-effekt för alla typer av applikationer.

De mest utmärkande egenskaperna/ möjligheterna för Platino är:

- Kompakt design – kräver liten yta för installation (23m²) exklusive palettväxlare, skydd, filter och kylare.
- Hög hastighet och acceleration ger korta cykeltider; acceleration 12m/s², maxhastighet 140 m/min.
- Maskinstativ i granit med lasergenerator integrerad – krävs inget speciellt fundament.
- Skärhuvud med linsväxlingssystem för 5", 7,5" & 10" lins.
- LPM och Quick piercing smörjsystem för optimerade automatiska piercingstrategier.
- Semi automatisk linscentrering – maskinen kontrollerar automatiskt och ger sedan operatören instruktion om justering krävs.

Alvesta 3 Plåt AB är medleverantören som erbjuder kostnadseffektiv helhetslösningar av plåtprodukter i såväl små som stora serier i de flesta varianter av plåt. Deras kompetenser är automatstansning, kantpressning, manuell- och robotbockning, laserskärning, manuell- och robotsvetsning samt montering av plåtkomponenter.

Alvesta 3 plåt AB är ett familjeägt företag grundat 1980. Som namnet antyder är de belägna i Alvesta, i hjärtat av en region



Prima Power Platino laserskärmaskin

känd för sin företagsanda, där man når ut till kunder över hela Sverige. 2015 kommer man att fira ordentligt eftersom det då är 35 år sedan företaget grundades!

Alvesta 3 Plåt AB har varit en trogen kund till Din Maskin under många år och har ett flertal maskiner sedan tidigare. Där hittar vi bland annat flera Finn-Power stansmaskiner, stans- vinkelsaxar, Prima Power Platino laserskärmaskin, två servoelektriska kantpressar; Finn-Power E-Brake och SafanDarley E-Brake och nu alltså ytterligare en Prima Power Platino laser.

För ytterligare information om laserskärmaskiner, kontakta en säljare på Din Maskin, 0370-69 34 00 eller besök www.dinmaskin.se

Besök Alvesta 3 Plåt på deras hemsida: www.a3p.se

PETER BAKER OM LIA – från en kontorsgarderob till ett globalt kompetenscenter för laserteknik

JOHNNY K. LARSSON, VOLVO CARS



Sedan några år tillbaka har jag haft förmånen att få lära känna Peter Baker, verkställande direktör för Laser Institute of America [LIA] och en av eldsjälarna i laserbranschen. Han är ytterst ansvarig för genomförandet av de populära ICALEO-konferenserna, som varje år samlar flera hundra delegater till denna sammankomst, under åren förlagd till olika platser i USA. Det var vid det senaste tillfället i San Diego, CA, förra hösten som jag och Peter ett kort ögonblick kunde smyga oss undan, så att han fick möjlighet att förmedla sin syn på LIA och dess verksamhet.

Peter har en akademisk examen i fysik från London University, och arbetade för U.K. Government Space and Guided Weapons där han utvecklade system för att spåra upp föremål i rymden, innan han anställdes som senior fysikforskare vid Itek Optical i Lexington, MA. Han konstruerade sin första laser 1970 vid företaget Micronetic Systems där han sedermera avancerade till vice VD. Efter att ha undervisat i fysik och matematik i Nairobi i Kenya, återvände han till USA där han tog anställning hos Quantrad och blev befördrad till verkställande direktör, varpå han 1988 anslöt som direktör för LIA. Peter har varit ordförande i Council of Engineering and Scientific Society Executives, och även under en mandatperiod innehaft ordförandeposten vid LIA, där han numera också uppbär ett livslångt medlemskap.

Peter, vill Du börja med att berätta lite om LIA?

LIA grundades 1968 som Laser Industry Association, och bland de 14 initiativtagarna hittar vi laserlegendarer som Arthur L. Schawlow och Theodore H. Maiman.

Senare ändrades namnet till Laser Institute of America med dess triangulära logotype, där vi hittar orden för de områden som utgör basen för vår medlemsrekrytering, nämligen utbildningsväsende, statliga institutioner samt tillverkningsindustrin. Vårt uppdrag är att främja och utveckla lasertekniken, dess applikationsområden samt inte minst säkerheten kring laseranvändning i hela världen. Vi har idag cirka 150 medlemsföretag och -institutioner och 1.250 individuella medlemmar, men vår klientbas vill jag påstå omfattar 10.000-tals personer som arbetar med lasertekniken, och som vi försöker att bistå via våra publikationer, konferenser och kurser.

Hur går ni tillväga för att genomföra era olika uppdrag?

Då det gäller lasersäkerhet är vi ackrediterade av American National Standards Institute [ANSI] som kommitté [ASC = Accredited Standards Committee] Z136 för att utveckla standarder för ett säkert handhavande av lasrar. Det finns inalles nio olika standarder vilka omfattar såväl generella regler som ämnesspecifika sådana för medicinsk användning eller industriell tillverkning. Förutom publicering av nya standarder erbjuder vi ett omfattande utbud av lasersäkerhetskurs för att utbilda lasersäkerhetsfunktionärer liksom lasertekniker och -operatörer. Vi har också ett dotterbolag som heter BLS [Board of Laser Safety], som har till uppgift att certifiera de utbildade säkerhetsfunktionärerna. Utbildningarna genomförs ute hos användarföretag men också i form av web-baserade alternativ. Vartannat år håller vi säkerhetskonferensen ILSC [International Laser Safety Conference]. Inom applikationsområdet



har vi varit ledande med avseende på laserbearbetning genom vår årligen återkommande International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, mer känd som ICALEO-konferensen, samt via vår tidskrift JLA [Journal of Laser Applications]. Grunderna för de flesta laserbearbetningsmetoder, såsom skärning, svetsning, borrar, värmebehandling, märkning och additiv tillverkning finns att finna i vår dokumentation från tidigare ICALEO-konferenser.

En artikel i LIA Today om bläckfri märkning av plast beskriver på ett tydligt sätt att ni överbryggar kompetensgapet mellan teknikutveckling och verklig applikationsanvändning på ett sätt som ingen annan yrkeskår gör, eller hur?

Ja det stämmer! Detta visar att LIA skiljer sig från andra yrkesinriktade och vetenskapliga organisationer. Vi är unika i så måtto att den senaste lasertekniken presenteras vid ICALEO, samtidigt som vi förmedlar vår kompetens kring lasersäkerhet och applikationer till potentiella slutanvändare. Detta gör att lasertekniken på bred front kan omsättas i praktiken.

På vilka sätt främjar LIA avancerad tillverkning?

2009 lanserade vi vår första LAM [Laser Additive Manufacturing] -workshop, där vi hade talare från Tyskland, Kina, Australien, Storbritannien och USA. Dessa täckte ett flertal ämnen vilka inkluderade påläggning och reparation av högkostnadskomponenter, men också 3D-printning med både pulverbäddsteknik och pulvermatning. Vår andra huvudattraktion beträffande tillverkning med hjälp av laser är LME [Lasers for Manufacturing Event], som nu har arrangerats under fyra år. Här kan yrkesverksamma inom tillverkningsindustrin hitta allt man behöver veta om laser på ett ställe under en dag! Vi erbjuder då gratis utbildning kring bl.a. olika lasertyper och vad dessa kan användas till, de viktigaste ingående komponenterna i lasersystem, samt basala kunskaper kring lasersäkerhet, additiv tillverkning och kostnadskalkylering. På själva utställningen visar vi upp "lasertillverkade" detaljer, vi har en "fråga experterna-disk" och en "laserteater" där olika talare beskriver senaste nytt inom området. Fr.o.m. i år har vi också lanserat ett "lasertoppmöte" där seniora företagsledare får en överblick över lasertekniken.

Vad är nytt och spännande i fråga om laseranvändning inom tillverkningsindustrin?

Det är svårt att i vårt dagliga liv inte hitta saker där lasertekniken på ett eller annat sätt är inblandad. Lasrar används för att skära, svetsa eller märka olika material såsom höghållfast stål, aluminium, titan m.m. I ett växande antal fall är det enbart med laser som det är praktiskt möjligt att bearbeta ett visst material. Ultrasnabb laserteknik medger gradfri precisionsboring och skärning, vanligtvis av mikrokomponenter som blodkärlsförstärkare, men likaså kan svårbearbetade material som glas både skäras och svetsas med laser. Sedan har vi förstås också den additiva tillverkningen eller 3D-printning där en komponent byggs upp lager för lager. Istället för att avverka material med skär- eller fräsverktyg, s.k. subtraktiv tillverkning, kan komponenten byggas upp med pulver vilket sammansmälts med hjälp av laser. Detta kräver emellertid ett helt nytt synsätt då det gäller att konstruera, eftersom en komponent i vissa fall kan göras 80% lättare men med bibehållna mekaniska egenskaper.

Du har nu varit verkställande direktör för LIA i mer än 25 år och har förtjänstfullt byggt upp verksamheten från en liten organisation som initialt brottades med en hel del problem.

Vilka anser Du vara de stora paradigmskiftena inom industrin sedan den tiden?

Låt mig börja med att nämna några saker som inte har förändrats under mina 25 år som VD för LIA. Vi har alltid varit välsignade med att ha en stadig tillströmning av frivilliga medarbetare som har fungerat som talare, lärare, ordföranden vid konferenser och styrelsemedlemmar, vilka har väglett oss samtidigt som de har utfört en stor del av organisationens arbete. Våra medarbetare och särskilt våra ordföranden har varit enastående i att avsätta tid och arbete åt LIA, något som man fortsatt med även efter sin mandattid. För mig själv är det ytterst positivt att kunna konstatera att samtliga förutvarande ordföranden har blivit personliga vänner till mig.

Vad det gäller förändringar har det varit intressant att kunna följa hur laserns olika nyckelteknologier har utvecklats. Enligt min mening är det tre avgörande faktorer som har gjort lasern till ett gångbart tillverkningsverktyg: Den första är spännvidden av tillgänglig medeleffekt, vilken nu uppgår till tiotals kilowatt, samt urvalet av pulslängder ner till picosekunder. Den andra är den enorma förbättring som skett då det gäller laserkällornas tillförlitlighet. Dagens lasrar kan användas i kontinuerlig drift under tiotusentals timmar med minimalt underhåll. Den tredje och sista är den dramatiska ökningen i verkningsgrad [Wall Plug Efficiency = WPE] från ett par procent under pionjärtiden till så pass hög som 30% eller mer idag. Dagens lasrar är verkligen industriella verktyg. Den enda egentliga överraskningen för mig har varit att det skulle ta så lång tid innan tekniken accepterades och togs i bruk i industriproduktion!



Om Du ser på lasertekniken i ett globalt perspektiv, hur ser utvecklingen ut då?

Det har skett en stadig "urvattning" då det gäller forskning kring materialbearbetning i USA, samtidigt som vi kan se en motsatt utveckling i Europa, speciellt i Tyskland, och Kina. Trots att president Obama har avsatt några fonder för att uppgradera den amerikanska tillverkningsindustrin är denna satsning blygsam i jämförelse med motsvarande finansiering i Europa och Kina.

Hur kommer det s.k. National Photonics Initiative att förändra vad ni i LIA gör?

Det finns många fördelar med att kunna behålla tillverkning på hemmaplan i USA, och vi avser att hjälpa till med att uppgradera industrins teknologi. Vi kommer att fortsätta verka för en ännu större användning av lasrar för industriell produktion. Oavsett om det är fråga om mindre "job-shops" eller stora företagskoncerner innebär en laserbaserad produktion i USA avsevärda besparingar i tid, materialåtgång och energi. Därför kan vi se att framtida ökad avkastning inom tillverkningsindustrin går att härleda till s.k. fotonik-produktion.

Med tanke på det senare, kan Du vara lite mer specifik?

Vi kommer att fortsätta hjälpa forskare över hela världen i materialbearbetning med laser och lasersäkerhet genom ICALEO, ILSC och JLA och öka våra ansträngningar kring lasertillverkning generellt, men kanske framförallt då det gäller additiv tillverkning. Detta gör vi för att fullfölja vårt ursprungliga uppdrag och främja lasertekniken "world-wide". Sedan länge har vi lärt oss att det som främst värdesätts hos LIA är möjligheten till nätverkande ansikte mot ansikte. Avslutningsvis vill jag säga att den globala "laserfamiljen" består av hängivna och kompetenta medlemmar vars drivkraft är att fortsätta utnyttja lasertekniken för en ökad samhällsnytta. LIAs roll skall då vara att tjäna som en naturlig hemvist för dessa personer – ett ställe där man kan träffas för att dela med sig av forskningsrön, ställa frågor och förstärka deras målmedvetenhet.



– Lokalt laserinitiativ stärker tillverkningsindustrin

HANS ENGSTRÖM,
LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

Vid höstens Laserdag den 28:e oktober 2014 besökte vi Alingsås Tunnpåtscenter, ATC, som är ett nybildat centrum för att stärka tillverkningsindustrin i området med tunnplåt som verksamhetsområde. Bakom initiativet står Trumpf Maskin AB, SteelTech i Alingsås AB, som också besöktes, samt Sparbanksstiftelsen Alingsås.

Laserdagen lockade hela 40 deltagare och innehöll som vanligt ett digert och blandat program med födrag av bl.a. Flemming Olsen, IPT och Nikolaus Wagner, Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH.

Analysera mera

Vilken laser ska jag välja – en CO₂-laser eller fastkroppslaser (fiber- eller disk-laser)? Det är en fråga som många som investerat i laserteknik har funderat över de senaste åren. Och det finns inte något entydigt svar men Hubert Wilbs, Trumpf Maskin AB, förmedlade några synpunkter under laserdagen där han presenterade en jämförelse mellan just CO₂- och fastkroppslasrar.

– Det är sextigt; Jag vill ha något som grannen inte har; Jag vill fortsätta med det vi har. Det är olika svar som Hubert Wilbs kan få när han frågar om motiven för vilken lasertyp man har valt.

– Det är rätt men ändå fel, säger Hubert. Det behövs en ordentlig analys innan man kommer till beslut.



Bild 1.

Deltagare vid Laserdagen i Alingsås vid besök hos Alingsås Tunnpåtscenter och SteelTech i Alingsås AB.

Några frågor som kan vara relevanta i denna analys är enligt Hubert:

- Hur mäter man ett skiftande behov i framtiden?
- Hur ska jag vidareutveckla produktionen?
- Kostnadseffektivitet för små- och medelstora serier?
- Framtidens affärsmöjligheter?

Det gäller alltså att försöka hitta den optimala lösningen som ger företaget bästa förutsättningar inför framtiden.

Försäljning av CO₂-lasern ökar

Fastkroppslasrarna har haft en stor framgång de senaste åren men faktum är att CO₂-laser försäljningen också har ökat med cirka 36% från 2009 till 2013 då man nådde 907 M\$, enligt Hubert. Och Trumpf levererar mer CO₂-lasereffekt än tidigare, delvis beroende på ett nytt till-

ämpningsområde för att skapa ultra UV-ljus för litografi för halvledarindustrin. Där säljer nu Trumpf CO₂-lasrar med effekter upp till 120 kW.

Den största skillnaden mellan CO₂-lasern och fastkroppslasrarna är våglängden, 10,6 µm mot ca 1 µm, och det



Bild 2.

Hubert Wilbs, berättar om laserskrämaskinen TruLaser 3030 i försäljningshallen hos Trumpf Maskin AB.

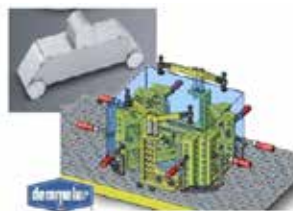
ger skillnad i absorption av laserljuset vid bearbetning. Generellt sett har fastkroppslasarna högre absorption än CO₂-lasern för de flesta metaller. Nu är inte absorptionen konstant utan den varierar med infallsvinkeln mot materialet under bearbetningsprocessen, och det är orsaken till att man får olika resultat vid t.ex. skärning. Fastkroppslasarna ger högre skärhastigheter i tunnare plåt och vid skärning av högrelektriska material som koppar och mässing, medan CO₂-lasern generellt sett ger bättre kvalitet i tjockare material. Men tekniken för skärning med fastkroppslaser utvecklas mot bättre skärkvalitet i tjockare material och där har Trumpf presenterat ett nytt koncept kallat BrightLine Fiber.

– Så välj rätt laser och rätt maskin. Applikationer och framtidssäkring är viktiga för Trumpf avslutar Hubert Wilbs.

Minimal formförändring spar pengar

Lasersvetsning är sedan länge en accepterad och framgångsrik sammanfogningsteknik inom bilindustrin där man kan dra fördelar av tekniken i en produktion som kännetecknas av stora serier, hög automatisering, begränsat antal varianter och automatisk fixering. Detta gör att den förhållandevis höga investeringskostnaden kan räknas hem på accepterad tid. Förhållandena är det helt motsatta inom tunnplåtsindustrin enligt Dr. Nikolaus Wagner, Trumpf Laser und Systemtechnik GmbH. Där har man istället en tillverkning med små- eller medelstora serier, manuell laddning/lossning, stort antal varianter, och manuell fixturering. Detta ger helt andra förutsättningar för att investera i lasersvetstekniken.

Vilka fördelar kan man då utnyttja inom tunnplåstillverkning? Den kanske viktigaste är den lilla eller minimala formförändringen efter svetsning som många gånger helt eliminerar eller drastiskt minskar behovet av efterbearbetning, och där kan man spara mycket tid och pengar. Man kan också utnyttja två svetstekniker, nyckelhåls svetsning som ger djupa, smala svetsar vid hög svets hastighet eller värmeledningssvetsning, som ger utomordentlig ytfinitet på svetsarna (kallas ibland för estetiska eller kosmetiska svetsar). Sedan erbjuder lasertekniken också stor flexibilitet i möjliga foggeometrier, berättar Nikolaus Wagner.



Tacking & „Dämmeler“	
Part numbers	1- 50
Teaching	High
Fixture-costs	Small
Rework	Less
Part-quality	Very good



Sheet metal fixtures	
Part numbers	20- 2000
Teaching	Small
Fixture-costs	Small-medium
Rework	Less – no
Part-quality	Very good



Fixture Machine	
Part numbers	> 2000
Teaching	Small
Fixture-costs	High
Rework	No
Part-quality	Excellence

Bild 4. Fixtureringstekniken är en nyckel till framgångsrik lasersvetsning av plåtprodukter. Speciellt fixturer av plåt erbjuder många innovativa kostnadseffektiva lösningar för små och medelstora serier. Källa: Trumpf



Bild 3. Dr. Nikolaus Wagner, Trumpf Laser und Systemtechnik GmbH, berättade om framgångsrik lasersvetsning av tunnplåtskonstruktioner.

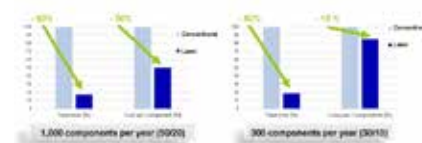


Bild 5. Ekonomisk jämförelse av ett typexempel för lasersvetsning mot konventionell svetsning. Ju mera efterbearbetning ju mer lönsam blir lasersvetsning. Grunden för framgång ligger i att konstruera rätt för att kunna utnyttja så mycket som möjligt av laserteknikens fördelar. Källa Trumpf.

Fixturering är nyckeln till framgång

Företag som arbetar med plåt finns inom många branscher som t.ex. möbeltillverkning, livsmedelsindustri, medicinsk industri. En del har egen tillverkning med laser men många anlitar också job-shops för legotillverkning.

Fixtureringen är en huvudnyckel för framgångsrik tillverkning av plåtprodukter, säger Nikolaus Wagner. Och här gäller det att lära sig en effektiv fixtureringsteknik som passar för olika produkttyper och seriestorlekar, se bild 4. Trumpf erbjuder utbildningar i fixtureringsteknik både i form av workshops med enskilda företag eller som öppna seminarier med flera deltagare.

Nikolaus Wagner visar med några exempel, bild 5, hur lasersvetsning kan spara tid och pengar genom att för det första

konstruera rätt för lasersvetsning och sedan utnyttja dess fördelar.

Nikolaus Wagner visar också ett exempel från Trumpfs egen tillverkning av en basplatta för en CO₂-laser, bild 6. Genom att ersätta en homogen fräst aluminiumplatta med en lasersvetsad platta av aluminiumplåt så lyckades man minska vikten med 75% från 98 till 23 kg och kostnaden med 32% vid en årsvolym av 138 detaljer. Detta motsvarar också en energibesparing av 1125 kWh genom minskad användning av aluminium.

Det finns tre nyckelsteg till framgångsrik lasersvetsning av plåtprodukter, avslutar Nikolaus Wagner. Kostnadsbesparing genom att eliminera eller minska efterbearbetning, konstruera produkten för lasersvetsning samt enkla fixturer.

Trender inom laserhybridsvetsning

Laserhybridsvetsning har nu varit aktuellt i cirka 15 år och tekniken utvecklas fortfarande genom forskning och utveckling av produkter relaterade till tekniken. Jan Frostevarg, vid Avdelningen för Produkt- och produktionsutveckling vid Luleå tekniska universitet, som nyligen har doktorerat i ämnet gav en presentation av trender och utveckling inom laserhybridsvetsning.

Inom forskningen så går utvecklingen mot att svetsa tjockare material och att göra processen lättare att bemästra genom att utveckla metoden t.ex. genom att använda CMT (Cold metal Transfer). En annan trend är att använda mindre ljusbåge samt att också svetsa utan ljusbåge med kall- eller varmtråd. Inom industrin går utvecklingen mot mognare teknik och billigare system, samt att fler och fler företag implementerar tekniken.

Idag används till stor del fiber- eller disklasrar och där har man ingen utpräglad växelverkan mellan ljusbågen och laserstrålen vilket gör processoptimering enklare än när man använder CO₂-laser. Även om flera företag använder laserhybridsvetsning går det förhållandevis långsamt att införa tekniken på bred front. Fronius, som utvecklat CMT-tekniken, hävdar dock att man har 120 applikationer i drift world-wide, bl.a. för att svetsa tågagnar och teleskoparmar. I Sverige har tidigare Duroc Engineering i Luleå laserhybridsvetsat stora plåtmöten till malmvagnar, men den tillverkningen är nu avvecklad, så nu finns ingen känd tillämpning i Sverige.

Laserhybridsvetsning ger möjligheter att svetsa tjockt material, **bild 8**, med stora tidsbesparingar och mycket mindre distorsion jämfört med valnig konventionell svetsning.

Jan Frostevarg använder rutinmässigt höghastighetsfilmning med laserbelysning, **bild 9**, när han studerar processen och den tekniken har inneburit ett stort lyft för att bättre förstå vad som händer i svetsstället.

Jan Frostevarg, fortätter att arbeta vid LTU och ska bl.a. arbeta vidare med laserhybridsvetsning.

ROBOCUT

– för effektivare laserskärning

Professor Flemming Olsen, IPU, i Danmark som har arbetat med utveckling av laserskärning i snart 40 år laser, arbetar oförtröttligt vidare, denna gång med ett 4-årigt projekt, ROBOCUT, som syftar



Bild 6.

En lasersvetsad basplatta till en CO₂-laser av lasersvetsad aluminiumplåt blir 75 kg lättare jämfört med en fräst homogen aluminiumplatta. Kostnadsbesparing 32%. Källa: Trumpf

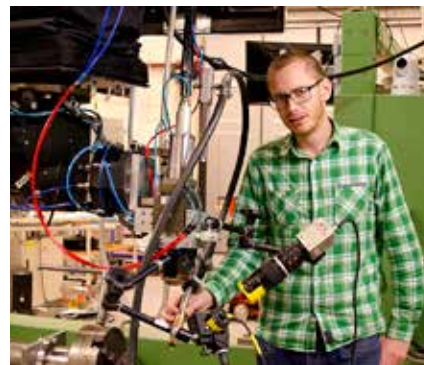


Bild 7.

Jan Frostevarg, Luleå tekniska universitet har nyligen doktorerat inom laserhybridsvetsning och presenterade trender och utveckling för metoden.

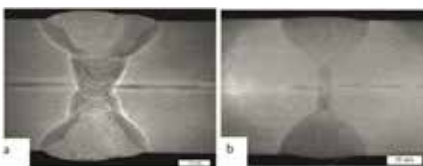


Bild 8.

Jämförelse mellan konventionell svetsning t.v. (GMA) och laserhybridsvetsning i 40 mm tjockt stål. Med GMA behövs mer än 20 svetsrepetitioner medan laserhybridsvetsningen klarar uppgiften med 2-4 pass.

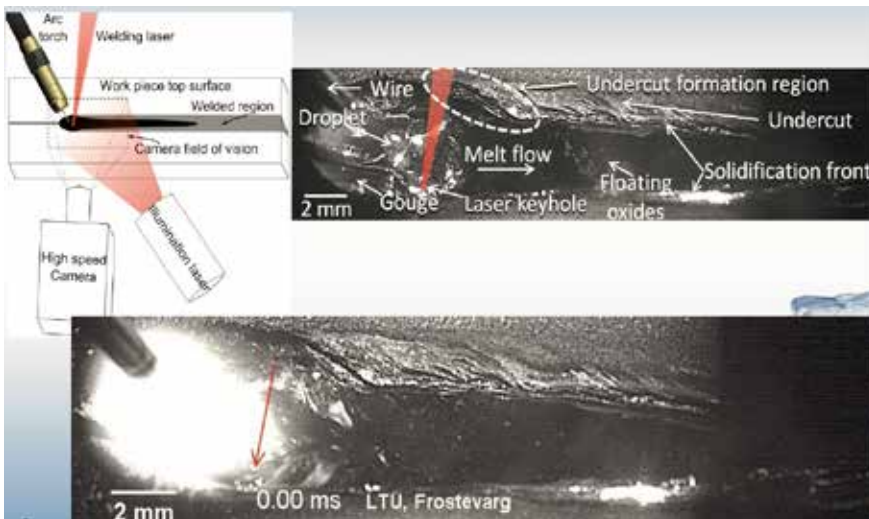


Bild 9.

Höghastighetsfilmning med laserbelysning av laserhybridsvetsprocessen har skapat helt nya möjligheter att förstå processen och vad som kan skapa imperfektioner. Jan Frostevarg använder tekniken rutinmässigt i sin forskning.



Bild 10.

Professor Flemming Olsen, IPU, Danmark gästade laserdagen och berättade om sitt arbete med att utveckla laserskräningsprocessen med diffraktiv optik.

till att effektivisera och förbättra laser-skärningsprocessen med fiberlaser.

Motivationen för forskningsarbetet är att använda laserenergin på ett bättre sätt, säger Flemming Olsen. Vid skärning med fiberlaser så sker lokal förångning i skärfronten som kan försämra kvaliteten på skärnittet

Idén är att med hjälp av diffraktiv optik (DOE, Diffraktive Optical Elements) skapa ett mönster av laserstrålar i fokuspunkten vilket ska öka energiöverföringen och förbättra skärkvaliteten. Man har sökt efter ett bra mönster på laserstrålarna och har genomfört experiment med olika DOE. Men de kostar 50-100 000 kronor per styck att tillverka, vilket begränsar möjligheterna att göra många experiment.

Programmerbar diffraktiv optik

Men nu har Flemming och hans kollegor utvecklat teknik att skapa programmerbara DOE's vilket drastiskt har gjort det möjligt att enkelt (och billigt) att förändra strålmönstret och därmed kan man göra många experiment. Hittills har man gjort 8000 som man kontinuerligt utvärderar. Tekniken gör det också möjligt att utföra "multi-keyhole" lasersvetsning, avslutar Flemming Olsen.

Instrument håller koll på laserstrålen

Laserbearbetning sker i högt automatiserande system speciellt inom fordonsindustrin och det gäller då att hålla reda på laserstrålen. Ulf Sandström, Permanova Lasersystem AB berättade om möjligheterna att göra detta med olika instrument som kan integreras i produktionen. Steg ett är att veta lasereffekten och för det finns instrument som kan monteras fast och som ger +/- 3% i måttolerans.

Sedan den eviga frågan om var laserstrålen finns kan också besvaras med Pemanovas instrument FPS som mäter upp och presenterar fokalläget (TCP) i 3 dimensioner (xyz). Därmed kan man minska risken för att laserstrålen ligger fel i förhållande till fogen och att man ligger inom processfönstret med fokuspunkten.

Det finns också instrument som mäter strålens intensitetsfördelning, fokalpunktsläge och stråkaustik vilket ytterligare ökar möjligheterna att hålla koll på laserstrålen och därmed processens kvalitet.

Lasersvetsning hos SteelTech

SteelTech i Alingsås AB är en av Europas ledande specialister på rostfria produkter



Bild 11.
Björn Sjölin, vd på Steeltech i Alingsås AB, berättar om verksamheten under rundvandringen. Man lasersvetsar bl.a. ett batteripack till truckar (t.h.) på lego.



Bild 12.
Thomas Johansson (t.h.) är projektledare och driver ATC tillsammans med Björn Sjölin, Steeltech (t.v.) och Hubert Wilbs, Trumpf Maskin.



Bild 13.
Demonstration av lasersvetsning hos ATC. Torbjörn Holmstedt och Håkan Holmqvist, Lasertech LSH AB begrunder svetshuvudet i stationen.

och logistik för storkök och livsmedelsindustri.

– Vi utvecklar, tillverkar och säljer kundanpassade grytor och upptyningsprodukter samt rengöringssystem, säger Björn Sjölin, vd vid SteelTech. Vi är 60 anställda och omsätter 85 miljoner och målet är 100 miljoner 2015. Ungefär 60% är export.

SteelTech har en ny maskinpark och man arbetar också som legotillverkare. Laserskärning sker med CO₂-laser i en Trumpf TruLaser 3030 med halvautomatisk ladding och lossning. För gradning har man en automatiserad process och kantpressning sker i en Trumabend V130 som kan off-line programmeras. I samarbete med ATC har man nu också lasersvetsning i en TruLaser Robot 5020.

– Vi lasersvetsar bl.a. en kylklamp som tidigare svetsades manuellt i Kina berättar Björn. Då var man tvungen att köpa ett års förbrukning. Men genom lasersvetsning blir produkten billigare och kan tillverkas i mindre batcher. En annan produkt som lasersvetsas är batteripack till truckar. Vi lasersvetsar också en del i vår egen tillverkning och har nu cirka 50% beläggning i lasersvetscellen.

ATC – nytt kompetenscentrum för plåtbearbetning

Alingsås Tunnsplåtcener, ATC, bildades som ett samarbete mellan SteelTech i Alingsås AB, Trumpf Maskin AB och Sparbanksstiftelsen Alingsås den 12/12 2012. Man investerade i en TruRobot 5020 med en 2 kW diskaser som placerades i SteelTechs lokaler.

Tanken är att öka kompetensen inom regionen för tunnsplåtsbearbetning och speciellt robot/lasersvetsning, berättar Björn Sjölin. Vi vill kunna visa tekniken för företag som kan komma hit och provsvetsa och få tekniken utvärderad. ATC genomför också utbildningar i lasersvetsning mot företag men vänder sig också till skolan och det teknikcollage som finns i Alingsås lägger en del av utbildningen hos ATC.

För SteelTech handlar det om att öka kompetensen och dessutom få kontakter med företag som söker nya tillverkningsmetoder och har produkter och innovationer de vill utveckla. Sen ökar det också statusen för SteelTech, avslutar Björn Sjölin.

SteelTech har nu tagit över ägandet av laserrobotcellen vid ATC.



Additiv tillverkning och kortpuls-lasrar dominerade vid AKL'14

DEL 2

JOHNNY K. LARSSON, VOLVO CARS



Aachener Kolloquium für Lasertechnik, mer bekant under akronymen AKL, slog upp portarna för rekordmånga, dryga 650 delegater, i maj (2014), varpå följde tre laserintensiva dagar där det senaste inom tysk laserforskning presenterades. Det hela avhölls i de för ändamålet synnerligen lämpade lokalerna i Eurogress, som ligger i anslutning till fashionabla Pullmann Quellenhof Hotel och Casino Park. Personligen har jag alltid hållit denna laserkonferens som den främsta då det gäller industriell forskning, men denna gång kunde jag konstatera ett förhållandevis lågt nyhetsvärde liksom en lägre teknisk nivå på många av de presentationer som hölls. Med lite god vilja kan man kanske tolka detta som att lasertekniken inom verkstadsindustrin nu har nått en sådan mognadsgrad att det blir allt svårare att komma med revolutionerande och nya idéer? Hursomhelst går det alltid att vaska fram några guldgruv från dylika evenemang, vilket jag skall försöka redogöra för längre fram.

Efter en Australien-exposé var det dags för Dr. Karl-Heinz Dusel från MTU Aero Engines AG i München att inta talarstolen. Företagets produktsortiment omfattar såväl civila som militära flygmotorer med slutkunder som Pratt & Whitney, Rolls Royce, Snecma och General Electric. Att använda sig av SLM-tillverkning av olika komponenter har stadigt ökat och idag har man sex maskiner för produktion och en för experimentell verksamhet vilka betjänas av lasrar med effekter mellan 200-400 W. Material som används är främst Inconel718, Mar-M509 samt olika superlegeringar. Den stora vinsten med

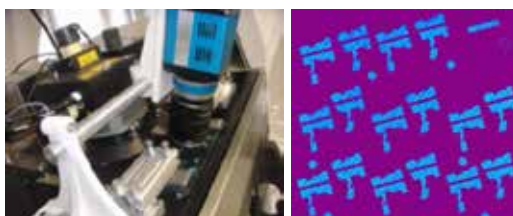
SLM ansågs ligga i den korta ledtiden och låga tillverkningskostnaden för de verktyg och fixturer som metoden kräver jämfört med traditionell tillverkningsteknik. Dock är det viktigt att anpassa sin konstruktionen för additiv tillverkning, liksom att ta hänsyn till hela tillverkningskedjan vid SLM [Fig. 18], vilken innefattar val av pulver, avspänningsglödning, värmebehandling och ytbehandling såsom slipning och polering. Om man har kontroll över detta menade Dr. Dusel att det finns en 60%-ig potential för ytterligare kostnadsbesparingar. Då det gäller att säkerställa att pulveruppbbyggnaden blir korrekt använder MTU Aero Engines sig

av optisk tomografi, en metod som övervakar varje påläggningsskikt [Fig. 19], men som enligt Dr. Dusel ännu inte är helt tillförlitlig. Avslutningsvis lyfte han fram de kommande utmaningarna som är att fortsätta bygga upp företagets materialdatabas, komplettera konstruktionsanvisningarna samt att nå ett maskinutnyttjande på > 5.500 timmar om året, samtidigt som den ökade produktiviteten inte får påverka materialegenskaperna.

Nästa presentation hölls av Dr. Ingo Kelbassa själv, och han inledde med att berätta om den senaste utvecklingen då det gäller att öka deponeringshastigheten vid LMD. Idag kräver tillverkningen



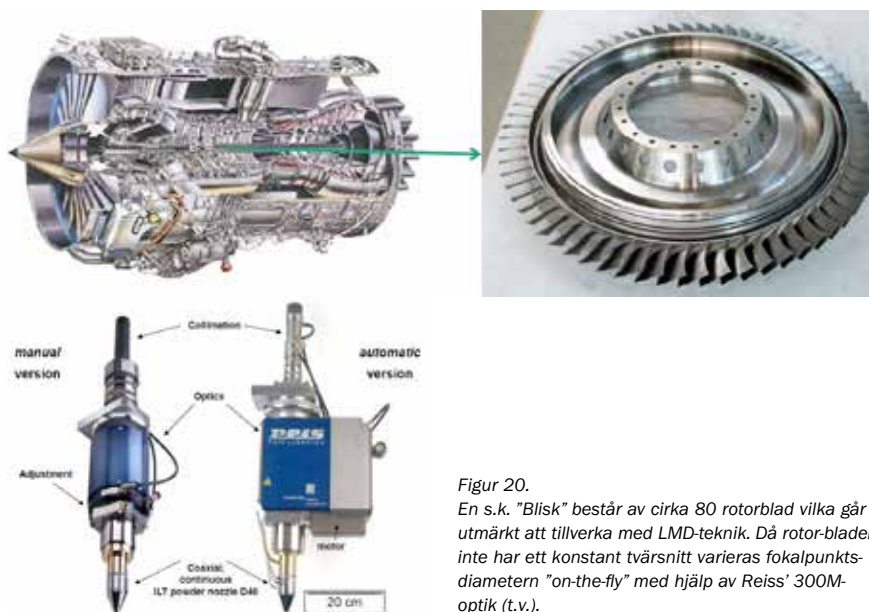
Figur 18. Att ha kontroll över hela processkedjan vid SLM-tillverkning poängterades i flera föredrag, och kan innebära avsevärda kostnadsbesparingar.



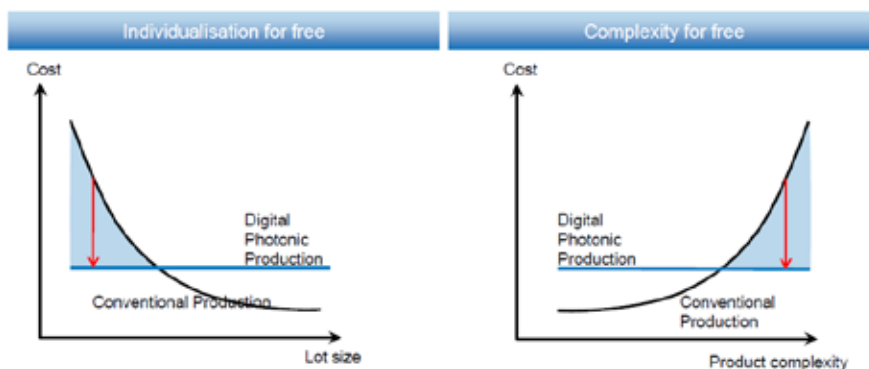
Figur 19. MTU Aero Engines använder sig av optisk tomografi för processövervakning, en metod som visualiserar varje skikt under uppbbyggnaden av en komponent.

av en Blisk [= bladed disc] för en flygmotor 180 timmar i tillverkningstid om man använder sig av maskinbearbetning. Med laserpåläggningsteknik har man idag med en 2 kW laser vid ILT kunnat tillverka ett rotorblad på under två minuter. Då en genomsnittlig "Blisk" består av 80 sådana skulle den totala tillverkningstiden hamna på 160 minuter plus ytterligare 25 timmar för efterbearbetning, något som är nödvändigt då LMD ger en ytråhet på 60-100 μm att jämföras med 30-50 μm vid SLM. Idag ligger uppbyggnadstiden vid 1 kW lasereffekt på 12 mm³/sek, men för att nå ett optimalt resultat menade Ingomar att man bör variera lasereffekten för att få en finare upplösning då man skapar konturen på sin uppbyggnad, medan själva fyllningen kan göras med högre effekt. Eftersom de ovannämnda rotorbladen inte har ett konstant tvärsnitt hade man under experimenten använt företaget Reiss' "300M-optik" vilken möjliggör variation av fokuspunktens storlek "on-the-fly" [Fig. 20].

Härefter gick Dr. Kelbassa över till en mer generell diskussion kring additiv tillverkning, där han adresserade de numera klassiska begreppen "Individualization for free" och "Complexity for free" [Fig. 21]. Med detta menas att eftersom en CAD [Computer Aided Design] -fil kan sägas ersätta typbundna verktyg och fixturer vid tillverkning med SLM blir tillverkningskostnaden densamma oavsett hur komplex detaljen är och i vilka volymer den tillverkas! För att ytterligare viktsoptimera sin konstruktion används idag begreppet "Bionic design" där ytterligare reduktion av komponentvikten möjliggörs via topologioptimering. Ett vackert exempel på detta är den gallerstruktur som skapats i ILTs laboratorium och som visades upp redan under ICALEO 2013. Denna SLM-skapelse har en densitet på 0,9 mg/cm³ och består till 99,99% av luft, och där strukturen är 1.000 gånger tunnare än ett mänskligt hårstrå! Annars ondgjorde sig den gode Ingomar, liksom tidigare Dr. Brandt, över det begränsade urvalet av pulvervarianter samt pulvrets kvalitet då det gäller homogena egenskaper. Bl.a. påpekade han nödvändigheten av att undvika kväve i pulvret då detta vid Titaniumkonstruktioner bildar TiN, något som kan leda till minisprickor. Liksom tidigare Dr. Dusel, påpekade Dr. Kelbassa det viktiga i att vid additiv tillverkning ha ett holistiskt synsätt. Han menade att vi i framtiden kommer att få se mer skräddarsydda pulvermaterial och processer



Figur 20.
En s.k. "Blisk" består av cirka 80 rotorblad vilka går utmärkt att tillverka med LMD-teknik. Då rotorbladen inte har ett konstant tvärsnitt varieras fokuspunktsdiameteren "on-the-fly" med hjälp av Reiss' 300M-optik (t.v.).



Figur 21.
Med begreppen "Individualization for free" och "Complexity for free" vill man ha sagt att med SLM-tillverkning blir produktkostnaden oberoende av seriestorlek eller geometrisk utformning i motsats till vad som är fallet för konventionella produktionsmetoder.

vid SLM-tillverkning i såväl organiska som oorganiska material. På en avslutande fråga från auditoriet svarade Ingomar att för efterbearbetning av komponenterna krävs andra typer av laserkällor än de som används för själva SLM-processen. Det kan då röra sig om laserpolering eller något som jag uppfattade vara en nyhet, nämligen "lasersvarvning" där man med 1 kW lasereffekt och pulser inom ps- och fs-området kan åstadkomma en mer omfattande materialavverkning.

Just användandet av skräddarsydda material för SLM är något som studerats inom det europeiska forskningsprojektet AMAZE [Additive Manufacturing Aiming Towards Zero Waste & Efficient Production of High-Tech Metal Pro-

ducts]. Kring detta berättade Dr. Antonio Candel-Ruiz från Trumpf Laser- och Systemtechnik GmbH i Ditzingen. Material som ingick i studien var rostfritt 420, den koboltbaserade legeringen Stellite6 samt Inconel718. Intressant här var att få höra att Trumpf avser att tillhandahålla egna maskiner för SLM. Beträffande laserpåläggning kan man erbjuda verktyg med integrerade gaskanaler för såväl matargasen för pulvret som skyddsgasen för smältan [Fig. 22]. Verktyget som lämpligtvis betjänas av en 4 kW "TruLaser 7040", är också försett med en "zoom"-optik vilken kan variera fokuspunktsdiameteren mellan 0,2-6,0 mm och på så sätt åstadkomma olika spårbredder vid påläggningen. Även här gjordes jämförelser i deponeringseff-

fektivitet mellan laserpåläggning och laserformning, där siffrorna angavs till 5-40 cm³/tim respektive 5-10 cm³/tim. Typiska framföringshastigheter ligger kring 2 m/min och användningsområdena handlar om reparation av kompressorblad och labyrinthtätningar för turbinaxlar. Under pålägningsprocessen kan man med fördel använda sig av sensorer för temperaturmätning för att på så sätt skapa förutsättningar för ett "cloosed loop"-system.

Siste talare i sessionen var en engagerad Bastian Schäfer från Airbus Operations GmbH i Hamburg. Här fick vi inledningsvis några intressanta fakta kring flygbranschen, och vad som man där beaktar, då det gäller persontrafik i framtiden. Idag är ungefär 15.500 flygplan i trafik varje dag, vilka representerar 80.000 avgångar och transporterar 8 miljoner resenärer. Många av dessa beräknas vara överviktiga då det prognostiseras att 2,3 miljarder av jordens befolkning kommer att vara detta år 2015. Vidare kommer andelen 60+-resenärer att ha ökat från dagens 489 miljoner till 1,3 miljarder 2030. Allt sådant måste beaktas vid konstruktion av nya generationer av passagerarflygplan, och här visade Herrn Schäfer upp det mycket futuristiska "Concept Cabin 2050" [Fig. 23] vilket bygger på s.k. "Bionic design". Terry Wohlers [Wohlers Associates] myntade ju begreppet "Print me a stradivarius" vid LAM-konferensen i Houston 2012, där han menade att det med SLM-teknik skulle vara fullt möjligt att tillverka den världsberömda violinen. Nu spände Herrn Schäfer bågen ytterligare genom att han inte såg det som omöjligt att man år 2050 skulle kunna uppmana någon att "Print me an airplane". Detta ledde presentationen in på de frågeställningar kring patent som aktualiseras vid SLM-tillverkning. Idag kan rent teoretiskt vem som helst ladda ner en CAD-geometri och tillverka produkter i för ändamålet certifierade maskiner, varför området har skapat en debatt som det kommer att bli intressant att följa framledes.

Bland mer handgripliga SLM-exempel som föredrogs var det numera klassiska Nacelle-gångjärnet tillverkat i Titan, och där man genom att utnyttja topologi-optimering vid konstruktionen kunnat reducera vikten från 1,2 till 0,6 kg. Ett annat exempel var en konsol i Titanium MSN005 till Airbus A350 [Fig. 24], där man samarbetat med LaserZentrum Nord [LZN] i Hamburg. Här bevisades den höga hållfasthet som kan erhållas vid SLM-tillverkning då konsolen i fråga vid

prov klarade en belastning på 6 ton att jämföras mot kravet som var satt till 2,5 ton. Avslutningsvis myntade Herrn Schäfer begreppet 4D-printing med vilket han menade att en fjärde dimensionen kan erhållas vid SLM-tillverkning om pulvermaterialet utgörs av någon form av minnesmetall!

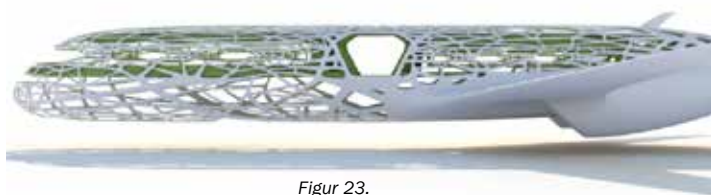
Gerd Herziger-sessionen

Även årets Gerd Herziger Session hade som tema additiv tillverkning, och förste talare var här Dr. Mike Shellabear från EOS GmbH, München. Han berättade

att världsmarknaden för 3D-printing idag ligger kring två miljarder dollar och har uppvisat en genomsnittlig årlig ökning på 25,4% under den senaste 25-årsperioden. Det finns numera också en internationell ASTM [American Society for Testing and Materials] – standard för terminologi inom SLM som har beteckningen F2792. Metoden "uppfanns" av Ross Householder 1979 och resulterade i det amerikanska patentet U.S. 4,247,508 [Fig. 25]. I kommersiell användning kom tekniken först 1990 hos företaget DTM Corp., som numera är en del i 3M-koncernen.



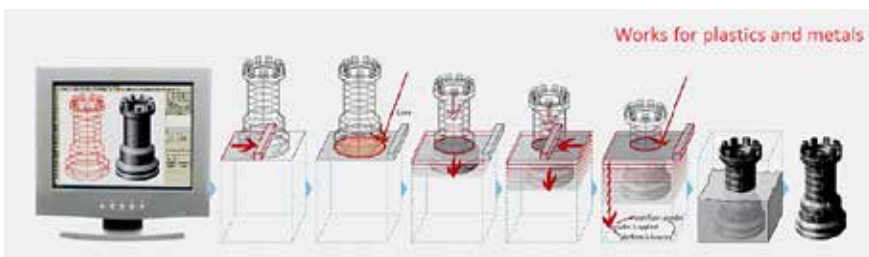
Figur 22.
En "TruLaser-cell 7000" används för reparation av kompressorblad till turbinmotorer där man använder ett nyutvecklat pålägningsmunstycke med integrerade kanaler för matar- resp. skyddsgas.



Figur 23.
En modell av Airbus' futuristiska "Concept Cabin 2050" konstruerad enligt principen för "Bionic design" och tillverkad genom 3D-printning med laser, s.k. SLM.



Figur 24.
Topologioptimering har använts för göra dessa flygplanskomponenter i Titanium så viktseffektiva som möjligt. Såväl konsolen (t.v.) som gångjärnet (t.h.) är tillverkade med additiv teknik.



Figur 25.
Principen för 3D-printning eller "Selective Laser Melting".

EOS började tillverka sina maskiner 1994, och nu visade Mr. Shellbear på några av de senaste produkterna. Dessa var de CO₂-baserade "Eosint P760" och "P800" avsedda för polymera pulver, och där den senare rekommenderas då tillverkningen kräver värme. För metalliska pulver är det maskiner som "Eosint M280", "M270 Dental" och "Eos M400" som gäller [Fig. 26], och dessa är då kombinerade med Yb-disklasrar. Förra året sålde man 1.330 enheter varav 2/3 var avsedda för polymer tillverkning och följaktligen 1/3 för metallisk sådan. Merparten gick på export till Europa [67%] och Asien [18%] medan endast 15% av maskinerna hamnade i USA. Mr. Shellbear påpekade att man även tillverkar delar till de egna maskinerna med hjälp av SLM-tekniken.

Han avslutade sin presentation med att visa på några praktiska fall från olika branscher. Inom aerospace visade han på ett insprutningsmunstycke till en jetmotor, luftkanaler åt Boeing och drönarmodellen "Sulsa" som är tillverkad i PA [PolyAmid], helt och hållet med 3D-printning. Exempel från medicinindustrin utgjordes av tandimplantat, andra ortopediska implantat, kirurgiska instrument och en rotor till en tvättmaskin. Inom den s.k. "lifestyle"-branschen hittar vi tillämpningar vid tillverkning av juveler, accessoarer, skor och sporttillbehör [Fig. 27]. Slutligen används SLM vid tillverkning av formsprutningsverktyg där metoden möjliggör integrationen av kylkanaler.

Näste talare var William T Carter från General Electric [GE] Global Research i Niskayuna. Denna jättkoncern grundades av Thomas Edison år 1900 och har idag 300.000 medarbetare över hela världen och en årlig utvecklingsbudget på 4 miljarder dollar! Man började forska kring LAM 1992 och har idag 20 laserbaserade system och 10 maskiner där pulvret smälts med hjälp av elektronstråle. Dr. Carter lyfte fram tre skäl för att använda SLM-tekniken; billig verktygstillverkning, enkel teknik vid omkonstruktion samt att komponenter kan tillverkas som en detalj. Det senare exemplifierades med ett insprutningsmunstycke som tidigare tillverkades av 15 individuella detaljer men som med SLM kunde optimeras till en enda [Fig. 28]. En flygplansmotor innehåller i storleksordningen 20 sådana insprutningsmunstycken och fr.o.m. 2016 kommer dessa att tillverkas genom additiv teknik. För att optimera produkten har GE utvecklat en mjukvara för distorsionskompensation och man har vidare till-

gång till program för processimulering där det går att förutsäga vilken mikrostruktur man kommer att få i slutprodukten.

Intressant var också några exempel på additiv tillverkning på mikronivå, s.k. DMP [Digital Micro-printing], där en potentiell applikation är elektriska omvandlare i ultraljudssonder [Fig. 29]. Frågan kring vilka möjligheter som finns för produktivitetssökning kom upp under slutet av Dr. Carters presentation och detta kommenterades av professor Poprawe med att det då är fördelaktigare att arbeta med flera simultana laserstrålar. Att bara

öka lasereffekten kommer att resultera i interna defekter i det pålagda materialet.

Siste talare i Gerd Herziger-sessionen var Ruwen Kaminski från Festo. En av företagets stora produktgrupper är olika typer av gripdon där Herrn Kaminski nu visade på några som konstruerats enligt principen för "Bionic design". Vid tillverkning av dylika former lämpar sig SLM-tekniken väl, och det blir även möjligt att integrera alla funktioner i en enda komponent [Fig. 30]. Merparten av gripdonen används vid livsmedelhantering och här fick vi se en hel flora av innova-



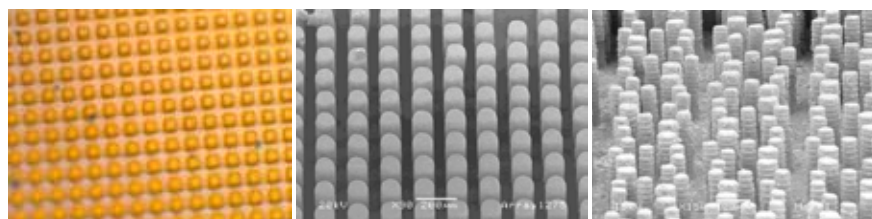
Figur 26.
Några olika SLM-maskiner ur EOS' produktportfölj; fr.v. "Eosint P760", "Eosint M270 Dental" och "Eos M400".



Figur 27.
Med 3D-printning går det att tillverka det mesta, allt från drönarflygplan till juveler.



Figur 28.
GE tillverkar över 5000 s.k. LEAP-motorer om året där var och en innehåller 19 insprutningsmunstycken. De senare kommer från 2016 att tillverkas med LAM-teknik och därmed ersätta den gamla konstruktionen som bestod av 15 separata detaljer.



Figur 29.
Några exempel på additiv tillverkning på mikronivå där polymert och keramiskt material byggs upp i pelare med 40-80 µm diameter, vilka kan användas som elektriska omvandlare i ultraljudssonder (t.h.).

tiva verktyg för hantering av frukt, sparris och s.k. "Kinder-egg", men även för andra ömtåliga produkter som exempelvis glödlampor. För några av dessa verktyg hade man belönats med "IF Product Design Award 2012".

I ytterligare en dedikerad session för LAM, vilken leddes av bekante Dr. Konrad Wissenbach från Fraunhofer ILT, kunde vi bl.a. lyssna till Maximilian Meixelsperger från BMW [Bayerischer MotorenWerk] som berättade om LAM-användning hos den bayerska biltillverkaren. I något som man kallar "Plant 0", vilket är en form av prototypverkstad, har man 14 SLM-maskiner och en LMD-dito från Trumpf. Man tillverkar över 90.000 produktionsdetaljer baserade på polymert material [Fig. 31]. Då det gäller 3D-printing av metalliska pulver befinner sig detta fortfarande på experimentstadiet. Visserligen har man tillverkat motorkomponenter i låga volymer för sina tävlingsbilar och då använt pulvermaterial som AlSi12 och AlSi10Mg. Dessa måste efter tillverkning värmebehandlas för att förhindra uppkomsten av sprickor. Vidare ansåg Herrn Meixelsperger att aluminiumpulvrets kvalitet fortfarande lämnar en del övrigt att önska. Han kunde vidare konstatera att för låga volymer blir SLM kostnadseffektivt, men att det fortfarande är en förhållandevis dyr metod.

Svetsning och skärning

"Gamla" beprövade lasertekniker som skärning och svetsning fick också sin beskärda del av uppmärksamhet vid AKL i form av två dedikerade sessioner. Ordförande under det avsnitt som handlade om laserskärning var ILT-medarbetaren Wolfgang Schultz, och förste talare var välbekante Wolfram Rath från RofinSinar Laser GmbH, en koncern som idag också innefattar företagen Dilas, Nufern, Corelase samt vårt svenska Optoskand. Det är alltid ett nöje att lyssna till Dr. Rath pedagogiska presentationer även om han gärna tar tillfällena i akt att marknadsföra företagets kommersiella produkter. Denna gång nämnde han särskilt Rofins serie av fiberlasrar, som kan fås i såväl standard- som kompaktversion och som är av ändpumpad konstruktion med effekter mellan 500-6.000 W. Vid de lägre effekterna garanteras en BPP [Beam Parameter Product] på 2 mm*mrad och här kan laserstrålen levereras via en 50 µm optisk fiber. Vid högre effekter krävs en fiberdiameter på 100 µm och här ligger strålkvaliteten på 3,5 mm*mrad. Den elektriska verknings-

graden är omkring 30%. En gammal trotjänare i produktportföljen är de diffusionskylda, CO₂-baserade slab-lasarna med modellbeteckningar som "DC010" och "DC045". Även dessa levererar en BPP på 3,5 mm*mrad med stråldistribution via en 100 µm optisk fiber. Vid en jämförelse mellan CO₂- och fiberlaser blev konklusionen att den förstnämnda var marginellt snabbare vid skärning [Fig. 32], men uppvisar ett överlägset skärnsnitt då materialet överstiger 8 mm i tjocklek. Fiberlasern medger emellertid en större flexibilitet och är också att föredra vid reflektiva material som mässing och koppar p.g.a. sin kortare våglängd. Förutom vid skärning av tjockare metaller har CO₂-lasern också ett berättigande vid laserskärning av icke-metalliska material.

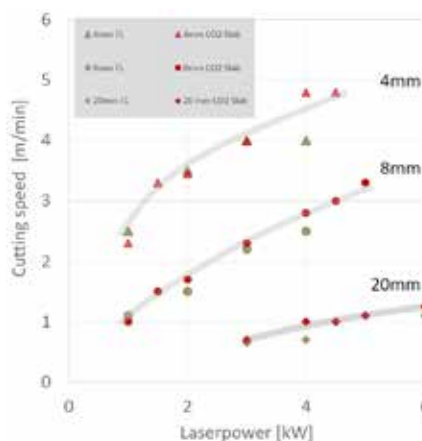
Vid höghastighetsskärning är maskinernas dynamik och precision av stor betydelse, vilket exemplifierades med en skärutrustning från företaget Stiefelmeyer. Ett intressant praktikfall som föredrogs var skärning av långa, smala hål i 12 meter långa rör avsedda för oljefiltrering [Fig. 33]. Basen i utrustningen var en "DC030" slab-laser och Dr. Rath påstod att det idag finns 130 maskiner igång i treskift för denna verksamhet. För tredimensionell skärning visades på exempel där Jenoptiks "Votan®"-maskin används för s.k. BIM [Beam In Motion]. Avslutningsvis presenterades resultat från "remote"-skärning av kolfiberförstärkta polymerer. Här hade man använt en 1 kW "single mode"-fiberlaser med 25 µm fokalpunktsdiameter. Skärhastighe-



Figur 30. Företaget Festo belönades med "IF Product Design Award 2012" för detta gripdon utformat enligt s.k. "Bionic design" och tillverkat med SLM-teknik.



Figur 31. En modern BMW-modell innehåller som synes ett avsevärd antal polymerdetaljer tillverkade med hjälp av "Laser Additive Manufacturing":



Figur 32. Vid en jämförelse mellan RofinSinars fiberlasrar och deras klassiska diffusionskylda CO₂-lasrar märks knappast någon skillnad i skärhastighet.



Figur 33. Att skära avlångå hål i 12 m långa rör avsedda för oljefiltrering har genererat en stororder av laser-källor till Kina. 900 hål skärs i varje rör med hjälp av en "DC030" CO₂-slab-laser, och Rofin skall ha levererat 130 enheter för treskiftsproduktion i olika delar av landet.

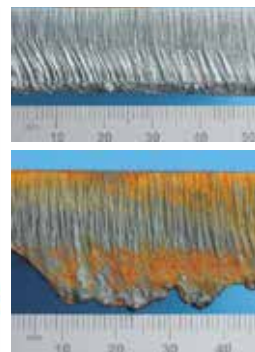
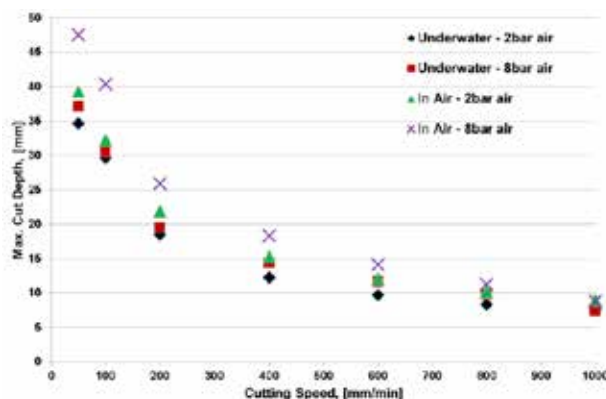
ten låg på 60 m/min och vanligtvis tog det 10-12 repetitioner för att arbeta sig igenom materialet. Ett annat exempel på RLC [Remote Laser Cutting] var vid volymtillverkning av airbags, men här hade en CO₂-slablaser använts.

Nästa föredrag kände vi igen från 2013 års NOLAMP- respektive ICALEO-konferenser och handlade om hur man med hjälp av laserskärning tog isär kontaminerade komponenter från uttjänta kärnkraftsanläggningar, vilka utgör ett växande destruktionsproblem i England. Föredragande var Ali Kahn från TWI [The Welding Institute] i Abington, U.K. som berättade att det enbart i England finns 200.000 m² kontaminerad betong och 88 km dito rostfria rör. Därför är en billig, säker och snabb särtagningsteknik välkommen, och här hoppas man på att laserskärning kan utgöra en innovativ och effektiv metod. Begreppet "LaserSnake" innebär att det robotburna skärverktyget, som är kopplat till en 100 meter lång distributionsfiber, kan ta upp åtkomsthål i strålnings säkra kabinett och väggar och sedan som en orm sträcka in verktyget [Fig. 34]. Därpå sker sönderskärningen av kontaminerade rostfria rör med diametrar mellan 25-100 mm med 4,8 kW effekt från en fiberlaser [IPGs "YLS5000"] och där variationer i arbetsavstånd på mellan 15-75 mm klaras. Kvävgas används som skyddsgas och man har utvecklat två olika skärverktyg; ett med 250 mm fokallängd och 300 µm optisk fiber, och ett annat med 500 mm fokallängd och en fiberdiameter på 150 µm. Den längre fokallängden tillåter självklart större variationer i arbetsavstånd, men resulterade också i högre skärhastigheter. Synnerligen engagerade Ali visade också hur en välskyddad operatör kunde utföra denna långtifrån riskfria laserskärning med hjälp av ett handhållet verktyg!

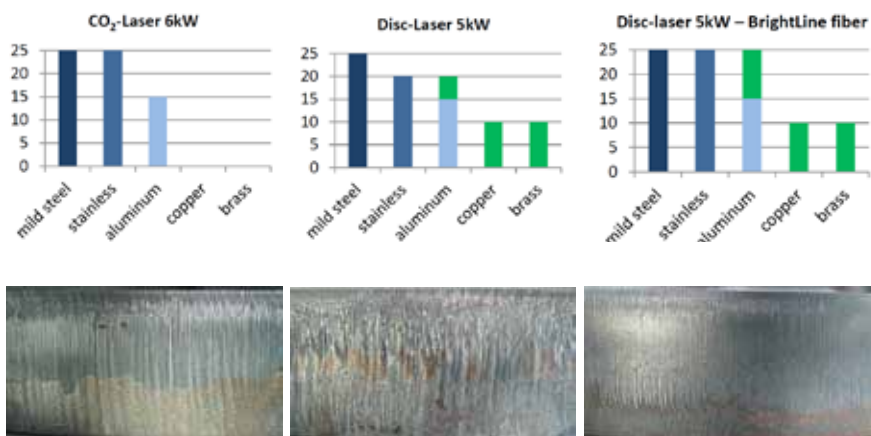
Denna teknik, som ger mindre skrotvolum jämfört med flamskärning, fungerar också vid skärning under vatten och här redogjordes för försök utförda på 12-35 mm tjocka rostfria plattor [Fig. 35]. Skärhastigheten är här något lägre jämfört med skärning i atmosfär. Då det gäller att rengöra den kontaminerade betongen sker detta också med hjälp av laser, där ytskiktet avverkas och restprodukterna sugas upp av ett speciellt munstycke [Fig. 34].



Figur 34.
Lasertechnik används för såväl särtagning av kontaminerade rör, där vi ser verktyget "LaserSnake" i sin fulla längd t.v., men också vid avverkning av det förorenade ytskiktet hos betong med det specialutvecklade verktyget t.h.



Figur 35.
Skärhastigheten under vatten är något långsammare jämfört med skärning i luft, och t.h. utseendet på snittkanter i de båda fallen.



Figur 36.
Rekommenderade max.tjocklekar för skärning med CO₂-laser, diskilaser och den senare med "BrightLine"-fiber, och därunder snittkvaliteten vid skärning i 25 mm tjock stålplåt med 5 kW effekt.

Siste talare i "skärssessionen" var Michael Kuipers från familjeföretaget KUIPERS CNC-Blechtechnik GmbH & Co. KG i Meppen-Hüntel. Företaget har 290 medarbetare och "omsätter" 40.000 ton metall om året. Idag använder man enbart disklasrar där man har 4 stycken 5 kW-enheter i produktion, vilka har ersatt de tidigare CO₂-lasrarna. Att man valde disklasrar vid sin nyinvestering motiverades främst av begrepp som materialflexibilitet, snittkvalitet, skärhastighet och små och fina skärkonturer. Man laserskar såväl mässing, koppar, rostfritt som aluminium, och då man valt att satsa på Trumpfs produktserie "BrightLine" kan man skära så pass tjockt material som 25 mm med acceptabel snittkvalitet [Fig. 36].

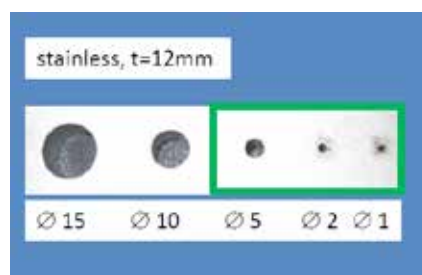
Med "BrightLine"-konceptet blir det också möjligt att lättare frigöra de utskurna detaljerna ur plåten, samtidigt som Herrn Kuipers påstod att det med en sådan laserkälla gick att skära hål med 1 mm diameter [Fig. 37]. För CO₂ och konventionella fastkroppslasrar ligger min.gränsen för håldiametrar omkring 10 mm. Erfarenheter från produktionen pekade på en bättre processtabilitet vid användning av "BrightLine", färre emissioner och en högre verkningsgrad, vilket exemplifierades med att en 5 kW disklasar av denna typ hade 40% lägre energikonsumtion jämfört med en 6 kW CO₂-laser. Däremot krävs något högre skärgastryck vilket gör att gaskonsumtionen blir högre jämfört med då en CO₂-laser används.

Dr. Dirk Petring från Fraunhofer ILT har en lång och omfattande erfarenhet från laserbranschen och nu fick han agera ordförande under det konferensavsnitt som behandlade lasersvetsning. Inledde gjorde Jan Pitzer från Cloos Schweißtechnik GmbH som startade med att göra en jämförelse mellan laserhybrid- och gasmetallbågs svetsning av en stumfog bestående av två stycken 8 mm tjocka stålplåtar. Den senare metoden kräver en fogberedning på 2×30° varför skillnaden i reell tillverkningstid blir avsevärd; 16 minuter för ett manuellt bågs svetsfall att jämföra med 30 sekunder för en robotiserad laserhybridsvetsning, vilken inte kräver någon fogberedning. Inte bara den reducerade tillverkningstiden utan också det minimala behovet av tillsatsmaterial vid laserhybridsvetsning måste beaktas i den totala kostnadskalkylen. Härpå följde ett antal praktikfall där Cloos hade agerat systemintegrator. Dessa var:

- Laserhybridsvetsning av sidoväggar till järnvägsvagnar helt utan distorsioner [Fig. 38]
- Kranbommar hos företagen Palfinger och Manitowoc, vilka hade svetsats med en 8 kW fiberlaser. Här ersattes pulverbåge som svetsmetod och utrustningen var även försedd med verktygsväxling med ett skärhuvud [Fig 39]
- Aluminiumsvetsning med oscillerande, pendlande laserstråle där ett verktyg från Precitec hade använts
- Generering av "osynliga fogar" i metalliska konstverk

Slutligen redogjorde Herrn Pitzer för vad som sker i det s.k. QuLaLas [Qualitätsgerechte 3D Laserschweißbearbeitung Innovativer Schiffskonstruktionen] -projektet. Detta har sitt huvudsäte i Dr Emmelmans LZN [LaserZentrum Nord, Hamburg] där man har tillgång till inte mindre än tre storskaliga gantry-anläggningar för lasersvetsning av innovativa skeppstrukturer.

Laserhybridsvetsning var temat för Dr. Matthias Höfemans [Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH] presentation där han inledningsvis kunde konstatera laserstrålens förmåga att stabilisera



Figur 37.
För CO₂- och fastkroppslasrar är det svårt att skära håldiametrar under 10 mm med acceptabel snittkvalitet, medan en "BrightLine"-laser kan klara ända ner till 1 mm diameter.



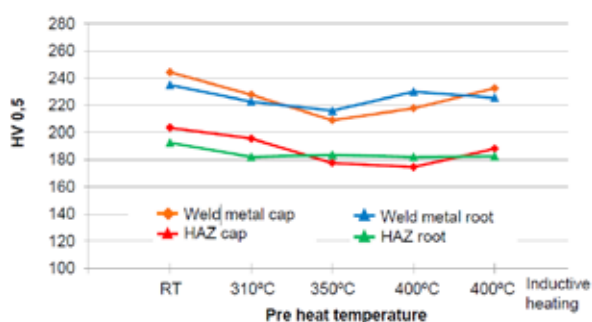
Figur 38.
Laserhybridanläggning hos företaget Alstom för tillverkning av sidoväggar för järnvägsvagnar.
Längst t.h. syns laserhybridverktyget och svetsmetoden ger minimala värmeförvridningar.



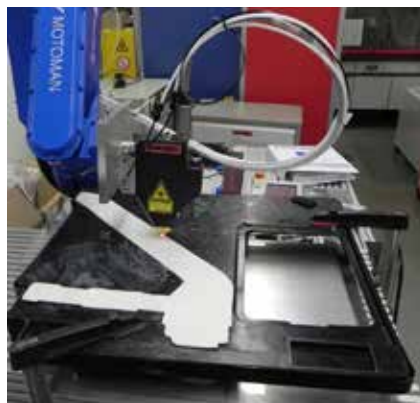
Figur 39.
Laserhybridsvetsning av kranbommar hos företaget Manitowoc med en detalj av svetsens rotsida t.h. vid full penetration och utan rotgas!

ljusbågen från en GMAW [Gas Metal Arc Welding] -pistol. I försöken hade man använt en 16 kW disk laser från Trumpf kombinerad med en 500 A MAG [Metal Active Gas] -strömkälla. Laserstrålen, som i försöken alltid var ledande, fokuserades till en brännpunkt med 600 µm diameter. Materialet var ett 12 mm tjockt HSLA [High Strength Low Alloy] -stål med beteckningen S355MC, vilket hade hybridsvetsats i svetsläge PA och stumfogsgeometri med frästa kanter. Tillsatstråden var av typen G423MG3Si1 med en diameter på 1,2 mm och den skyddsgasblandning som användes bestod av 90% Argon plus 10% koldioxid. Med en lasereffekt på 13,5 kW blev svetshastigheten 2 m/min och trådmatningen låg på 13 m/min. För att undersöka inverkan av en förvärmning upp till 400 °C av arbetsstyckena hade en 40 kW induktionsenhet använts [Fig. 40]. Förvärmningen ger en bredare HAZ [Heat-Affected Zone], men inte någon större hårdhetsreduktion, vilket man hade förväntat sig att få. Nu låg hårdheten på 250 HV0.5 i svets och 230 HV0.5 i HAZ att jämföras med grundmaterialets 200 HV0.5. Hållfasthet och brottförlängning påverkades överhuvudtaget inte av förvärmningen eftersom brottet vid dragprov alltid gick i det relativt svaga grundmaterialet. Dock gick det att konstatera att hårdhetsreduktionen vid förvärmning är större jämfört med vad man erhåller vid en eftervärmning av svetsen.

Lasersvetsning av fiberförstärkta polymerer är ett annat ämnesområde som tycks ligga i tiden. Intresset för dylika lättviktsmaterial växer sig allt starkare inom bilindustrin, inte minst med tanke på att Europakommissionen kommer att införa en "CO₂-avgift" fr.o.m. 2020 för de nybilsproducerade personbilar som inte uppfyller utsläppskraven på max. 95 g CO₂/km. För varje överskjutande gram och producerad bil har tillverkaren att betala 95 euros, vilket kan leda till avsevärda belopp för högvolymproducenter som exempelvis VW. Christoph Engelmann beskrev nu de senaste forskningsrönen från plastsvetsning hos ILT Fraunhofer. Vid den här typen av lasersvetsning använder man sig av en transparent och en absorberande detalj och minst 25% av laserljuset måste kunna nå den absorberande delen för att en acceptabel bindning skall uppnås. I de redovisade försöken hade en 120 W laser från Leister använts och man nådde en svetshastighet på 1,5 m/min vid 110 W effekt [Fig. 41]. Det hela illustrerades med ett praktikfall för en sätesrygg. Det natur-



Figur 40.
T.v. försökssupställningen vid laserhybridsvetsning med en induktionsspole avsedd att förvärma området kring svetsen, något som endast gav marginell reduktion av dess hårdhet.



Figur 41.
Försökssupställningen vid lasersvetsning av polymera material med en transparent och en absorberande detalj. Med en diodlaser från företaget Leister hade man uppnått en svetshastighet på 1,5 m/min vid 110 W lasereffekt.



Figur 42.
Ett intressant koncept för att foga plastmaterial till en metall var att först med "scanner"-verktyget "IntelliScan" och IPG-lasern "YLS-1000-SM" skapa fördjupningar i metallen, varpå plastmaterialet smältes ned i dessa för att skapa en bättre förbindning. Konceptet hade sedan använts på en Peugeot-dörr för att tillverka en krockbalk bestående av en glasfiberförstärkt polyamid och ett DP1000-stål.

liga sammanfogningsalternativet för polymera material är limning, men en sådan metod kräver fler processteg jämfört med laserteknik. Ett intressant koncept då det gäller fogning av polymerer till metaller är att strukturera metallytan i förväg och därigenom skapa en större bindningsarea till polymeren. Dylik strukturering hade utförts med en "scannad" laserstråle med 500-750 W effekt och en framföringshastighet på 10 m/sek. Genom att öka antalet

repetitioner kunde man skapa ett större profildjup [Fig. 42], och på min fråga kring detta svarade Herrn Engelmann att ett djup på cirka 100 µm var tillfyllest. Själva sammanfogningen av de två artotiska materialen "Tepex 102RG600", som är en glasfiberförstärkt polymer, och rostfritt 1.4301 gjordes sedan med en "LDM-3000-100" från Laserline, som har en våglängd på 1.020 nm, och en linjeformig fokalfunkt som mäter 1×12 mm. Vid ILT

hade man även tittat på en verklig bland-materialkomponent i form av ett krockrör till en sidodörr för en Peugeot-modell. Med ovanstående koncept hade man således sammanfogat en PA/GF [glasfiberförstärkt polyamid] med ett DP [DualPhase] 1000-stål.

Laserkällor och -verktyg

AKL-konferensen ger alltid en bra överblick över de senaste nyheterna beträffande laserkällor, och inte minst de s.k. kortpuls-laserna röner stor uppmärksamhet just nu. Här fick vi lyssna till en briljant föredragning av Dr. Rudolf Weber från IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] vid Stuttgart Universität, där han gav många goda råd och riktlinjer för mikrobearbetning. Han redogjorde för borrar och skärning av CFRP [Carbon Fibre Reinforced Plastics] med en "TruMicro 5250"-laser i det gröna våglängdsområdet, där lager efter lager av substratet avverkades med 8 ps långa laserpulser. Problemen vid bearbetning av dessa material är att värmeledningen r hög i kolfibern men låg i matrismaterialiet. Likaså är frgnings-temperaturen hög för fibern men låg för matrisen varför ett tröskelvärde på 85 J/mm³ krävs för att evaporera fibern medan endast 2 J/mm³ r nödvändigt för att avverka matrismaterialiet. För att undvika skador på polymermaterialiet br energitätheten överstiga 108 W/cm² men samtidigt skall den helst inte överstiga 1013 W/cm² [Fig. 43], det senare för att undvika plasmabildning.

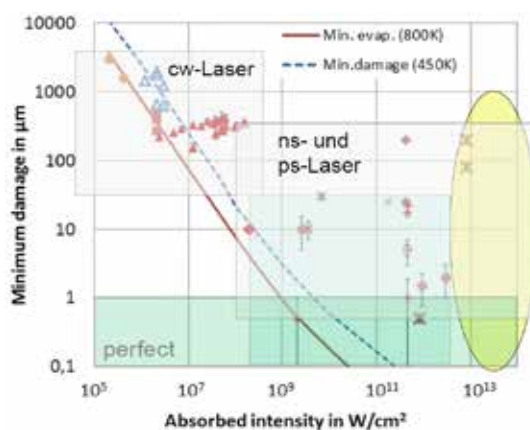
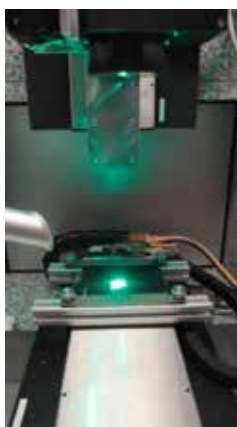
Experiment hade visat att laserstrålen har en benägenhet att reflekteras mellan kolfibrerna och därmed försämra skrprocessen, varför Dr. Weber rekommenderade att använda laserkällor med antingen 2 m våglängd eller våglängder < 350 nm! Vidare hade man observerat att höga frekvenser gav större skador på materialet och att det r bättre att minimera antalet repetitioner vid konturskrning [Fig. 44]. Alternativet till det senare kan vara att använda sig av diffraktiva optikelement.

Ämnesområdet diskasrar med hög ljusstyrka avhandlades av ännu en Trumpf-representant, Dr. Alexander Killi från företagets utvecklingsenhet i Schramberg. Disklasern uppfanns av Dr. Adolf Giesen 1991 [se LaserNytt 3-2013] och en 4 kW enhet har varit i bruk hos Daimler i Sindelfingen sedan 2005 fr "scanner"-svetsning. 2008 lanserade Trumpf sin "TruDisc6001" speciellt utvecklad för laserskärning, och fr.o.m. 2012 erbjuder

denna produkt med hela 6 kW-effekt genererad från en enda disk. Men det slutar inte hr om man får tro den gode Dr. Killi som visade på en utvecklingsversion som sades ge 10 kW per disk med 72% optisk verkningsgrad och 30% WPE [Wall Plug Efficiency, Fig. 45].

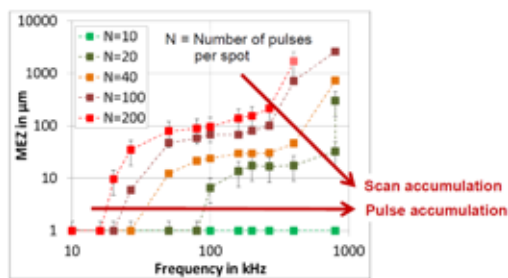
Annars var Trumpfs huvudnummer denna gång deras "TruDisc5001 Bright Line", som är en traditionell diskaser utvecklad för skärning men där man medelst optikutveckling frbtttrat ljusstyrkan. Hur detta rent konkret görs var man mycket frtagna kring då jag försökte "pressa" försäljningschefen Dr. Alexander Knitsch på mera information då jag besökte företagets monter på utställningen. Men om vi återvänder till kortpuls-laserna visade Dr. Killi en grön diskaser där man konverterat vglngden från 1.030 nm till 515 nm. Medeleffekten låg på 500 W men kunde vid pulsning åstadkomma toppar på 6 kW. Pulslängden r

10 ms, strlkkvalitn < 4.0 mm*mrad med stråldistribution via en 100 m grov optisk fiber. Denna gröna laser kan också fås som 1 kW cw-variant och med bättre strlkkvalitet, < 2.0 mm*mrad, vilket gr distribution via en 50 m-fiber möjlig. Dessa lasertyper r med sin kortare våglängd särskilt väl lämpade för svetsning i koppar. Trumpf har en särskild ns-serie av kortpuls-lasrar som kan fås med våglängder inom såväl IR- [InfraRed] som det gröna området [Fig. 46]. Rent konstruktivt innebär dessa lasertyper att man adderar pocketceller och en vglplatta i laserkaviteten. IR-varianten har 4,2 kW cw-effekt med pulstoppar på 9 MW(!), vilket innebär 180 mJ per puls med pulslängder mellan 20-50 ns. Strlkkvalitn ligger under 4,5 mm*mrad, och samma gäller för den gröna varianten. Denna tillhandahålls med 1,8 kW cw-effekt och där de 100-350 ns långa pulserna har ett energiinnehåll på cirka 100 mJ. Dr. Killi



Figur 43.

Borrings- och skärförsök hade utförts med en "TruMicro5250"-laser i det gröna våglängdsområdet med en medeleffekt på 30 W, pulslängd 8 ps och 800 kHz frekvens. Försöken, liksom litteraturen, indikerar att pulsad bearbetning skadar materialet mindre jämfört med cw-dito samt att energitätheten i pulserna br ligg mellan 108-1013 W/cm².



Figur 44.

Att arbeta med lägre pulsfrekvenser och färre repetitioner vid konturskrning av CFRP innebär bättre snittkvalitet och mindre skador på det polymera materialet.

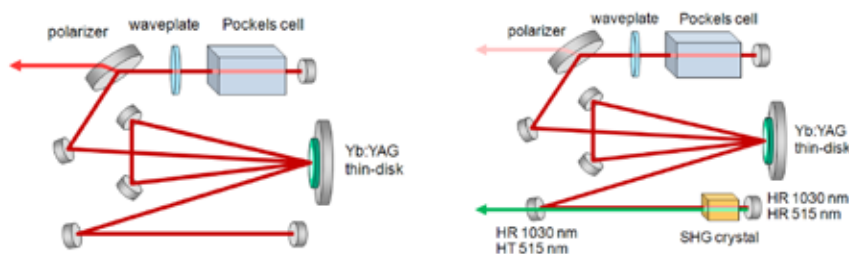
rundade av sin presentation med att slå ett slag för företagets övriga produkter, såsom den nyligen lanserade 80 W "Tru-Micro" med pulsmöjligheter inom fs-domänen [Tab. 1], en 6 kW "TruDiode" med 50 mm*mrad samt en 1 kW "TruFiber" med 0,3 mm*mrad i strålkvalitet !

Diodlaserarna ägnades en alldeles egen session under överinseende av Martin Traub från Fraunhofer ILT. Först ut här var Dr. Robin Huang från TeraDiode som berättade om hur företagets direktverkande diodlasrar kan användas vid skärning. Företaget har sitt säte i Littleton, MA med cirka 60 medarbetare. Jag har ju tidigare ganska utförligt redogjort för deras koncept med våglängdkombination av upp till 500 olika våglängder. "Hjärtat" i laserkällan är en 600 W-modul kallad "TeraBlade™" [Fig. 47], vilken väger 14 kg. Strålkvaliteten uppges vara 3,2 mm*mrad med en N.A. [numerisk apertur] på 0,08. I produktsortimentet kan man idag erbjuda källor med såväl 2 som 4 kW effekt och med en våglängd på 970 nm. Just nu tittar man på möjligheten av kunna leverera produkter med 500 resp. 800 nm våglängder vilka har bättre absorption i material som aluminium och koppar [Fig. 48]. Målsättningen är att slå sig in på marknader för laserskärning- och svetsning, även om Dr. Huang pinsamt nog inte kunde referera till några dylika utförda försök.

En annan talare i sessionen var Volker Krause från välrenommerade Laserline GmbH i Mühlheim-Kärlich. Herrn Krause, med ett förflutet hos ILT och Dilas, berättade om Laserlines satsningar på diodlasrar med effekter över 20 kW. Tilltänkta användningsområden kan vara svetsning av kolfiberförstärkta polymerer, höghastighetspåläggning samt värmebehandling av stora ytor. Mycket av presentationen kändes igen från Dr. Christoph Ullmanns framträdande vid "International Laser Symposium – Fiber, Disc and Diode" i Dresden tidigare under året. En produkt som "LDF 25.000-200", vilket skall uttryckas 25 kW med 200 µm distributionsfiber, byggs upp genom att 4 olika våglängder, med ett intervall på 20 nm, kombineras i 8 stycken diodstaplar [Fig. 49]. Herrn Krause utlovade att vi strax skall kunna få se en 40 kW-enhet uppbyggd kring 16 diodstaplar och med en strålkvalitet på 200 mm*mrad, N.A. 0,2, och stråldistribution via en 2 mm grov fiber. WPE skall kunna ligga någonstans kring 40%, men här lyfte Volker fram en annan av Laserlines produkter, nämligen "LDF 4000-100" som



Figur 45.
En inblick i resonatorn till en "TruDisc"-laser från Trumpf, som sedan 2012 erbjuder en sådan produkt med 6 kW genererad från en enda disk.

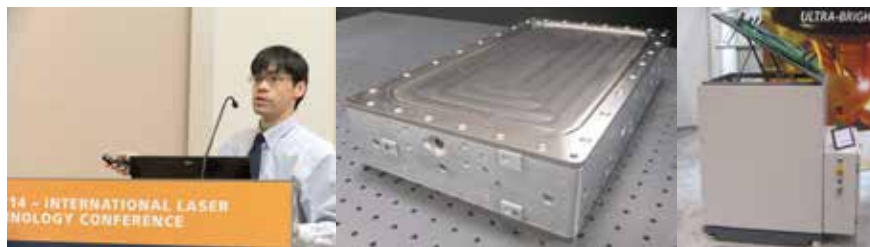


Figur 46.
Trumpf kan erbjuda två olika koncept av kortpuls-lasrar, dels med våglängd inom IR-området och dels med "grönt ljus" och 515 nm våglängd.

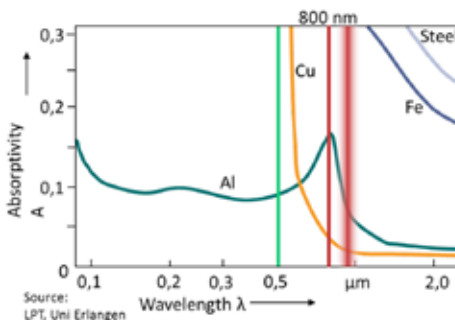
Tabell 1.

Trumpfs "TruMicro"-serie är numera utökad med en 80 W-variant med pulsmöjligheter inom fs-domänen.

Modellnamn	5000	5200	5300	Femto Edition
Max. medeleffekt	100 W	60 W	15 W	80 W
Våglängd	1.030 nm	515 nm	343 nm	1.030 nm
Pulslängd	< 10 ps	< 10 ps	< 10 ps	800 fs
Max. pulsenergi	250 µJ	125 µJ	50 µJ	200 µJ
Frekvens	200-800 kHz	200-800 kHz	200-800 kHz	200-800 kHz
Strålkvalitet	M ² < 1,3	M ² < 1,3	M ² < 1,3	M ² < 1,3



Figur 47.
Dr. Robert Huang från TeraDiode beskrev företagets 600 W-diodlasermodul kallad TeraBlade™, och berättade att man numera kan leverera en 4 kW-enhet uppbyggd av 8 stycken sådana moduler (t.h.).



Figur 48.
Just nu tittar TeraDiode på att utveckla diodlaser-källor med kortare våglängder (500 och 800 nm), vilka är särskilt lämpade vid bearbetning av starkt reflekterande material som aluminium, koppar och mässing.

har ett "världsrekord" i WPE för laserkällor som lyder på 48%. I framtiden såg han det inte för omöjligt att vi kommer att få se diodlasrar med > 50 kW effekt och WPE > 50%. Med sina s.k. konverterade diodlasrar med en 50-100 μm grov "aktiv fiber" kommer Laserline snart att kunna erbjuda 8 kW med 8 mm*mrad i strålkvalitet, ett värde som framgent skall kunna skärpas till 4 mm*mrad!

Beträffande laserverktyg fick vi också en repetition från EALA i form av Christoph Franz' [Scansonic MI GmbH] redogörelse för svetsverktyget "FSO" [Fig. 50]. Verktyget är utformat så att man vid svetsning av flänsar fixerar dessa med ett par tryckfingrar medan själva laserstrålen ansätts vinkelrätt mot dessa. På så sätt kan man svetsa treplåtsförband och kompensera för variationer i positioneringsnoggrannhet mellan detaljerna. I verktyget, som av förklarliga skäl uppfattas som tämligen klumpigt, finns en integrerad fogföljningsenhet, omställbara speglar för att variera laserstrålens infallsvinkel, integrerad fixering direkt vid TCP [Tool Center Point], två "scanner"-speglar för positionering av fokuspunkten samt två "scanner"-speglar för att röra fokuspunkten fram och tillbaka i svetsriktningen. Verktyget kan också fås med processövervakning i form av en CMOS [Complementary Metal Oxide Semiconductor]-kamera.

Med "FSO"-verktyget blir det möjligt att reducera flänsbredden från 10 mm, vilket är min.måttet vid konventionell lasersvetsning, ner till 4 mm, samtidigt som man erhåller en betydligt större bindningsarea mellan plåtarna och därmed en mycket högre hållfasthet i svetsförbandet. Det ryktas om att Volkswagen AG kommer att införa denna form av flänssvetsning i lågvolymproduktion under 2016.

Andra intressanta laserverktyg som vi kunde titta på i AKLs omfattande leverantörsutställning var Scansonic's "RLW-A" som är ett adaptivt fjärrlaserverktyg, Precitecs "CoaxBrazer" med koaxiellt matad tillsatsstråd vid laserlödning [Fig. 51], samt Precitecs "IDM" [In-Process Depth Meter] -verktyg, vilket mäter penetrationsdjupet i realtid vid lasersvetsning [Fig. 52].

Nyheter, innovationer och något om framtiden i Aachen

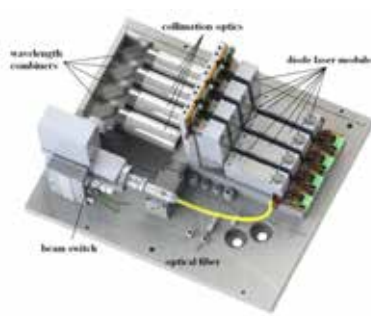
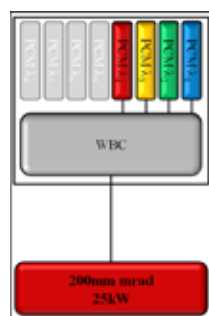
Vid AKL-konferenserna bjuder traditionen också att institutionsföreståndaren vid ILT, professor Reinhart Poprawe, beskriver de senaste årens innovationer vid institutet, samt redogör för kommande

planer och framtida satsningar. I år fick vi höra en hel del intressant både under Reinharts öppningsanförande såväl som under hans s.k. "Schlusswort".

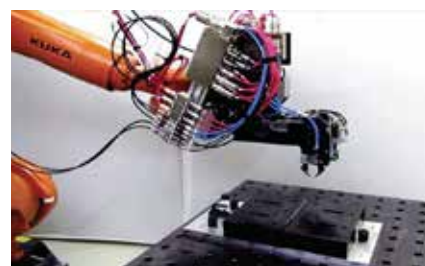
Inledningsvis menade han att vi nu står inför "Industri, version 4.0", som omfattar cyber-fysikaliska produktionssystem som exempelvis additiv tillverkning. Alltså ett fjärde paradigmsprång följande på den industriella revolutionen i slutet av 1800-talet, bilindustrins framväxt under 1920-talet samt den på 1970-talet introducerade robotbaserade produktionsfilosofin [Fig. 53].

Numera har ju DPP [Digital Photonic Production] blivit ett vedertaget begrepp och den gode Reinhart lyfte fram sina gamla "käpphstar", nämligen påståen-

dena "Individualization for free" och "Complexity for free" [Fig. 21], något som möjliggörs av SLM-tekniken. Tidiga exempel [Fig. 54] hämtade han från 2002 då man började tillverka tandersätningar, medan mer närliggande exempel utgjordes av nätstrukturer och även ett komplett motorblock tillverkat i AlSi12. Tillverknings tiden för det senare låg på 4 dagar och 19 timmar, att jämföras med de tre månader som krävs för ett gjutet och därpå maskinbearbetat motorblock. I detta sammanhang kan nämnas att BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] har allokerat medel för ett långsiktigt DPP-projekt. Detta är avsett att löpa över 15 år med en budget på 2 miljoner euros om året!



Figur 49.
Att kombinera olika våglängder i laserkällan, s.k. WBC [Wavelength Beam Combining] är hemligheten bakom Laserlines koncept för diodlasrar med hög effekt, här exemplifierat med deras senaste 25 kW-produkt.



Figur 50.
"FSO"-verktyget kan synas något klumpigt men då skall man ha i åtanke att det inrymmer en "scanner" med sex(!) galvospeglar, klämfixtur, fogföljningsfunktion samt integrerad kamera.



Figur 51.
Några av de produkter som visades upp på AKLs leverantörsutställning var Scansonic's adaptiva fjärrlaserverktyg närmast, och Precitecs "CoaxBrazer" (t.h.) med koaxiellt matad tillsatsstråd vilket medger riktningsoberoende laserlödning.

Intressant var också att höra trenderna för var i världen vi hittar de större tillverkarna av LAM-utrustningar. Här tycks Europa och Kina ta över dominansen från USA och Japan [Tab. 2].

Tabell 2.

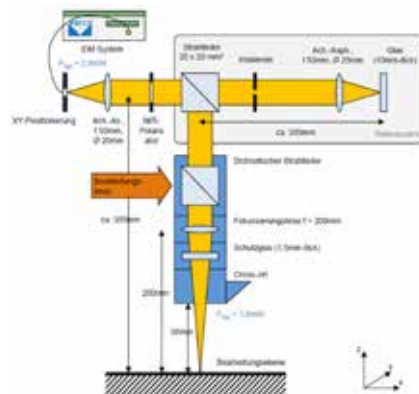
Geografisk hemvist för de större tillverkarna av utrustningar för additiv tillverkning.

	USA	Europa	Japan	Kina
2003	10	7	7	3
2013	4	16	2	7

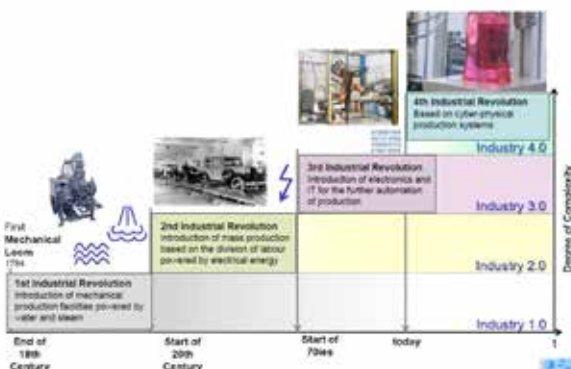
Ett framtida scenario kan vara 3D-printning av mänskliga organ, cell för cell, vilket inte är att betrakta som en omöjlighet. Redan idag används laserteknik i laboratoriemiljö för att flytta levande celler med den s.k. LIFT [Laser Induced Forward Transfer] -metoden [Fig. 55].

Ultrasnabba kortpuls-lasrar är ett annat ämnesområde som ligger professor Poprawe varmt om hjärtat. Här rör det sig om pulslängder i nano-området [$1 \text{ ns} = 10^{-9}$ sekund] eller kortare, och han visade på ett intressant exempel med 196 separata laserstrålar för parallell bearbetning av en yta, i det aktuella fallet med avsikt att öka avverkningsvolymen till $> 5 \text{ mm}^3/\text{sekund}$. Andra utvecklingsprojekt hos ILT har under senare år handlat om fogning av polymerer till metaller, skärning av fiberförstärkta plaster, lokal mjukgörning av metaller och simulering av laserskärprocessen med hjälp av den egenutvecklade programvaran "QuCut". Inom området metrologi har man ägnat sig åt att analysera metallurgin i slagprodukter, studerat polymerisationsprocesser samt använt en laser med skräddarsydd våglängd för att känna igen enskilda levande celler [Fig. 56]. En annan ILT-specialitet är SLE [Selective Laser Etching], något som resulterat i avknopningsföretaget LightFab som med denna metod bygger mikroflödeskomponenter. Andra intressanta exempel var avslutningsvis mikrohålsbörning i kvartsglas med håldiametrar på $30 \mu\text{m}$ samt ytpolering till ett djup av 10 nm med hjälp av en CO_2 -laser [Fig. 57].

Under sina slutord vid AKL-konferensens avslutningsceremoni återkom professor Poprawe till den omfattande statliga finansieringen av laserforskning som möjliggörs via BMBF. Detta förbundsministerium har identifierat fem nyckelområden för fortsatt forskning; klimat/energi, medicin/hälsa, mobilitet, säkerhet och kommunikation. Man hjälper även till med delfinansiering av



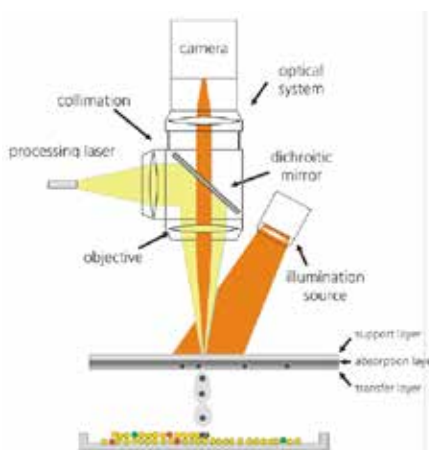
Figur 52. Precitecs "IDM"-verktyg för kontroll av penetrationsdjupet vid lasersvetsning kan fås integrerat i svetsverktygen "YW52" och "YW30".



Figur 53. I sitt öppningsanförande beskrev professor Poprawe de historiska, industriella paradigmskiften som skett och menade att vi nu går in i en "fjärde version"; cyber-fysikaliska produktionssystem vilka bl.a. innefattar additiv tillverkning med laserteknik.



Figur 54. Tidiga exempel på SLM-tillverkning utförda vid ILTs laboratorium.



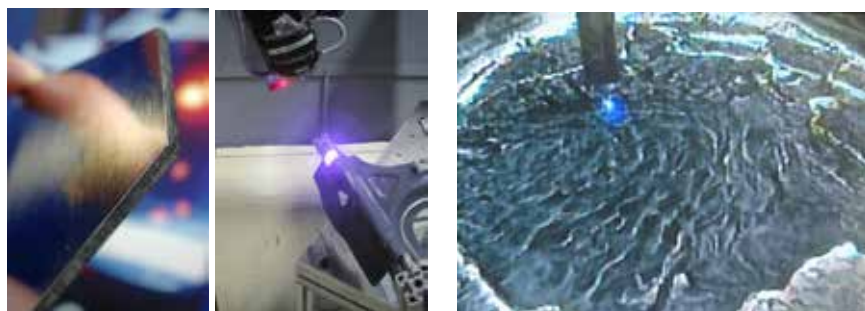
Figur 55. T.v. principen för s.k. LIFT-teknik; att flytta levande celler för att bygga nya strukturer som kan ersätta skadad mänsklig hud, och ovan några av de dedikerade utrustningar som används för ändamålet.

nätverksprogram, s.k. ETP [European Technology Platforms], som exempelvis "Photonics21" och "Horizon2020". Det förstnämnda pågår sedan några år och det senare beräknas starta vid årsskiftet 2016/17. Vidare har BMBF stöttat laserrelaterade samarbetsprojekt som "TurPro" [Integrative Production Technology for Energy-efficient Turbomachinery] och "ADAM" [Adaptive Production for Resource Efficiency in Energy Generation and Mobility], och finansierat strategisk forskning vid ILT och RWTH [Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule]. Beträffande det senare, där man f.ö. redan inrättat en professur för additiv tillverkning, har vi ju vid tidigare AKL-konferenser fått höra om planerna för ett universitetscampus i nära anslutning till Fraunhofer-laboratorierna vid Steinbachstraße. Dessa har nu börjat konkretiseras i så måtto att stora delar av byggnationsarbetena är avslutade och sex stycken av de 19 tilltänkta s.k. forskningsklusterna har startat [Fig. 58]. Tidigare nämnde jag det långsiktiga projektet kring Digital Photonic Production, vilket resulterat i ett konkret "Research Campus DPP". På plats kommer att sitta forskare från företag som BMW, Trumpf, Edgewave, Ampfos, LightFab, Leister, MTU och Siemens, bara för att nämna ett axplock. Officiell start är 1 juli i år och forskningsområden är SLM, nano- och femtoteknik.

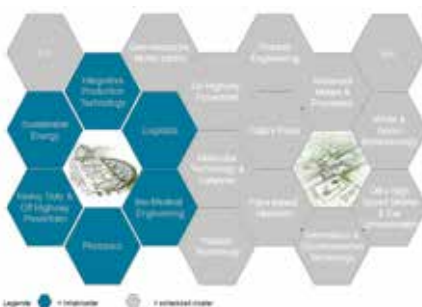
2015 kommer man att inviga ett "Innovation Center DPP", vilket 2018 kommer att följas av etableringen av ett "Research Center for DPP" [CDPP, Fig. 59]. Detta kommer att bestå av sex olika fakulteter; mekanik, fysik, elektronik, materiallära, medicin och ekonomi. Tre initiala fokusområden för verksamheten vid CDPP kommer att vara materialforskning, processkedjor, samt något som man kallar "skraddarsytt ljus". Satsningen på en fortsatt utveckling av laserteknikens unika fördelar tycks vara uppenbar för politiska beslutsfattare i Tyskland, och tyvärr har vi kanske inte en lika stor förståelse från myndighetshåll i Sverige för en motsvarande verksamhet. Hursomhelst; det kommer att bli intressant att följa den fortsatta utvecklingen i Aachen som är ett centralt kompetenscentrum då det gäller tillämpad laserforskning. Därför vill jag redan nu uppmärksamma Lasergruppens medlemmar på att vi till nästa år planerar en studieresa i denna del av Tyskland med ett självklart "nedslag" vid Fraunhofer ILT!



Figur 56.
Med denna utrustning försedd med en 16-kanalers fluorescenssensor och med möjlighet att skraddarsy fyra olika laservåglängder, 405, 473, 514 och 639 nm, är det möjligt att identifiera enskilda celler i mikrona vätskor.



Figur 57.
Några exempel på laserteknikens diversifierade användningsområden; fr.v. skärning av fiberförstärkta plaster, lokal mjukgörning av metaller, analys av metallurgin i slaggprodukter samt mikrohålsborring i kvartsglas.



Figur 58.
Sex stycken forskningskluster, varav fotonik utgör ett, är redan etablerade vid det nyinrättade "RWTH Aachen Campus".



Figur 59.
I Aachen tänker man stort då det gäller framtida "Digital Photonic Production" och planerar att inviga ett innovationscenter (t.v.) 2015, och ett forskningscenter (t.h.) 2018.

Lasersvetsning och additiv tillverkning dominerade vid ICALEO 2014

JOHNNY K LARSSON
VOLVO CARS

Under fem dagar i oktober i fjol samlades mer än 500 delegater från 30 länder till den 33:e ICALEO [International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics] -konferensen, som denna gång var förlagd till ett soligt Kalifornien. Närmare bestämt höll vi till i San Diego där evenemanget var förlagt till Sheraton® San Diego Hotel and Marina. Redan under söndagen tjuvstartade konferensen, då i form av ett antal kortkurser i olika intressanta laserämnen där Oliver Suttman från LZH [LaserZentrum Hannover] höll i taktipinnen. Jag valde här att lyssna på gamle bekanten Dr. Björn Wedel, som numera har lämnat företaget HighYag och startat en egen verksamhet med PT Photonics Tools. Hans specialområde är ju laserverktyg och stråldistributionsystem, och nu förklarade han på ett pedagogiskt sätt begrepp som Raleigh-längd, BPP [Beam Parameter Product], briljans och N.A. [Numerisk Apertur]. Han tryckte på att för att erhålla en liten fokuspunkt är strålkvaliteten av större betydelse än distributionsfibers diameter. PT Photonics Tools kan tillhandahålla fibrer med diametrar mellan 15-1500 µm och en numerisk apertur på 0,12-0,20. Man erbjuder en mångfald olika kabelanslutningar såsom varianterna SMA, SMAQ och LLK-A för låga effekter upp till 250 W och där LLK skall uttolkas som tyska "Leichtlicht Kabel". För högeffektområdet är det kabelkopplingarna LLK-B, LLK-D och OBH som gäller. Björn visade en intressant sammanställning över vilka fokuspunktsstorlekar respektive effekter som är att rekommendera vid olika former av laserbearbetning [Tab. 1].

Tabell 1. Förekommande fokusdiametrar och effekter vid olika typer av laserbearbetning.

	Skärning	Svetsning	Lödning	Påläggning
Värmebehandling				
Fokusstorlek [mm]	0,01-0,6	0,01-2,0	1,2-3,0	0,3-10,0 1,0-20,0
Lasereffekt [kW]	0,3-6,0	0,3-12,0	2,0-3,0	0,3-10,0 2,0-10,0

Andra ämnesområden som berördes under denna kortkurs var fokalpunktsförskjutning eller LPIFS [Laser Power Induced Focus Shift] där den gode Björn förordade användningen av kiselbaserad optik för att minimera detta fenomen. Vidare talades det en del om "twin-spot"-teknik och integrerade fasettelement för att skapa lämpliga fokalpunktsformer vid laserlödning. Ett annat ämne som ligger Dr. Wedel varmt om hjärtat är RLW [Remote Laser Welding], eller fjärrlasersvetsning, där en lång fokallängd kombinerad med en utmärkt strålkvalitet erbjuder stora arbetsfält. Detta ledde med automatik in på ämnesområdet ultrasnabba kortpuls-lasrar där en jämförelse med mer traditionell cw [continuous wave] -RLW-bearbetning framgår av Tabell 2.

Tabell 2.
En jämförelse mellan data för kortpuls-lasrar och cw-lasrar avsedda för fjärrlaserbearbetning.

	Kortpuls-laser	cw-laser
Toppeffekt [W]	106-1012	102-103
Strålkvalitet [M²]	1-5	5-75
Fokuspunktsdiameter [µm]	1-100	100-600
Våglängd [nm]	266-1500	~ 1000

Ett annat tyskt företag som tillhandahåller laserverktyg är Primes GmbH. Här handlar det mer om olika hjälpmedel för stråldiagnostik, och i en annan kortkurs guidade oss Dr. Volker Brandl på ett tjänstfullt sätt genom detta ämne. Primes' storsäljare är deras effektmättningsverktyg PowerMonitor® [Fig. 1], som är baserat på fotodioder, vilka ger ett tillförlitligare resultat jämfört med termoelektrisk effektmätning eller kalorimetri.

En tredje kortkurs som jag lyssnade på handlade om galvanometerbaserade "scanner"-system och hölls av Bhavesh Bhut från Cambridge Technology Inc., vilka marknadsför ett brett sortiment av sagda galvanometrar. Rörelserna kontrolleras via magnetism, varför dessa galvanometrar består av en stator, en rotor samt en positioneringsdetektor. Noggrannhet och repeterbarhet ligger på mikronivå, och det finns tre olika former av "scanning"-system; enaxligt, tvåaxligt samt treaxligt, där i det senare fallet "scanner"-funktionen är placerad efter fokuseringslinsen.

Ytterligare två kortkurser erbjöds den intresserade. En handlade om när och varför man bör satsa på laserteknik i sin produktion och hölls av Ronald D. Schaeffer [Photomachning Inc.], medan den andra adresserade det aktuella äm-

net laserbearbetning av fiberförstärkta plastkompositer och ”lärare” här var Peter Jaescke från LaserZentrum Hannover.

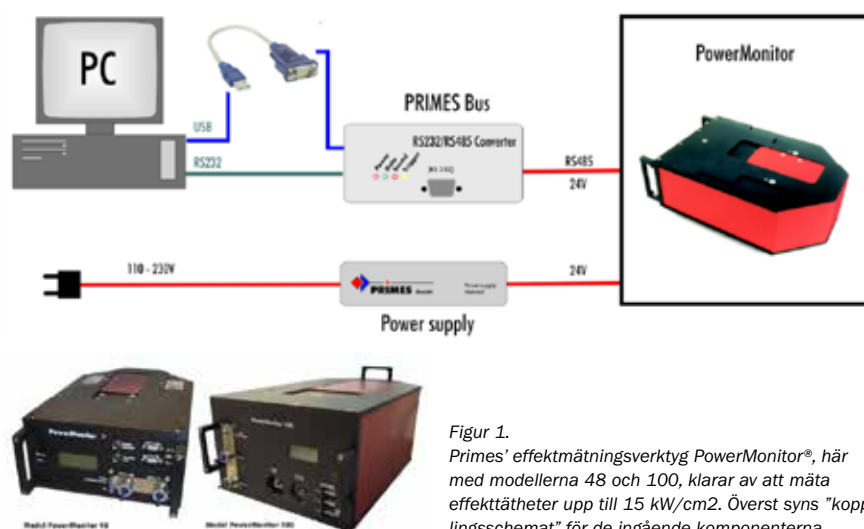
På kvällen var det så dag för den traditionella ”Welcome Celebration” där de som för första gången deltar vid en ICALEO-konferens, under gemytliga former, får bekanta sig med oss lite mer frekventa besökare. Den musikaliska underhållningen stod som vanligt ovannämnda Don Schaeffer och vår ”finländare i förskingringen” Henrikki Pantsar för [Fig. 2]. Apropå finländskt deltagande vid ICALEO-konferensen, vilket ju i vanliga fall är tämligen omfattande, kunde jag nu konstatera att vi för första gången var fler svenskar än finnar där – 7 mot 5!

Själva konferensen inleddes sedan på måndagen med att LIA:s [Laser Institute of America] president Youngfeng Lu [University of Nebraska-Lincoln] hälsade oss välkomna, varpå han presenterade de för konferensens genomförande så nödvändiga sponsorerna. Dessa var i år IPG, SPI och Trumpf på s.k. platinanivå, Coherent och JDSU var silversponsorer, och på bronsnivå bidrog Polar Onyx och Spectra Physics. Därefter lämnade Dr. Lu över ordet till konferensens huvudordföranden vilken liksom i fjol var Dr. Stefan Kaielerle [Fig. 3] från LaserZentrum Hannover. Han berättade att just San Diego var något speciellt för honom personligen eftersom det var här som han 1997 deltog i sin första ICALEO-konferens. Nytt för årets upplaga var att man erbjudit en s.k. Peer review av bidragen, vilken skett i form av en ”blind” genomläsning av 2-3 personer per paper. 40 stycken av dessa kommer sedan att sammanställas i en specialutgåva av magasinet ”LIA Today”. Innan själva plenar-sessionen inleddes tog Dr. Kaielerle tillfället i akt att presentera de personer som skulle fungera som ordföranden i de tre delkonferenserna. Dessa var för LMP [Laser Materials Processing] Silke Pflüger från DirectPhotonics, LMP [Laser Micro Processing] Henrikki Pantsar [Cencorp Corporation] och NMC [Nano Manufacturing Conference] Yongfeng Lu [University of Nebraska-Lincoln]

Huvudtalare under plenar-sessionen var professor Karsten Danzmann [Fig. 4] från Max Planck Institute for Gravitational Physics vid Leibniz-universitetet i Hannover, vilken talade under temat ”Listening to the Universe”. Han påtalade att universum är till 99,6% svart, varför det inte finns mycket att se men jämväl en hel del att lyssna på! Hur är då detta möjligt då det råder vakuum i universum och det

därmed inte skulle vara möjligt att transmitta ljudvågor. Jo, menade professor Danzmann, det förekommer vågrörelser i universum baserade på gravitation, där gravitationsspektrat sträcker sig från 10⁻¹⁰-10⁻¹⁶ Hz, och dessa rörelser åstadkommer små rumsliga störningar som kan detekteras med laserteknik. Således kan det röra sig om distorsioner på attometernivå [10⁻¹⁸ m] som ett resultat av en 1 km lång förlängning eller kompression i rymden, vilken kan uppstå vid sammansmältning av binära stjärnor, från supernovor och svarta hål, men också då stjärnor dör s.k. white dwarfs. För att identifiera sådana gravitationsvågor har man i Hannover-området byggt upp en

kilometerlång detektionsanläggning med namnet GEO600 [Fig. 5], vilket arbetar med interferometri och har en ”master”-laser på 800 mW och en ”slav”-laser på 14 W båda av typen Nd:YAG. Andra liknande jätteinstallationer är KAGRA i Japan, Virgo i Italien samt LIGO 1 och 2 i USA. Den intresserade kan hitta ytterligare information på www.geo600.org. Nästa steg kommer att bli att förpassa dessa kilometerlånga detektorer ut i rymden, vilket kommer att ske inom projektet eLISA [Fig. 6], vilket har en färdigtidpunkt 2034!. Här är det tänkt att tre satelliter skall bombardera varandra med laserljus från Nd:YAG-källor för att åstadkomma den eftersökta interferometrin. Som ett



Figur 1. Primes' effektmättningsverktyg PowerMonitor®, här med modellerna 48 och 100, klarar av att mäta effekttätheter upp till 15 kW/cm². Överst syns ”kopplingsschemat” för de ingående komponenterna.



Figur 2. Vid den alltid lika populära ”Welcome Celebration” stod traditionsenligt Don Schaeffer och Henrikki Pantsar (t.v.) för musikerhållningen, och i ”minglet” hittade vi bl.a. Reinhard Poprawe, Milan Brandt och Ingomar Kelbassa, samt tidigare ILT-kollegerna Stefan Kaielerle och Silke Pflüger.



Figur 3. LIA:s president Youngfeng Lu överräckte den obligatoriska plaketten till årets ICALEO-ordförande Stefan Kaielerle, varpå den senare tog över ledningen av plenar-sessionen där bl.a. Henrikki Pantsar (t.h.) tackades för ett exemplariskt genomfört planeringsarbete av konferensens LMP (Laser Micro Processing) -del.

första steg kommer man under 2015 att skjuta upp en första satellit, LISA Pathfinder [LPF], vilken skall kunna detektera förändringar i de närmast jorden liggande gravitationsfälten. Detta skall kunna ge upplysningar om förändringar i grundvatten och ismassor, men även varna för kommande jordbävningar och vulkanutbrott. Mer information kring detta går att finna på www.elisascience.org.

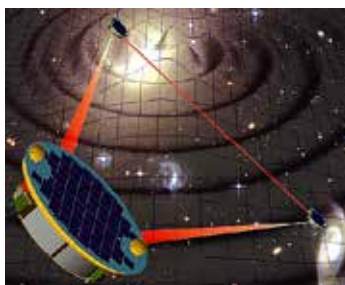
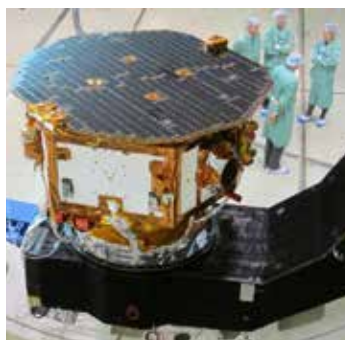
Att lasertekniken har mångfasetterade användningsområden kom att belysas på ett utmärkt sätt under plenar-sessionen där näste talare var Shaochen Chen från Institute of Engineering in Medicine vid University of California med sitt utvecklingslaboratorium förlagt till La Jolla i närheten av San Diego. Hans föredrag handlade om hur man med s.k. 3D-printning med femtosecond [10-15] -laserpulser och biomaterial, i form av hydrogeler som GelMA [Gelatin Methacrylate] eller HA [Hyaluronic Acid], kunde bygga upp eller reparera mänskliga organ [Fig. 7]. Oftast behövs det blott 80-100 mW för denna tvåprotons polymerisationsprocess. Vävnadens styvhet kan regleras genom att man varierar hydrogelens sammansättning, främst dess fettinnehåll, samt celluppbyggnadens topografi. Ett annat sätt att öka styvheten är att integrera små guldnanotuber i hydrogelen, vilket gör att muskelceller har en tendens att migrera till dessa styvare områden av cellvävnaden. Sådana konstgjorda organ används främst för att undersöka effekterna av nya läkemedel, men tekniken kan också användas för att t.ex. avgifta skadade leverorgan. Även experiment hade utförts med hjärtceller och här hade man kunnat konstatera att om dessa var slumpvis orienterade hade de en bättre kommunikationsförmåga med varandra jämfört med om de var placerade i regelbundna mönster. En bättre kommunikation mellan celler skulle kunna innebära mindre risker för hjärt- och kärlsjukdomar.



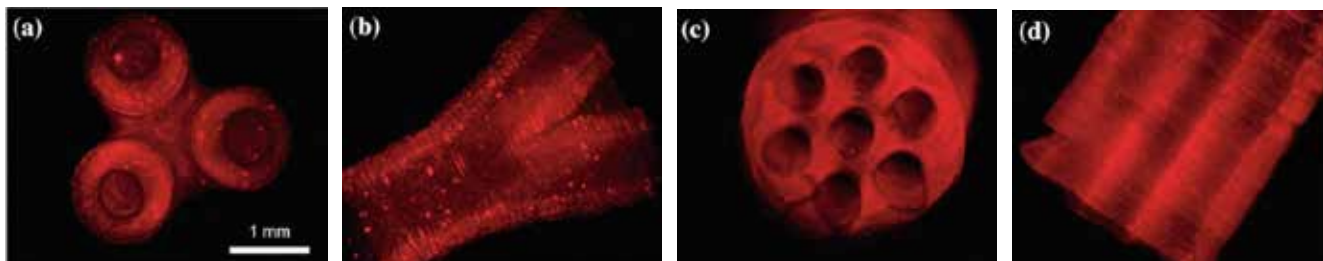
Figur 4.
Plenar-sessionens huvudtalare var professor Karsten Danzmann från Max Planck Institute for Gravitational Physics som berättade om hur man kan "lyssna" på universum med hjälp av laserinterferometri.



Figur 5.
T.v. ett flygfoto över den kilometerlånga detektionsanläggningen GEO600 strax utanför Hannover, och t.h. en interiörbild från densamma.



Figur 6.
LISA Pathfinder under tillverkning vid IABG (Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH i Ottobrunn, och t.h. visionen om hur tre satelliter i framtiden kan samverka och bombardera varandra med laserljus från Nd:YAG-källor för att åstadkomma den önskade interferometrin.



Figur 7.
Tredimensionellt, HA-baserat återskapande av nervbanor (a-b = grenformade, c-d = multihålrum) med hjälp av ett DMD (Digital Micromirror Device)-baserat, dynamiskt masksystem och en UV-laserkälla.

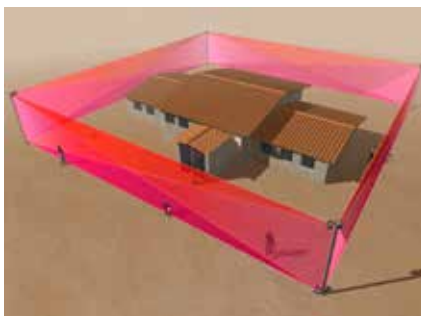
Plenar-sessionen avslutades med en bejublad presentation av Arty Makagon och Maclean Marvit från Intellectual Ventures i Bellevue, WA, vilken handlade om hur man kan döda malariaflugor med hjälp av laser. Enligt WHO [World Health Organization] hade man under föregående år registrerat 207 miljoner fall varav 627.000 ledde till döden, och då främst bland barn under 5 år. Smittan överförs av infekterade flugor då dessa suger blod från människor, vilket illustrerades i en högupplöst video där man såg hur malariaflugan med sitt snabbliknande organ borrar sig in i en ven. En vanligt förekommande missuppfattning är att flugorna suger blod för sin överlevnad. Malariaflugan lever på nektar, men behöver fett i människoblod för att mata sina ungar med! Det finns ett antal traditionella motmedel som skyddsnät, medicin och besprutning, men alla dessa har begränsade effekter och det var därför herrar Makagon och Marvit kommit fram med idén om ett s.k. fotoniskt stängsel. Man har tänkt sig att kring exempelvis ett djungelsjukhus sätta upp ett antal laser-”scannrar” vilka kan identifiera föremål genom deras vingfrekvens och storlek och därmed skilja ut malariaflugorna [Fig. 8]. Sedan detta väl är gjort avfyras en laserpuls som antingen skjuter sönder flugan med ns långa pulser, eller eldar upp den samma om pulslängden är så lång som 1 ms. Man redogjorde för en omfattande försöksmatris med variabler som fokalpunktsstorlek, energitäthet, våglängd och pulslängd. Man hade kunnat konstatera att ungefär 2 J/cm^2 krävs för att döda en malariafluga vilket man åstadkommer redan med 3 W från en grön laser med 532 nm våglängd medan det behövs ”hela” 11 W om man istället väljer en $1 \mu\text{m}$ -laser. Därför blev konklusionen att korta pulser och grönt ljus är effektivare än långa pulser och NIR [Near InfraRed], då långa pulser som ovan nämnts mest eldar upp flugan. Redogörelsen åtföljdes av några illustrativa videoklipp [Fig. 9] som tycktes roa merparten av auditoriet. Då malaria-problemet är akut i tredje världen har det också uppmärksamats av Microsofts grundare Bill Gates, varför hans projekt Global Good är en av finansierarna av detta något udda användningsområde av lasertekniken.

Fortsättningsvis kommer jag att redogöra för de ämnesområden som jag tror rörer störst intresse bland Lasergruppens medlemmar, och börjar med:

Nya laserkällor och optikkomponenter

Denna session handlade mest om diod-lasrar, och beträffande denna lasertyp har vi ju sett en ny aktör under senare år, nämligen LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH, vars kärnkompetens är strålformering. Vid ICALEO-konferensen var det Jens Meinschien som förde företagets talan och beskrev hur man bygger upp sina högeffektlasrar genom ett modulärt system av enheter på 650 W. Diodstavarna är passivt kylda och man kombinerar våglängderna 808, 915, 940, 980, 1.020 och 1.055 nm, vilket gör att den resulterande våglängden yppar sig väl för bearbetning av reflektiva material som aluminium och koppar. Genom en ”strålkompressor” och rumsig filtrering förbättras strålkvaliteten varför man kan erbjuda $24 \text{ mm}^2 \text{ mrad}$ med en numerisk apertur [N.A.] på 0,12 och stråldistribution via en $400 \mu\text{m}$ grov optisk fiber. Idag kan man tillhandhålla en modell med

2,5 kW uteffekt, men Herrn Meinschien sade sig ha en 4 kW-enhet med 35% WPE [Wall Plug Efficiency] på gång. Han redogjorde därpå för några skärförsök som hade utförts med företagets senaste produkt ”DioCut” [LIMOx-Fy-SLz-170] där rostfritt stål i tjocklekarna 4 och 6 mm hade skurits, och där skärhastigheten vid den senare låg kring $0,6 \text{ m/min}$ [Fig. 10]. Skärkantens råhet [Rz] låg under $30 \mu\text{m}$ vilket är bättre jämfört med vad en motsvarande fiberlaser kan åstadkomma! Eftersom en dylik kombination av många diodelement resulterar i en s.k. ”fast axis” med hög strålkvalitet och en ”slow axis” med betydligt sämre är det fördelaktigt att positionera fokalpunkten så att man har den bättre strålkvaliteten tvärs framföringsriktningen. Slutligen nämndes att en del av dessa skärförsök utförts inom ramen för det BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] -finansierade projektet Brillament.

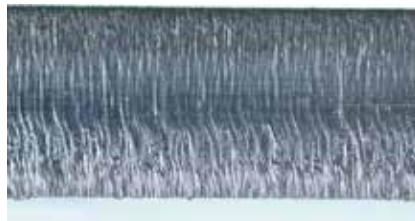
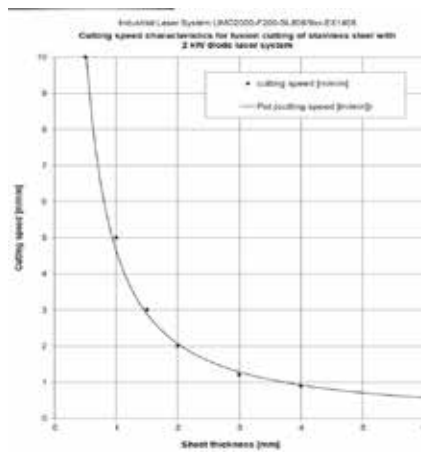


Figur 8.
T.v. principen för ett s.k. fotoniskt stängsel och t.h. prototypen till det verktyg som är tänkt att identifiera malariaflugan och därpå döda densamma med ett antal laserpulser.



Figur 9.
En bildsekvens från höghastighetsfilmning av hur en laserpuls med en energitäthet kring 2 J/cm^2 kan sönderdelar en malariafluga.

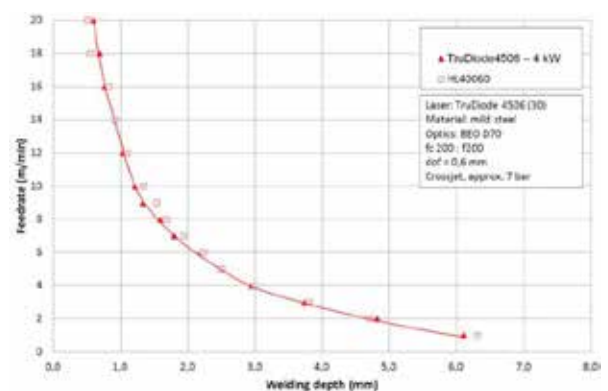
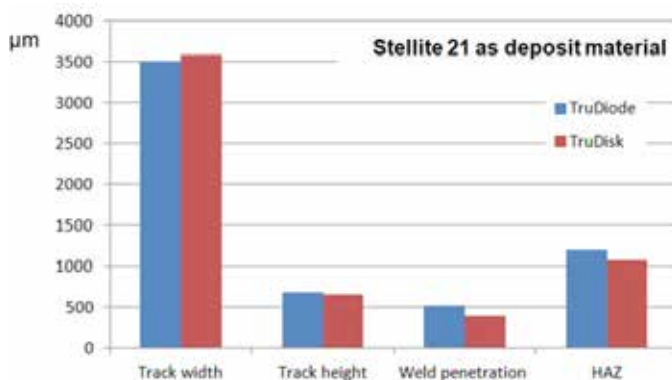
Trumpf har direktverkande diodlasrar i sitt produktprogram sedan 2009 i form av sin TruDiode-serie [Fig. 11], vilken här beskrivs av Matthias Koitzsch. Man kan idag erbjuda dessa med så höga effekter som 6-10 kW där strålkvaliteten ligger kring 50 μm *mrad. Modulerna byggs upp av sex diodstaplar där man kombinerar tre våglängder inom bandet 940-1.000 nm, och man kan garantera en effekstabilitet på $\pm 1\%$ tack vare aktiv effektkontroll. TruDiode 6006 skall uttolkas som 6 kW maximal effekt genom en 600 μm optisk fiber. Denna laserkälla hade använts vid lödförsök av överlappsfogar och flänsade fogar utförda i 1,5 mm tjockt stål. Tillsatsmaterialen var dels CuSi3 med 1,6 mm tråddiameter och CuSi2 med en diameter på 1,2 mm. Vid maximal effekt nådde man en lödhastighet på 6 m/min med en trådmatning på 7 m/min för flänsfogarna, medan värdena vid överlappsfogarna var 9 respektive 10 m/min. Även en del LMD [Laser Metal Deposition] -försök hade utförts med koboltbaserat Stellite21-pulver där spårvidd och -höjd samt penetration och HAZ [Heat Affected Zone] hade registrerats och jämförts med värdena för motsvarande process utförd med en diskaser [Fig. 12]. Lasereffekten var 3 kW och påläggningseffektiviteten uppgick till 14 g/min vid en processhastighet på 1 m/min. Flödesintensiteten för bärgas och skyddsgas var 4 respektive 10 l/min. Slutligen visades på några resultat från svetsförsök med en TruDiode 4506-laser där man med en fokallängd på 200 mm för både kollimerings- och fokuseringslinsen fick en 600 μm stor brännfläck. Slutsatsen var här att man för samma lasereffekt fick liksinta resultat för diodlasern jämfört med en HL4006D-diskaser [Fig. 12].



Figur 10. Ovan ses skärsnittet för ett 6 mm tjockt rostfritt stål skurit med cirka 0,6 m/min enligt diagrammet t.h. och utfört med LIMO:s "DioCut" 2,5 kW-enhet längst t.h.



Figur 11. En modul till en av Trumpfs diodlasrar i deras TruDiode-serie. Den är uppbyggd av sex diodstaplar där tre olika våglängder kombineras med en effekstabilitet på $\pm 1\%$.



Figur 12. Både vad det gäller påläggningseffektivitet med Stellite21-pulver och penetrationsdjup vid svetsning är en TruDiode4506-laser jämbördig med en HL4006D-diskaser.

Stefan Hengesback från ILT [Institut für Lasertechnik] i Aachen redogjorde för ett alternativ att generera höga effekter från en diodlaser. Vanligtvis byggs diodelementen samman så att de emitterar sin strålning i horisontalplanet utgående från halvledarelementens kanter. Ett annat byggnadssätt är s.k. VCSEL [Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser diodes] med en vertikal sammanbyggnad av dioderna och ljusutstrålningen från ytan [Fig. 13], en idé som första gången presenterades av professor Iga 1977. Dessa halvledarelement avger omkring 5 mW lasereffekt och byggs samman till stavar om 10 W, vilka består av 2.288 enskilda dioder. Dessa kombineras i sin tur till staplar på cirka 400 W, som sedan kombineras så att resultatet blir en laserkälla med en total uteffekt på 9,6 kW. Bland användningsområdena nämndes lasersintring, SLM [Selective Laser Melting] och utplacering av kolfibrer på ett polymert substrat. I det senare fallet hade man uppnått en processhastighet på 30 m/min vid 400 W effekt från en dylik vertikalemitterad diodlaser.

Förutom diodlasrar innehöll sessionen ett föredrag kring ns [1 ns = 10⁻⁹ sek] -pulsade fiberlasrar där gamle bekantingen Jack Gabzyl från SPI [Southampton Photonics Industry] visade på de breda användningsområdena för denna lasertyp då det gäller lasermärkning och -gravering, men även vid mikrobearbetning i form av skärning kan dessa lågeffektslasrar komma till användning [Tab. 3, Fig. 14]. Den gode Jack menade att ett koncept byggt på MOPA [Master Oscillator Power Amplifier] ger en större flexibilitet jämfört med en Q-switchad laser, samt att pulslängd och pulsenergi är de två huvudsakliga parametrar man har att arbeta med även om ibland också strålkvalitet kan vara av avgörande betydelse. SPI har idag ett produktsortiment som sträcker sig mellan 3 och 500 ns i pulslängd med en pulsfrekvens från 1 kHz upp till 1 MHz. Ett intressant applikationsexempel handlade om svartmärkning på rostfritt stål, där man kunde välja mellan att få en mattare karaktär med 55 ns långa pulser och 70 kHz, eller en mer distinkt märkning genom att använda 10 ns-pulser vid 350 kHz.

Fortsättning i LaserNytt nr 2



Figur 13. Två olika angreppssätt då det gäller att kombinera diodelement till diodlasrar med multi-kW-effekt; Överst det traditionella där laserstrålningen emitteras från halvledarelementens kanter och underst ett s.k. VCSEL [Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser diodes]-system.

Lasereffekt [medel, W]	Aluminium AA5251 tjocklek 1,0 mm		Mässing CZ108 tjocklek 0,5 mm	
	Gravering [mm ³ /s]	Skärning [mm/s]	Gravering [mm ³ /s]	Skärning [mm/s]
20	14	60	8	2
30	23	164	12	4,5
50	38	315	20	10
70	47	521	28	17,5

Figur 14. Exempel på en pulsad fiberlasers diversifierade användningsområden; T.v. gravering i rostfritt stål med 70 W och M2 < 1,6 och t.h. mikrobearbetning av 1 mm tjockt silver.

Charles H. Townes, laserpionjär och nobelpristagare har avlidit

HANS ENGSTRÖM, LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

Charles H. Townes, den visionära fysikern vars forskning beredde vägen för utvecklingen av lasern, avled den 27 januari 2015 i Oakland, Kalifornien.

Redan 1964 så fick Townes Nobelpriset tillsammans med Nikolai G. Basov och Alexandr M. Prokhorov för sina arbeten om MASERS - Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Den officiella motiveringen till Nobelpriset var:

for fundamental work in the field of quantum electronics, which has led to the construction of oscillators and amplifiers based on the maser-laser principle.

Men det var redan 1951 som Townes fick idén till masern, som han fick patenterad 1953 och han kunde i början av 1954 demonstrera masern i verkligheten. Arbetet fortsatte och 1958 kunde Townes tillsammans med sin svåger Arthur L. Schawlow teoretiskt visa att masers kunde fås att operera i den optiska och infraröda regionen och föreslog hur detta kunde realiseras i vissa system. Detta arbete presenterades i deras gemensamma publikation "Infrared and Optical Masers". De skissade också en ritning på en laser som de kallade "optisk maser" och de fick patent på detta 1959. En examinerad student R. Gordon Gould kom på hur den kunde byggas och kallade den för LASER – "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation". Hans patentansökan för detta avlogs emellertid, och det skulle dröja till 1977, efter många långa år av patentstrider mot Townes-Schawlow patentet, som han vann i rätten. Men det blev Theodore H. Mainman som arbetade vid Hughes Aircraft i Kalifornien, som kunde bygga de första fungerade lasern år 1960.

Charles H. Townes föddes i Greenville, South Carolina den 28 juli 1915. Han var en brilliant student som fokuserade på fysik och fick sin Masters examen 1936 vid Duke University och tog sedan en doktors-examen vid California Institute of Technology 1939 med en avhandling om isotop separation och atomspinn.

Townes fick en brilliant akademisk karriär och arbetade vid flera välkända amerikanska universitet och forskningsinstitut i mer än sex årtionden. Dr. Townes utvecklade radarbombsystem och navigationsutrustning under andra världskriget; var rådgivare åt presidenter och regeringskommittéer under månlandningsprogrammet; verifierade Einsteins kosmiska teorier; upptäckte ammoniakmolekyler i Vintergatan och skapade atomklockan som kunde mäta tid med en avvikelse av en sekund på 300 år. Han rörde sig lätt mellan klassrum och regeringskommittéer;

arbetade vid Bell Laboratories i nästan ett årtionde när det var världens mest innovativa forskningsorganisation; vid Columbia University i mer än 20 år; vid Institute of Defence Analyses, ett forskningscentrum som var rådgivare åt Pentagon.

Han avslutade sitt arbetsliv vid University of California där han pensionerades 1986.

Vid sidan av mer än 125 vetenskapliga artiklar skrev han "Microwave Spectroscopy" 1955 tillsammans med Dr. Schawlow och två memoarböcker; "Making Waves" (1995) och "How Laser Happened: Adventures of a Scientist" (2002).

President Reagan tilldelade honom "National Medal of Science" 1992 och år 2005 fick han "Templeton Prize" för bidrag till "spirituell förståelse". Han har också 27 hedersutnämnelser från olika universitet.

De Townes såg vetenskap och religion som kompatibla och sa att det var liten skillnad mellan en vetenskaplig vision (uppenbarelse) som hans maseridé och en religiös sådan. I en publikation 1966 sade han:

"Understanding the order of the universe and understanding the purpose in the universe are not identical, but they are not far apart".

Charles H. Townes blev 99 år.



Mera information om Charles H. Townes finns bl.a. på:

http://www.washingtonpost.com/national/health-science/charles-h-townes-nobel-laureate-and-laser-pioneer-dies-at-99/2015/01/28/73e65e04-a69d-11e4-a7c2-03d37af98440_story.html

Nobelprisceremnoi 1964:

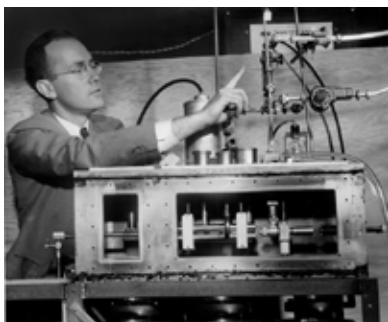
http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1964/

Källor:

New York Times, Jan 29, 2015, New York Edition

Washington Post, Jan 28, 2015

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1964/townes-bio.html



Charles H. Townes i laboratoriet 1955.



Charles H. Townes fick en staty i sin hemstad Greenville. Här tillsammans med sin maka Frances 2006.



Dr Townes mottar Tempelton Price 2005.

FORTSÄTTNING FRÅN SID 1 TANKAR FRÅN STYRELSEN

Några "Volvo-klassiker"; Taklasersvetsning av Volvo 850-modellen i karosfabriken i Gent (t.v.) och företagets första lasercell i Pilot Plant i Göteborg (t.h.) utrustad med en 1 kW RofinSinar-laser för skärning av prototypdetaljer.

Sedan har det som det heter "rullat på" och idag är lasertekniken väl etablerad i såväl svensk som utländsk verkstadsindustri, och kanske snart var mans egendom om man får tro förespråkarna för tekniken med 3D-printning. 1998 valdes jag till ordförande i dåvarande Sveriges Verkstäders Lasergrupp, en förtroendepost som jag fått behålla sedan dess. I den rollen har jag fått förmånen att träffa många duktiga och innovativa laseringenjörer och

-operatörer över hela Sverige och också kunnat utveckla ett kontaktnät med våra nordiska grannländer. Det har varit synnerligen givande på både det tekniska och sociala planet att få träffa er alla!

Framtiden tycks ju allmänt blåsa i medvind för lasertekniken med en kraftig återhämtning då det gäller industriella satsningar efter de ekonomiska svårigheter som rädde för några år sedan. Detta gäller inte minst för "mitt" företag Volvo Personvagnar, som 2014 uppvisade ett "all-time high" i antalet sålda bilar med drygt 460.000 enheter. Nu genomför vi en omfattande etablering i Kina, som numera är vår största marknad, och där fabriken i Chengdu redan producerar förlänga-

da S60-bilar och XC60-modellen. Även i Göteborg har vi fått en ny karosserifabrik i Torslanda, kallad TA3, där vi just håller på att "rampa upp" produktionen av vårt senaste flaggskepp, nya Volvo XC90.

Det finns mycket kring mina 30 år på Volvo som jag skulle vilja förmedla till er medlemmar, men utrymmet räcker just nu inte till – kanske kan det bli till en bok i framtiden? Nu pockar nya utmaningar på uppmärksamheten i form av precisions-skärning av varmformade komponenter och fjärrlasersvetsning av sidodörrar. Som laserentusiast kan jag se framtiden an med tillförsikt, men samtidigt inse svårigheterna med hur jag skall kunna låta bli "att ha kvar fingrarna i syltburken"?

MED VÄNLIG HÄLSNING JOHNNY LARSSON



Jetro Pocorni ICALEO-pristagare

HANS ENGSTRÖM,
LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

Jetro Pocorni, doktorand vid Luleå tekniska universitet, fick vid ICALEO-konferensen 2014 priset för näst bästa publikation och presentation bland forskarstuderande i tävlingen "ICALEO 2014 Student Paper Award Contest". Titeln på publikationen är: "Differences in Cutting Efficiency Between CO₂ and Fiber Lasers when Cutting Mild and Stainless Steels".

Jetro har i detta arbete undersökt inverkan av olika material, materialtjocklek, laservåglängd och lasereffekt på effektiviteten i laserskärprocessen vid skärning med moderna laserskärmaskiner (Bystronic). Effektiviteten vid skärningen är definierad i en grundläggande term: arenan av snittytan som skapas per Joule tillförd laserenergi. I publikationen finns också en diskussion om både teoretiska- och praktiska frågeställningar som påverkar skäreffektiviteten.

Prisutdelare var Dr-Ing Stefan Kaierle.



Jetro Pocorni, Luleå tekniska universitet mottar andra pris i "ICALEO 2014 Student Paper Award Contest" av Dr-Ing Stefan Kaierle.

Mera information om arbetet kan du få genom
Jetro Pocorni, jetro.pocorni@ltu.se

KALENDARIUM 2015

JUNI

16

Seminarium, Konstruera för laser, Peranova Lasersystem AB, Mölndal

Per Westerhult

AUGUSTI

25-27

NOLAMP 15 – den nordiska laserkonferensen, Lappeenranta Univ. of Technology, Lappeenranta
Telefon. +358 40 505 4079, e-mail: nolamp@lut.fi

OKTOBER

1

LaserNytt 2-2015

Per Westerhult

8

Laserdag II, Din Maskin, Värnamo

Per Westerhult

NOVEMBER

19

Workshop Lasersvetsning, Högskolan Väst, Trollhättan

Per Westerhult

DECEMBER

11

LaserNytt 3-2015

Per Westerhult



LASER
nytt