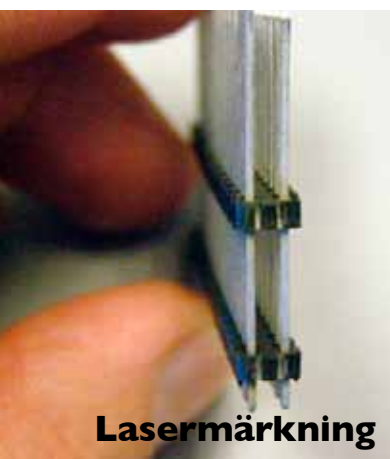
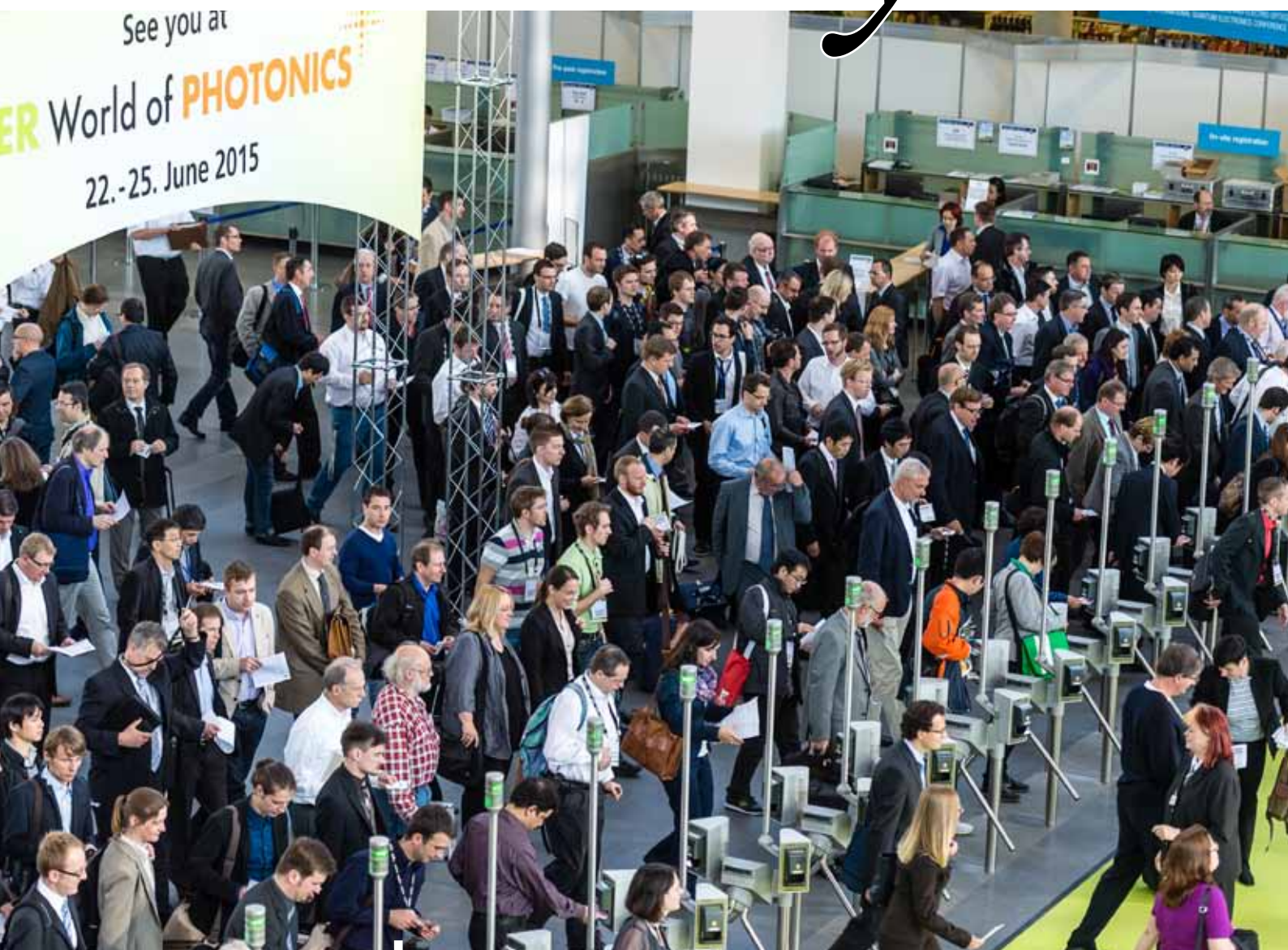


# LASER

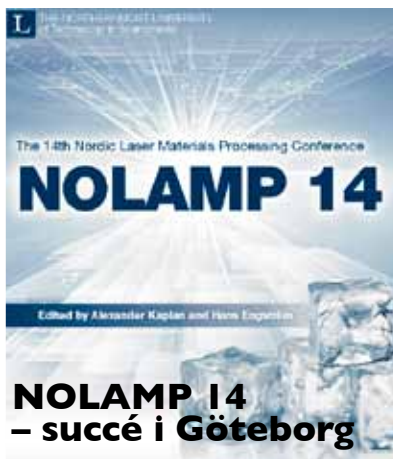
3-2013

Lösnummerpris 85 kr

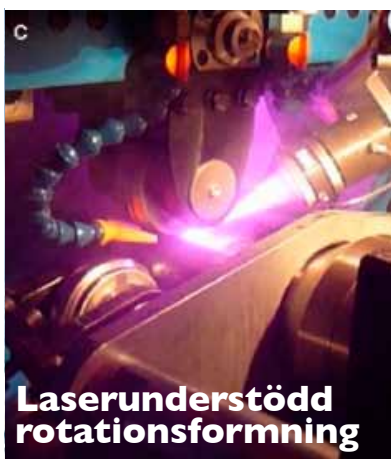
# nytt



**Lasermärkning**



**NOLAMP 14  
– succé i Göteborg**



**Laserunderstödd  
rotationsformning**



**Höghastighets-  
påläggning hos ILT**



#### Upptäck laserns alla fördelar:

- stor designfrihet
- hög processhastighet
- låg värmeförlust
- hög produktivitet
- mindre efterarbete
- hög flexibilitet
- exakta slutmått för dina plåtdetaljer
- beröringsfri process

#### Många användningsområden:

- Svetsning
- Lödning
- Skärning
- Påsvetsning
- Härdning
- Märkning

## LASER LÖNAR SIG ALLTID I LÄNGDEN

Ingen process eller produktion är för stor eller för liten för laser.

I mer än 25 år har vi på Permanova levererat nyckelfärdiga laserrobot-system till plåtanvändande industri. Varje system är optimalt utformat för att göra kundens produktion mer effektiv och lönsam. Vårt mål är att ständigt vara förstahandsvalet för små och stora företag som söker marknads absolut bästa laserlösningar. Till vår hjälp har vi fler laserexperter än de flesta av våra kolleger i branschen. Som kund får du tillgång till deras samlade erfarenhet och djupa kunskap om tekniken.

Med Permanova som helhetsleverantör inom laserlösningar har du allt på ett ställe. Från konstruktion till installation och service.

Är du nyfiken på att få veta hur våra laserlösningar kan lyfta din produktion till nya höjder? Kontakta oss på Permanova!



[www.permanova.se](http://www.permanova.se)  
Tel 031-706 19 80



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

#### Redaktör

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

#### Redaktionellt arbete och kansli

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

#### Ansvarig utgivare

Per Westerhult

#### Lasernytt på Internet

www.lasergruppen.eu

Omslagsbild: Lasermässan Laser World of Photonics i München

#### Produktion: Tagg, Stockholm

www.tagg.se  
Tryck: Modintryckoffset, Stockholm  
www.modintryckoffset.se

Tankar från styrelsen	1
<b>EALA 2013 FORTSÄTTNING</b>	
Franska motpoler vid årets EALA-konferens	2
<b>DEL 16 / SAMTAL KRING LASERTRENDER</b>	
Diodlaserns framtid då det gäller lasersvetsning av aluminiumkomponenter	9
Laser i det mindre företaget	13
<b>PRESSRELEASE</b>	
<b>LINACUT</b>	14
<b>NOLAMP 14 I GÖTEBORG</b>	
Stort deltagande från industrin gav intressant konferens	15
<b>66TH IIV ANNUAL ASSEMBLY I ESSEN</b>	
En intressant och lärorik sammankomst med svetsexpertis från hela världen	19
<b>PRESSRELEASE</b>	
Purus Stainless	23
Fråga Laserdoktorn Bo Williamsson <b>NYTT</b>	24
<b>MIKROBEARBETNING MED LASER</b>	
Lasermärkning av extruderprofiler tillverkade i PVC	25
<b>LIM 2013</b>	
Rekordtidig Oktober-Fest för alla laserentusiaster vid World of Photonics och Lasers in Manufacturing	27
<b>PRESSRELEASE</b>	
Permanova	46
<b>LAMP 2013</b>	
Laserbearbetning på såväl makro- som mikronivå avhandlades vid den 6:e LAMP-konferensen	47

## TANKAR FRÅN STYRELSEN

# Laserteknologi i ständig utveckling

Efter 25 år som jag har jobbat med användning av laser i tillverkningsindustrin känns det fortfarande väldigt spännande och intressant. Mycket har hänt under de 25 åren.

1988 var CO<sub>2</sub>-lasern med en effekt på 1000 Watt den kraftigaste lasern för skärning, 6000 Watt var den kraftigaste lasern som TRUMPF kunde erbjuda.

Idag finns CO<sub>2</sub>-skärlaser med hög strålkvalitet och en effekt på 8000 Watt, skärning av rostfritt stål upp till 50 mm är möjligt med laser. Samtidigt som laserskärning har blivit en riktig framgångssaga inom nordiskt verkstadsindustri har även lasersvetsning utvecklats kontinuerligt: idag svetsas komponenter för lastvagnar med ett svetsdjup på 15 mm

med CO<sub>2</sub>-laser på 15 kW inom svensk verkstadsindustri.

Under de senaste åren har nya laserteknologier som fiber- och disklasers framgångsrikt introducerats och är på stark frammarsch inom både skärning och lasersvetsning.

En disklaserinstallation med 2 gånger 16 kW lasereffekt är idag världens kraftigaste svetsapplikation.

Mycket har hänt och kommer även fortsättningsvis att hända. Fastkroppslasrar kommer att ta en allt större andel av laserapplikationerna, CO<sub>2</sub>-laserteknologin kommer att finna nya användningsområden som till exempel inom tillverkning av microchip där just nu installeras otroligt kraftiga laserkällor med flera tiotals kW lasereffekt.



När jag själv började som Laser Product Manager hade jag 4 laserkällor och 2 maskiner i mitt program, idag är det 6 olika produktfamiljer, i varje familj finns ett flertal olika effektområden.

Maskiner är det ett tiotal att ta hand om.

Även fortsättningsvis kommer laserteknologin vidareutvecklas; nya lasrar, maskiner, processer och användningsområden kommer att finnas.

Långtråkigt kommer vi inte att ha!

*Hubert Wilbs, Trumpf Maskin AB*

# Franska motpoler vid årets EALA-konferens



Johnny K Larsson, Volvo Cars

Den 18-20 februari gick den traditionsenliga EALA [European Automotive Laser Applications] -konferensen av stapeln i Bad Nauheim. Själva konferensen leddes av det numera väletablerade teamet Mattias Graudenz från Audi AG och Frau Andrea Huber från arrangerande ACI [Automotive Circle International], men sedan några år tillbaka är EALA utökad med en tredje dag där noviser inom laserområdet erbjuds en kvalificerad introduktion i form av en halvdagarskurs. Denna ges på såväl tyska som engelska modersmålet och hölls i år av Dr. Jens Standfu från IWS [Institut für Werkstoff- und Strahltechnik, Dresden] och min egen kollega från Volvo Cars, Niclas Palmquist. Konferensen var indelad i fem temablock:

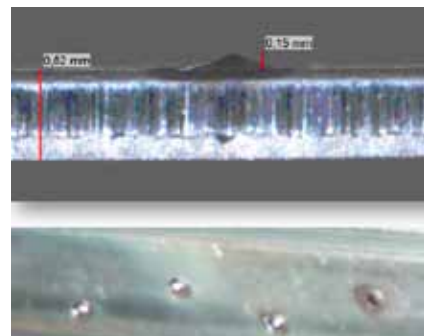
- Nya material med fokus på plaster
- Kvalitetssäkringsstrategier vid laserinförande i karosstillverkning
- Senaste utveckling av laserkällor
- Laserapplikationer inom andra komponentområden än karosseri
- Nya användningsområden för lasertekniken

Min kollega från "Ford-tiden", Jürgen Hover, är numera FoEs [Ford of Europe] representant i EALAs styrgrupp, men utöver detta höll han i år ett uppskattat föredrag där han berättade om Ford-koncernens nuvarande laserapplikationer och framtida idéer om hur man tänker använda lasertekniken i kommande produkter, se del I i Lasrnytt 2/2013. Jürgen sammanfattade sina slutsatser kring "scanner"-svetsningen på följande sätt:



Figur 17.

Gestamp förfogar över fyra helautomatiska produktionslinjer för fjärlasersvetsning av bildörrar. Man sätter ungefär 150 svetsstyg per dörr, vilket motsvaras av 3 m svetslängd, och svetsoperationen föregås av den numera allmänt vedertagna "noppningsprocessen".



Figur 18.

Avancerad fixering används vid "scanner"-svetsning av hydroformade A- och B-stolpar där tekniken med fjärlasersvetsning nästan är ett måste.



- RLW [Remote Laser Welding] är en lämplig svetsmetod för profilintensiva karosstrukturer
- Svetsarnas storlek, form och placering måste väljas med hänsyn till den aktuella applikationen
- Svetsarnas form och storlek kan "skräddarsys" med tanke på aktuella lastfall
- Fortsatta RLW-försök kommer att utföras på nya material- och ytbeläggningsskombinationer
- Ytterligare nya svetsmönster, förutom C- och S-formade svetsar, kommer att utvärderas.

Förutom Jürgen Hovers presentation var RLW som vanligt ett uppmärksammat ämnesområde och flera andra presentationer vid årets EALA adresserade denna teknik. Således kunde vi lyssna till Michel Garcia som berättade vad som pågår hos Gestamp-koncernen beträffande fjärlasersvetsning. Den första cellen installerades 2007 i Spanien och bestod av en 4 kW disk laser [TruDisc] från Trumpf och en KUKA-robot med ett PFO [Programmable Focus Optics]-"scanner"-verktyg. I denna producerade man 150.000 bakre

stötffångare till Seats Altea-modell fram till år 2010, och sedan dess har man haft olika uppdrag från Daimler, Ford, PSA och Renault.

Just nu projekterar man för ytterligare 12 "remote"-celler vilka är planerade att tas i drift under 2013. Bland de industriella applikationer man har i produktion idag nämndes dörrar samt A- och B-stolpar. För dörrsammansättning har man fyra helautomatiserade produktionslinjer med "remote"-svetsning där 5 olika komponenter tillverkas vilka tillsammans representerar ungefär 15 m lasersvets [Fig. 17]. Takttiden ligger under 100 sekunder och varje dörr innehåller cirka 150 laserstygn eller 3 m svets. Man använder sig av den välkända tekniken med att i förväg skapa noppor med hjälp av laserpulser, något som säkrar att man har en kontrollerad spalt för zinkavgasning för dessa överlappssvetsar.

I två andra robotiserade celler svetsas kallformade plåt detaljer till hydroformade A- och B-stolpar [Fig. 18]. Samtliga detaljer är tillverkade i DP1000-material, och cykeltiden för att utföra 30 svetsar [~700 mm svetslängd] ligger under minuten. Señor Garcia påpekade att just vid svetsning av hydroformade komponenter med enkelsidig access är fjärrlasersvetsning den ultimata lösningen. För processövervakning använder man företaget Plasmos koncept, men med tekniken integrerad i PFO-verktyget. För en annan A-stolpeapplikation kopplas en pressdetalj i DX56-material till en presshårdad dito med s.k. USIBOR®-yta [en AlSi-legering med cirka 40µm tjocklek] med hjälp av "remote"-teknik och 24 svetsstygn om inalles 720 mm [Fig. 19]. Produktionsvolymen ligger kring 200.000 enheter/år och en annan fördel med RLW som lyftes fram var att man nu kunde arbeta med flänsbredder under 10 mm, att jämföras med de 18 mm som skulle krävas om man istället valt motståndspunktsvetsning för sammansättningen.

Just nu håller man på att titta på ett koncept för att "scanner"-svetsa en instrumentpanelbärare där man räknar med att producera 220.000 enheter/år i en enda produktionslinje,

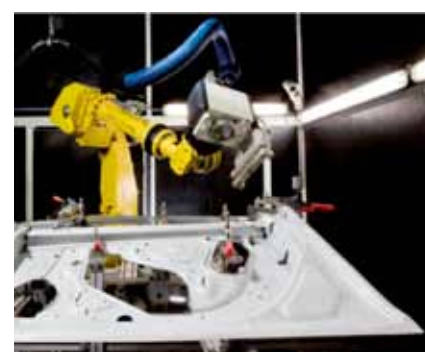


Figur 19.

Med fjärrlasersvetsning blir det möjligt att reducera flänsbredden för denna vindrutestolpe där ett DX56-material svetsas till en presshårdad detalj med 1500 MPa brottgräns och en AlSi-beläggning.

medan man om man valt smältsvetsning [GMAW = Gas Metal Arc Welding] endast skulle hunnit tillverka 150.000 stycken under ett år. Dessutom påstod señor Garcia att man genom att använda fjärrlasertekniken kunde spara 15% i tillverkningskostnad för de 4 meter svets som krävs för varje instrumentpanelbärare.

Blackbird Robotersysteme GmbH har ju profilerat sig inom fjärrlasertekniken på senare år, och nu presenterade dess representant Dr. Wolfgang Vogel resultaten från ett samarbete med Scanlab AG, Adam Opel AG och TKSE [ThyssenKrupp System Engineering GmbH]. Ett nytt "scanner"-verktyg har utvecklats av Scanlab AG som man valt att kalla IntelliWeld. Arbetsvolymen är 370×370×200 mm, men om man endast väljer att arbeta tvådimensionellt kan verktyget täcka en area på 450×450 mm. Positioneringsnoggrannheten av fokuspunkten är mindre än 10µm och påstods kunna hållas stabil över en längre tid tack vare en inbyggd sensor med automatisk självkalibrering. Sensorer används också för övervakning av galvospeglarnas, kollimeringslinsen och kylvattnets temperatur. Även de dubbla skyddsglasen är försedda med sensorer för att kontrollera kontamineringen av dessa, och för att ytterligare förhindra nedsmutsning av skyddsglasen finns en justerbar luftkniv. Verktyget kan förses med processövervakning och är flexibelt för integration av system från Lessmüller, Plasmo, Precitec eller Promotec. Inom utvecklingsprojektets ram



Figur 20.

I samarbete med Blackbird Robotersysteme GmbH har Scanlab utvecklat ett nytt "scanner"-verktyg kallat IntelliWeld, vilket kan täcka en arbetsvolym på 370×370×200 mm. Det hade utprovats vid svetsning av en sidodörrstruktur med verktyget monterat på en Fanuc-robot och där man använt sig av Blackbirds RCU-styrssystem.

har man även tagit fram två system för fogsökning; Scanlabs SCANalign och Blackbirds SVS [Scanner Vision System] vilka båda bygger på kamerateknik med extern belysning.

"Scanner"-verktyget hade utprovats i en pilotanläggning som förutom verktyget Scanlab IntelliWeld 30 FC bestod av en disk laser från Trumpf med 5,3 kW maximal effekt, en Fanuc-robot [R20001B] och Blackbirds styrssystem RCU [Fig. 20]. Testapplikationen bestod av en sidodörr där innerstrukturen svetsades till en dörrbåge och en midjelst med 89 stycken C-, S- eller I-formade lasersvetsar vilka tillsammans representerar en längd på 2.400 mm, och svets hastigheten uppgick till 70 mm/s. Materialet utgjordes av mjuk, zinkbelagd stålplåt och därför krävs

en förberedande noppningsprocess innan man utför själva svetsningen. Noppningsprocessen ligger på 20 sekunder, svetsningen på 35 sekunder och den totala cykeltiden hamnar då på cirka 70 sekunder. Avslutningsvis hade man gjort en intressant studie av ett komplett produktionsupplägg för dörrtillverkning där cykeltidskravet sattes till 48 sekunder. För att uppfylla detta krävdes en produktionsyta på 310 m<sup>2</sup> för ett konventionellt punktsvetsnings-förfarande medan en lösning baserad på "remote"-tekniken endast behövde 260 m<sup>2</sup> under de nämnda förutsättningarna.

Danielle Bassan heter numera Fiats representant i EALAs styrgrupp, och hans föredrag handlade om laserskärning av karosser sent i produktionsflödet, kanske rentav i slutmonteringsfabriken. Huvudsyftena för detta var två; dels varianthålsskärning och dels precisionshåltagning på kaross komplett för att eliminera komplexa sammansättningstoleranser. Varianthålsskärning innebär en flexiblare produktion i så motto att flera karossvarianter kan hanteras utan att man behöver unika och dyra klipp- och stansverktyg för de olika pressdetaljerna, samtidigt som man kan skräddarsy bilens utrustningsnivå för att möta de enskilda kundkraven. En typisk laserskärningsutrustning består av en laserkälla, en industrirobot, ett skärverktyg, styrsystem, sensorer för avståndshållning samt i vissa fall hanteringsutrustning, kopplad till

någon form av vakuum-system, för att ta hand om utskurna skrotbitar. För skäroperationer i tunnplåt behövs sällan mer än 1 kW lasereffekt. Robotens bärkapacitet behöver ligga mellan 10-20 kg för att med precision kunna hantera skärverktyget vilket väger cirka 10 kg. Det senare är ofta kombinerat med ett tvåaxligt skärbord som täcker ett arbetsområde på 50x50 mm utan att robotaxlarna behöver röras. Detta gör att hålen kan skäras med en noggrannhet på 0,05 mm.

Typiska varianthålsskärningar utgör montering för radioantenn, registreringsskyltar och trimlistor för s.k. "Trekker"-modeller, vilket väl snarast skulle kunna översättas med Volvos XC [Cross Country] -modeller. Exempel på håltagning för att erhålla bättre toleranskedjor går att hitta i karossens fjädertorn för montering av stötdämpare, samt för montering av frontmoduler och bakljusramper. Sig-

nor Bassan visade på en virtuell skär-cell som bestod av fyra laserkällor och lika många robotar, två system för skrotbitshantering samt ett antal "vision"-system för processövervakning och kvalitetskontroll [Fig. 21]. Här hade man möjlighet att simulera olika former av variantshåls- och precisionsskärning med laser för att tidsmässigt utnyttja en skär-cell på bästa sätt. Oftast är det precisionsskärningen som styr cykeltiden [60-90 JPH = Jobs Per Hour] eftersom denna utförs på samtliga karosser, medan man vid varianthålsskärning inte kan nå en 100%-ig beläggning av cellen.

Skrotbitshanteringen exemplifierades med håltagning för trimlistor och "skärmbreddare" till en "Trekker"-modell. Inalles skär man 27 stycken hål med 8 mm diameter per sida, 22 stycken för "skärmbreddarna" och 5 stycken för en tröskeltäckning. Varje hål tar cirka 2 sekunder att skära och skrotbitarna



Figur 21.

I en virtuell laserskär-cell kan Fiat simulera olika former av varianthåls- och precisionsskärning för att på så sätt kunna fastlägga ett optimalt tidsutnyttjande av en projekterad skär-cell.



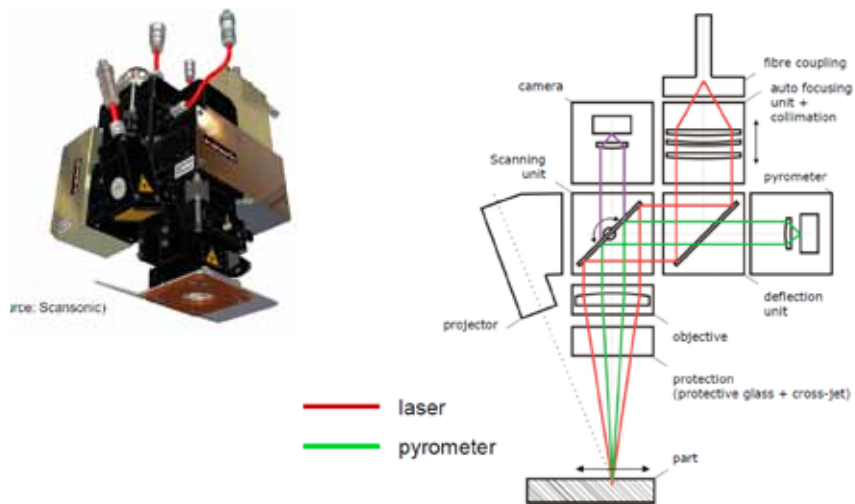
Figur 22.

Typiska drivlinekomponenter vilka laserhärds inom Daimler-koncernen, och där just kamaxlarna till A- och B-Klasse-modellernas nya motor med CAMTRONIC variabel ventilöppning adresserades under Christian Elsners presentation.

sugs bort med hjälp av en anordning integrerad i själva skärverktyget. Att skrotbiten verkligen tagits om hand registreras med hjälp av en kapacitiv sensor. Styrkan med denna lösning är att skrotbiten inte kan kilas fast i hålet, men dock finns möjligheten att den kan tappas in i karossen och i så fall måste denna tas ur flödet så att man på manuell väg kan avlägsna skrotbiten. En annan nackdel med vakuum-lösningen är att skärhuvudet blir klumpigt, något som kan sätta begränsningar på åtkomsten.

Då det gäller laserapplikationer "utanför" karossen brukar vi ju traditionellt bli väl uppdaterade här om av Herrn Christian Elsner från Daimler AG, och så var fallet också vid årets EALA-konferens. Denna gång var temat för hans presentation laserhårdning av motorkomponenter, och han inledde med att ge några tidiga exempel på komponenter som började laserhårdas med hjälp av CO<sub>2</sub>-lasrar under 1980- och 1990-talen såsom bränslepumpar, ventiler, cylinderfoder, kamaxlar och kolringar [Fig. 22]. Därefter gick han över till att beskriva själva principen för laserhårdning, där man defokuserar laserstrålen till en oftast linjeformig fokuspunkt alternativt bearbetar en större yta med hjälp av ett "scanner"-verktyg, alltmedan processens temperaturförlopp övervakas via en pyrometer eller värmekamera.

Huvuddelen av Herrn Elsners presentation handlade om ett praktikfall med A- och B-Klasse-modellernas nya 1,6 liters motor som levereras med en s.k. "CAMTRONIC variabel ventilöppning", som bygger på en speciellt utformad kamaxel som gör att ventilerna kan manipuleras till två olika öppningslägen, vilket resulterar i en minskad bränsleförbrukning. Laserhårdningen av denna kamaxel erbjöd ett antal utmaningar såsom att undvika distorsioner då väggtjockleken är förhållandevis tunn och att anpassa processparametrarna då man rör sig mellan de två kammarna, vilka har olika höjd och därför riskerar man att få en anvisningsverkan just i övergången mellan dessa. En annan faktor att beakta



Figur 23.

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

var kammarnas skarpa kanter, vilket begränsar värmeledningsförmågan och man riskerar att få en lokal uppsmältning om inte processparametrarna är korrekt inställda. Lägg därtill krav på minimal efterbearbetning och begränsade cykeltider så förstår man att laserexperterna i Mercedes Benz' Berlin-fabrik, där CAMTRONICens kamaxlar tillverkas, fick en hel del att tänka på. Samtidigt utvärderade man andra tekniker, såsom induktiv hårdning, sätthårdning och hårdning med hjälp av elektronstråle, men samtliga överglänstes av lasertekniken då denna resulterar i lägre värmeförlust, inte kräver vakuum-kammare och har låg energiförbrukning. Dessutom kan hårdning med laser göras mycket precis då det gäller härddjup och -bredd och lämpar sig särskilt väl vid hårdning av skarpa hörn och kanter. Laserhårdning erbjuder också en större flexibilitet jämfört med övriga metoder, samtidigt som priserna för nya laserkällor har börjat gå ner.

Det visade sig vara nödvändigt att ha en mycket precis temperaturkontroll vid laserhårdning av denna kamaxels komplexa geometri, varför konventionell pyrometer- eller kameraövervakning inte var tillräcklig. Daimler-kollegorna önskade ha en mycket snabb respons och kontroll av energitätheten då laserstrålen "scan-

nades" över objektet, samtidigt som man hela tiden ville utnyttja maximalt tillgänglig lasereffekt för att erhålla snabba processförlopp och korta takttider. Tillsammans med Scansonic utvecklade man därför ett unikt verktyg, baserat på detta företags "Scapacs"-serie, där en endimensionell "scanner"-rörelse av en galvospegel ger en linjeformad brännfläck på arbetsstycket. Processen övervakas av en integrerad kameraenhet tillsammans med en pyrometer till vilken informationen sker koaxiellt med laserstrålen. Vidare är verktyget försedd med vattenkyllning, "auto-fokus" samt en projicerad, linjeformig ljusfläck som hjälper till att styra laserstrålen i vertikalled [Fig. 23].

Den patenterade principen för hur verktyget fungerar vid laserhårdning framgår av Figur 24, där man "scannar" laserstrålen med näst intill maximal effekt (1). Vid (2) detekterar pyrometern en topp i temperatursignalen, vilket gör att "scanning"-hastigheten (3) justeras då laserstrålen nästa gång rör sig över kamaxeln, vilket gör att temperaturen (4) nu anpassats till ett optimalt värde. Det är först då man inte enbart med en hastighetsanpassning kan justera processen, som verktyget börjar reglera lasereffekten (5).

När man fullbordar ett "hårdningsvarv" är det ofrånkomligt att

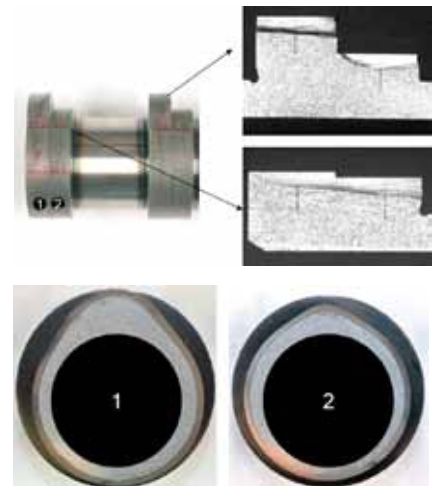
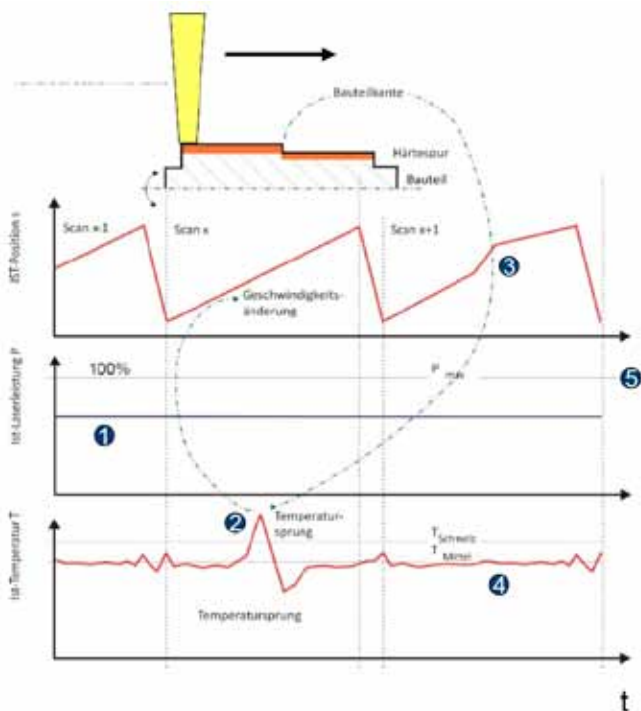
värme lokalt tillförs i det område där ”härtningsvarvet” påbörjades, men enligt Herr Elsner är den hårdhetsreducering som då uppstår näst intill försumbar och påverkar inte kamaxelns funktion. Han sammanfattade sin redovisning med att konstatera att temperaturkontrollerad laserhärkning visade sig vara en överlägsen och kostnadseffektiv lösning då det gäller att härda komplexa tunnväggiga komponenter som exempelvis kamaxlar. I och med de sjunkande priserna för laserkällor finns potentialen för att laserhärkning kan ersätta mer traditionella härtningsförfaranden – alltså en utveckling liknande den som vi sett inom svetsning.

En kollega till Herr Elsner, Dr. Paul-Michael Mickel, informerade

oss om Volkswagens angreppssätt då det gäller att kvalitetssäkra lasersvetsarna vid tillverkning av den nya Golf-modellen, vilken är den sjunde i ordningen, i fabriken i Zwickau. Här tillverkar man även den äldre Passat-modellen, samt levererar färdiglackerade karosser till lyxmodellerna Phaeton och Bentley för slutmontering i andra VW-fabriker. Förutom fabriken i Zwickau har koncernen ytterligare en i delstaten Sachsen, nämligen motorfabriken i Chemnitz där man tillverkar kompletta 3- och 4-cylindriga Ottomotorer, samt ett antal komponenter för dieselmotorer [Fig. 25]. Vid produktionen av Golf-karosserna använder man 18 stycken disklasrar och två fiberlasrar, 4 ”scanner”-

verktyg och två stycken av IPGs ”Seam Stepper”, vilken jag redogjort för i tidigare nummer av LaserNytt, och som påminner om en punktsvetsstång där man kan pendla laserstrålen och skapa korta laserstygn.

Jämfört med sin föregångare innehåller den här Golf-modellen färre lasersvetsar och vi hittar dem främst i dörröppningarna [Fig. 26]. Förut lasersvetsades även vindruteöppning, övre/främre sidobalk, främre hjulhus samt fästplattorna för den främre stötfångarskenan på Golf-modellen, men det torde idag inte vara någon större hemlighet med att VW hade kvalitetsproblem vid denna omfattande lasersvetsning. Därför var kvalitetssäkring ett huvudtema då den nya Golf-modellen



Figur 24.

Laserhärkning av de två kamgeometrierna på CAMTRONIC-axeln, och t.v. principen för den temperaturstyrda justeringen av ”scanning”-hastighet och lasereffekt för att undvika distorsioner och lokal uppsmältning av materialet.



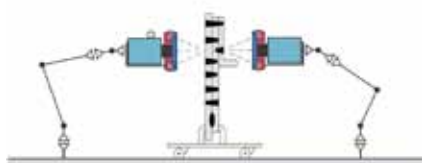
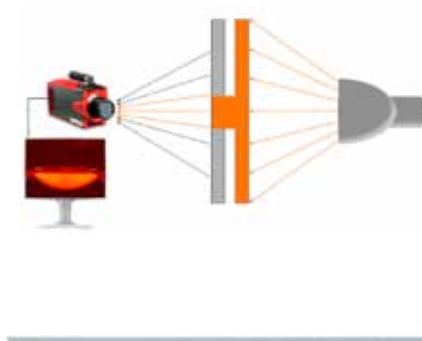
Figur 25.

”Volkswagen Saxonia” – I fabriken i Zwickau tillverkas karosserna för volymmodellerna Golf och Passat, men också till nisch-produkterna Phaeton och Bentley.

skulle gå i produktion och ett antal system utvärderades innan valet slutligen föll på s.k. termografi. Detta är en metod som är lämplig för automatisk efterkontroll av svetsarna och där lasersvetsen belyses från en sida medan en värmekamera på andra sidan fogen registrerar temperaturfältet kring svetsen [Fig. 27]. På detta sätt går det att upptäcka olika svetsdefekter samt s.k. "Falscher Freund", d.v.s. att man saknar bindning mellan plåt detaljerna. Då sammansättningssekvenserna för den nya Golf-modellen skiljer sig från föregångaren innebär det att man får ett antal treplåtsförband där kravet på bindning bara föreligger mellan två av plåtarna. Detta gör det svårt att med konventionell termografi kvalitetssäkra svetsarna på den kompletta karossen. Därför har Volkswagen vidareutvecklat metoden så att belysning och värmeregistrering kan ske från en och samma sida! Utmaningarna med att använda termografi för kvalitetskontroll var enligt Dr. Mickel åtkomst, positionerings-noggrannhet och utvärdering av de algoritmer som metoden genererar. Slutligen var det också intressant att höra att VW tittar på möjligheten att med hjälp av laser både generera och registrera en ultraljudssignal, som i så fall skulle kunna utgöra ett alternativ till den ovan beskrivna termografin.

För ett antal år sedan skapades en s.k. AK [ArbeitsKreis] för laserteknik mellan de tyska biltillverkarna Audi, BMW, MercedesBenz och Volkswagen med syfte att reducera utvecklingskostnaderna för laserteknik inom bolagen genom att fördela utvecklingsarbete och t.ex. standardisera olika laserverktyg. Vid årets EALA-konferens var det gamle bekantingen Thorge Hammer från VW som gav en "lägesrapport" [Fig. 28]. Två huvudsakliga uppgifter har stått på dagordningen under det senaste året, nämligen att utveckla ett "scanner"-verktyg för extremt höga processhastigheter och ett verktyg för att tillförlitligt mäta effekt och energifördelning i en laserstråle.

Vad man hoppas vinna med det nya "scanner"-verktyget är bl.a. att skapa bredare lasersvetsar, fylla änd-



kratrar som uppstår i början och slutet av en lasersvets samt i största allmänhet stabilisera svetsförloppet [Fig. 29]. Detta har resulterat i följande "specifikation" av ett dylikt verktyg:

- Hantera lasereffekter upp till 5 kW och våglängder mellan 1.030-1.070 nm
- Tvådimensionellt "scanner"-fält med automatisk kompensation för fokalpunktsförskjutning

Figur 26.

Om vi jämför den nya, sjunde generationen av Golf-modellen med dess föregångare ligger omfattningen av lasersvetsning på en betydligt moderat nivå och begränsas till i princip svetsning i dörröppningarna.



Figur 27.

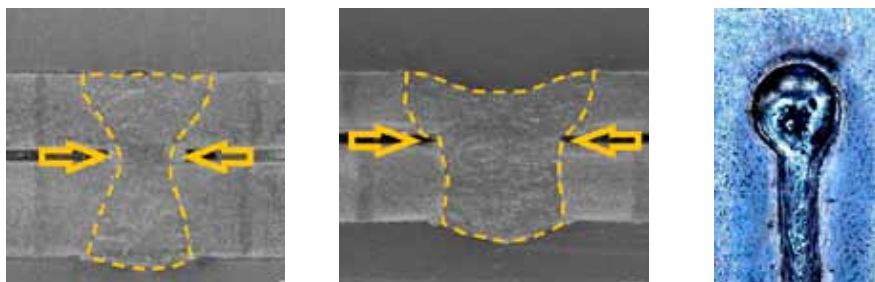
Kvalitetskontroll av lasersvetsar med termografi i Volkswagens Zwickau-fabrik. T.v. nedan principen för mät-metoden och t.v. ovan VVs egenutvecklade lösning vilken medger belysning och värmeregistrering från en och samma sida!



Figur 28.

Thorge Hammer från Volkswagen i talerstolen då han redogör för de senaste aktiviteterna inom tyska "OEM Arbeitskreis (AK) Lasertechnik".

- "Scanning"-frekvens  $\gg 1.000$  Hz
- Amplitud 1-2 mm
- Fokalpunktsdiameter  $\leq 0,15$  mm
- Brännvidd  $> 200$  mm
- Linjärhastighet  $\geq 100$  m/min
- Cirkulärhastighet  $\geq 110$  m/min
- Kombinerad hastighet  $\geq 200$  m/min
- Acceleration från 0 till 100 m/min  $\leq 100\mu s$
- Får ej innehålla några giftiga ämnen som t.ex. Beryllium



**Figur 29.**  
Med höghastighets-"scanning" av laserstrålen skall det bli möjligt att skapa bredare svetsar samt fylla igen ändkratrar vid start- och stoppositioner.



**Figur 30.**  
Ett urval av de produkter som finns att tillgå på marknaden idag för mätning lasereffekten.

Bland de optioner som skall kunna erbjudas nämnde Herr Hammer:

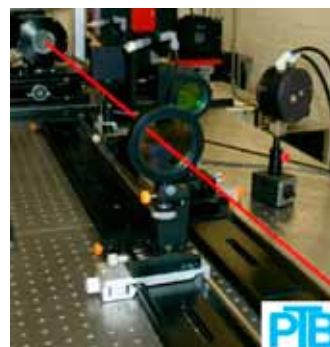
- Hantera våglängder mellan 700-800 nm med pyrometribaserad koaxiell sensor
- "Scanning"-frekvens 3.500-5.000 Hz
- Mätning av energifördelningen i fokuspunkten ["tophat", "single mode" etc.]
- Justering av lasereffekten via effektregering integrerad i "scanner"-verktyget
- Integrerad höghastighetskamera [50.000 fps = frames per second] med integrerad laserbelysning
- "On-line"-mätning av processabiliteten [fokalpunktsförskjutning, lasereffekt etc.]

Då det gäller att mäta lasereffekten finns det idag på marknaden flera kommersiella produkter [Fig. 30]. De flesta har en mätnoggrannhet inom 10 W och flera stycken så bra som inom 5 W! Men vid en jämförelse mellan olika produkter kunde det skilja upp till 170 W vid mätning av laserstrålen från en och samma källa. Det kan finnas ett antal förklaringar till dessa skillnader såsom olika kylvattentemperatur och -flöde, positionering av laserstrålen eller olika långa mättider. Detta indikerar att det finns ett behov av kalibrering av de verktyg som används för att mäta lasereffekten.

Vanligtvis utförs dylik kalibrering vid PTB [Physikalisch Technischen Bundesanstalt] i Braunschweig [Fig. 31]. Dock har det visat sig att deras utrustning endast klarar att kalibrera lasereffekter upp till 1,4 kW för CO<sub>2</sub>-lasrar och blott upp till 120 W för fastkroppslasrar! Därför har "AK Laser" påtalat behovet för PTB av att kunna mäta högre lasereffekter och tillsammans med dem har man initierat och stödjer finansiellt ett projekt som skall leda till att man kan kalibrera effektmätningstrustningar med upp till 8 kW. Prognosen är att kunna erbjuda dylika tjänster vid årets utgång.

Avslutningsvis berättade Herr Hammer om vad denna arbetsgrupp närmast kommer att befatta sig med för ärenden, och här nämndes lasersäkerhet som ett prioriterat område. Idag utgör kostnaderna för skyddskabinett och annan säkerhetsrelaterad kringutrustning nästan en tredjedel av investeringskostnaden för en lasersvetscell, och här tror "AK Laser" att det finns en rimlig potential för kostnadsbesparingar. Redan har ett utvecklingsprojekt inom området lasersäkerhet startats i samarbete med IFSW [Institut Für Strahlwerkzeuge] vid universitetet i Stuttgart.

Sammanfattningsvis kan man säga att årets EALA-konferens bjöd på en blandad kompott av presentationer med allt ifrån laserbearbetning av



**Figur 31.**  
Utrustning vid Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) i Braunschweig för kalibrering av verktyg för lasereffektmätning.

polymerer till additiv tillverkning av karosskonsoler och mobila lasrar för reparation. Dock är det fortfarande biltillverkarnas egna redogörelser av intressanta applikationsexempel som rörer störst intresse och gärna leder till långvariga diskussioner långt in på småtimmarna, då åtskilliga weissbiers har hunnit konsumeras. Väl mött i Bad Nauheim nästa år till EALA 2014!



**EALA-European Automotive Laser Applications 2013**  
19 – 20 February \ Bad Nauheim \ Germany

# Markus och Axel tror mycket på diodlaserns framtid inte minst då det gäller lasersvetsning av aluminiumkomponenter

Johnny K. Larsson, Volvo Cars

När Markus Rütering lämnade RofinSinar efter många års trogen tjänst i det Hamburg-baserade företaget och flyttade till Laserlines huvudkontor i Mühlheim-Kärlich utanför Koblenz kunde man tolka detta som ett tecken i tiden. RofinSinar har alltid varit en dominant då det gäller CO<sub>2</sub>-lasrar, men på senare år har ett antal andra typer av laserkällor dykt upp på marknaden. Fastkroppslasrar som diodpumpade stav- och disklasrar samt fiberlasrar utgör de huvudsakliga konkurrenterna, men med en avsevärt förbättrad strålkvalitet har nu den direktverkande diodlasern kommit att bli en intressant uppstickare. Markus Rütering kände ett behov av spännande utmaningar, och därför blev det självklart att han slog sig samman med Laserlines Axel Luft, som är företagets kontaktman mot de europeiska biltillverkarna, för att på så sätt bilda ett slagkraftigt marknadsteam. Under det gångna året har jag getts åtskilliga tillfällen att träffa dessa båda gentleman i samband med att Laserline offererat

ett flertal laserkällor till Volvo Personvagnars produktionsanläggning i Olofström, och då har jag passat på att ställa dem mot väggen för att höra hur de motiverar varför vi skall satsa på deras produkter. I det följande summerar jag valda delar från dessa samtal, vilka ganska väl kom att avslöja Laserlines framtidsplaner och den potential som man ser främst inom bilindustrin.

Idag visar verkstadsindustrin ett växande intresse för aluminium, vilket är känt som ett utmanande material då det gäller lasersvetsning. Nyckelord som absorptionströskel och återreflektion av laserstrålen dominerar diskussionerna kring aluminium, liksom faktorer som legeringssammansättning och spricktendenser. Alla dessa utmaningar tycks diodlasrarna vara kapabla att lösa och därför hittar vi dem i flera produktionslinjer i bilindustrin. Fram till för några år sedan användes diodlasrar med hög effekt endast för ytmodifiering och värmebehandling, men idag är det möjligt att nyckel-



Axel Luft (t.v.) och Marcus Rütering

hålsvetsa med denna typ av laser. Diodlasrarna i Laserlines produkt-sortiment går att få med lasereffekter upp till 15 kW. Dock betonar man att det inte bara är effektnivån som är avgörande vid lasersvetsning av aluminium, utan strålkvaliteten är en lika viktig faktor. Lasereffekt och strålkvalité för Laserlines produkter framgår av **Tabell 1**.

Andra lasertyper som disk- och fiberlasrar överträffar dessa värden, men de är dyrare både i termer av såväl investerings- som driftskostnader. Användarna av dessa laserkällor kan även uppleva andra problem, såsom större utrymmesbehov och säkerhetsåtgärder förorsakade av risken för återreflektion av laserstrålen. Både Markus och Axel var angelägna om att poängtera att bättre värden än de som anges i **Tabell 1** inte behövs då det gäller aluminiumsvetsning. Litteraturen säger att för att åstadkomma nyckelhållsvetsning i aluminium krävs en energitäthet i fokalpunkten på mellan 1,5-2,0×10<sup>6</sup> W/cm<sup>2</sup>. För en laserkälla med 4 kW

Modellbeteckning	Lasereffekt [W]	Strålkvalitet [mm*mrad]
LDF-2000	2.000	20
LDF-4000	4.000	30
LDF-6000	6.000	40
LDF-10000	10.000	60
LDF-15000	15.000	100

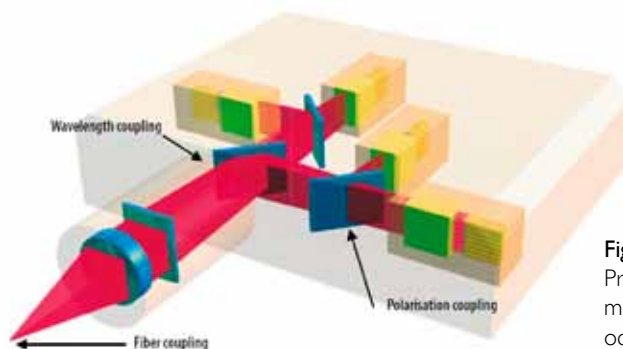
**Tabell 1.**

Laserlines produktsortiment av diodlaserkällor där man vill betona att valet måste baseras på en avvägning mellan lasereffekt och strålkvalité med hänsyn till det tilltänkta användningsområdet.

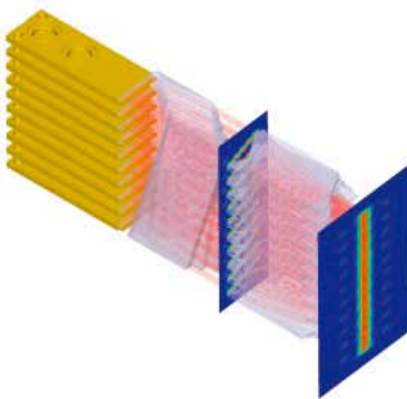
effekt innebär detta att det krävs en brännfläck med högst 0,5-0,6 mm diameter. Den strålkvalité på 30 mm\*mrad som man kan erhålla från en 4 kW diodlaser kan kopplas in i en 600 µm grov optisk fiber med en numerisk apertur [N.A.] på 0,1. Projicerad på arbetsstycket motsvarar detta vad som krävs för nyckelhålssvetsning i aluminium. Laboratorieförsök har visat att resultat från svetsförsök utförda med stav-, disk- eller fiberlasrar är överförbara till diodlasrar förutsatt att de senare har en tillräckligt bra kombination av strålkvalité och effekt.

Diodlasrar består av diodstavar som är monterade på kylplattor, detta för att kunna avleda den överskottsvarme som uppstår då den elektriska energin omvandlas till strålning med en verkningsgrad på ungefär 60%. Detta innebär att för en stav som producerar 200 W, och som har de typiska måtten 0,15x2x10 mm, måste 80 W värme ledas bort. I motsats till många av sina konkurrenter använder sig Laserline av aktivt kyllda diodstavar genom att kylplattorna är försedda med mikrokanaler för kylvatten, vilket flyter mycket nära själva diodstaven och på så sätt åstadkommer en effektivare kylning jämfört med passiv kylning där större kylplattor i koppars används och där avsvälningen sker genom värmeledning. Motivet för passiv kylning har tidigare varit en begränsad livslängd för mikrokanalerna p.g.a. rostangrepp. Dock menar Axel Luft att vid diodlasrar med hög effekt krävs likväl vattenkylning och pekar på att Laserline under årens lopp samlat på sig så mycket expertkunskap kring aktiv kylning att man kan lämna en femårig garanti för sina diodlaserkällor.

Förmågan att kunna packetera dioderna tätt inuti lasern är viktigt för att kunna kombinera hög effekt med den höga strålkvalité som krävs för aluminiumsvetsning. Idag erbjuder man diodstavar som levererar 200 W och har aktiv kylning i sina industriella produkter, men i laboratoriet är man på god väg att utveckla stavar med 250 W lasereffekt, något som inte skulle vara möjligt om man



**Figur 1.**  
Principen för en diodlaser med kombinerad våglängds- och polarisationskoppling.



**Figur 2.**  
Laserlines patenterade stråltransformering av laserstrålarna från flera halvledarelement i en laserstapel.

uteslutande arbetade med passivt kyllda system. Diodstavarna byggs samman till staplar som kan leverera upp till 2 kW och dessa kan i sin tur polarisationskopplas för att åstadkomma ännu högre uteffekter. Vidare kan staplar byggas samman av halvledarelement med olika våglängder, och Laserlines högeffektlasrar består av fyra olika våglängder som kombinerar åtta staplar genom polarisationskoppling. För att undvika att strålkvalitén från en diodstapel reduceras genom polarisering eller våglängdskoppling använder man sig av dikromatiska speglar. Hur ett sådant arrangemang ser ut framgår av **Figur 1**. Förutom superpositionering av laserstrålarna via polarisering och våglängdskoppling använder Laserline en patenterad stråltransformering [**Fig. 2**], vilket är ett betydelsefullt element för att kunna skapa hög effekt och dito strålkvalité. I den vertikala riktningen för laserstrålens utbredning, den s.k. "fast axis", presenterar diodstavarna en utmärkt strålkvalité. För att strålkvalitén inte skall försämrans då laserstrålen matas in i den optiska fibern måste den horisontala utbredningen ["slow axis"] matchas med den vertikala.

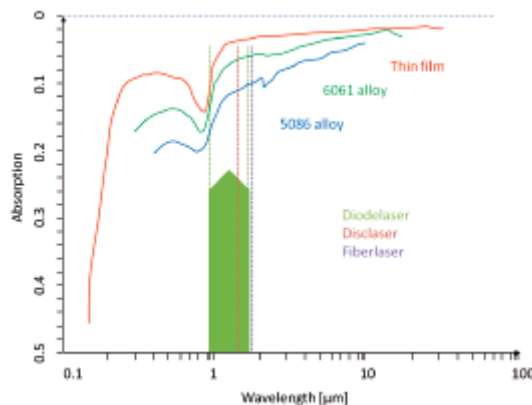
Man löser detta genom att dela upp utbredningen i den horisontella riktningen i ett flertal sektioner vilka arrangeras över och under laserstaven. Därefter fylls laserstrålen upp och sträcks ut i den vertikala riktningen, vilket gör att strålkvalitén försämrans i "fast axis"-riktningen, men förbättras i motsvarande grad i "slow axis"-riktningen. Detta medger att en laserstråle med en "top hat"-energifördelning och konstant divergensvinkel i båda utbredningsriktningarna kan matas in i fibern. Därför kan Laserlines diodlasrar koppla in en effekt i den optiska fibern som är åtta gånger högre än den från en enskild diodstapel, men likväl behålla strålkvalitén från en enstaka sådan. I jämförelse med konkurrerande disk- och fiberlaserkoncept sparar en diodlaser, byggd på den beskrivna stavteknologin, utrymme, samtidigt som den är uppbyggd av färre komponenter och därigenom kräver endast små justeringar innan den kan sättas in i produktion. Det är alltså fråga om ett mycket kostnadseffektivt och tillförlitligt koncept! **Figur 3** ger en uppfattning om interiören i en diodlaserkälla med de åtta tidigare beskrivna diodstapelarna.

Eftersom diodlasrar arbetar utan någon form av aktivt medium är deras verkningsgrad högre jämfört med andra typer av laserkällor. Medan en disk laser transformerar cirka 65% av ljuset från pumpmodulerna till laserljus, och en fiberlaser kan nå upp till motsvarande 80%, uppvisar dessa lasertyper fortfarande en lägre nyttjandegrad av tillförd energi jämfört med en diodlaser. Det är inte bara lasereffekt och fokuserbarhet av laserstrålen som avgör om ett visst lasersystem är lämpligt för en viss applikation, utan lika stor betydelse kan våglängden hos det emitterade laserljuset ha. Medan en disk laser är begränsad till en våglängd på 1.030 nm kan ett flertal olika våglängder användas i fiberlasrar, men dock är den typiska våglängden 1.070 nm för en fiberlaser med hög effekt. Diodlasrar använder halvledarmaterial som kan skräddarsys alltefter applikationens behov. Vanligt använt halvledarmaterial är AlGaAs eller GaAs, vars våglängder vid traditionell materialbearbetning ligger mellan 808 och 1.060 nm. **Figur 4** visar absorptionsspektra för några typiska aluminiumlegeringar, vilka indikerar att kortare våglängder hos laserstrålen leder till bättre absorption i aluminiummaterialet. Därför kan herrarna Rüttinger och Luft med rätta påstå att man redan idag kan erbjuda diodlasrar med tillräcklig effekt och strålkvalité för aluminiumlasersvetsning, samtidigt som dessa källor har en elektrisk verkningsgrad långt över 30% och en högre absorptionsgrad jämfört med konkurrerande laseralternativ.

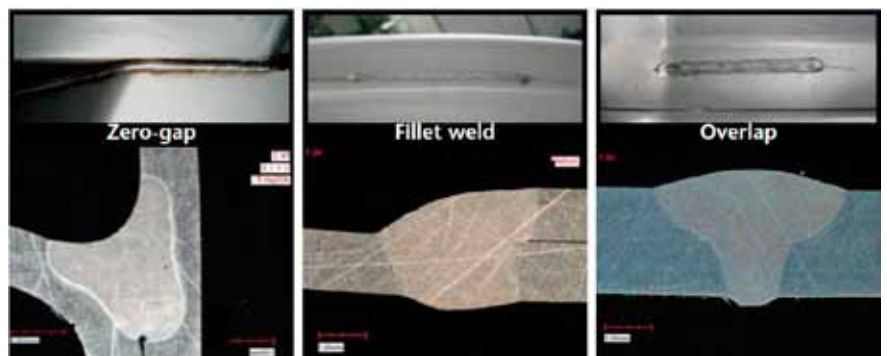
I dagens bilindustri talar man mycket om kosmetiska, näst intill osynliga, fogar på framförallt påhängsdelar som dörrar, bakluckor och motorhuvar. Idag utförs dylika fogar med hjälp av laserlödning av zinkbelagda stålplåtsdelar, där grundmaterialet inte påverkas utan där bindningen sker genom att en kopparbaserad [CuSi3] tillsatstråd smälts ner och väter mot fogyterna. Liknande processprinciper blir aktuella då det gäller synliga, exteriöra laserfogar i aluminium. Även här används en tillsatstråd [AlSi12], men



**Figur 3.** En titt inuti en diodlaserkälla med 8 laserstaplar (t.v.) och 4 kollimeringsenheter med motsvarande våglängdskopplingar.



**Figur 4.** Aluminium är ett starkt våglängdsberoende material då det gäller absorptionsgraden vid laserbearbetning, där ett optimum tycks ligga i närheten av 1 µm.



**Figur 5.** De diodlaserproducerade svetsarna på Q5-modellens baddörr förekommer i ett flertal olika fogutformningar.

här är det inte längre fråga om en lödprocess utan lasersvetsning där såväl tillsats- som grundmaterial smälts samman för att bilda en stark fog. **Figur 5** illustrerar de foggeometrier som är aktuella vid lasersvetsning av baddörren till Audi Q5-modellen. Liknande synliga, kosmetiska fogar hittar vi på baddörrar och bakluckor hos flera biltillverkare där man valt att använda diodlasrar, antingen för lödning eller för svetsning. I **figur 6** ser vi svetsning av en s.k. nollspaltsfog i aluminium utförd i Laserlines

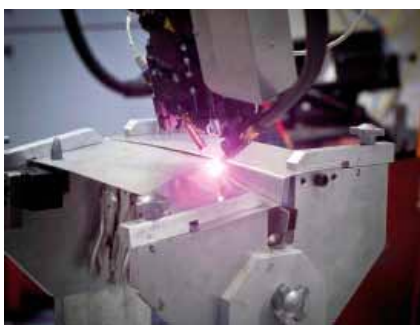
applikationslaboratorium i Koblenz, och till höger ser vi även det färdiga resultatet där den höga svetskvaliteten gör det möjligt att lackera direkt på fogen utan någon form av förbehandling, detta trots att den befinner sig på en exponerad ytteryta.

Den första bilmodell som använde diodlaser för svetsning av en påhängskomponent var Audi Q5-modellen som lanserades 2009. En särskild utmaning då det gäller att svetsa en flänsad stumfog (nollspalt) är att anpassa lasereffekten på ett

sådant sätt att den räcker till för att smälta såväl tillsats- som grundmaterial utan att smältbadet blir för stort och riskerar att bryta igenom det förhållandevis tunna [ $\sim 1,0$  mm] plåtmaterial. Detta skulle medföra omfattande reparationsarbete och en negativ kostnadskalkyl, vilket kan innebära att tillverkaren väljer en annan fogningsmetod. Ett annat sätt att skapa osynliga fogar är att svetsa med begränsad penetration i den plåt som kommer att utgöra den synliga detaljen, något som var ett kritiskt krav vid tillverkningen av en bakläm till en amerikansk lätt lastbil [Fig. 7]. Här rör det sig snarare om en värmeledningssvets för vars ändamål diodlaserns strålkvalitet är helt tillfyllest. För nyckelhålssvetsning av aluminium krävs idag laserkällor med strålkvaliteter på minst  $30\text{-}40$  mm $\cdot$ mrad, medan  $60\text{-}100$  mm $\cdot$ mrad i strålkvalitet räcker vid värmeledningssvetsning och lödning, något som resulterar i lägre investeringskostnader för tillverkningscellen.

För att förbättra processtabiliteten vid lasersvetsning av aluminium kan det vara fördelaktigt att lokalt avlägsna ytoxid med hjälp av en pulsad (Q-switchad) laser. Efter en sådan förbehandling kommer oxidskiktet att spontant återbildas, men kommer då att ha en känd och konstant tjocklek över hela fogområdet. I normalt leveranstillstånd har aluminiumdetaljerna ett oxidskikt som varierar i tjocklek och detta gör att man tvingas använda en högre laser-effekt än vad som annars skulle vara nödvändigt.

Som sammanfattning kunde Markus och Axel konstatera att allt sedan 2008 har direktverkande diodlasrar med höga effekter som 4 och 6 kW, med strålkvalité mellan  $30\text{-}40$  mm $\cdot$ mrad, funnits tillgängliga på marknaden, och kan idag anses vara mogna och accepterade verktyg att användas vid serietillverkning i bilindustrin. Diodlasertekniken uppfyller alla tänkbara kundkrav i termer som tillgänglighet, serviceintervall och komponenternas livslängd. Något som har kunnat observeras inom andra teknikområden är att tillverkningsmetoder som vunnit acceptans



Figur 6.

T.v. provsvetsning av en "nollspalt" i aluminium med en diodlaser i Laserlines applikationslaboratorium, och t.h. en liknande fogutformning på Audi Q5:s bakdörr.



Figur 7.

Ett annat sätt att skapa osynliga fogar är att göra som på denna bakläm till en LWT [Light Weight Truck], där man genom värmeledningssvetsning med en diodlaser undviker att påverka den synliga ytterytan.

inom västvärldens biltillverkande företag sprider sig ganska snabbt till andra regioner och andra branscher.

Aluminium är ett hundra procentigt återvinningsbart material och en viktig hörnsten vid lättviktskonstruktion inom transportsektorn (personbilar, flygplan, järnvägsvagnar etc.), och materialet kommer att fortsätta öppna upp för nya tillämpningar för diodlasrar. En sådan kan t.ex. vara svetsning av batterier och andra komponenter inom ramen för elektriskt framdrivna fordon. Om

man dessutom tar i beaktande den potentiella ökningen i effektuttag per diodstav och förbättrade tekniker för optisk inkoppling av laserstrålarna kommer diodlasrarna med all säkerhet att fortsätta utvecklas för applikationer som idag bearbetas med andra teknologier/metoder. Sålunda är det inte helt utan skäl som bilindustrin redan har börjat använda diodlasrar för laserskärning, avslutar Axel Luft vårt intressanta samtal på tre man hand. —

# Laser i det mindre företaget

Bengt Johansson, LaserCentrum i Gnosjö AB

## Varför har laserskärning blivit så väletablerad bland småföretag men inte lasersvetsning?

För 20 år sedan var laser något nytt och spännande, "framtidens teknik"!

Nu är "framtiden" här och lasern har blivit en mogen teknik bland alla andra.

Priserna är pressade och konkurrensen är hård. Ett dramatiskt prisfall på laserbearbetade produkter har noterats efter krisen 2008.

Automation är ett ökande krav för att få en acceptabel lönsamhet.

Samtidigt har andelen jobb för laserskuret ökat och konstruktörerna konstruerar allt mer för laserskärning. Detta gör att det ändå finns ganska gott om jobb trots allt.

Vad gäller laserskärning så är trenden klar: fiberlasern har etablerat sig väl inom legolaserskärning och det handlar framförallt om tunnplåtsindustrin. Många väljer att ha både CO<sub>2</sub>-laser och fiberlaser för att täcka in optimal produktion av alla plåttjocklekar.

Marknaden har även överflödats av begagnade lasrar så att nästan varenda liten plåtverkstad har en laserskärmaskin. Man vill ha smidigheten att direkt kunna gå ut till lasermaskinen och skära fram prover, även om detaljernas totalkostnad förmodligen blir högre än att ta fram dem hos en etablerad laserskärfirma. Särskilt om man räknar med servicebehovet hos en äldre maskin, men detta kompenseras dock ofta av kundens behov av snabba leveranser.



Kullarp i Gnosjö ett litet företag med specialisering på små serier inom inredningsbranschen.

Företaget har nyligen installerat en Mazak 1500 W CO<sub>2</sub>-laser för laserskärning.

## Lasersvetsning i motvind

Däremot har lasersvetsning haft motvind bland de mindre företagen. Denna teknik har hela tiden verkat mycket lovande men tekniken har dock aldrig fått samma lyft som laserskärning.

Lasersvetsning är nästan uteslutande implementerad i produktionslinjer framförallt inom fordonsindustrin och tekniken är mycket ovanlig inom legoindustrin. Endast en handfull verkstäder har lego-lasersvetsning på programmet i Sverige. Konkurrensen är hård och jobben är få.

Man kan däremot se en helt annan utveckling i Tyskland där lasersvetsning är uppåt 10 ggr vanligare per invånare. Även övriga Europa har högre andel lasersvetsning än Norden. Vad kan detta bero på?

## Konstruktörer tänker inte lasersvetsning

Min teori är att svenska konstruktörer helt enkelt inte tänker på lasersvetsning utan kör på med de gamla mer invanda metoderna. Man har helt enkelt inte kunskap om metodens fördelar. Eller är man bara konservativ?

Här finns ett stort "missionsfält" och det handlar framförallt om att lyfta fram metoden redan i tekniska skolor.

Ett hinder för lasersvetsning inom småföretag är framförallt priset på utrustningen, som är tiotals gånger högre än konventionell robotsvetsning.

Detta kräver då stora och stabila serier för att få investeringen lönsam. Startsträckan blir lång och tuff innan serierna kommer igång.

Tillgången på begagnade lasersvetsutrustningar är betydligt sämre än för laserskärmaskiner. Ofta är de svetsystemen specialiserade celler som är svåra att bygga om till en mer allmän produktion.

### Smältsvetsning fördubblar marknaden?

Lasersvetsning som metod aktualiseras och utvidgas nu ytterligare, då smältsvetsning med fiber/disk laser robotbaserade system finns som en väl fungerande standardmetod. Detta borde minst fördubbla marknaden för lasersvetsning då metoden lämpar sig väl för större detaljer i tunnplåt där den vanliga "nyckelhållsvetsningen" inte är lämplig.

Många konstruktörer har kanske inte ens sett resultatet av en smältsvets. Kanske för att svetsen inte syns alls utan bara ger ett "helgjutet" och perfekt intryck.

Robotiserade begagnade YAG-lasrar är ett alternativ för framförallt

smältsvetsning. Nackdelen är den mycket höga strömförbrukningen hos de lampumpade lasrarna, vilket ibland ger behov av betydligt kraftigare elmatning än vad som är normalt finns hos mindre verkstäder.

Kanske har jag givit en alltför pessimistisk bild, men detta är verkligheten just nu. Jag tror dock att det fortfarande finns en mycket stor framtida utvecklingspotential för laseranvändningen inom legoföretagen. Framförallt om lasersvetsning får ett bredare genomslag hos konstruktörerna och i de utbildande organisationerna. —

#### PRESSRELEASE

## DET SENASTE INOM BEARBETNING FRÅN DIMECO OCH DIN MASKIN

# LINACUT®

## CONTINUOUS COIL LASER CUTTING SOLUTIONS

**DIMECO, världsledande inom flexibel bearbetning från coil, lanserar en lasermaskin!**

DIMECO Alipresse strävar alltid efter konkurrenskraftiga lösningar för sina kunder och har nu utvecklat en ny serie maskiner. Här kombineras flexibiliteten i laserskärning med den välkända produktiviteten i bandmatningsprocessen.

Den högteknologiska linjen fokuserar på att bearbeta ämnen som är upp till 4 mm tjocka. Den består av en bandmatningssektion, en LINACUT® laserskärmaskin för kontinuerlig laserskärning samt, som option, en robotiserad staplingsenhet.

LINACUT® linjen är ett perfekt komplement till en 2D laserskärmaskin och även till en stansmaskin.



Den ger avsevärda besparingar genom reducering av materialspill och reducering av cykeltider.

Vid användning av coil upp till 15 ton utökar LINACUT® möjligheterna att producera med begränsad bemanning markant genom att man kan köra mer än 8 timmar non stop. Med en LINACUT® kan man erbjuda nya produktionsmöjligheter

genom att kunna klippa detaljer i alla längder.

LINACUT® lämpar sig inom olika sorters tillverkning såsom OEM, Ventilation med mera.

**För ytterligare information om LINACUT® kontakta Din Maskin, tfn 0370-69 34 00.**

## NOLAMP 14, GÖTEBORG

# Stort deltagande från industrin gav intressant konferens

Hans Engström, Luleå tekniska universitet

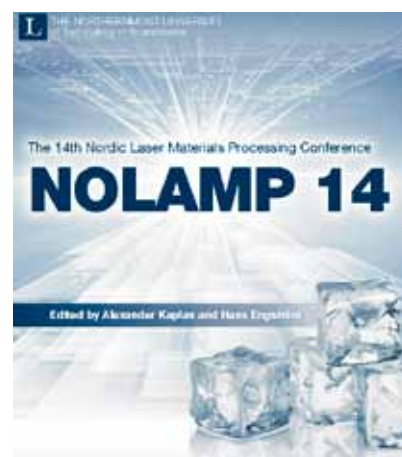
Den nordiska laserkonferensen "The 14th Nordic Laser Materials Processing Conference" hölls i augusti i år för fjortonde gången och denna gång hade Luleå tekniska universitet, som arrangerar konferensen i Sverige för 4:e gången, valt att förlägga den till Göteborg. Vi ville nå flera deltagare från industrin, både som föredrags-hållare och som deltagare och vi lyckades. Totalt lockade NOLAMP 14 hela 63 deltagare varav hälften kom från industrin vilket vi är en framgång. Även innehållet tycker vi var en framgång med en intressant blandning av presentationer från industrin och akademien. Så NOLAMP lever vidare i god vigör och vi ser fram emot att arrangera NOLAMP 18 i Sverige igen år 2021! Men dessförinnan ska konferensen passera Finland, Danmark och Norge.

### NOLAMP ett forum för nordiska laserforskare och industrifolk

Varför arrangeras NOLAMP kan man fråga sig när det finns så många stora internationella konferenser som behandlar samma område? Jo, de ursprungliga tankarna från 1980-talet lever kvar där det formulerades att NOLAMP skall vara ett forum för nordiska laserforskare och industrifolk att träffas under gemytliga former för att knyta kontakter och utbyta erfarenheter. Samtidigt ska konferensen också låta unga forskare presentera sig och den forskning de arbetar med – man kan se det som en förberedelse för att delta i de stora konferenserna och att de börjar skapa ett nordiskt kontaktnät.

Vad hade NOLAMP 14 att bjuda på? Det hölls 40 presentationer under de tre dagarna fördelat på 13 sessioner enligt tabell 1. Nytt för denna gång att industrin erbjöds att delta utan att skriva ett vetenskapligt "paper" utan det räckte med en PowerPoint-presentation, för att locka även mindre företag att presentera något intressant som man har jobbat med. Men trots det så blev det bara en industrisession, som dock blev nog så intressant.

Lasersvetsning/laserhybridsvetsning är alltså fortfarande det dominerade området i den nordiska laserforskningen, men denna gång fanns också ett stort intresse för laserrelaterad utrustning med nio presentationer, varav fem kom från tyska deltagare.



"Key-note speaker" var Dr. Christian Föhl, Trumpf Laser und Systemtechnik GmbH som presenterade status och framtida trender inom laserapplikationer.

Tabell 1.

Sessioner och presentationer vid NOLAMP 14.

Session	Antal sessioner	Antal presentationer
Lasersvetsning	4	13
Utrustning	3	9
Laserhybridsvetsning	2	6
Laserskärning	1	3
Laserytbehandling	1	3
Laser Additive Manufacturing	1	3
Industri session	1	3
<b>Summa</b>	<b>13</b>	<b>40</b>

Tabell 2.

Antal presentationer fördelat på länder:

Land	Antal presentationer	Dominerande organisation
Sverige	15	Luleå tekniska universitet
Finland	8	Lappeenranta Univ of Tech.
Tyskland	6+1	
Danmark	6	
Norge	2	
Övriga	2	



**Bild 1.** Dr Christian Föhl, Trumpf Laser und Systemtechnik GmbH var "key-note" speaker och han gav en presentation om status och framtida trender inom laserapplikationer.

### Effektivitet en stark drivkraft

Christian Föhl påpekade att stävan efter hög effektivitet är en verklig drivkraft inom bilindustrin för att minska kostnader och få kortare processtider genom ökade hasigheter, men också effektivitet i design och materialval för att skapa viktsminskning i kaross och komponenter. Som exempel på detta nämnde Dr. Föhl tekniker för "remote welding" och den ökade effektiviteten för renskärning av varmformade (presshårdade) komponenter. En station för "remote welding" med en 3-4 kW "solid-state" laser kan ersätta 4 punktsvetsrobotar med 5 svetspistoler och minska svetsstiden till 1/3. En B-stolpe i en kaross med skärlängd 6305 mm tog år 2005 120 sekunder att renskära; år 2011 tog samma operation 47 sekunder – en effektivitetsökning med ca 2.5 gånger!. För framtiden syns också trender mot nya karosstrukturer och ökad användning av kolfiberlaminat som "trimmas" med laser. Nya användningsområden för laser håller också på att öppnas inom batteritillverkning för mobila produkter. Även skärning och borrar av glas till mobiltelefoner utvecklas till en stor applikation. Stora CO<sub>2</sub>-lasrar, och här pratar vi effekter på upp till 80 kW, används för att generera UV-ljus till chipstillverkning för att få smalare linjebredder. Så laserns framtid är onekligen ljus.

### Svetsning i ett brett spektra

Sessionerna om lasersvetsning innehöll ett brett spektra över detta område. För att nämna några så pratade Maria Asunción Valiente Bermejo från Högskolan Väst om stelning och mikrostrukturer vid svetsning av rostfria stål, Karl Fahlstöm, Swerea KIMAB berättade om lasersvetsning av 1900 MPa borstål och Jesper Sundkvist, LTU hade tittat på hur metallografin påverkar sprickutbredningen vid utmattning i höghållfasta stål. I Finland har Veli Kujanpää, VTT, arbetat med att undersöka svetspositioner för kantsvetsar i rostfritt stål och Esa Lappalainen, Lappeenranta Technical University, berättade om effekter vid olika fogutformning. Bo Williamsson, AGA Gas AB, visade på nya framsteg inom tekniken för gasblandningar för svetsning och skärning och Markku Keskitalo, University of Oulo, hade undersökt hur skyddsgasen påverkar egenskaperna hos svetsar i rostfritt stål.

Svetsning av glas presenterades av Ville Hautala, Tampere University och Technology, och Steen Erik Niel-

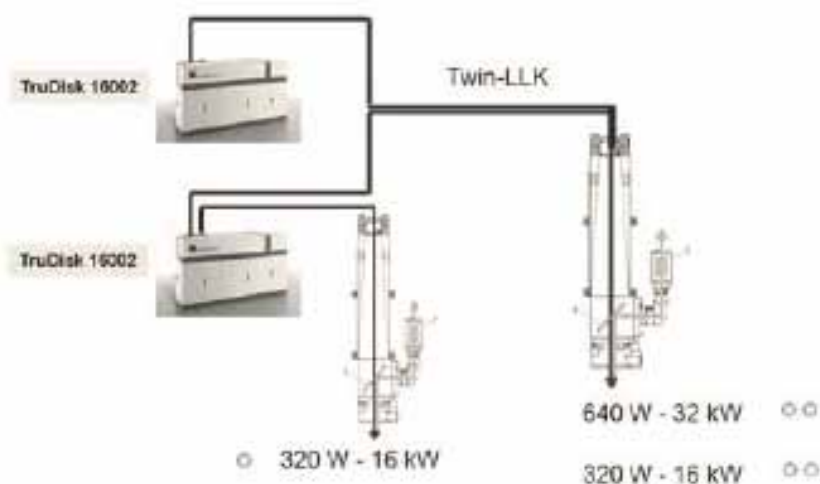
sen; FORCE Technology hade tittat på svetsning av polymerer.

Danmark satsar stort på svetsning av tjockt material och stora komponenter, bl.a. torn till vindkraftverk och i det numera nedlagda Lindö varvet har man satt igång ett fristående bolag, Lindö Welding Technology A/S, som kommer att arbeta med detta med två 16 kW disklasrar som en s.k "open-lab" verksamhet, där företag och organisationer kan hyra in sig och utföra svetsexperiment.

### Skärning återuppstår vid LTU

Laserskärning pågår fortfarande inom den nordiska laserforskningen och vid LTU har vi tagit upp detta område efter många års uppehåll. Två nya doktorander, Jetro Pocrni och Ramiz Matti arbetar inom detta område och gjorde sina första presentationer vid NOLAMP 14, helt i konferensens anda.

I Danmark försätter Flemming Olsen sitt arbete inom området och Morten Kristiansen, Ålborg Universitet, delade med sig av vad "single mode" fiberlaser ger för egenskaper och prestanda.



**Bild 2.** En anläggning med 2x 16 kW TrumpfTruDisk 16002 disk-laser och robot har installerats hos Lindö Welding Technology A/S.

## Nytt med Industri session

En nyhet i denna NOLAMP konferens var den s.k. Industriella Sessionen där företag kunde presentera intressanta arbeten utan att behöva skriva en hel artikel. Det hade Rickard Ohlsson, LaserNova AB nappat på och han berättade om hur man arbetar med applikationer i mikroskala. Hubert Wilbs, Trumpf Maskin AB pushade för att man ska utveckla och använda laser i processkedjan (skärning, bockning, svetsning) för plåtbearbetning. Ett mycket praktiskt exempel på lasersvetsning presenterades av J.Siltanen, Rautarukki Oy, som berättade om utvecklingen av golvpaneler i sandwichkonstruktion till marina containers.

## 6000 miljoner dollar

Laser Additive Manufacturing (LAM) är egentligen ett inget nytt område för laser, men det tycks ha fått en renässans de senaste åren med ökad användning inom industrin. Antti Salminen, Lappeenranta University, berättade att man uppskattar marknaden till 6 000 miljoner dollar år 2020 med en stark ökning inom konsumentsektorn. Han visade hur olika stödstrukturer påverkar resultatet vid LAM. Vid Lappeenranta hade man också gjort en tekno-ekonomisk studie av LAM. Han konstaterar att det är viktigt att använda kammaren i LAM-maskinen på ett optimalt sätt för att minska kostnaderna. Att tillverka 6 detaljer av en testprodukt samtidigt i stället för en åt gången reducerar kostnaderna med cirka 45%. Prisutvecklingen för LAM-maskiner är också mycket intressant för framtiden eftersom kostnaden för dessa har störst inverkan på detaljkostnaden.

## Laserhybridsvetsning av tjockt material

Laserhybridsvetsning är ett aktuellt forskningsområde i alla nordiska länder. Just nu är intresset stort för svetsning av tjockare material och kring det temat gavs flera presentationer. Jens Klæstrup Kristensen, numera delvis knuten till Danmarks Tekniska Universitet, gav en intressant redogörelse för begränsningar och



Bild 3.

Lasersvetsning av golvpaneler till marina containers (J.Siltanen, Rautarukki Oy).

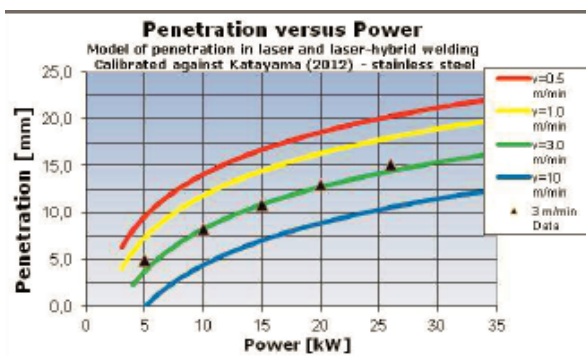


Bild 4.

Beräkning av penetration som funktion av lasereffekt vid laserhybridsvetsning presenterad av Jens K. Kristensen.



Bild 5.

Demonstration av demontering av rörstruktur med laser (Ali Kahn, TWI Ltd).

utmaningar med denna teknologi. Jens ser att i framtiden så kommer laserhybridsvetsning att kunna utföras från en sida i tjocklekar upp till ca 30 mm; 40 mm kräver svetsning från två håll och om tjockleken blir större än så krävs multi-pass svetsning. En intressant variant för dessa tjocklekar är att laserhybridsvetsa ett rotsträng och sedan fylla på med pulverbåge eller MAG i efterföljande strängar, alltså en kombinationssvetsning. Svetsning av torn till vindkraftverk kan kanske ske "on-site" i framtiden och ersätter då bultförband.

SINTEF i Trondheim och Kværner Verdal AS har tillsammans med LTU tittat på för laserhybridsvetsade förband för off-shore applikationer och X.B. Rehn vid SINTEF har undersökt restspänningar för komponenter som ska brukas i arktisk miljö.



Bild 6.

Glada miner hos Per Skande med kollega från Aspect Photonics AB vid NOLAMP 14.



### Laser demonterar kärnkraftverk?

NOLAMP 14 innehöll också tre sessioner om utrustning relaterat till laserbearbetning. Det var en blandad kommitté med bl.a. inslag om högeffekt fiberlasrar (Berthod Kessler, IPG Laser GmbH), laserinstallationer i svensk industri (Erik Wännman, Permanova Lasersystem AB), demontering av stora strukturer som kärnkraftverk med fiberguidade lasrar (Ali Kahn, TWI Ltd), mätutrustning (Morten Kristiansen, Ålborg Universitet och Björn Lekander, Permanova Lasersystem AB), optik och processer för invändig laserpåsvetsning (Theodore Fleitmann, NUTECH GmbH) för att nämna några.

Avslutningsvis så lever också utvecklingen av laserytbehandling vidare och där fanns bidrag från t.ex. LTU och Lappeenranta.

### Utställning och Volvo historia

Det var också glädjande att vi kunde arrangera en "table-top" utställning i anslutning till konferensen och där presenterades en blandning av laserprodukter.

En höjdare var också besöket på Volvomuseet där vi fick se stora delar av Volvos breda och imponerande verksamhet över mer än åtta decenniers verksamhet. —

#### Bild 7.

Duktiga guider visade Volvos historia vid besöket vid Volvomuseet. Frv. Margareta Björklund, Gunilla Kristén, Ingegerd Emilson. Volvos grundare Assar Gabrielsson och Gustav Larsson finns som staty på museet. De tillbringade hela sitt yrkesverksamma liv hos Volvo vid samma gemensamma skrivbord. Bilen på bilden är en Volvo PV36 Carioca som tillverkades mellan 1935 och 1938. Dess design var starkt influerad av nordamerikanska bilar t.ex. Chrysler Airflow. Modellen blev ingen succé, vilket av en del förklaras av de inbyggda stälkastarna och den tillverkades i mindre än 500 exemplar.

## NOLAMP 15 i Finland 2015

Sammanfattningsvis så bjöd NOLAMP på ett intressant och omväxlande innehåll och det var glädjande att cirka hälften av deltagaren kom från industrin. Konferensen går nu vidare och professorerna Salminen och Kujanpää kommer att arrangera NOLAMP 15 i Finland i augusti 2015, och då mest troligt i Lappeenranta.

### Mera information om NOLAMP 14

På LTUs hemsida [www.ltu.se/nolamp14](http://www.ltu.se/nolamp14) finns fullständig konferensdokumentation i form av konferens proceedings för den som önskar ta del av mera detaljerad information från de presentationer som gavs under konferensen.

# En intressant och lärorik sammankomst med svetsexpertis från hela världen

Jan Frostevarg, Luleå tekniska universitet

Årets Annual Assembly inom International Institute of Welding (IIW) ägde rum den 11-15 September i det stora kongress-centret "Messe Essen GmbH". Cirka 700 deltagare från 46 länder räknades in av arrangörerna. Unikt för i år arrangerades Annual Assembly i samband med "den" stora svetsmässan, Schweissen & Schneiden, för att förstärka banden mellan forskare och användare.

I år var första gången för mig att delta vid denna sammankomst. IIW organiseras i ett antal kommissioner och arbetsgrupper. Commission IV (Com IV eller C-IV) där jag deltog är numera tydligare uppdelad i underkommittéerna elektronstrålesvetsning (EBW), lasersvetsning (LBW) samt laserhybridsvetsning (LAHW). Ordförande för C-IV är sedan förra året vår projektkollega Herbert Stauter (Fronius). Tidigare år har ordförande varit Jens Kristensen. Första dagen var mestadels elektronstrålesvetsning, men gick över till lasersvetsning mot slutet av dagen. Den andra dagen var gemensam med ljusbågssvetsning (C-XII) och arbetsgruppen Physics of Welding (SG-212) där föredragen också fick vara längre än brukligt. För C-IV del var det laserhybridsvetsning under eftermiddagen, där bland andra jag presenterade mitt arbete. Den tredje och sista dagen med presentationer var i huvudsak om lasersvetsning.

Essen är en universitetsstad med cirka 550 000 invånare, men mässorna (ex. Schweissen & Schneiden) som hålls "ökar" populationen med tusentals arrangörer plus ännu fler gäster. Antalet studenter och storle-



Fig. 1.

Den svenska delegationen till IIW hade en mycket trevlig gemensam lunch där många intressanta samtal kunde höras.

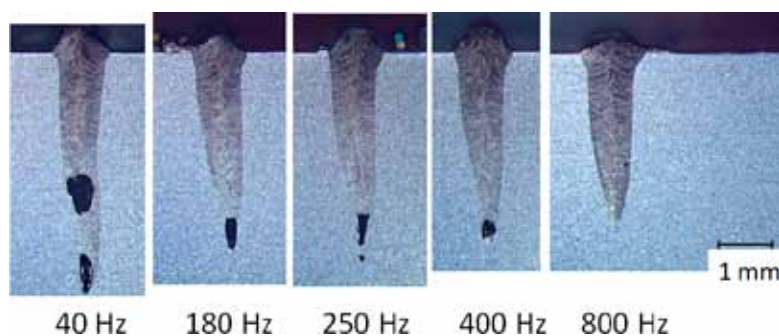


Fig. 2.

Elektronstrålesvetsens form och porer beroende på oscilleringsfrekvens.

ken på mässorna gör att populationen i staden pendlar kraftigt under året.

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

Inom elektronstrålesvetsning var det en presentation (P. Hochanadel,

USA) som handlade om påverkan på svetsen av strålens oscilleringsfrekvens. När oscilleringen är låg fås bästa penetrationsdjupet, men risk för porer är stor. När frekvensen ökar, minskar svetsdjupet, men bredden ökar och porerna minskar i både storlek och antal, se **figur 2**.

En annan innovativ metod att använda en elektronstråle på presenterades av J. Taendl och N. Enzinger (Fronius, Österrike). Ytstrukturering av materialet kan göras genom att göra en serie för snabba svetsar, vilket leder till att material bakom "svetsen" byggs upp. Genom att göra många sådana från olika håll kan en "pin" skapas, figur 3.

Seminarierna övergick senare till laserprocesser. En välkänd nackdel med ren laser är att den inte själv kan fylla spalter under svetsning. Detta kan lösas med exempelvis tråd som förs ner i spalten och sedan smälts av laserstrålen, figur 4. En fördel med denna metod är att de problem som orsakas av en ljusbåge vid laserhybridsvetsning är eliminerat. En annan fördel är att djupa spalter kan fyllas utan allt för stora problem, så länge laserstrålen kan smälta tråden och foga den med grundmaterialet. Risker med denna metod (förutom höjd lasereffekt) är att bl.a. uppkomst av varmsprickor (stelningssprickor), porer och bindfel är stor. Y. Yamazaki et. al. (Osaka) använder sig av oscillerande laserstråle för att bättre värma sidoplåtarna vid smalspaltsvetsning (narrow gap welding) och på så sätt minska risken för bindfel. Ett problem med att för fort tillföra tillsatsmaterial visade sig vara att bitar av tråden kappades av och hamnade i smältan utan att helt lösas upp. Analys visade också att för mycket oscillerande av strålen ökar förekomsten av porer.

En fördel med laserhybridsvetsning (Laser arc hybrid welding [LAHW]) är att det går att svetsa tjocka gods med betydligt färre svetsrepor än med konventionella metoder. Ett exempel på detta visades av G. Wetzel et. al. (SLV Halle, Tyskland), där 40mm tjockt gods svetsats och jämförts mellan LAHW och ned-sänkt bågsvetsning (submerged arc welding) vid samma svetsningshastigheter, figur 5. LAHW krävde bara tre-fyra svetsrepor (2-3 konventionella vid rotsidan), medan den konventionella metoden krävde 14-20 svetsrepor. LAHW godsen visades få mer porer, men trots det hade de bättre utmattningsegenskaper, troligtvis till stor del på grund av ytgeometrin.

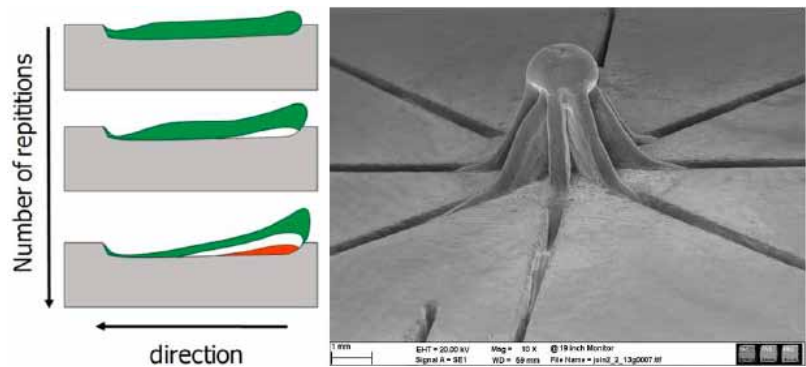


Fig. 3. Ytstrukturering med elektronstråle genom en serie "dåliga svetsar".

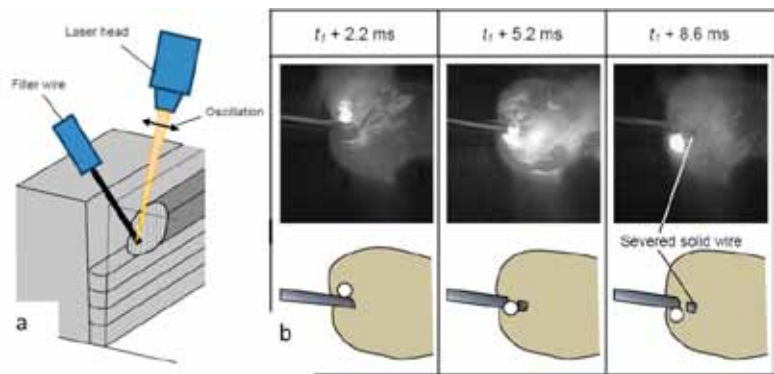


Fig. 4. a) Smalspaltsvetsning med oscillerande rörelse hos laserkälla och dess b) resultat vid för snabb trådmatning

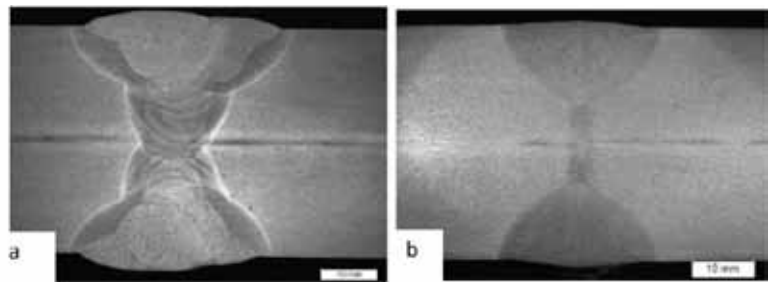


Fig. 5. a) 40mm tjock svetsning med 14-20 svetsar med konventionell metod b) visar svets under samma förhållanden, men där laserhybridsvetsning nyttjats och endast kräver tre-fyra svetsar

Därefter presenterade jag mitt bidrag, figur 6 där olika ljusbågsprocesser med LAHW jämfördes och analyserades med skanner och höghastighetsfilmning. De ljusbågslägen som jämförts är standard, pulsad och CMT (Cold Metal Transfer) och testades med olika trådmatningshastigheter, svetsningshastigheter och spalter. De olika ljusbågslägena beter sig olika i

olika situationer, men skanningsresultaten visar att CMT överlag presterar bäst, följt av pulsad ljusbåge vid (nära) nollspalt och standardljusbåge när spalt är närvarande. Analys av höghastighetsfilmerna visar att det är när dropparna släpper ojämnt från tråden som oregelbundenheter uppstår, som i slutändan leder till att oregelbundna svetsdiken bildas.



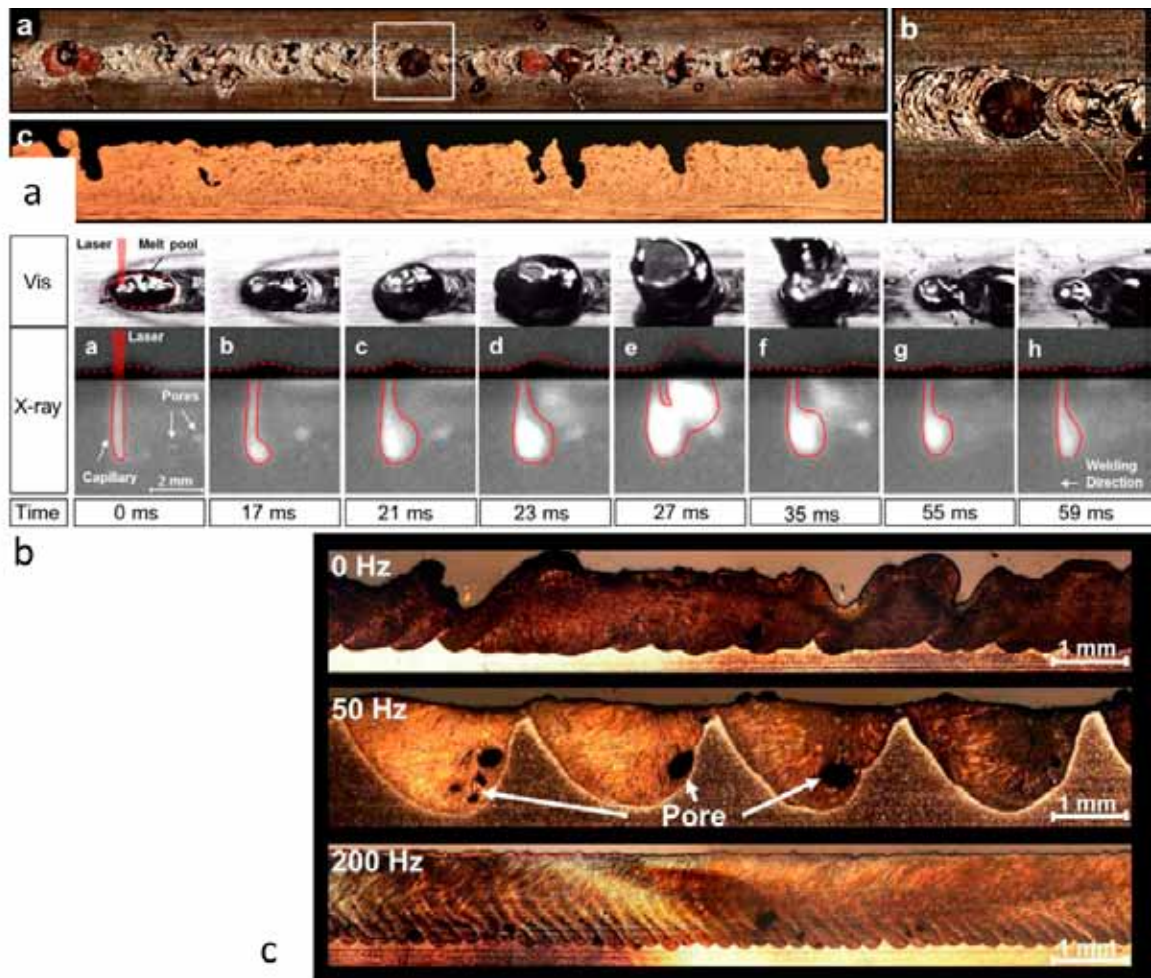


Fig. 8.

- a) En typisk kopparsvets.
- b) visar höghastighetskamera och röntgenfilm för processen för att åskådliggöra instabiliteten
- c) visar hur en kopparsvets blir bättre när laserstrålen pulsas

Med CMT minskar den risken dramatiskt, även därför att urgröpningen framför laserstrålen har en gynnsam storlek.

Sprut är ständigt återkommande i studier. Förståelse för hur det uppstår och reduceras ökar därmed också ständigt. Att mäta sprut online är lite svårare, men en grupp vid tekniska universitetet i München (M. Schweier et. al.) är nära en lösning. De använder oscillerande laserstråle och en höghastighetskamera för att se sprut komma från smältpölen och en egenutvecklad mjukvara för att identifiera sprutet i filmen (storlek, riktning, hastighet), **figur 7**. Notera att de INTE använder belysning för att det skulle störa mjukvarans sprutigenkänning, vilket gör metoden ännu bättre. De

korrelerar sedan laseroscillation mot sprutmängder för att optimera laserparametrar för att minska sprut. Ett möjligt nästa steg är att använda en annan slags kamera och försöka göra så sprutmängderna kan ges online istället för efteråt.

Det sista jag tänkte berätta om här, är ett arbete som utförts av de duktiga forskarna vid Stuttgarts universitet. Koppar är välkänt svårt att svetsa i med laser. Med hjälp av höghastighetskamera och röntgenutrustning har de (A. Heider et. al.) kommit en bra bit på vägen för att göra kopparsvetsning möjlig. De kan visa på hur instabiliteter i processen beter sig och kom fram till att dessa kan kontrolleras genom att pulsa laserstrålen, **figur 8**.

Sammanfattningsvis tycker jag att det var en bra nivå på artiklarna och presentationerna som presenterades. Att ha möjligheten att träffa kollegor (inte minst ifrån Sverige) från hela världen var verkligen kul och lärorikt. Att utbyta erfarenheter och tankar med andra inspirerar.

Från och med nästa år kommer det kanske (beroende på intresse) att utöka C-IV med ännu en underkommitté, Additive Manufacturing. Nästa år kommer IIW General Assembly att hållas i Seoul (Sydkorea). Det ser verkligen ut att bli en spännande sammankomst. Nästa år kommer det också att hållas mellanliggande möten i mars/april, ett med enbart C-IV och ett mellan C-IV, CXII och SG212.

# Purus Stainless

## *investerar i en kombilaser med materialhanteringstorn*

Puruskoncernen är en av Skandinavians ledande aktörer för tillverkning av sanitetsprodukter för badrum och kök. Purus är ett familjeägt företag med lång tradition. Koncernen arbetar inom fyra produktområden: golvbrunnar, inomhusavlopp, rostfri sanitet samt rostfri inredning. Idag arbetar i koncernen cirka 200 medarbetare och omsättningen uppgår till drygt 500 MSEK.

Purus Stainless ligger i Smålandsstenar och är en tillverkningsenhet för rostfria golvbrunnar/golvrännor, rostfri sanitet och inredning. Bolaget arbetar nästan uteslutande i rostfri tunnplåt. Purus Stainless (tidigare Västbo Plåt) har tillverkat diskbänkar sedan tidigt 60-tal och inom företaget finns ett gediget kunnande.

Maskinen som Purus Stainless nu investerar i är en Prima-Power LPe8 för plåtformat upp till 4300 x 1500. Det är en laserkombimaskin som är ett servoelektriskt, automatiskt arbetscenter som integrerar flera processer i en maskin. Med Prima-Power LPe8 kan avancerade plåt-detallier stansas, formas, bockas och gängas för att därefter laserskäras ut och sorteras eller staplas, allt i en enda automatisk process och med en oöverträffad flexibilitet. Maskinen har TULUS operatörsgrenssnitt som är anpassat till att förkorta ställtider till ett minimum.

Den servoelektriska Prima-Power LPe8 reducerar tillverkningskostnaderna genom flexibilitet, reduktion av materialspill samt en oöverträffad produktivitet. Den har även låg ljudnivå, låg energiförbrukning, låga underhållskostnader och en extrem noggrannhet i stanslaget. Prima-Po-



Tre operatörer hos Purus Stainless.  
Från vänster Jesper Nielsen, Matthias Thorén och Jonas Kjellin.

wer LPe8 är utrustad med Convergent PRIMA 4000W CO<sub>2</sub> laser som är en högeffektiv och driftsäker laser.

Purus Stainless har även valt att utrusta maskinen med dubbla Combo8 FMS lager som är två materialhanteringstorn.

Combo8 lagret jobbar med paletter för att lagra råmaterial, färdiga detaljer, samt EUR-pallar med material på. I aktuell layout har lagret en 2-vagns koppling mot kombimaskin LPe8 och robot LSR8 för att både förse maskinen med råmaterial samt ta hand om färdiga detaljer.

Till Combo8 FMS lagret går det att koppla ytterligare maskiner. Man kan också med fördel förse lagret

med detaljer som kommer från en extern process, t.ex. pressning, laserskärning etc. Systemet håller reda på allt i lagret.

Antalet paletter är flexibelt och styrs av hur högt tornet är samt hur många paletter man vill ha för råmaterial, färdiga detaljer och EUR-pallar.

Mjukvaran till Combo8 är Tulus Storage. Här finner man all nödvändig information om vad som finns i lagret. Vad och hur mycket råmaterial det finns i lagret, vilka färdiga detaljer som finns i lagret, information om olika leverantörer t.ex. telefonnummer, adresser med mera.

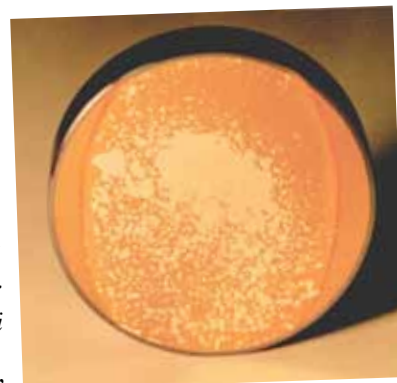
# FRÅGA laserdoktorn

## Bo Williamsson



Hej,

*Vi har ett problem med vår CO<sub>2</sub>-laser. Lasern är cirka 10 år gammal och används uteslutande för skärning. Efter en flytt av lasern med påföljande ominstallation av såväl laser som media ser vi att vi har någon typ av prestandaproblem. Snittkvalitet och skärhastighet är märkbart sämre än tidigare. Vad kan detta bero på? I tillägg kan nämnas att vi vid service sett att det är någon typ av beläggning på speglarna i resonatorn, man kan också se små "kratrar" i speglarna. Bifogar en bild som visar beläggningen på en spegel. Kratrarna är så små att man inte kan se dem på bilden. Vad kan detta bero på, och kan vi få lite tips om hur vi ska lösa problemet?*



*"Bekymrad"*

### **SVAR** Bäste "Bekymrad"

En laser är en komplex konstruktion med många tänkbara felkällor. Men i detta fallet, med den information ni har lämnat kan jag tänka mig följande orsaker och förslag till lösningar:

Beläggningen kan komma ifrån ett överskott av kolväten i resonatorgasen. Kolväten påverkar såväl effekt som stabilitet hos lasern, i extrema fall kan också kol och kolväten kondensera på speglarna. Orsaker till detta kan vara felaktiga komponenter i gasinstallationen, t.ex oljesmorda ventiler, fel val av slangmaterial, internt läckage i resonatorn.

För att åtgärda detta, se till att alla externa komponenter i gasförsörjningssystemet är anpassade till den höga kvaliteten på resonatorgasen. Byt t.ex. oljesmorda ventiler mot specialventiler för högrena gaser. Se till att gasförsörjningen uppfyller kraven som ställs från lasertillverkaren. Ev slangar bör också kontrolleras och ev. bytas ut mot rätt kvalitet. För säkerhets skull bör också kvaliteten på resonatorgasen kontrolleras. Se också om möjligt till att gasflaskorna står uppställda i en oljefri miljö. Vid flaskbyte bör luften i regulatorn/högtrycksslangar spolas ut via en speciell spolventil. Eventuella interna läckage kontrolleras lämpligen vid service.

Gropar i speglarna, och i viss mån även beläggning kan orsakas av fluorföreningar. En vanlig källa till förekomsten av fluor i resonatorgasen är ofta gängtejp som används i kombination med klämringsskopplingar. Många varianter av flytande gänglåsning ("typ Loctite") innehåller också fluor. En annan vanlig felkälla är också gasventiler som är smorda med fluorbaserat fett. För att undvika problem med fluor i gasen bör ni kontrollera att ev. gängtejp inte kommer i kontakt med gasen någonstans på vägen in i resonatorn. Byt ut kopplingar vid behov, och se till att ev. gängtejp endast används på de yttersta gängorna. Flytande gänglåsning bör undvikas helt vid installationer på plats. Alla gasventiler bör kontrolleras och vid behov bytas mot olje- och fettfria ventiler.

I tillägg till detta kan det också vara lämpligt att säkerställa att speglarna i strålgången är hela och fria från beläggning. Linsen i skärhuvudet bör givetvis också kontrolleras. I samband med problem av denna typ rekommenderar jag starkt en kontakt med din laserleverantör. Med beläggningar på speglarna kan det säkerligen finnas orsak att undersöka skicket på glasrören i resonatorn.

Det blev ett långt svar på en kort fråga, men jag tror och hoppas att problemet är löst i och med att ni går igenom de förslag till åtgärder jag har beskrivit.

**"Laserdoktorn" Bo Williamsson**

# Lasermärkning av extruderprofiler tillverkade i PVC

Johnny K Larsson, Volvo Cars

Lasermärkning av komponenter som befinner sig på ett transportband, s.k. "tracking" är ett effektivt sätt att integrera märkningsprocessen i en produktionslinje, eftersom man på detta sätt kan eliminera de flaskhalsar som uppstår då detaljen måste positioneras och indexeras i förhållande till en stationär märkningsutrustning. Fram till nu har "tracking" bara varit möjligt så länge den yta som skall märkas inte är större än det "scanner"-fält som laserstrålen kan täcka. En lång, kontinuerlig märkning utförd i transportbandets rörelseriktning resulterar därmed i längre cykeltider jämfört med små och korta lasermärkningar. Problemet med denna ytbegränsning blev uppenbar då långa rör, kablar eller extruderprofiler skulle förses med märkningar vars storlek överskred det tillgängliga "scanner"-fältet.

Med WinMark Pro v6s nya "Banner Tracking"-funktion kan användare av ett FH Flyer märkverktyg och en Fenix Flyer Laser Marker skapa märkningar över en obegränsad längd utan att för den skull göra avkall på cykeltidskrav. I s.k. "Banner Tracking"-läge bryts en lång markering automatiskt ner i mindre sektioner så att varje sådan sektion ryms inom det tillgängliga "scanner"-fältet. Märksektionerna binds samman så att man inte ser några skarvar för att på detta sätt färdigställa den slutgiltiga långa lasermärkningen.

För att demonstrera denna nya funktion märktes cirka en halvmeter av en fönsterram tillverkad i PVC [PolyVinyl Chloride] med en textsträng där man använde en 100 W laser från Synrad och ett "FH Flyer"-



Figur 1.

En lång, kontinuerlig märkning har här skapats på en fönsterram tillverkad i PVC, något som möjliggjorts tack vare WinMark Pros nya "Banner Tracking"-funktion.

märkverktyg med en fokallängd på 370 mm [Fig. 1]. Med denna uppställning kunde man arbeta med en fokalpunktsdiameter på 540 µm över hela "scanner"-fältet. Komponenterna matades på ett transportband med en kodomvandlare som förmedlade information till märkverktygets användargränssnitt.

Märk-filen bestod av ett långt textobjekt formaterat i typsnittet "Simple" och omfattade företagsnamn, artikelnummer och tillverkningsdatum. Totalt innehöll textobjektet 99 tecken och mätte 518,2 x 9,7 mm. Noterbart är att textlängden

på 518,2 mm överstiger "scanner"-fältets maximala utsträckning på 297 mm, vilket i sin tur är avhängigt av den 370 mm långa fokallängden. Märkningshastigheten kom att uppgå till 3.175 mm/sek vid en laserefekt på 100 W.

Den här beskrivna textsträngen kunde framgångsrikt märkas då transportbandet rörde sig med en hastighet av 24,4 m/min, och textsträngen framträdde som en kontinuerlig märkning utan några synliga skarvar över fönsterramens hela längd, och skulle rent teoretiskt kunna utsträckas i oändlighet.

## Lasermärkning och -skärning av dekorativa kort

Förutom till märkning används "FH Flyer"-verktyget ofta för att skära i tunna material. Eftersom materialen är så tunna går det att skära mycket snabbt och därmed uppkommer nästan inget skärdamm, vilket gör att det ej finns behov av assistgas för att kyla ner skärnsnittet och blåsa bort restpartiklar. Dock bör man installera någon form av rökutsug så att ångor och skärdamm hålls borta från fokuseringslinsen då man använder sig av ett märkningsverktyg för laserskärning. För applikationer där ett tunt material måste både skäras och märkas är märkverktyg betydligt snabbare än traditionella lasergravymaskiner eller X-Y-bord eftersom märkverktyget använder galvospeglar vilka snabbt kan avlänsa laserstrålen.

I den här aktuella applikationen lasermärktes bruninfärgat råpapper vilket sedan laserskars till visitkortsstorlek [Fig. 2]. En Synrad 60 W laser användes för att åstadkomma detta tillsammans med ett "FH Flyer"-verktyg med 200 mm fokallängd samt Synrads "WinMark Pro"-mjukvara. Med denna uppställning fick man en 290 µm stor fokuspunkt på råpappersytan. Bildobjektet utgjordes av en .bmp-fil som importerades i WinMark Pro tillsammans med det grafiska typsnittet "Stencil" samt kortets ytterkontur, det senare för att bidra med information till den efterföljande laserskärningen. Med 60 W lasereffekt sattes märkningshastigheten till 5.080 mm per sekund och upplösningen till 200 SLPI [Scan Lines Per Inch]. Även för skäroperationen användes 60 W men här sänktes processhastigheten till 165 mm/sek för att erhålla rena skärkanter i råpappret.

Det slutgiltiga dekorativa kortet mäter 90,2 x 50,9 mm där den bruna grundfärgen bleks till vitt vid märkning och skärkanterna blir rena. Den

### Figur 3.

Två kontinuerliga rader av termoplastiska kontaktstift laserskars till specificerade längder med 80 W lasereffekt och en processhastighet på strax under 2 m/min.

kombinerade märknings- och skäroperationen tar endast 10,39 sekunder att fullborda!

## Laserskärning av högtemperatur-termoplaster

Grupper av kontaktstift används i många produkter för att skapa elektrisk kontakt mellan flera på varandra staplade kretskort. Förutom att leda elektricitet mellan kretskorten har dessa kontaktstift också till uppgift att säkerställa ett visst avstånd mellan de olika kretskorten.

Det här aktuella applikationsförsöket gick ut på att fastlägga realiserbarheten av att lasertrimma en kontinuerlig rad bestående av 8 eller 24 stycken kontaktstift till de av kunden förskrivna längderna [Fig. 3]. Varje segment i de två raderna av kontaktstift är format av en högtemperatur-

termoplast och stiften är förbundna med varandra genom små flikar som mäter 0,51 mm i bredd, 2,18 mm i höjd och 1,27 mm i tjocklek.

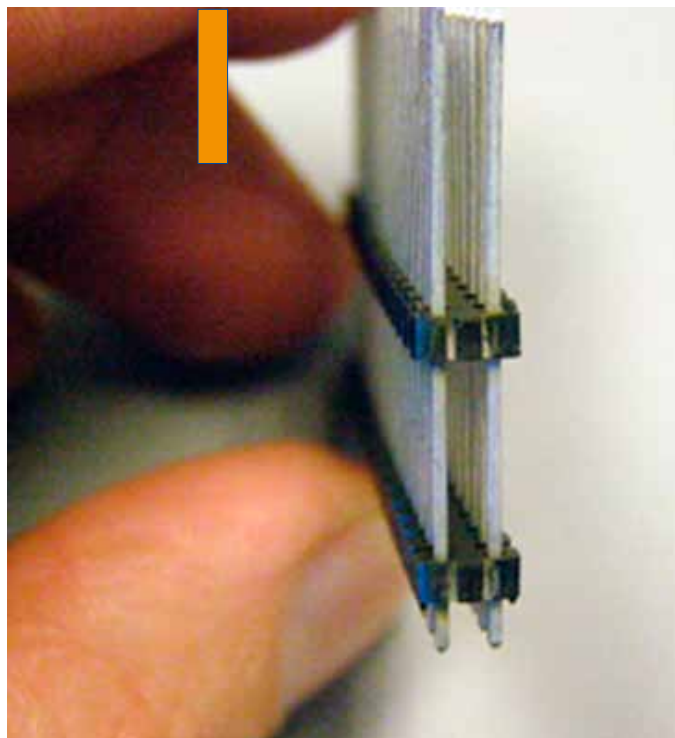
Laserskärningen utfördes med hjälp av ett x-y-skärbord och en flygande optik. Laserstrålen fokuserades med en konkavkonvex lins med 127 mm brännvidd vilket gav en fokuspunkt med 203 µm diameter och ett skärpedjup på 6,35 mm.

Genom att använda 80 W laser-effekt och 1,03 bar assistgas i form av ren, torr luft kunde dessa rader av kontaktstift skäras med en maximal hastighet av 1.905 mm/min. Snittyrtorna var rena och uppvisade ingen återsmältning eller förkolning. Den lilla missfärgning som syns på varje sida om skärkanten är ett resultat av förångad termoplast under skärprocessen.



### Fig 2.

Genom att använda en 60 W laser och ett "FH Flyer"-märkverktyg kunde detta bruninfärgade råpapper märkas och laserskars till visitkortsstorlek på blott 10,39 sekunder.



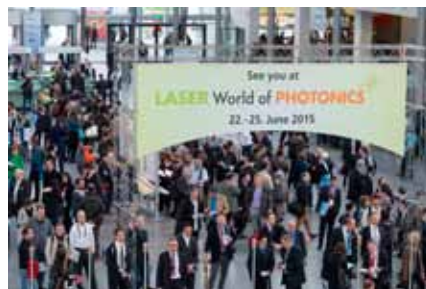


RAPPORT FRÅN LASERS IN MANUFACTURING [LIM] 13-16 MAJ VID INTERNATIONAL MESSE MÜNCHEN

# Rekordtidig Oktober-Fest för alla laserentusiaster vid World of Photonics och Lasers in Manufacturing



Johnny K Larsson, Volvo Cars



Laser World of Photonics, som vartannat år går av stapeln på International Messe München [IMM], torde vara en av världens största och mest välbesökta lasermässor. I år firade detta evenemang dessutom sitt 40-årsjubileum, vilket uppmärksammades under invigningsceremonin då styrgruppspresidenten för Laser World of Photonics, välbekante Dr. Peter Loosen från ILT [Institut für Lasertechnik, Aachen] och IMM:s VD Reinhard Pfeiffer fick tillfälle att hälsa på och tacka åldermännen och initiativtagarna till mässan; professor Wilhelm Waidelich och Gerd vom Hövel, dåtida mässansvarig [Fig. 1]. Dessa båda gentlemen fick därmed tillfälle att berätta några "historiska anekdoter" där vom Hövel bl.a. berättade att höjdpunkten vid premiärtillfället 1973 var uppvisandet av en rubinlaser som hämtats

hit från U.S.A. Numera är det lite andra dimensioner på denna lasermässa som i år räknade in drygt 27.000 besökare från 74 olika länder, vilka i fyra utställningshallar kunde se de senaste produktnyheter och innovationerna från inte mindre än 1.136 utställare.

Men inte nog med detta, utan parallellt med lasermässan försiggår

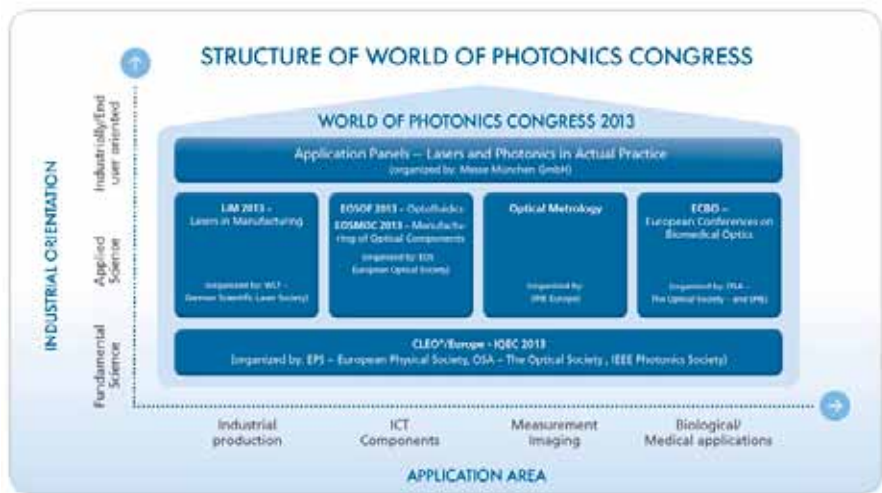
ett antal högklassiga konferenser där forskare redogör för de senaste resultaten från sin verksamhet, och där forskningsområdena sträcker sig alltifrån laseranvändning inom bio- och medicinteknik till militärt försvar och energiförsörjning. Strukturen för konferensdelen framgår av Fig. 2, och de olika konferenserna utgjordes av:



Figur 1.

T.v. nöjda miner hos Herrar Pfeiffer och Loosen i samband med invigningen av World of Photonics 2013 och t.h. flankeras den förstnämnde de två initiativtagarna till den första mässan 1973: Wilhelm Waidelich och Gerd vom Hövel.

- CLEO®/Europe – IQEC [Conference on Lasers and Electro-Optics – International Quantum Electronics Conference], vilken hade organiserats av EPS [European Physical Society]
- ECBO [European Conferences on Biomedical Optics], arrangerad av OSA [Optical Society of America]
- LiM [Lasers in Manufacturing], där tyska WLT [Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik e.V.] stod för huvudmannskapet
- Optical Metrology, som organiserades och sponsrades av SPIE [International Society for Optics and Photonics]
- EOSMOC [EOS Conference on Manufacturing of Optical Components], som hade arrangerats av EOS [European Optical Society]
- EOSOF [EOS Conference on Optofluids] likaledes organiserad av EOS



Figur 2. World of Photonics omfattar ett flertal olika konferenser där strukturen framgår av detta schema.

Sammanlagt innehöll dessa olika konferenser 2.800 presentationer, vilket lär vara något av ett rekord för branschen, och World of Photonics' konferensdel hade attraherat mer än 5.000 delegater. Lägg därtill 18 stycken s.k. "Application Panels", vilka försiggick i själva utställningshallarna och där olika temablock rörande laserteknik adresserades av sakkunniga föredragshållare, så kan läsaren förstå att den laserintresserade kände sig som "fisken i vattnet". Dock kräver ett så omfattande utbud en noggrann planering från den deltagandes sida för att under en koncentrerad tidrymd på fyra dagar kunna erhålla största möjliga utbyte av besöken på mässan. Trots detta måste jag konstatera att min följande redovisning endast kommer att kunna utgöra ett axplock av vad som presenterades, men där jag har försökt välja ämnesområden som jag hoppas och tror att Lasergruppens medlemsföretag kan ha ett visst intresse av!

Men låt oss börja med några godbitar från inledningsdagens s.k. "Plenary talks". Förste talare här var Dr. Adolf Giesen [Fig. 3], "disklaserns uppfinnare" och grundare och delägare till företaget Dausinger

& Giesen GmbH. Efter en mångårig forskargärning vid Universität Stuttgart har Dr. Giesen gett sig in i den industriella sektorn där han erbjuder DLR [Deutsches Zentrum fur Luft- und Raumfahrt] sina tjanster! Nu fick vi en gedigen genomgång av "State-of-the-Art" då det gäller tunn disklasrar, men också vad som kan förväntans ske inom detta område i framtiden. Basen för denna typ av laser är en tunn disk eller skiva, mellan 0,1-1,0 mm i tjocklek och med en diameter på 5-45 mm, som är dopad med 7% Yb [Ytterbium]. Den tunna skivan gör att man undviker termiska distorsioner, vilket annars är vanligt vid höga pumpeffekter och då resulterar i en försämrad strålkvalité. Dagens disklasrar är typiskt upp-

byggda av en parabolisk spegel och 5 planspeglar och laserstrålen gör mellan 16-32, ibland ända upp till 44, passager inuti laserkaviteten för att genererar en hög uteffekt. Man kan idag, via en s.k. "Master Oscillator" kombinerad med tre sekventiella forstarkningssteg, ta ut upp till 10 kW ur en enskild disk, men vanligtvis förekommer i kommersiella produkter 2-4 diskar vid effekter mellan 8-16 kW där strålkvalitén < 8 mm\*mrad. Just den suveräna strålkvalitén ar ett kännetecken för denna lasertyp och värden på 2 och 4 mm\*mrad är normalt för 2 respektive 4 kW uteffekt från en enskild disk.

På senare år har ju ämnesområdet kortpuls-lasrar dragit till sig uppmärk-samheten, och även här



Figur 3. Dr. Adolf Giesen från Deutsches Zentrum fur Luft- und Raumfahrt (Stuttgart) i aktion under World of Photonics "Plenary talk", där han på ett initierat sätt redogjorde för framtida utvecklingstrender inom disk-lasersegmentet.

menade Dr. Giesen har disklasern framtiden för sig. I sin forskning har han lyckats uppnå effekter på 80 W vid 800 fs [femtosecond =  $10^{-15}$  sekund] långa laserpulser med cirka 70% optisk verkningsgrad genom att använda sig av en regenerativ förstärkare. Det tycks också pågå något av en tävling mellan de tyska forskningsinstituten om att på effektivaste sätt skapa 1 Joule laserenergi. Hos DLR har man lyckats med detta vid pulslängder mellan 100 ps [picosecond =  $10^{-12}$  sekund] och 10 ns [nanosecond =  $10^{-9}$  sekund] och en frekvens på 1kHz. Dessa värden har emellertid Max Born Institut kontrat genom att åstadkomma detsamma med 5 ps-pulser och 100 Hz!

Det pågår också forskning kring att skapa längre våglängder på 2-3  $\mu\text{m}$  för disklasrar för att på så sätt kunna konkurrera med diodlaserns skräddarsydda laservåglängder. För att åstadkomma detta dopar man skivorna med Ho [Holium] vilket ger en våglängd på 2,09  $\mu\text{m}$  och en maximal uteffekt på omkring 1 kW. För ännu högre lasereffekter krävs andra material i skivorna/diskarna såsom Cr:ZnSe eller Yb:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, vilket då resulterar i ett något längre våglängdsområde [2,4  $\mu\text{m}$ ]. Avslutningsvis gjorde Dr. Giesen den intressanta jämförelsen av energidensitet mellan de aktiva medierna i en "gammaldags" stavlaser och dagens disk- och fiberlasrar. Med stavlasarna var man lycklig om man lyckades skapa en uteffekt på 100W/cm<sup>3</sup>, medan vi med dagens moderna fastkroppslaserteknik talar om MW/cm<sup>3</sup>!

I övrigt handlade flera av premiärdagens "Plenary talks" om olika sätt att öka upplösningen vid laserbearbetning för att kunna åstadkomma s.k. miniatyriserad tillverkning. Huvudtalare under LiM-konferensens öppningsceremonier, vilka f.ö. leddes på ett utmärkt sätt av dess "General chair" professor Claus Emmelmann, institutionsföreståndare vid iLAS [Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik vid Technisches Universität Hamburg-Harburg (TUHH)], var Dr. Thomas Tschentscher från European XFEL som adresserade ett pågående projekt för XFEL [X-ray



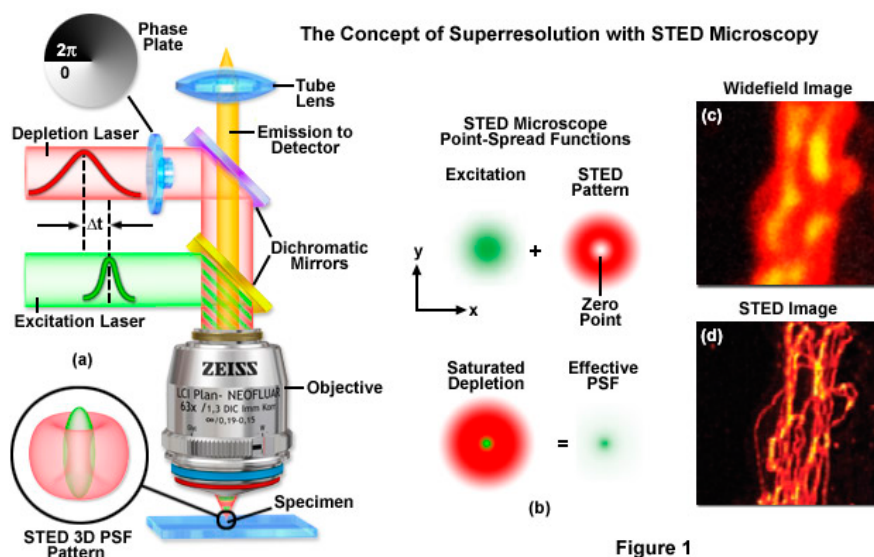
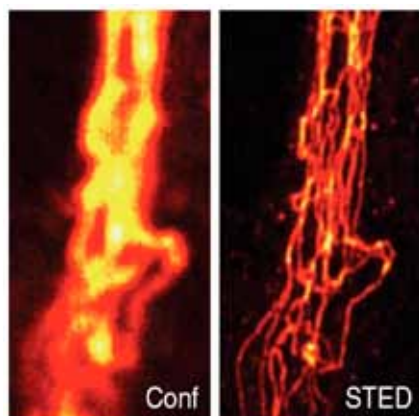
Figur 4.

En sektion av en s.k. undulatormagnet håller på att finjusteras. Vid XFEL-teknik används dessa magneter för att accelerera de fria elektronerna.

Free Electron Laser]. En 450 meter lång partikelaccelerator är under uppbyggnad där även Sverige är med på ett hörn genom Vetenskapsrådet. Omslutningsbudgeten ligger på 1.147 miljoner euros och byggnationen förväntas bli färdigställd under 2016. Tekniken bygger på att man genererar ultrakorta och energiintensiva röntgenpulser där elektronerna accelereras med hjälp av flera hundra meter långa undulatormagneter [Fig. 4]. I slutet av acceleratoren dumpas elektronerna varpå endast ljusstrålningen återstår, vilken då kan ha en energitäthet på mellan 1013-1018 W/cm<sup>2</sup> samtidigt som upplösningen vid bearbetning ligger på atomär nivå! Dr. Tschentscher refererade till några försök utförda med 15-100 fs långa pulser och frekvenser mellan 0,1-4,5 MHz. Beroende på dessa parametervariationer går det att skapa pulsenergi alltifrån 0,2  $\mu\text{J}$  till 4 mJ per puls. Mikrosvetsning med denna teknik, utförd vid Osaka University, visade att en pulsenergi på 70  $\mu\text{J}$  ger ett svetsdjup på 40  $\mu\text{m}$  vid en svetsbredd kring 4  $\mu\text{m}$ . Denna nya, innovativa teknik är främst tänkt att komma till användning inom medicinbranschen då man med hjälp av denna kan fastlägga den tredimen-

sionella orienteringen av främmande celler i kroppsvävnad med en upplösning på 2,1 Å [1 Ångström = 0,1 nm], något som kan vara till hjälp vid utveckling av nya mediciner och behandlingsmetoder, samtidigt som det skapar en bättre förståelse för den biologiska kemien.

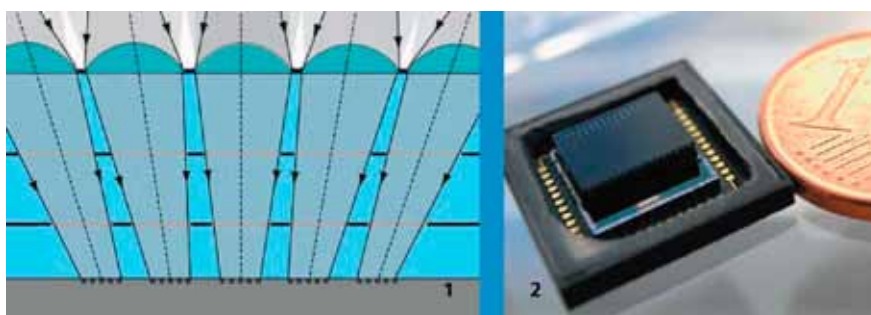
Superupplösning var temat också för professor Dr. Stefan W. Hell från Max Planck Institut i Göppingen, som hade bjudits in som öppningstalare vid invigningen av årets World of Photonics. Han berättade om s.k. STED [Stimulated Emission Depletion, [Fig. 5] -teknologi, vilken är en form av mikroskopi där objektet belyses av laserljus med en våglängd på 775 nm. Med normal konfokal mikroskopi når man upplösningsnivåer kring 25 nm, men med STED kan man komma ner till cirka 8 nm, och i vissa extremfall kring 2,4 nm. Även här förutspås kirurgi/medicinsektorn bli den stora användaren då man med STED kan detektera proteiners orientering i nanoskala och t.ex. identifiera cellstrukturer som kan vara speciellt känsliga för HIV [Human Immunodeficiency Virus] -infektion.



Figur 5.

Med s.k. STED-teknologi kan man nå en förbättrad upplösning vid mikroskopi jämfört med traditionell konfokal sådan, vilket framgår av bilderna närmast. Längst t.h. en principskiss där det aktuella objektet belyses med laserljus med 775 nm våglängd.

Ett annat exempel på bättre upplösning vid betraktande av ett objekt kunde vi lyssna till vid inledningen av LiM, då WLTs [Wissenschaftliche Gesellschaft für Lasertechnik e.V.] president för åren 2013-14, sympatiske Dr. Andreas Ostendorf [Ruhr Universität Bochum], delade ut organisationens innovationspris på 2.000 € till Dr. Andreas Brüggner från Fraunhofer IOF [Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik] i Jena. I många vardagliga produkter som miniatyrkameror, "Smartphones", "Laptops", optiska sensorer samt vid medicinteknisk bildanalys ligger pixel-storleken idag kring 1,1  $\mu\text{m}$ . Trenden är dock att minska denna ytterligare för att få rum med ytterligare mer information och att kunna göra de här nämnda produkterna ännu mindre. En mindre pixelstorlek innebär emellertid ett större "brus", d.v.s. en större risk för felläsning vid betraktning av pixlarna. Dr. Brüggner hade undersökt hur man med optikutveckling kunde motverka sådana effekter och han hade då tagit inspiration från biologin och hur insekters ögon är uppbyggda och fungerar. Konceptet innebär att man segmenterar synfältet och låter flera kameror registrera var sin del av objektet, och när denna information sedan sammanställs får man ett högupplöst slutresultat. Kamerorna är försedda med mikrolinser med 100  $\mu\text{m}$  diameter och ett stort skärpedjup [Fig. 6], vilket gör



Figur 6.

Dr. Andreas Brüggner från Fraunhofer IOF förädrades med WLT Innovationspris 2013 för sin segmenteringsprincip vid bildanalys. Genom att kombinera ett stort antal mikrolinser enligt ovanstående princip blir det möjligt att tillverka miniatyrkameror, vars storlek man kan få en uppfattning om genom bilden längst t.h.

att objektet alltid befinner sig i fokus och parallaxeffekter kan undvikas. Med denna teknik blir det möjligt att tillverka digitalkameror som har en tjocklek på 1,42 mm, men tekniken kommer också att vara användbar för nästa generation av mikroskop.

Ytterligare ett exempel på "högupplöst laserbearbetning" fick vi då vi lyssnade till en av de inbjudna talarna i "Macro Processing"-delen av LiM, Michael von Borstel från

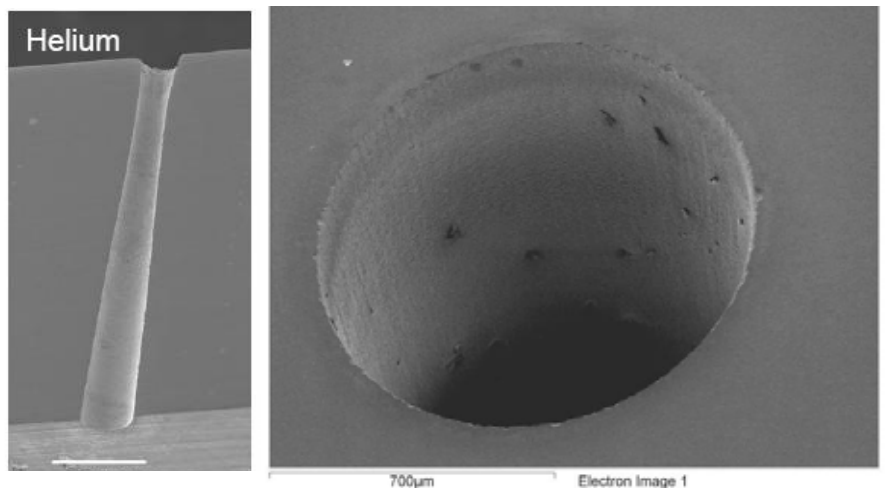
Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH, då denne talade under rubriken "From IR to EUV". Han menade att industriell tillverkning inom många branscher i framtiden kommer att kräva en detaljupplösning som understiger 10 nm. För detta krävs kortare våglängder som t.ex. EUV [Extreme Ultra Violet] där transmissionen av laserstrålen måste ske i vakuum. Tekniken bygger på att man låter ljus med 10,6  $\mu\text{m}$  våg-

längd absorberas i ett tennplasma, och metoden lanserades först av det amerikanska företaget Cymer. Där lyckades man skapa 100 W ren EUV-strålning genom att använda en pulsad CO<sub>2</sub>-laser med 25 kW medeleffekt, 50 kHz frekvens och en numerisk apertur [N.A.] på 0,16. Idag är det holländska företaget ASML som ligger i teknikfronten [Fig. 7], och det är främst inom tillverkningen av halvledare som en sådan här precisionsbearbetning blir aktuell. ASML har kombinerat fyra stycken TruFlow 30000-lasrar och kan på så sätt, med ovan beskriven teknik, generera 40 W ren EUV-strålning. Men utvecklingen slutar inte här, utan genom att ersätta tenn i plasmat med det sällsynta jordartsmaterialet Gaddolinium [Gd] kan man nå en upplösning ner till 6,5 nm avslutade Dr. von Borstel sin intressanta föredragning.

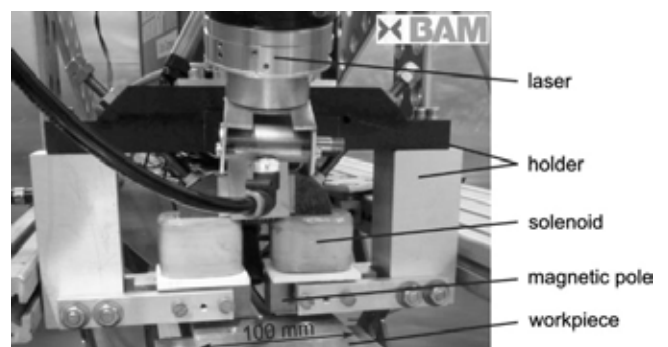
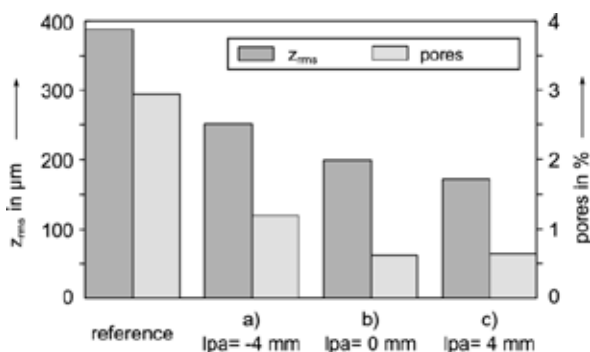
Just UV-lasrarnas korta våglängd kring 355 nm är utmärkta vid mikrobearbetning, något som Mark Thompson från Coherent Scotland underströk i sitt föredrag där han passade på att göra reklam för företagets Talisker™-serie av picosecond-lasrar med som han påstod 12.000 timmars garanterad driftstid. Storleken på insprutningshål i flygmotorer är på väg mot allt mindre diametrar [Fig. 8] där man talar om 150 µm i framtiden, och idag laserskär man blodkärlsförstärkningar i materialet Nitinol med en vägg tjocklek på 50 µm. De främsta fördelarna med UV-baserade



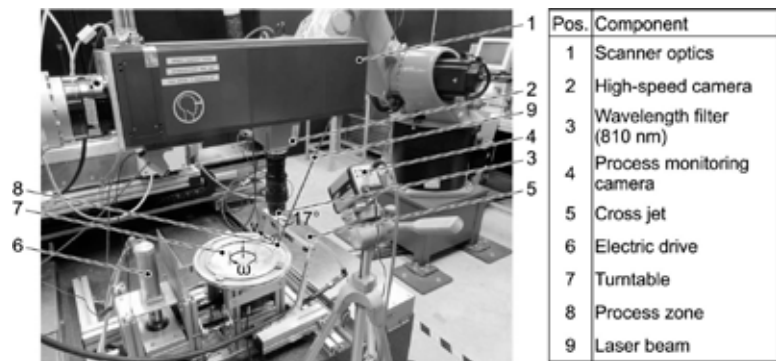
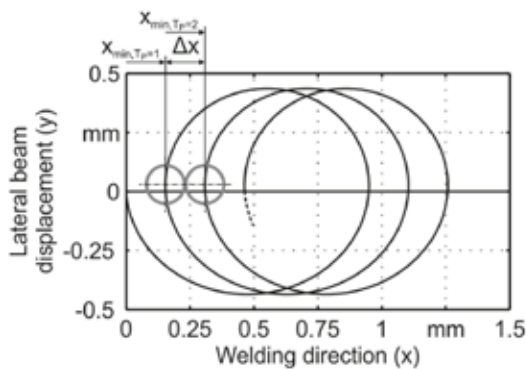
**Figur 7.** Det holländska företaget ASML i Veldhoven är idag världsledande då det gäller tillverkning av maskiner som kan generera EUV. T.v. en av företagets senare produkter med modellbeteckningen NXE3100.



**Figur 8.** Med kortpuls-lasrar kan man bl.a. borra hål med mycket små diametrar. Till höger, i 1 mm tjockt stål och t.v. i 1 mm glas med 150 µJ pulsenergi och en pulsfrekvens på 50 kHz.



**Figur 9.** Ovan den använda försökuppställningen där ett magnetfält appliceras kring laserstrålen vid svetsning av aluminium AA5754, och t.h. framgår att slätaste toppyta och lägst porositet i svetsgodset får man då laserstrålen placeras 4 mm framför magnetspolarna (lpa = 4 mm).



Figur 10.

Olika oscilleringsmönster hade studerats vid svetsning av rostfritt 1.4301-material med hjälp av utrustningen t.h. som bl.a. omfattar ett "scanner"-verktyg från Arges och en höghastighetskamera.

kortpuls-lasrar, sammanfattade Mr. Thompson, var mindre värmepåverkan, kortare bearbetningstider samt små fokalpunkter < 10 µm.

Ett annat populärt tema vid årets "Lasers in Manufacturing" var pendling av laserstrålen för att vinna såväl process- som produktförbättringar. Begreppet pendling har många namn i det internationella vokabuläret, men vanligast förekommande torde "beam oscillation" vara, följt av "wobbling". Ett första exempel på detta kunde vi lyssna till under sessionen som handlade om lasersvetsning och -lödning under ordförandeskap av tidigare omtalade Dr. Andreas Ostendorf. André Schneider från BAM [Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung] i Berlin redogjorde för hur man med hjälp av ett oscillerande magnetiskt fält kring nyckelhålet kan förbättra resultaten vid lasersvetsning i aluminium. Då man bedömer svetskvaliteten efter normen EN-ISO 13919:2 är det främst två kriterier som är svåra att uppfylla: begränsad porförekomst i svetsgodset samt kravet på en slät toppyta på svetsen. Båda problemen går att hänföra till den dynamiska processen vid aluminiumlasersvetsning och de förekommer främst i de fall då man inte tillåter full penetration.

Genom att applicera ett magnetiskt fält kring laserstrålen hade man påvisat att de nämnda svetsdefekterna går att minimera. Störst effekt hade man erhållit då laserstrålen placerades 4 mm framför magnetpolarna [Fig. 9]. Försöken hade utförts

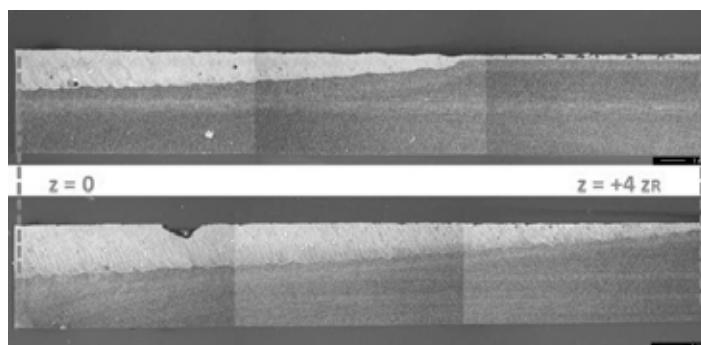
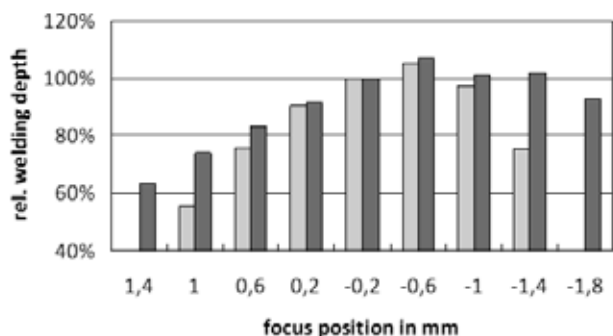
på 6 mm tjockt AlMg3 [AA5754]-material och man hade använt en stavlaser med 4,4 kW maximal uteffekt. Svetsverket hade vinklats 18° i framföringsriktningen, fokusläget var -3 mm, framföringshastigheten 1,5 m/min och Argon [40 l/min] hade använts som skyddsgas. Man hade observerat att magnetfältets frekvens påverkade penetrationsdjupet såtillvida att 10 kHz resulterade i en liten penetration, medan det omvända förhållandet rådde då frekvensen sänktes till 1 kHz. För att lösa såväl porositetens som toppyteproblemet hade man i försöken valt att använda en frekvens på 4 kHz vilket hade gett de förväntade förbättringarna.

Pendling av laserstrålen används främst för att överbrygga spalter vid lasersvetsning, öka hållfastheten i svetsen genom att göra densamma bredare samt att kunna bearbeta svårsvetsade material som exempelvis koppar. Nu hade Markus Schweier och hans kollegor vid iwb [Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften] vid Technisches Universität i München studerat om en elliptisk oscillering av laserstrålen skulle kunna reducera förekommande svets-sprut vid lasersvetsning av X5CrNi18-10-material [1.4301]. Man hade använt ett "remote"-verktyg från Arges och en 3 kW "single mode" [SM]-fiberlaser från IPG, YLR-3000-SM. Svetsförloppet hade höghastighetsfilmats [Fig. 10] och man hade utvecklat en särskild beräkningsalgoritm baserad

på automatisk bildanalys med hjälp av vilken man kunde kvantifiera antalet svets-sprut vid olika parameter-upsättningar. Tyvärr hade man inte kunnat påvisa någon minskning av förekomsten av svets-sprut med denna form av oscilleringsteknik.

Problemen med fokalpunktsförskjutning har ju varit ett tema vid senare års laserkonferenser, där man främst försökt motverka problemet genom att förbättra de optiska komponenterna. I ett intressant föredrag av Christiane Thiel [Universidad Politécnica de Madrid] visades på hur man med olika åtgärder kunde stabilisera svetsprocessen och göra den mer robust mot fenomenet med ett varierande fokalpunktsläge genom att säkerställa ett större penetrationsdjup.

Ett av sätten var just att oscillera en laserstråle med smal midja och kort Raleigh-längd. Materialet som svetsats var Stellite6 och man hade använt 1500 W effekt från en disk-laser. Svets-hastigheten var 5 m/min och amplituden i pendlingen var 70 µm. Svetsförloppet hade dokumenterats via höghastighetsfilmning med 25.000 fps [frames per second], och man kunde bevisa att man bibehöll ett relativt konstant penetrationsdjup även då fokalpunktsläget förändrades [Fig. 11]. Den andra åtgärden för att komma till rätta med ovannämnda problem var att använda sig av en sinusformad variation av lasereffekten. Här hade man använt 1000 W medeffekt och modulerat densamma med 167 Hz frekvens.



Figur 11.

Genom strålscillering (t.v.) eller effektmodulering (t.h.) vid lasersvetsning kan man öka penetrations-djupet och därmed minimera effekterna av fenomenet med fokalpunktsförskjutning.

I diagrammet t.v. är ljusa staplar utan och mörka staplar med pendling, och i tvärsnittet t.h. syns överst svetsning med 1 kW konstant effekt och underst 1 kW medeffekt vid pulsning med 167 Hz.

Svets hastigheten i dessa försök hade satts till 2 m/min och resultaten var lika lovande som de som utförts med strålscillering [Fig. 11]. De redovisade resultaten härrörde från det s.k. ”BriPro”-projektet vilket hade finansierats av BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung].

### Application Panel Automotive

Ett populärt inslag vid Laser World of Photonics var de ”Application Panels” som introducerades första gången för två år sedan och som består av ämnesavgränsade presentationer som försiggår på olika scener runt om i utställningshallarna. En av dessa hade underrubriken ”Automotive” varför den självklart drog författarens intresse. Jag har ju själv haft äran att få hålla föredrag i dessa sammanhang, men i år var det Niclas Palmquist som fick hålla ”Volvo-fanan” högt, då han redogjorde för de olika kontrollsystem som används för att säkerställa en högkvalitativ lasersvetsning av våra personbilskarosser. Moderatorer vid denna panel var radarparet Rüdiger Brockmann från Trumpf och Dieter Päthe från Volkswagen och förste talare var Oliver Müllerschön likaledes från Trumpf. Denne gjorde en bred exposé över laserteknikens mångfasetterade användningsområden inom personbilsbranschen där jag noterade följande exempel:



Figur 12.

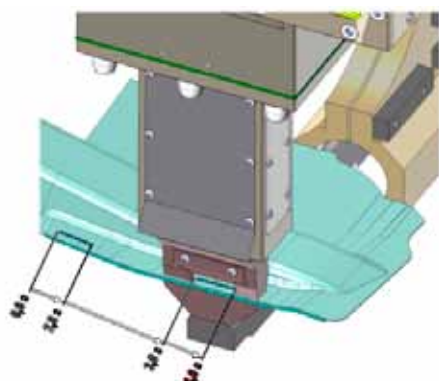
Ett axplock av olika drivlinekomponenter som idag lasersvetsas i högvolumproduktion.

- Flänsbreddsreduktion för att minska vikt och förbättra förarens siktvinklar, och där Daimler har en tumregel som säger 8 mm flänsbredd vid lasersvetsning jämfört med 14,5 mm för en punkt-svetsad fläns.
- Transmissionskomponenter som bl.a. differentialväxlar och dubbelkopplingar [Fig. 12] där man framförallt strävar efter smala och djupa svetsar. BMW svetsar således ett kugghjul i 16MnCr5-kvalitet till ett växelhjul i GJS600-material, och man svetsar liknande komponenter utan tillsatsmaterial och använder Trumpfs SeamLine-Pro® för processövervakning.
- Exempel på ”remote”- eller ”scanner”-teknik hittar vi på sidodörrarna till Audi Q5 där den huvudsakliga drivkraften har varit att minska den improduktiva tiden. Svetsprocessen föregås på känt manér av en s.k. ”dimplings”-operation där en pulsad laser skapar små noppor i singeldetaljen

vilka säkerställer en konstant spalt för zinkavgasning under lasersvetsningen. För denna krävs lasereffekter mellan 4-6 kW och en strålkvalitet på 4-8 mm\*mrad.

- För laserskärning av presshårdade karosseridetaljer krävs typiskt 3-4 kW lasereffekt och 4 mm\*mrad i strålkvalitet, medan man vid laserlödning kan nöja sig med  $\geq 25$  mm\*mrad och 3-5 kW effekt.
- Ett sista exempel handlade om hur man med hjälp av laserteknik kunde avlägsna fosfateringssskiktet på plåten innan lackeringsprocessen.

Välbekante Thorge Hammer från Volkswagen gjorde några intressanta avslöjanden. Han inledde sitt anförande med att trycka på branschens krav på mindre CO<sub>2</sub>-utsläpp och minskad tjänstevikt. Detta exemplifierade han med nya Golf-modellen, som f.ö. är den sjunde generationen, vilken påstods vara cirka 100 kg lättare än sin föregångare från 2008. En



Figur 13.

Till slut tycks IPGs lasersvetstång, den s.k. "Laser Seam Stepper", fått sin första industriella tillämpning hos VW, där den används vid karosserisvetsning av taksvallare och B-stolpar.

stor del av viktsbesparingen går att hänföra till användningen av höghållfasta stålqualiteter och då inte minst presshårdade detaljer. VW var tidigt ute med att laserskära dessa och installerade för några år sedan inte mindre än 17 stycken 3 kW CO<sub>2</sub>-lasrar i Kassel-fabriken för detta ändamål. Nu har det emellertid visat sig att cykeltidskraven blir svåra att innehålla, varför VW i stor utsträckning håller på att återgå till mekanisk klippning och skärning av komponenterna i såväl kallt som varmt tillstånd.

Jag har ju personligen varit skeptisk till nyttan med IPGs lasersvetstång, den s.k. "Seam Stepper" [noggrant beskriven i tidigare nummer av LaserNytt], så därför var det något överraskande att nu få höra att VW har satt detta verktyg i produktion idag [Fig. 13]. Applikationsområdena är taksvallare, B-stolpefot samt en krockförstärkning i B-stolpen.

Annars tycks Volkswagen följa i Daimlers och Audis spår vad gäller RLW [Remote Laser Welding] av sido- och bakdörrar. Några nyckeltal att lägga på minnet:

RLW med RobScan [Trumpf's "scanner"-verktyg med 2 galvospeglar] → 0,3 sekunder/svets

RLW med RoboScan [KUKAs koncept med 1 spegel och rörelsen i robohandleden] → 0,4 sekunder/svets

RSW [Resistance Spot Welding = traditionell motståndspunktsvetsning] → 1,6 sekunder/svets

Idag kan man göra 204 noppor [se ovan] i bakdörren på 4,8 sekunder med en pulsad laser, men Herrn Hammer menade att den fysikaliska begränsningen kan ligga så högt som 250 noppor/sekund. RLW-tekniken har ju främst använts vid svetsning av s.k. påhångsdetaljer, men VW planerar ett införande på den kompletta karossen där man bl.a. avser att svetsa sitsresarna till golvplåten med denna teknik. Man anser att fjärrlasertekniken är ett miljövänligare alternativ till punktsvetsning eller kortbågssvetsning.

Drivlinekomponenter var temat även för Thomas von Pfeil från företaget Felsomat där han visade på ett intressant upplägg med en TruDisk-laser med sex fiberutgångar till olika laserkabinett. Ett sådant kabinett innehåller 6 stationer för laddning, fixering, förvärmning, svetsning, borstning och kontrollmätning [Fig. 14]. På detta sätt tillverkar man en åttaväxlad automatlåda åt företaget ZF där svetsdjupet varierar mellan 2,8 och 5,0 mm och där svetsarna utförs såväl kontinuerliga som intermittenta. Man använder processövervakningsverktyg från Precitec, och en innovativ lösning var den att fixturen också tjänade som säkerhetskabinett för laserstrålningen!

BMW:s lasersvetsade sidodörrar på företagets 1Reihe-modell [projektbeteckning F21] har jag ju detaljerat redogjort för i min rapportering från EALA [European Automotive Laser Applications] -konferensen tidigare i år, så därför blev det något av en repetition att nu få lyssna på



Figur 14.

Felsomats egenutvecklade laserkabinett med modellbeteckningen FLW I 40, som innehåller sex olika arbetsstationer för respektive laddning, fixering, förvärmning, svetsning, borstning och kontrollmätning.

Stefan-Markus Baginskis presentation. Drivkrafterna för valet av lasersvetsning har varit två. Man har ersatt den tidigare fogmetoden falslimning, dels för att erhålla ett förbättrat visuellt utseende hos fogen, samtidigt som lasersvetsningen resulterar i bättre dimensionsstabilitet och högre styvhet [Fig. 15]. Samtidigt kan man rationalisera bort den IR [InfraRed] -utrustning som krävs för att förhärda limmet i karosfabriken. Detta kommer att bli den framtida tekniklösningen för samtliga BMW-modellers sidodörrar och omfattar också en rullfalsningsoperation av ytterpanelen innan lasersvetsningen utförs. I Regensburg tillverkar man idag 450 dörrar om dagen där varje sidodörr innehåller ungefär 2,5 m lasersvets. Laserkällan är en 4 kW fiberlaser från IPG och svetsningen

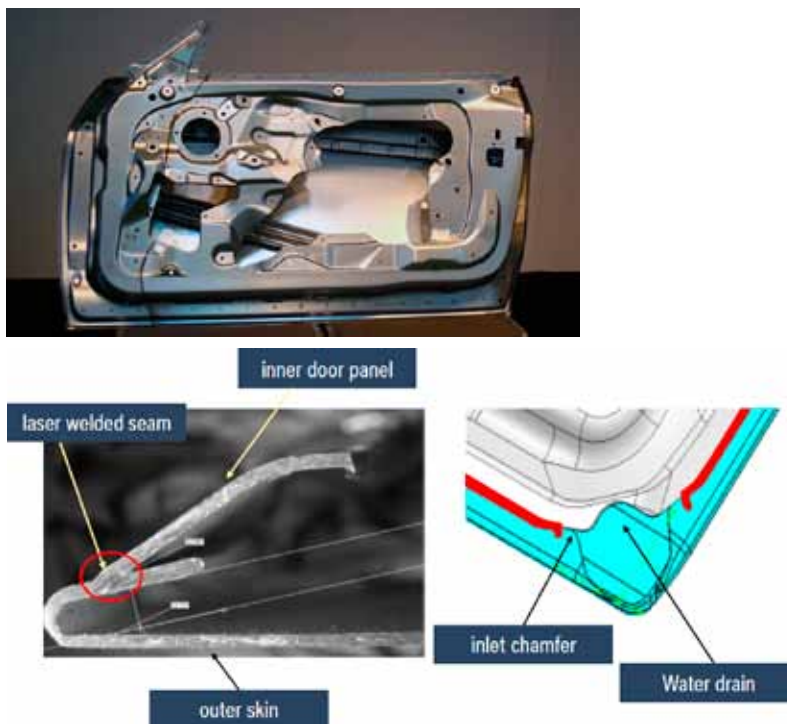
utförs med tillsatstråd. Efter svetsning putsas fogen med hjälp av en automatiserad borstningsoperation. Lessmüllers WeldEye®-verktyg används för processövervakning, och för efterkontroll av eventuell porförekomst används en utrustning från firman W+R som kan identifiera porer ner till en storlek på 0,3 mm.

I samband med s.k. elektrifiering av bilarnas drivlinesystem kommer allt mer kopparmaterial att användas vid exempelvis batteritillverkning. Därför pågår i omvärlden ganska mycket laserforskning som berör dylika lättviktsmaterial. Här redogjorde nu Peter Abels från ILT [Institut für Lasertechnik] i Aachen för några svetsförsök utförda på kopparlegeringar. Man hade använt en 4 kW diodlaser med 808 nm våglängd, en kollimeringslinse med 120 mm brännvidd och en fokuseringslinse med 200 mm dito, och den 0,5 mm stora fokuspunkten hade placerats 2,5 mm ovanför arbetsstycket. Materialtjockleken vid denna basprovning var 1 respektive 4 mm, och man hade gjort en intressant iakttagelse i så måtto att man erhöll ett längre smältbad då man svetsade med full penetration jämfört med partiell sådan. Vid lasersvetsning av stål är ju förhållandet det omvända. Ett applikationsexempel bestod av en kopparbelagd pinne som svetsades till en kopparbärare med 10-15 ms långa laserpulser vilka innehöll 20-30 J energi per puls. Processövervakningen bestod i att smältbadet belystes av en laserstråle med 940 nm våglängd och en brännvidd på 100 mm och svetsprocessen registrerades av en CCD [Charged Coupled Device] -kamera med ett synfält på 1,6×1,6 mm och en bildfrekvens på 4 kHz [Fig. 16].

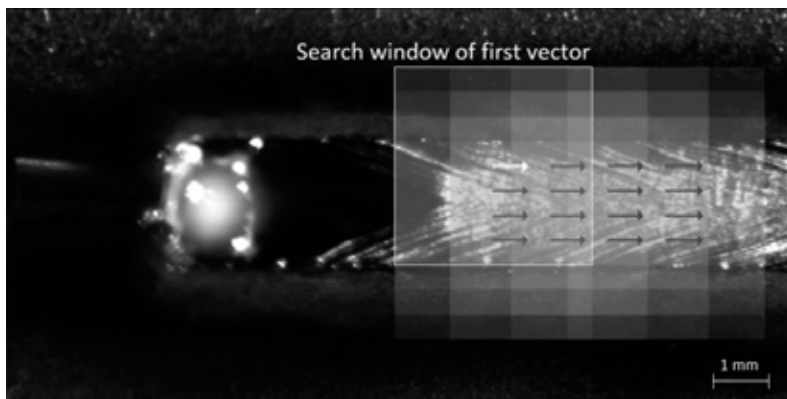
Lasersvetsning av koppar adresserades även av välkände Dr. Markus Kogel-Hollacher från Precitec GmbH som berättade om hur man kunde kombinera två olika laser-våglängder för att uppnå ett bättre resultat. Detta är en idé som jag första gången kunde höra om vid NOLAMP-konferensen i Trondheim 2011 då Andre le Guin från Lasag AG berättade om hur man kombinerar laserljus med grön och röd våg-

längd. Grönt ljus med en våglängd kring 532 nm, s.k. SHG [Second Harmonic Generation, d.v.s. frekvensdubblad laserstrålning], har 8 gånger så stor absorptionsförmåga i koppar jämfört med den längre [1.064 nm] IR [InfraRed] -våglängden [Fig. 17]. Med Precitecs YW30-verktyg finns möjlighet att uppförstora fokuspunkten från det gröna ljuset i förhållandet 3:1 eller 1,5:1, medan endast förhållandet 1,5:1 är möjligt för det infraröda ljuset. Med

denna våglängdkoppling går det att lasersvetsa koppar och andra högreflektiva material med hög hastighet och god kvalitet. Ett annat sätt att lösa dessa reflektionsproblem kan enligt Dr. Kogel-Hollacher vara att oscillera laserstrålen, och då kan man med fördel använda ett annat Precitec-verktyg, den s.k. Seam-Tracker®, vilket även möjliggör effektmodulering då svetsast hastigheten momentant blir lägre vid komplexa robotbanor. Avslutningsvis passade



Figur 15. I Reihe-modellens laserkoncept kommer vi att hitta på alla framtida BMW-modeller.

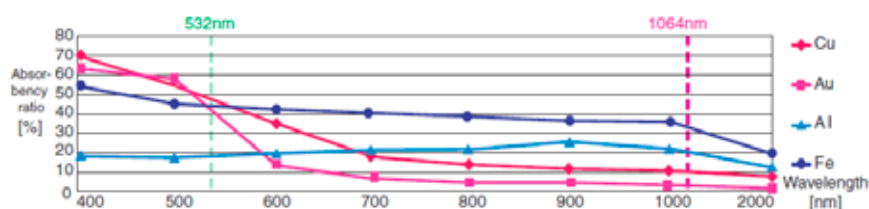


Figur 16. Vid lasersvetsning av kopparmaterial hade processövervakningen skett genom höghastighetsfilmning av smältbadet. Man hade då kunnat konstatera att man fick en mer utsträckt smälta vid full penetration jämfört med en partiell sådan.

den gode Markus på att också göra reklam för företagets processövervakningsplattform WeldMaster™ som kan kopplas till företagets olika verktyg för fogföljning, processövervakning och kvalitetskontroll.

Ett annat välkänt företag som marknadsför laserverktyg är Primes GmbH, och under en annan session vid LiM-konferensen berättade Dr. Schwede att man fram till idag har sålt över 6.500 system avsedda för kontroll av laserstrålen. Primes' i särklass mest välkända produkt är deras PMM [Power Measuring Module] som kan mäta effekten hos laserljus med våglängder mellan 780 och 1.090 nm, effekter mellan 400-8.000 W, strålmiddjor på 15-25 mm och energitätheter upp till 1,5 kW/cm<sup>2</sup> med en noggrannhet på ± 3% och en repeterbarhet av ± 1%. Som användningsexempel visade Dr. Schwede hur PMM-verktyget används hos RollsRoyce i Oberursel då man med hjälp av en 1 kW lampumpad Nd:YAG-laser rekonstruerar monteringspår i Ti6246-material för applicering av dämparkablar [Fig. 18]. Andra verktyg i Primes' sortiment används för att övervaka fokuspunktens storlek, läge och form samt laserstrålens divergensvinkel. Även dessa verktyg kan användas vid lasereffekter upp till 8 kW och klarar 3.000 J/puls vid pulsad laserbearbetning.

Precitecs idé om att kombinera två olika våglängder för att uppnå en optimal process var inte det enda exemplet på vad som kallas våglängdkoppling. Ett intressant föredrag hölls av Gonçalo Nuno Rodrigues från Universitet Leuven, vilket handlade om laserskärning med en direktverkande diodlaser, något som kan låta som en omöjlighet. Här hade fyra olika våglängder [808 nm, 915 nm, 940 nm och 980 nm] kopplats samman för att resultera i en samlad uteffekt på 2 kW där effektförlusterna var så pass ringa som 11,6%. Den resulterande laserstrålen transporterades i en 400 µm optisk fiber till en optik där laserljuset kunde fokuseras till en brännfläck med 153 µm diameter vid 80 mm fokallängd. Längre brännvidder, såsom 125 och



Figur 17.

Av diagrammet framgår tydligt varför högreflektiva material som koppar och aluminium svetsas bäst med laserljus av kortare våglängd som exempelvis 532 nm grönt ljus.



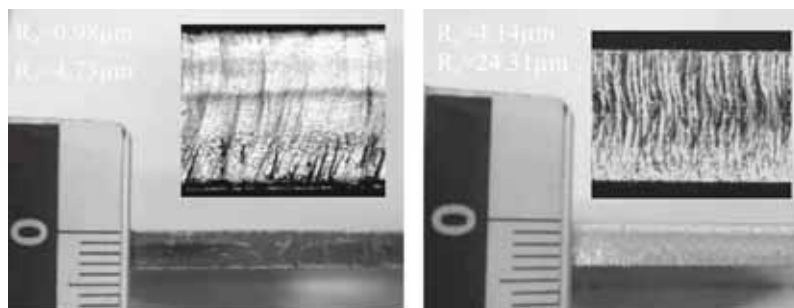
Några av föredragshållarna vid den uppskattade "Application Panel – Automotive"; frv. Müllerschön, Trumpf; Hammer; Volkswagen; Baginski, BMW och Kogel-Hollacher, Precitec.



Figur 18.

Primes' PMM-verktyg används bl.a. av RollsRoyce för att säkerställa en konstant lasereffekt vid reparation av monteringspår i form av laserpåläggning.

250 mm, resulterade i fokalpunktsdiametrar på 174 respektive 207  $\mu\text{m}$ . Med dessa uppställningar hade man framgångsrikt laserskurit 1, 2 och 4 mm tjockt rostfritt material samt aluminium med kvävgas som assistgas. Syrgas hade däremot använts vid skärförsöken i mjukt kolstål [Fig. 19]. Det visade sig att man med diodlasern kunde uppnå skärhastigheter på 12,5 m/min, medan dessa stannade vid 8-9 m/min då en CO<sub>2</sub>- eller fiberlaser användes på samma material. Dock hade man kunnat konstatera att diodlaserns skärhastighet drastiskt sjunker om man applicerar densamma på lite grövre material.



**Figur 19.** Laserskäring av 4 mm kolstål (t.v.) och rostfritt material (t.h.) med en våglängdskopplad diodlaser som ger 2 kW i uteffekt. Skärhastigheterna uppgick till 5 respektive 1,5 m/min.

## Seminarium RoBoLaSS



RoBoLaSS är en akronym för Robotergeführter Laser zum Schweißen und Schneiden, ett av BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] -finansierat forskningsprojekt som haft som mål att kartlägga den fulla potentialen hos laserkällor med extremt hög strålkvalitet. Det har innefattat fiberlasrar med effekter upp till 20 kW och BPP [Beam Parameter Product] mellan 0,34-5 mm<sup>2</sup>mmrad och där laserstrålningen har distribuerats via så små fiberdiametrar som 14-100  $\mu\text{m}$ . Projektet, som pågått från juli 2010 till september 2013, hade bedömts vara så pass intressant att det hade tilldelats ett halvdagars seminarium vid World of Photonics, och gick av stapeln ute i en av utställningshallarna. RoBoLaSS' ordförande Andreas Wetzig från IWS [Institut für Werkzeuge und Strahltechnik] i Dresden inledde med att presentera några av de delmål som ingick i projektet, vilka var:

- Kvalificering av RLC [Remote Laser Cutting]
- RLW [Remote Laser Welding] med "single mode"-laser
- Laserskäring och -svetsning med ett och samma verktyg och laserkälla
- Integrering av ett robotburet "scanner"-verktyg
- Ökad effektivitet



**Figur 20.** Vid Mars Lasertechnik GmbH har man utvärderat ett kombiverktyg för "remote"-skäring och "remote"-svetsning av plattvärmeväxlare i 0,6 mm tjockt rostfritt material.



**Figur 21.** Ablationsskäring (t.v.), s.k. RLAC, lämpar sig bäst för tjocklekar kring 0,1 mm, medan konventionell laserskäring (RLFC, t.h.) rekommenderas för grövre tjocklekar från 0,3 mm och uppåt.

Projektkonsortiet har varit stort och bl.a. innefattat processutvecklare som iw b och IWS, systemleverantörer som Arges, Precitec, iw b och IPG, företag som Blackbird och Reis Robotics hade bidragit med robotbanprogrammering, och projektdemonstratorer hade utvecklats hos Benteler, EADS och Dana. Hos Dana hade man tittat på möjligheten med fjärrlaserskäring [RLAC = Remote Laser Ablation Cutting] av packningar till avgasgrenrör och CFRP [Carbon Fibre Reinforced Plastic] – komponenter till flygindustrin, medan man undersökt RLFC [Remote Laser Fusion Cutting] hos Benteler

av en varmformad B-stolpe med 1,6 mm godstjocklek. Här låg skärhastigheten på 8 m/min vid 8 kW laser effekt och skäroperationen utfördes utan assistgas. Företaget Blackbirds insats handlade om banplanering där robotens rörelser synkroniserats med "scanner"-optikens – en lösning som beskrivits i mina rapporteringar från tidigare EALA-konferenser. Precitec hade bidragit med spetskompetens inom sensortekniken och utvecklat verktyg för distansmätning vid "remote"-processer, men också en form av "on-line"-processövervakningsverktyg vid RLW. Företaget Arges hade utvecklat optiker

	RLW	RLFC	RLAC
Fokalpunktdiameter [ $\mu\text{m}$ ]	300-800	400-700	25-80
Lasereffekt [kW]	< 6	> 5	> 1
Processhastighet [m/min]	4-16	3-10	120-600

för "remote"-bearbetning där strålförflyttningen från ett läge till ett annat sades ske på mindre än 0,1 ms. Arbetsområdet för "remote"-optiken var 400×400×40 mm och fokalpunkten, för en laserstråle distribuerad genom en 20 $\mu\text{m}$ -fiber, hade en diameter kring 60  $\mu\text{m}$  på arbetsstycket. Här visades också på ett praktikfall genomfört hos Mars Lasertechnik GmbH som tillverkar plattvärmeväxlare i 0,6 mm tjockt rostfritt material och där ett kombiverktyg använts för både RLAC och RLW [Fig. 20].

Efter denna inledning fick vi av Matthias Lütke från IWS en mer djupgående presentation av RLC-försöken. Han repeterade de tre praktikfall som ingått:

Avgaspackningar åt företaget Dana skurna till måtten 200×500 mm i de rostfria materialen 1.4303 och 1.4310. Det förstnämnda med en tjocklek på 0,1 mm och det senare med 0,2 mm godstjocklek. Vid denna tvådimensionella skäroperation hade man lyckats nå skärgrader som låg under 30  $\mu\text{m}$ .

Den varmformade B-stolpen hos Benteler i materialet 22MnB5, som består av en huvuddetalj med 1,4 mm tjocklek och en 2,2 mm tjock lokal överlagrad förstärkning s.k. "patch", varierade skärgraderna mellan 80-200  $\mu\text{m}$  med fokalpunkten placerad på toppytan. I motsats till Dana-applikationen rörde det sig här om en tredimensionell skäroperation.

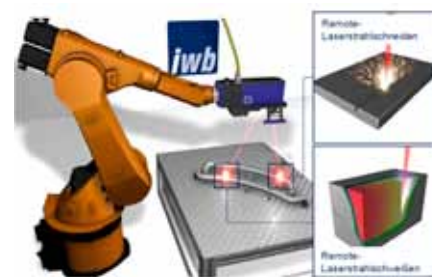
Den tredje applikationen var hållborrning i CFRP-material åt EADS i varierande tjocklekar upp till 6 mm, och här hade man lyckats innehålla kraven på 2,5 mm håldiameter och en H11-tolerans.

Därefter redogjorde Dr. Lütke mer detaljerat för de vetenskapliga experimenten med de två "remote"-skärteknikerna. Vid RLAC använder man extremt små fokalpunkter på mellan 30-50  $\mu\text{m}$  och tekniken läm-

par sig speciellt vid skärning i tunna membran kring 0,1 mm tjocklek. Här kan man nå upp till så pass svindlande skärhastigheter som 1.000 m/min, men skärhastigheten avtar snabbt då materialet blir tjockare varför metoden inte rekommenderas vid metalliska material tjockare än 0,3 mm [Fig. 21]. Vid dessa tunna tjocklekar hade man kunnat konstatera en 5-6 gånger stor reduktion av tillverkningscykeltiden jämfört med RLFC där man arbetar med betydligt större fokalpunkt [560  $\mu\text{m}$  diameter], men å andra sidan klarar av att penetrera materialet utan "scanner"-repetitioner. För polymermaterial som M21 kan RLAC-tekniken även användas på grövre material vilket hade bevisats vid skärförsök i 2-6 mm tjocka provobjekt. Här hade såväl cw- som pulsad lasereffekt använts och konklusionen var att pulsmode är nödvändig för att erhålla ett någotsånär acceptabelt skärnsnitt. Avslutningsvis adresserade Dr. Lütke problemen med de begränsade arbetsområdena vid fjärrlaserbearbetning. Två sätt att överbygga dessa kan vara att antingen indexerar "scanner"-verktyget eller att arbeta "on-the-fly" genom att montera verktyget på en robotarm.

Jan Musiol från iw b i München, som kanske var den projektpartner som lagt ner mest arbete i RoBo-LaSS, och med vilken jag hade ett långt och initierat samtal efter seminariet, redogjorde för de olika aspekterna i samband med ett kombinerat "remote"-verktyg för såväl svetsning som skärning [Fig. 22]. Han angav följande nyckeldata:

Vid de svetsförsök som hade genomförts hade man använt sig av en "single-mode" fiberlaser med en 50  $\mu\text{m}$  grov optisk fiber, och man hade undersökt olika lösningar för att öka svetsbredden. En teknik var defokusering av laserstrålen, en annan var att arbeta med en variabel kollimering, men den metod som



Figur 22. Principen för ett robotburet "kombi-verktyg" för såväl fjärrlasersvetsning som -skärning, där roboten indexerar så att verktyget kan arbeta över ett begränsat arbetsområde.

gav bäst resultat var att använda sig av en superimponerad oscillering av laserstrålen. Med detta angreppssätt kunde man överbygga spalter, öka hållfastheten samt sammanfoga svärsvetsade material som exempelvis koppar. Det visade sig att oscillerings- eller pendlingsfrekvensen var viktig; om den sattes för hög tappade man i penetration, och om pendlingsfrekvensen var för låg blev kopplingen mellan provplåtarna i överlappsfogen för dålig. Dessutom hade man kunnat konstatera att högre svetsningshastighet krävde en motsvarande högre oscilleringsfrekvens.

Två olika utrustningar hade utvärderats under svetsförsöken; dels Arges-verktyget "Elephant 50" med 365 mm arbetsavstånd, ett arbetsområde på 350×350 mm, 50  $\mu\text{m}$  stor brännfläck och en möjlig pendlingsfrekvens kring 500 Hz, dels ett nyare verktyg från Arges med modellbeteckningen "Elephant 32 SiC" som hade 500 mm i arbetsavstånd, 450×450 mm arbetsområde, 65  $\mu\text{m}$  brännfläck och pendlingskapacitet upp till 2.000 Hz [Fig. 23]. Då man befarade ökat svetsnsprut vid högre frekvenser hade man speciellt analyserat detta, men det visade sig att vare sig oscilleringsfrekvens eller amplitud påverkade mängden svetsnsprut i någon högre grad. Av större betydelse för detta var lasereffekt och svetsningshastighet. Kombinationsprocessen fjärrlaserskärning/svetsning hade utvärderats på 0,6 mm tjocka värmeväxlarplattor i rostfritt stål där man först skurit 4 större hål med hjälp av



Figur 23.

Ett sortiment av olika "scanner"-verktyg från företaget Arges, vilka utvärderades inom ramen av RoBoLaSS-projektet.

RLAC med 8 kW effekt och 16 repetitioner för att penetrera materialet, följt av "on-the-fly"-RLW med oscillerad stråle för att bredda svetsen. Eftersom "on-the-fly"-tekniken innebär större variationer i skär- och svetsresultat hade man även undersökt möjligheten med en stationär "scanner-box" och ett större arbetsfält. I samarbete med Arges hade man konstruerat en pilotanläggning där arbetsavståndet var 1,8 meter, arbetsfältet 1,5x1,5 meter och fokuspunktsstorleken hamnade på mellan 130-200  $\mu\text{m}$ . I denna hade man genomfört framgångsrika svetsförsök med en "single-mode"-laser utan användning av någon skyddsgas.

Precitec GmbH med Dr. Markus Kogel-Hollacher i spetsen har varit en annan aktiv partner i RoBoLaSS-projektet, och nu redogjorde han för några av de innovativa sensorlösningar som tagits fram inom ramen för projektet. En sådan handlade om avståndsmätning där man idag har tre kommersiella metoder att välja mellan; laser triangulering, "time-of-flight" samt fasförskjutningsmätning. Det nya angreppssättet bestod av kort, koherent interferometri, alltså ungefär samma metod som används vid ögonbehandling med laser. Lösningen byggde på spegloptik, där speglarna kunde röras i det s.k. "Fourier-området" med 200 kHz, i kombination med spektralanalys. Verktöget hade sedan anpassats till en av Fraunhofers F-Theta-"scannrar" och påstods erbjuda en upplösning vid avståndsmätning

inom 1  $\mu\text{m}$ ! Den gode Markus avslutade med att visa upp några andra av Precitecs laserverktyg som exempelvis WeldMaster™ för processövervakning, men han gav också några goda laserråd byggda på hans långa erfarenhet i branschen. Ett av dessa var att man med hjälp av effektereglering kan optimera tvärsnittet på en lasersvets.

Siste talare i detta seminarium var Jens Hatwig, likaledes från iwb men också verksam under professor Michael Zäh vid Technisches Universität i München. Han redogjorde för aktiviteterna kring robotprogrammering och de styrsystem som integrerar robot- och "scanner"-rörelser. Vid iwb hade man utvecklat ett beräkningsprogram som med automatik kombinerade robot- och "scanner"-rörelserna för att därigenom kunna presentera vad som var den mest tidseffektiva processen. Annars finns det idag på marknaden tre system där programmering av robot och "scanner" är integrerad. Dessa är Blackbirds SyncUnit© [Fig. 23] Daimlers Robscan-lösning samt kombinationen av en Reis' robot med en Arges' "scanner" där "scanner"-rörelserna programmeras via robotprogrammet.

### Nya verktyg

Tyvärr var tiden alltför knapp för att hinna med en gedigen övervakning av själva utställningen, men några guldkorn gick det alltid att plocka. Således hade IPG en 100 kW fiberlaser till påseende i sin monter och



Figur 23.

"Beståndsdelarna" i Blackbird Robotersystem GmbH:s "remote"-erbjudande, vilket inkluderar enheten SyncUnit©, som integrerar robot- och "scanner"-programmering.

Trumpf en 6 kW diodlaser med 38% WPE [Wall Plug Efficiency]. Dock var Thomas Bubl, som jag samtalade med, tvungen att erkänna att det finns en hel del arbete kvar att göra för att nå en acceptabel strålkvalité. Den här presenterade laserkällan har en BPP [Beam Parameter Product] på 60 mm\*mrad och är därför begränsad till användning vid lödning och härdning, och för dessa processer nämnde Thomas att man bedriver ett samarbete med Scansonic.

Min gamle vän Axel Luft talade sig varm för Laserlines nya produktserie av "diod"-lasrar med en strålkvalitet på 8 mm\*mrad vid en laser-effekt på 4 kW. Om man emellertid "skrapade lite på ytan" visade det sig att begreppet diod här begränsades till de pumpmoduler som används

för att skapa laserstrålning från en dopad fiber, alltså m.a.o. var det helt enkelt fråga om en ny produktserie bestående av fiberlasrar! Dessa kan fås med effekterna 2, 3 och 4 kW och där laserstrålen kan transporteras via en 200 µm optisk fiber med en NA [Numerisk Apertur] på 0,1. Effekstabiliteten sägs vara snävare än  $\pm 1\%$  över två timmars driftstid och grundvåglängden är  $1.085 \pm 15$  nm. Enheterna väger ungefär 650 kg och har yttermått 950×770×1.935 mm. Laserline lämnar en femårig garanti på diodelementen och två år på lasersystemet och den aktiva fibern.

Men det kanske intressantaste var den utmärkta strålkvalité som företag som DirectPhotonics och TerraDiode kunde visa upp med en ny generation av diodlasrar med hög effekt. Dr. Stefan Heinemann, som jag lärde känna under hans tid som institutionsföreståndare vid Fraunhofer-institutet i Plymouth, MI, arbetar numera för DirectPhotonics och jag hade ett intressant samtal med honom och hans kollega Dr. Ralph Kock. Företagets nya, intressanta produkter, med produktnamnet DIRECTPROCESS 900 [Fig. 24] kan fås med våglängder mellan 915 och 980 nm och effekter upp till 2 kW. Strålkvalitén ligger mellan 5,0 och 7,5 mm\*mrad och standarddimensionen på distributionsfibern är 105 µm i diameter. Den maximala frekvensmoduleringen ligger på 50 kHz och en 2 kW-enhet har yttermått 600×482×178 mm.

### Laser Additive Manufacturing [LAM]

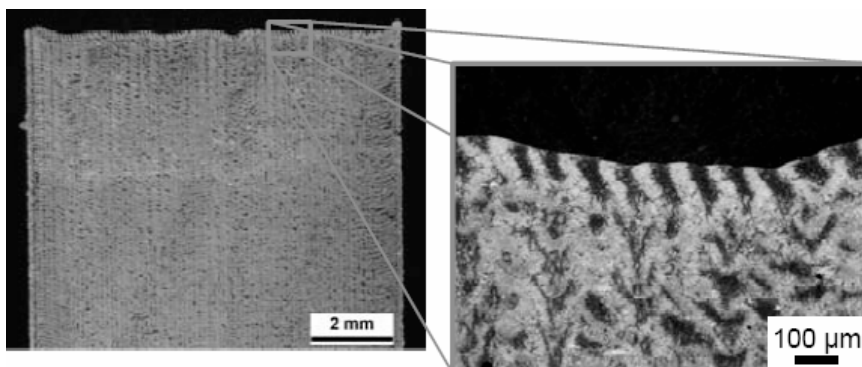
Den spännande LAM-tekniken uppmärksammades med en dedikerad session vid årets LiM-konferens. Förste talare här var sympatiska Dr. Thomas Seefeld från BIAS [Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik], som berättade om hur denna teknik används för att tillverka verktyg för mikroformning. I laboratoriet i Bremen har man tillgång till en SLM [Selective Laser Melting] -enhet av fabrikatet SLM Realizer 250 till vilken man kopplat en 200 W "singel mode"-fiberlaser från IPG med strålkvalitén  $M2 = 1,3$ . Fokallängden har



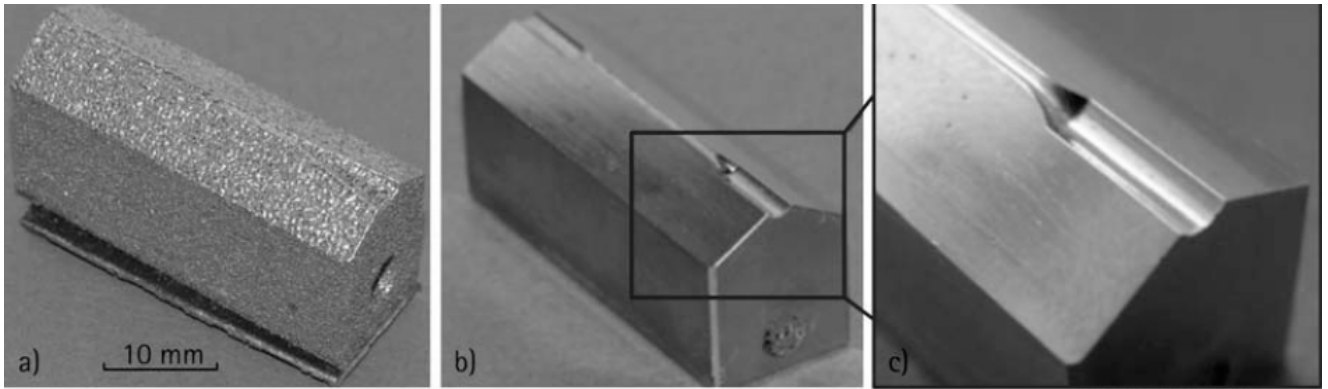
**Figur 24.** Dr. Stefan Heinemann och hans kollegor från DirectPhotonics kunde visa upp en av lasermässans allra intressantaste produkter: en 2 kW diodlaser med 5 mm\*mrad i strålkvalitet!

valts så kort som 163 mm för att minimera inverkan av fokalpunktsförskjutning, dock menade Dr. Seefeld att det går att arbeta med längre fokallängder genom att använda sig av kvarts-optiker. Med nämnda utrustning hade man tillverkat små kuber i måtten 10×10×10 mm med ett pulvermaterial av verktygsstålet X110CrMoVA18-2 vilket tillförts i lager om 30 µm tjocklek. Processhastigheten låg på 700 mm/sek, och efter värmebehandling, vilken gav en mer homogen kornstruktur med ultrafina karbidutfällningar [Fig. 25], fick kuberna en hårdhet på 63 HRC [Rockwell Hardness C-scale] vilket

motsvarar 765 Hv [Vickers hårdness]. Genom att förvärma "byggplattan" till 240 °C kunde uppbyggnadshastigheten bli så pass hög som 4,5 cm<sup>3</sup> per timme. Man hade vidare jämfört denna LAM-metod med den s.k. "Osprey"-processen och kunde då konstatera att man med denna erhölet en motsvarande hårdhet hos provobjekten, men att man med SLM fick en betydligt finare kornstruktur. Dr. Seefeld avslutade sedan sin presentation med ett praktikfall där han visade hur ett tråddragningsverktyg [Fig. 26] tillverkats med denna LAM-teknik.



**Figur 25.** Tvärsnitt genom en provkub uppbyggd med SLM-teknik, och t.h. en detaljbild på de sist uppbyggda lagren utförda med 150 W lasereffekt, 700 mm/s i processhastighet och med 75 µm mellan laserstrålens passager.



Figur 26.

- a) Ett "nära färdig form" SLM-tillverkat mikroverktyg för tråddragning.  
 b) Verktöget efter mikroslipning.  
 c) Detaljrik närbild av verktygsytan.

En annan applikationsinriktad presentation under denna session hölls av Christoph Klahn från iLAS [Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik] vid TUHH [Technisches Universität Hamburg-Harburg]. Här handlade det om tillverkning av verktyg för formsprutning där man använde tryckluft med 3.000 bars tryck för att frigöra detaljen från verktyget och därmed inte behöva använda sig av s.k. utstötarpinnar vilka kan ge märken på de tillverkade objekten. I genomsnitt behövs cirka 2,7 liter tryckluft per detalj för denna lossgöringsprocess. Genom att tillverka verktyget med SLM-teknik kan man på ett optimalt sätt skapa de tryckluftskanaler som behövs. Det gasgenomsläppliga verktygsstålet 1.2709 hade använts och lagts på i uppbyggnadsspår med 85,9 µm bredd och 140 µm c/c-avstånd med en spridning på ±10 µm. Experimenten ingick i ett samarbete med Werkzeugbau Siegfried Hoffmann GmbH i Lichtenfels, som är ett företag som specialiserat sig på tillverkning av formsprutningsverktyg för detaljer i mikroskala tillverkade i PP [Polypropylen], PC [Polycarbonate] och PC+ABS [Acrylonitrile Butadiene Styrene].

Andra intressanta presentationer under denna LAM-session hölls av Toni Krol från iwB Applikations-Zentrum i Augsburg och André Streek från Hochschule Mittweida. Den första handlade om simulering av pålägningsprocessen och den senare om energiöverföring mellan

laserstråle och pulver vid mikrosinträngning med < 10 µm grova pulverpartiklar, 3-7 W lasereffekt och 180 ns långa laserpulser.

#### Några resterande laser-godbitar från övriga sessioner

Industripresentationerna brukar ju inte precis "stå som spön i backen" vid LiM-konferenserna, men i år hade man bjudit in Dr. Fabian von Gleich från Airbus' forskningscentrum i Hamburg som "Key note"-speaker under plenar-sessionen. Han inledde med att ge oss några intressanta nyckeltal; Airbus ägs idag till 100% av EDAG-koncernen och har över 7.100 flygplan i drift och en personalstyrka på 60.000 medarbetare, och under 2012 tillverkade och levererade man 588 flygplan där A380-modellen utgjorde "storsäljaren" med cirka 100 enheter. Flygtrafikbranschen omsätter idag ett belopp motsvarande bruttonationalprodukten i Schweiz med en förväntad dubbling inom den närmaste 15-årsperioden. Detta skulle i så fall indikera ett behov av 27.300

nya flygplan under motsvarande tidsperiod.

Beträffande laseranvändningen inom Airbus pekade Dr. von Gleich på följande områden:

- Lasersvetsning av förstärkningsribbor till flygplanskroppen till en omfattning av cirka 650 m
- Lokal borttagning av färgskikt för att skapa bättre elektrisk ledningsförmåga
- Strukturering av ytor för att reducera luftmotståndet
- Förbehandling av CFRP-ytor samt borrar och konturskärning av dylika material
- S.k. "Bionic Design" med hjälp av LAM-tekniken där man hade lyckats reducera vikten av en gångjärnskonsol från 0,91 till 0,32 kilo [Figur 27]

Bland framtida forskningsområden nämnde den sympatiske Dr. von Gleich laserpunktsvetsning av aluminium samt avancerad laserbörning för att förbättra flödet i kanaler avsedda för hydrauloljor.

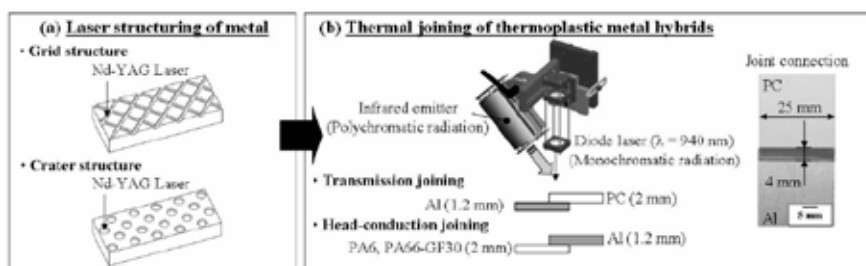


Figur 27.

I samarbete med Laser Zentrum Nord GmbH i Hamburg har Airbus utvecklat den här viktoptimerade gångjärns-konsolen. Genom att efterlikna naturens strukturer, s.k. "Bionic Design" har vikten kunnat reduceras med 65% och tillverkningsmetoden är förstas "Laser Additive Manufacturing".

Laserbearbetning av plaster och fiberförstärkta plastkompositer är ett "hett" ämnesområde i branschen just nu och detta underströks av ett flertal presentationer vid LiM, vilka adresserade detta ämnesområde. En sådan framfördes av Philipp Amend från BLZ [Bayerisches Laserzentrum GmbH] i Erlangen och handlade om fogning av termoplaster till metaller. Det innovativa låg i att han och hans kollegor kombinerat en monokrom strålkälla i form av en diodlaser på 70 W och 940 nm våglängd med en infraröd belysningskälla [OPTRON IR-spot] på 150 W. Den senare förvärmer materialet, vilket gör att polymeren under själva svetsförloppet befinner sig i smält tillstånd under en längre tid, och därmed får man en förbättrad spaltöverbryggnad. För att ytterligare öka hållfastheten i fogen hade man i förväg strukturerat metallytan i olika mönster med hjälp av en pulsad laser med 1.064 nm våglängd [Fig. 28]. Med denna metodik hade man framgångsrikt kunnat foga en 2 mm tjock polykarbonat med en 1,2 mm aluminium [AA5182] via transmissiv svetsning. Men även med konduktiv lasersvetsning, d.v.s. med metallen på toppsidan, hade man lyckats foga nämnda aluminium mot såväl rent PA6 [Polyamid] -material som glasfiberförstärkt sådant. Vid dragprov låg hållfastheten mellan 13,7-19,7 MPa vilket skall jämföras med motsvarande värden för "hot-melt"-limmade provobjekt som uppvisade hållfasthetsvärden kring 10-15 MPa. Brottet skedde mestadels i aluminiumsubstratet, men de provkroppar som klimatåldrats under temperaturvariationer mellan -30 och 90 °C, enligt BMW:s metod PR 308.2, uppvisade ett kohesivt brott i fogen, vilket förklarades av en degradering av polymeren.

Vår finske kollega Mikko Petteri Vänskä från LUT [Lappeenranta University of Technology] hade studerat nyckelhålets utseende vid lasersvetsning av 8 mm tjockt rostfritt 316L-material med partiell penetration. Laserkällan var en 5 kW disk laser med 280 mm fokallängd, svets hastigheten hade varierats mel-



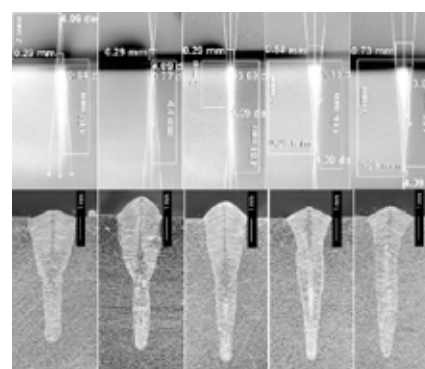
Figur 28.

Genom att med en pulsad laser strukturera metallytan innan denna fogas till en polymer kan man öka hållfastheten i fogen. Såväl transmissiv- som värmeledningssvetsning hade genomförts där en diodlaser kombinerats med polykrom strålning från en infraröd belysningskälla.

lan 2-5 m/min och fokuspunktsläget mellan +2 till -6 mm. Såväl BOP [Bead-On-Plate] som stumsvetsning hade utförts, och man hade använt sig av en speciell fixtur som tillät röntgenfilmning av svetsförloppet. Generellt kunde konstateras att en lägre svets hastighet gav en djupare penetration, men att detta var mer uttalat vid stumsvetsning. Vid högre hastigheter började nyckelhålet luta i något som Herr Vänskä valde att kalla "cylinder mode", men detta fenomen uppmärksammades endast vid BOP-svetsningen och ledde till reducerad penetration och ökat svetssprut. Fokusläget -2 mm gav bäst penetration [Fig. 29], och intressant i sammanhanget var att penetrationsdjupet var 25% högre än själva nyckelhålets djup!

Libor Mrna och hans kollegor vid Institute of Scientific Instruments AS CR i Brno i Tjeckien hade med sin forskning kunnat koppla plasmats strålningsfrekvens, som man valt att kalla S-koefficient, till penetrationen vid lasersvetsning [Fig. 30]. Vid en ökad S-koefficient minskas penetrationsdjupet och detta hade validerats på såväl kolstål som rostfritt stål med olika lasereffekter, svets hastigheter och fokuslägen. Både en 4 kW CO<sub>2</sub>-laser, en 2 kW Nd:YAG-laser och en 1 kW fiberlaser hade använts i den experimentella delen av projektet.

Porbildning vid lasersvetsning av aluminium är ett annat gammalt kärt ämne i "laservärlden", och nu adresserades problemet av Baohua Chang från TWI [The Welding Insti-



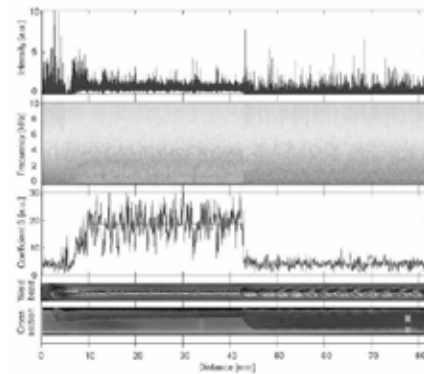
Figur 29.

Lasersvetsförsök utförda som BOP på 316L-material med 5 kW lasereffekt och en svets hastighet på 2 m/min men med olika fokuslägen. Överst röntgenbilder av själva svetsförloppet vilket sker i riktning åt höger, och underst motsvarande tvärsnitt vilka visar att vid z = -2 erhöill man den djupaste penetrationen.

tute] Ltd. i Abington, U.K. Han hade med hjälp av mjukvaran ANSYS13 Fluent utvecklat en CFD [Computational Fluid Dynamics] -modell med vars hjälp han kunde simulera svetsförloppet. Simuleringarna hade validerats med fysiska lasersvetsförsök i legeringen AA5083, med en tjocklek på 4 mm, utförda med en 5 kW Yb:YAG fiberlaser med 6 mm\*mmrad i strålkvalitet och med en 150 µm grov distributionsfiber. Detta gav en fokuspunktsdiameter på arbetsstycket på 0,28 mm och fokuspunktsläget

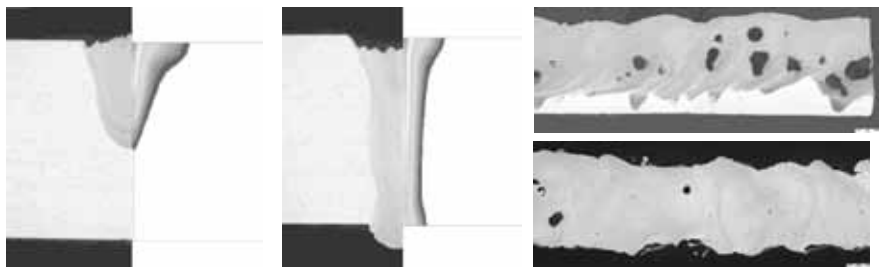
hade varierats mellan -3 och +3 mm. Använda effektnivåer var 2, 3, 4 och 5 kW och tre olika svets hastigheter hade utprovats; 1,0, 3,5 samt 5,8 m/min. Argon hade använts som skyddsgas och man hade svetsat med såväl full som partiell penetration. Högre effekt och långsammare svets hastighet resulterar i en större smälta, där man kunde konstatera att rörelserna i smältbadet ökade något vid förhöjd lasereffekt, men avsevärt mycket mer då svets hastigheten ökades. Inte helt överraskande fick man en större andel porer vid partiell penetration [Fig. 31] vilket Dr. Chang förklarade bero på ett annat rörelsemönster i smältan jämfört med vad som uppstår vid full penetrations svetsning. I det senare fallet hjälper det högre ångtrycket i nyckelhålets topp och botten till att driva ut de förångningsgaser som bildas under svetsprocessen. För att minimera porformering vid aluminiumsvetsning var konklusionen att använda förhållandevis höga lasereffekter kombinerat med låg svets hastighet.

En innovation rörande laserpåläggning togs fördes av Jörg Hermsdorf från LZH [Laser Zentrum Hannover] e.V. Målsättningen var att uppnå en hög deponeringsgrad men samtidigt ha låg värmeförlust med därtill hörande låg utspädning i substratet. För detta ändamål använde man sig av en plasmaljusbåge med "twin wire"-utrustning som kom-



Figur 30.

Sambandet mellan laserplasmats strålningsfrekvens och penetrationsdjupet vid svetsning illustreras ganska väl t.h. där man mitt under svetsförloppet ökade lasereffekten från 0,8 kW till 1,5 kW vid svetsning med en Yb:YAG fiberlaser och 10 mm/sek i framföringshastighet.

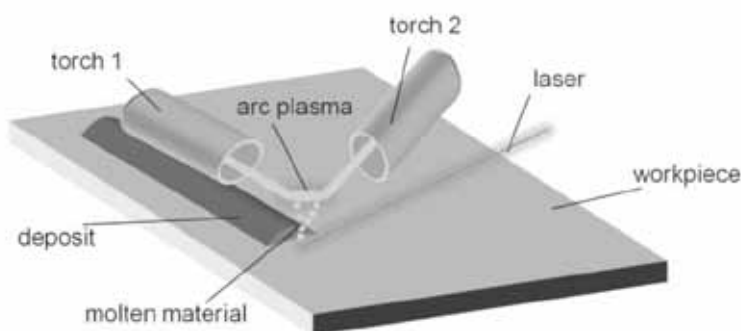


Figur 31.

Tvårsnitten ovan t.v. indikerar god korrelation mellan experimentella och simulerade svets försök i AA5083, och t.h. kan man se att en partiell penetration (överst) resulterar i en betydligt högre andel porer i svetsgodset jämfört med full penetration (underst).

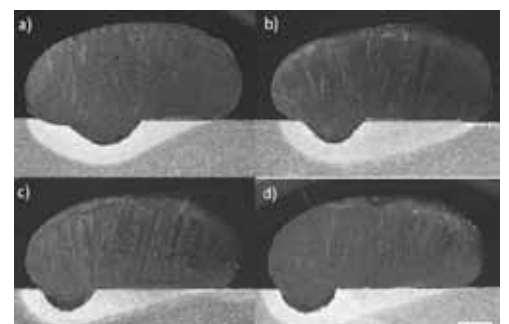
binerades med en 500 W diodlaser med "scanner"-spegel där den senares enda funktion var att värma upp substratmaterialet [Fig. 32]. Detta utgjordes av S355-stål medan påläggningsmaterialet var rostfritt 1.4430 med 1,2 mm tråddiameter. Skyddsgasen var en blandning av 92% Ar och 8% CO<sub>2</sub> och bågspänningen låg på

32 V medan strömstyrkan uppgick till 222 A. Med trådmatningshastigheter mellan 8,6 och 9,1 m/min hade man lyckats uppnå imponerande 10 kg/timme i deponeringshastighet. Om man inte använde denna form av laserförvärmning stannade motsvarande siffra på 5 kg/tim.

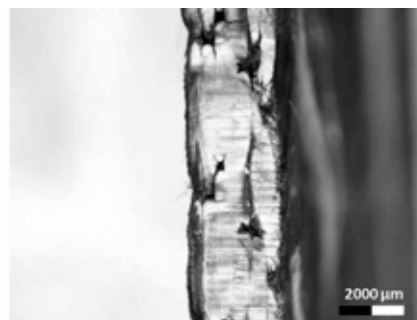
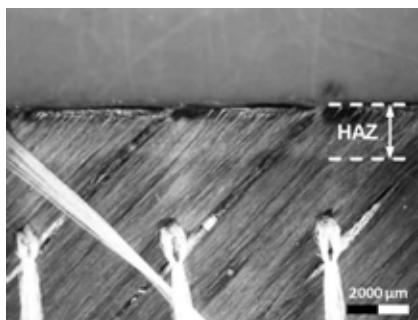


Figur 32.

T.v. en principskiss över den experimentella uppställningen och t.h. tvärsnittbilder genom det pålagda materialet och substratet där påläggningen skett med olika plasmabåglängder; a) 8 mm, b) 12 mm, c) 14 mm och d) 16 mm.



Laserskärning var ju ett av de första industriella områdena där laserserteknik kom till användning, men fortfarande genomförs en hel del intressant forskning inom området. I det följande vill jag referera tre föredrag som hölls vid en dedikerad session under den avslutande konferensdagen. Tidigare har jag redan berört att det förekommer mycket laserforskning som är riktad mot plaster och plastkompositer och nu berättade Alexander Fuchs från iw b i München om laserskärning av kolfiberförstärkta textilier. En tänkt industriell applikation var tillskärning av matrismaterial som används i RTM [Resin Transfer Moulding]-processen. I dag görs detta med antingen mekanisk skärning/klippning, ultraljud eller vattenskärning, men en beröringsfri skärmetod har länge efterfrågats. Två olika laserskärmetoder hade ingått i den vetenskapliga undersökningen; RLC [Remote Laser Cutting] och GALC [Gas Assisted Laser Cutting]. I båda fallen hade man använt en cw [continuous wave] fiberlaser med 1.064 nm våglängd. Vid RLC-försöken användes 3 kW lasereffekt och en 48  $\mu\text{m}$  grov optisk fiber, medan motsvarande värden vid GALC-proven var 4 kW resp. 200  $\mu\text{m}$  fiber. Skärhastigheten låg på cirka 12m/min, och vid "remote"-skärningen hade tre olika "scanning"-hastigheter utvärderats; 150, 575 och 1.000 mm/

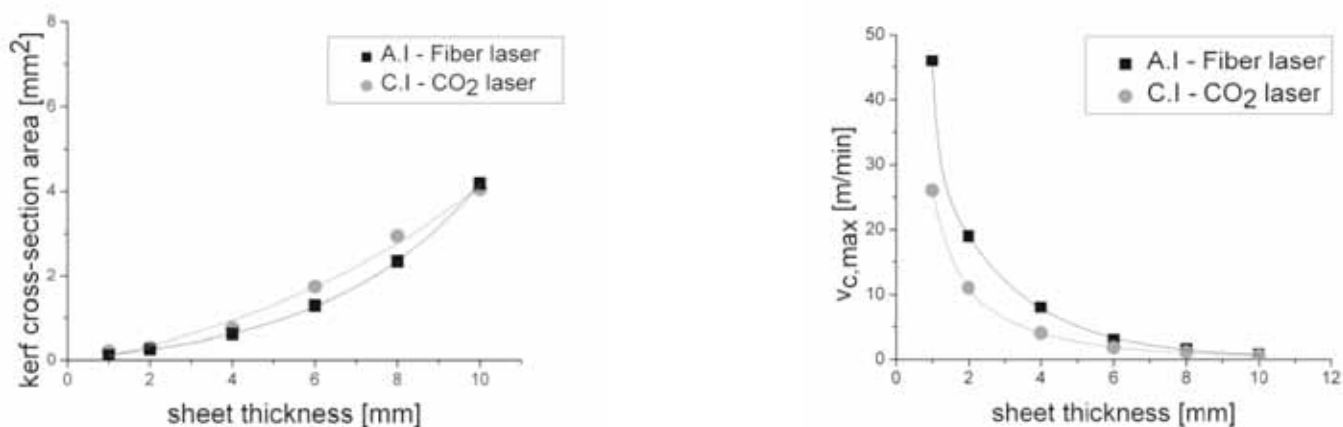


**Figur 33.** Vid laserskärning av en kolfiber-förstärkt förform blir den värme-påverkade zonen (HAZ) minimal, samtidigt som man får en förslutning av fiberändarna genom att kolet återsublimeras.

sek. Två intressanta observationer gjordes efter skärförsöken. Man kunde konstatera en viss uppsvällning av kolfibrerna vilket gick att härleda till förekomsten av föroreningar i fiber materialet, samtidigt fick man en automatisk förslutning av fiberändarna tack vare att kolet återsublimeras [Fig. 33]. På en direkt fråga om varför laserskärning ännu inte används vid massproduktion av kolfiberförstärkta förform svarade Herrn Fuchs att dels genererar laserskärningen höga temperaturer samtidigt som det förekommer en hel del oönskade emissioner.

Sebastian Stelzer från Fraunhofer IWS berättade om laserskärning av rostfritt X5CrNi18-10-material i tjocklekar från 1 till 10 mm där så-

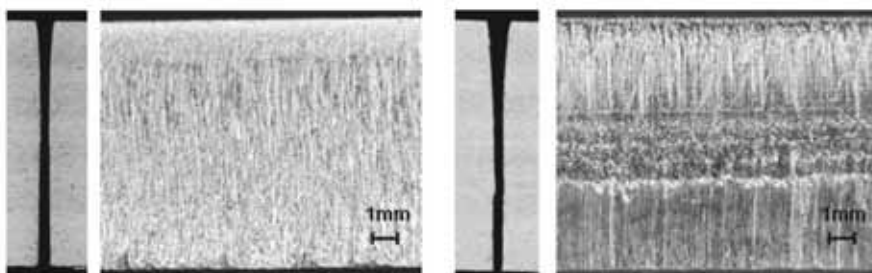
väl CO<sub>2</sub>- som fiberlaser utvärderats. Laserkällorna hade en likvärdig Rayleigh-våglängd [1,4-1,5 mm], och för att kunna göra en adekvat jämförelse hade man använt sig av 3 kW lasereffekt från båda källorna. Med gaslasern, som var en diffusionskyld DC035-modell från RofinSinar med en fokalpunktsdiameter på 140  $\mu\text{m}$ , erhöll man de finaste skärsnitten. Här låg Rz-värdet på mellan 30-40  $\mu\text{m}$ , medan fiberlasern, som var en YLR-4000-enhet från IPG, gav en mindre brännfläck på 100  $\mu\text{m}$  men ett nästan dubbelt så högt Rz-värde på mellan 60-70  $\mu\text{m}$ . Upp till en plåtjocklek på 6 mm visade sig fiberlasern skära snabbast [Fig. 34], medan de två lasertyperna gav likvärdiga skärhastigheter vid tjockare mate-



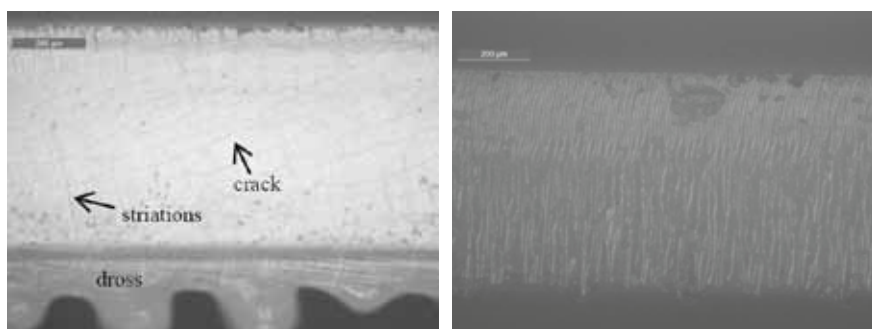
**Figur 34.** Hastighet och avverkat material vid laserskärning av rostfritt X5CrNi18-10-material med 3 kW effekt från en fiber- resp. CO<sub>2</sub>-laser.

rial. Mängden avverkat material var också ungefär detsamma för de två laserkällorna, men om man tittade på skärnitt kunde man observera några ganska intressanta skillnader. Således blev skärspalten bredast vid toppytan vid skärning med CO<sub>2</sub>-laser medan skärnittet fick ett mer timglasformat utseende i de skärförsök som utförts med fiberlaser [Fig. 35]. Därför kommer fortsatta skärförsök med en SM-fiberlaser att utföras med pendlande laserstråle, annars riskerar skärspalten att bli för smal och avverkat material att fastna i densamma.

Slutligen fick vi höra lite kring laserskärning av keramer från Benedikt Adelman, Hochschule Aschaffenburg. Risken vid konventionell laserskärning av keramer är att värmeförselelsen blir så hög att materialet spricker. Därför är den gängse lasermetoden för separering s.k. "scribe and break", d.v.s. man ristar spår i materialet med laserstrålen, varpå särtagningen sker manuellt. Detta är emellertid en metod som endast tillåter raka skärnlinjer varför det vore intressant om en mer normal typ av laserskärning blir möjlig. Experimenten hade utförts med en 500 W SM-fiberlaser och Precitecs finskärverktyg. Med denna utrustning hade man skurit ut små provobjekt med tjockleken 0,63 mm i dimensionen 22x3 mm, vilka sedan hade provats i 3-punkts böjprovning med en provningshastighet på 1 mm/min. Provobjekt som hade tillverkats med "scribe and break"-metoden uppvisade den bästa hållfastheten och gick sönder vid en spänning på 520 MPa, medan de högsta värdena för de laserskurna provobjekten låg på 395 MPa då



**Figur 35.** Skäryta och -spalt för 10 mm tjockt rostfritt material där fiberlasern (t.h.) ger en typiskt timglasformat skärspalt.

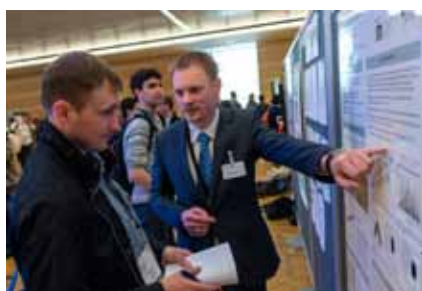


**Figur 36.** Mikrotvårsnitt av skärytorna för ett keramiskt substrat som laserskurits med 500 W cw lasereffekt och 100 mm/sek (t.v.) resp. 1 ms långa pulser (närmast) vilket ger ett karakteristiskt striationsmönster.

dessa skurits med en hastighet på 300 mm/s. Dock var skärhastigheten den processparameter som hade minst inflytande på hållfastheten. Betydligt större inverkan hade fokalpunktsläge, skärmunststyckets diameter och assistgasens tryck i här nämnd ordning. För att förbättra hållfastheten hos de laserskurna objekten hade man använt sig av en form av pulsad skärning där lasern slogs på under 1 ms för varje 10µm långt rörelseintervall [Fig. 36]. Då klarade provstavarna

belastningar upp till 506 MPa, men skärhastigheten blev å andra sidan så orealistiskt låg som 1 mm/sekund!

För den laserintresserade är World of Photonics och LiM-konferenserna en självklar mötesplats där man förutom information om det allra senaste i branschen får möjlighet att träffa gamla "laserrävar", men också kan göra nya intressanta bekantskaper. Boka därför redan nu in 22-25 juni 2015 då det på nytt blir dags att träffas i München!



# Permanova levererar laserstation till Volvo Cars i Malaysia

Permanova Lasersystem AB har kört igång en laserstation i Malaysia för lasersvetsning och -lödning av kaross.

## Stor flexibilitet i lågvolymproduktion

Stationen körs i automatik, med manuell inladdning. Den klarar flertalet av de Volvo-modeller som produceras world-wide, men här i lägre årsvolym.

Laserstationen är baserad på en 4 kW Trumpf diskaser, som via tre fiberutgångar betjänar tre ABB-robotar, placerade på två åkrörelser. Två av robotarna är utrustade med Permanovas nya lasersvets-verktyg, WT04 ST, med fogföljning. De används för svetsoperationer på tak mot sida, A-stolpe-förstärkningar och -dörröppning. Den tredje roboten bär ett lödverktyg för laserlödning av bakre takdel mot ringframe, respektive ringframe mot D-stolpe.

## Laserprojekt på långdistans

”Det är alltid en utmaning att genomföra ett så pass avancerat laserprojekt så långt borta från vår hemmabas i Sverige”, säger Permanovas projektledare Lars-Erik Jansson. ”Men våra projektingenjörer har en både djup och allsidig teknisk kompetens och visar ett enormt engagemang. Var och en av dem kan klara alla delar av projektet, inklusive lasersvets- och lödprocesserna. En stor hjälp i övrigt är givetvis Volvo Cars internationella professionalitet som projektmottagare.”

Permanova Lasersystem AB är en svensk integratör av robotiserade lasersystem för metallbearbetning, framför allt för lasersvetsning, 3D skärning, hårdlödning och påsvetsning med laser. Engagemang, kompetens, innovation och kundfokus är våra verktyg för att höja våra kunders produktivitet, produktkvalitet och lönsamhet.

## För ytterligare information

Hemsida: [www.permanova.se](http://www.permanova.se)

Kontaktperson: Björn Lekander, telefon 031-706 19 71

E-post: [bjorn.lekander@permanova.se](mailto:bjorn.lekander@permanova.se)



Bild 1.  
Volvo modell V40.



Bild 2.  
Fogföljningsprincip för Permanovas svets-verktyg WT03 och WT04.



# Laserbearbetning på såväl makro- som mikronivå avhandlades vid den 6:e LAMP-konferensen

Johnny K Larsson, Volvo Cars

LAMP [Laser Advanced Materials Processing] är den dominerande japanska laserkonferensen och har med viss oregelbundenhet lanserats i regi av JLPS [Japan Laser Processing Society]. Årets evenemang var därför den sjätte LAMP-konferensen i ordningen efter tidigare arrangemang i Osaka (1987, 2002), Nagasaki (1992), Kyoto (2006) och Kobe (2009). I år hade man valt att förlägga konferensen till TOKI MESSE i Niigata, som är en miljonstad på Japans västkust cirka två timmars resväg från Tokyo med höghastighetståget Shinkansen. Niigata är främst berömt för sina risodlingar [Koshihikari anses vara en delikatess inom området] och sin Saké-tillverkning. Konferensen består av två huvuddelar; LPM [International Symposium on Laser Precision Microfabrication] samt HPL [High Power Laser Processing]. Eftersom Lasergruppens medlemmars huvudsakliga intresse torde ligga hos den senare, var det också den som jag valde att mest bevaka, även om jag gjorde några intressanta "avstickare" till LPM, som i tre parallellsessioner avhandlade det senaste inom lasermikrobearbetning med ett kraftfullt fokus på USPL [Ultra Short Pulse Lasers] inom fs [femtosecond = 10<sup>-15</sup> sekund] –domänen. Därutöver erbjöds två samarrangerade sessioner; en som behandlade det växande laseranvändningsområdet LAM [Laser Additive Manufacturing], vilken leddes med fast hand

av min gamle vän Paul Denney från Lincoln Electric, samt en avslutande session under titeln "Advanced Laser Processing" där bl.a. vår svenske kollega professor Alexander Kaplan från LTU [Luleå Technical University] gjorde en föredömlig presentation. Denna handlade om simulering av svetsmåltans flöde baserat på de vågrörelser som uppstår i nyckelhållets framkant och som observerats via höghastighetsfilmning, bl.a. av Ingemar Eriksson under hans doktorandforskning i Luleå. Ett stort antal japanska och internationella studenter fick också möjlighet att under två lunch-pass redogöra för sina forskningsresultat i form av en välbesökt "poster"-session som bestod av 33 utvalda bidrag där som tidigare nämnts flertalet handlade om fs-laserbearbetning. För att göra konferensen helt komplett erbjöd man också en s.k. "table-top"-utställning där vi bl.a. kunde hitta företag som ServoRobot, Sun Instruments, Jenoptik och IMRA representerade.

Dr. Koji Sugioka från RIKEN, som är Japans största forskningsinstitut och som har producerat flera Nobelpristagare, var LAMP-konferensens huvudordförande och hälsade oss 350 deltagare från hela världen välkomna [Fig. 1]. Han riktade ett speciellt tack till den internationella, rådgivande kommittén samt till de två programkommittéerna för LPM och HPL, men också till de olika sponsorerna där vi bl.a.

noterade Ophir, Trumpf, IPG, MegaOpto och Kataoka. Därefter var det dags att starta själva plenarsessionen vilken leddes av välbekant professor Seiji Katayama från JWRI [Joining and Welding Research Institute] vid Osaka University. Här fick vi några goda exempel på laserteknikens mångfasetterade användningsområden. Först ut var Dr. Katsumi Midorikawa från RIKEN som berättade om frekvensdubblingar eller HHG [High-order Harmonic Generation] ner i det ultravioletta våglängdsområdet. Just nu koncentreras forskningen på elektronrörelser i en tidsskala på attosekund-nivå [10<sup>-18</sup> sekund] där ett användningsområde är XFEL [X-ray Free Electron Laser], en teknik som jag beskrev i min artikel från World of Photonics i LaserNytt # 2-2013. Med två undulatorer och extremt korta laservåglängder på 61,4 nm (13:e HHG) och 53,5 nm (15:e HHG) har det varit möjligt att skapa pulser med 20 μJ energiinnehåll. Pulserna är 30 as [attosecond] långa med intervall kring 380-500 as, men utvecklingen kommer inte att stanna här menade Dr. Midorikawa. Redan idag är man på väg att utveckla ännu kortare våglängder kring 13,5 nm (59:e HHG) och i framtiden också mot 2-4 nm, vilket i så fall skulle innebära något i stil med den 300:e harmoniska generationen via frekvensdubbling.

En för oss kanske mer handgriplig presentation gav oss därpå Paul



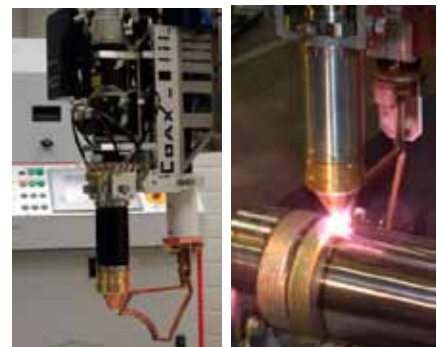
**Figur 1.**  
Dr. Koji Sugioka invigningstalar under LAMP 2013 inför ett välfyllt och intresserat auditorium.

Denney [Lincoln Electric] där han satte in den additiva lasertekniken i ett ekonomiskt sammanhang. Olja kommer fortfarande att vara den viktigaste energikällan inom den närmaste framtiden, dock kommer råoljepriserna att fortsätta öka då utvinningen ur nya källor blir alltmer besvärlig i så måtto att man måste borra djupare och i en mer svavelhaltig, korrosiv miljö. Dock finns det redan idag projekterat för 191.000 km nya pipelines och det var här Paul såg den stora potentialen för laserpåläggning med avsikt att förbättra slit- och korrosionsmotståndet hos dessa oljerör. Traditionellt har sådana livslängdshöjande skikt lagts på med konventionell gasmetall-påsvetsning, men nackdelen här är en förhållandevis låg deponeringshastighet [cirka 1 kg/tim] samtidigt som den höga värmeförlusten riskerar att det pålagda pulver- eller trådmaterialet blandas upp med substratet. Med laserpåläggning [LMD = Laser Metal Deposition] kan sådana effekter motverkas samtidigt som processen blir betydligt mer produktiv. Med 8 kW lasereffekt har det visat sig vara möjligt att nå deponeringshastigheter kring 6,3 kg/tim, och om man dessutom kombinerar detta med en induktionsvärmning av substratet kan man nå så pass imponerande siffror som 14,5 kg/tim vilket påvisats av Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff und Strahltechnik] i Dresden [Fig. 2].

Eftersom en av Lincoln-koncernens produkter är tillsatstråd är det förstäeligt att man börjat intressera sig för LMD, och här avser man att ytterligare kunna förbättra de-

poneringshastigheten genom att arbeta med "varmtråd". De moderna strömkällor som idag används vid gasmetallbågsvetsning ger utmärkta möjligheter till processövervakning, vilket gör att man lätt kan styra tillsatstrådens temperatur [Fig. 3]. Jämfört med påläggning med pulver menade den gode Paul att man med Lincolns trådbaserade lösning kan tredubbla påläggningseffektiviteten, samtidigt som man inte får det 15%-iga spill som förekommer vid pulverpåläggning. Avslutningsvis visade han på ett intressant praktikfall där man åstadkom laserpåläggning i "overhead position" [PD] med hjälp av ett pendlande påläggningsverktyg.

Tredje och siste talare i plenarsessionen var välkände Dr. Dirk Petring från Fraunhofer ILT i Aachen. Han gjorde en bredare exposé över vad som är möjligt att åstadkomma med dagens högeffektlasrar, och kunde konstatera att fiberlasarna är i stadig tillväxt och har idag en marknadsandel på 17%. Vid laserskäring av tunnare material mellan



**Figur 2.**  
Laserpåläggningsverktyget COAXpowerline, utvecklat vid IWS i Dresden, gör det möjligt att med assistans av induktionsvärmning (12 kW) nå deponeringshastigheter kring 14,5 kg/tim med 8 kW lasereffekt.

1,2-2,3 mm kan man med en 4 kW fiberlaser åstadkomma en snittkvalitet med  $R_z = 10-17 \mu\text{m}$ , men vid tjockare material har fiberlasern en "Akilleshäla" i jämförelse med  $\text{CO}_2$ -lasern p.g.a. skillnader i Fresnel-absorption [Fig. 4]. Detta, förklarade Dirk, hade man även verifierat genom simuleringar med mjukvaruprogrammet QuCut®. För att un-

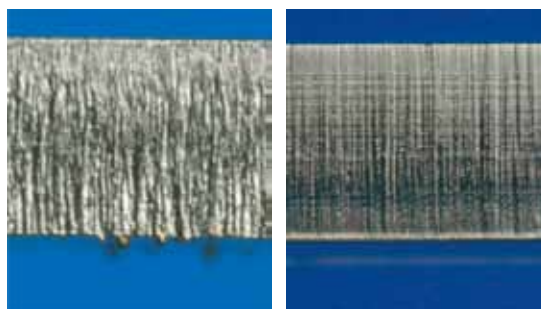


**Figur 3.**  
Med avancerade strömkällor som t.ex. Lincoln Electrics Power Wave® i400L (närmast), kombinerad med företagets Synergic Waveform Control™, blir det möjligt att styra såväl spänning som ström och lasereffekt för att erhålla ett optimalt påläggningsresultat.

dersöka möjligheterna att uppnå bättre skärresultat för fiberlasern i tjockare metaller och plaster har ett antal forskningsprojekt inom detta ämnesområde, såsom HALO [High power Adaptable Laser beams for materials prOcessing] och FILCO [Fibre-delivered Laser Cutting Optimisation], startats inom ramen för EU:s sjunde ramprogram [FP7].

Inom området laserhybridsvetsning visade Dirk en uppställning benämnd "Dual MAG Hybrid" där man stumsvetsat 30 mm tjockt material med 20 kW lasereffekt och två MAG [Metal Active Gas; ex. CO<sub>2</sub>] -pistoler positionerade på ömse sidor om fogen [Fig. 5]. Annars handlar spetsforskningen vid ILT just nu mycket om svärsvetsade material som exempelvis Nickel-baserade superlegeringar med högt Al+Ti-innehåll samt lasersvetsning av koppar för batteriapplikationer. I det senare fallet använder man sig av det numera välprövade tricket att kombinera 1 µm-lasern med en frekvensdubblad 532 nm-dito för att få en bättre inkoppling i materialet. Det s.k. "KombiKopf"-verktyget, avsett för både skärning och svetsning, är ett annat välkänt innovationsexempel från ILT och något av Dirk Petrings eget "skötebarn". Detta verktyg marknadsförs numera kommersiellt av företaget L'SERFACT och fungerar helt enkelt så att man ändrar fokusläge och assistgas mellan skärnings [N<sub>2</sub>] och svetsnings [Ar] -operationerna. Numera har man även lagt in en inmätningfunktion, vilket gör det möjligt att korrekt applicera en överlappssvets trots att den bakomliggande strukturen är dold. En annan svetsoperation arbetar med ett "dual focus" för att skapa estetiskt tilltalande kälsvetsar, där en fokalkpunkt har hög energitätthet för att kunna åstadkomma en nyckelhålssvets medan fokalkpunkten med låg energitätthet endast utför en värmeledningssvets som jämnar ut svetsrågen.

Vid LiM [Lasers in Manufacturing] redogjorde ju Thorge Hammer för Volkswagens användning av IPG:s "Seam Stepper" vid tillverkningen av den nya, 7:e generatio-



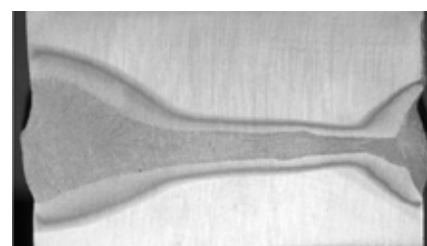
**Figur 4.** Snittkanter för laserskuret 4 mm tjockt rostfritt material. På grund av olikheter i Fresnel-absorption ger CO<sub>2</sub>-lasern (närmast) en överlägsen snittkvalitet jämfört med fiberlasern.

nens, Golf-modell, och nu repeterade Dirk Petring detta med att berätta att VW har 15 sådana system i produktion där de också används för 3-plåtsförband. På min direkta fråga om drivkraften för VW att satsa på detta koncept trodde Dirk att satsningen gjordes främst ur säkerhets- och miljösynpunkt.

Inom ämnesområdet laserlödning lyfte Dirk fram det verktyg med koaxiell matning av tillsatstråden som presenterades vid AKL [Aachener Kolloquium für Lasertechnik] 2012, varpå han avslutade sitt uppskattade föredrag med några exempel på laserpåläggning. Ett imponerande praktikfall handlade om LMD av en cylinder med en deponeringshastighet på 200 m/min(!) [Fig. 6] där det pålagda materialet efterbearbetades med laserpolering genom att använda samma verktyg med defokuserad stråle utan tillsatsmaterial. Som slutkläm kom några kinesiska exempel på LAM där man byggt upp ett 3 meter stort utlopp för en turbinmotor till ett attackflygplan, samt en 5 meter lång Titan-vinge till passagerarplanet C919 där Dr. Petring påstod att man kunnat reducera vikten från 1.607 kg till endast 136 kg genom att använda additiv tillverkning med laser.



**Figur 6.** Höghastighetspåläggning med laser har blivit något av en specialitet hos ILT; närmast en \*1000 kg tung axel som belägges med 4 kW lasereffekt och en processhastighet på 50 m/min, och t.h. "rekordet" med en cylinder som beläggs med 200 m/min i rotationshastighet.



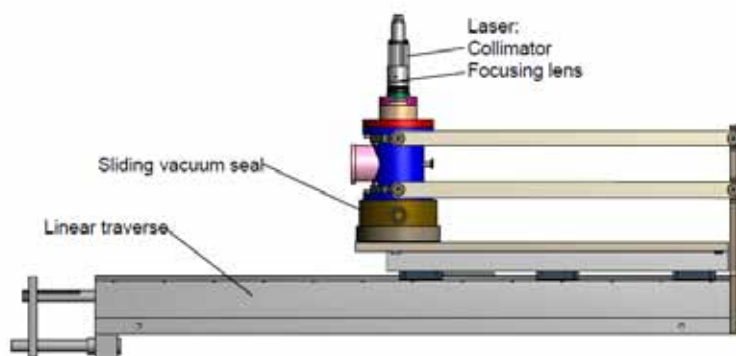
**Figur 5.** Förutom sitt kära "KombiKopf" berättade Dirk Petring denna gång om bl.a. "Dual Mag Hybrid" där 30 mm höghållfast stål (RQT701) svetsats i en passering med 20 kW lasereffekt och två motställda MAG-pistoler med olika trådmatning och en framföringshastighet på 0,8 m/min.



## Lasersvetsning

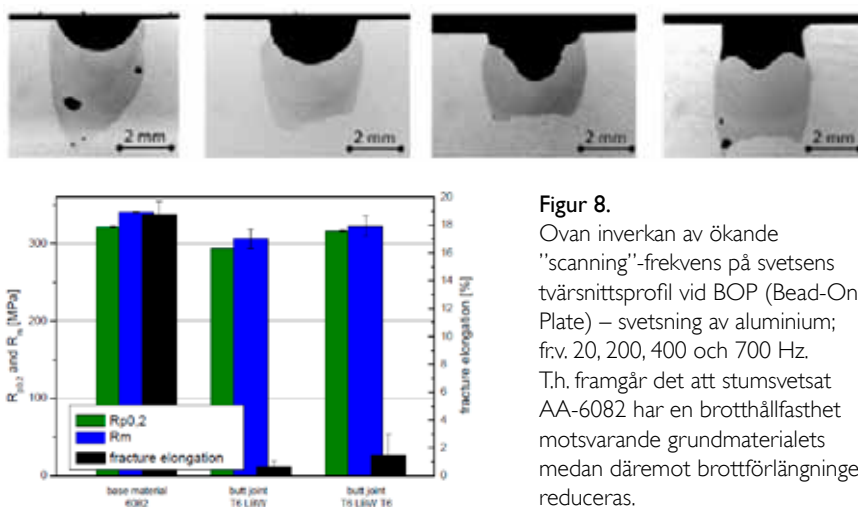
HPL-delen av LAMP-konferensen var i sin tur indelad i olika temablock varav det som handlade om lasersvetsning var det i särklass mest omfattande med inte mindre än fem olika sessioner. Flera av presentationerna adresserade grovplåtssvetsning och jag kunde konstatera något av en renessans för temat flersträngssvetsning [MPNG = Multi-Pass Narrow Gap] med laser där lite olika angreppssätt kom till användning. Sålunda redogjorde Jonathan Blackburn från TWI [The Welding Institute] i Abington för stumsvetsförsök utförda på 25 mm tjockt S275R-material med en fogberedning som innebar en 4 mm bred rot och 10° avfasade kanter. 5 kW lasereffekt hade använts och rotsvetsen hade utförts autogent med en svetshastighet på 2,0-2,5 m/min. Därpå lades fyllnadssträngarna med 0,75 m/min och en trådmatningshastighet på mellan 6-7 m/min. Olika tillsatsmaterial såsom G3Si1, G4Si1 och G2Ti hade utvärderats. Dock visade det sig vara svårt att undvika sprickor i de först lagda strängarna något som inte gick att motverka genom att förvärma tråden.

Sympatiska Jonathan berättade också om "single-pass"-svetsning av grovplåt där han menade att det man hittills klarat med konventionell teknik var 22 mm tjockt material som kunnat genomsvetsas med 30 kW lasereffekt. En idé att klara ännu tjockare material, alternativt att använda lägre lasereffekt, var att svetsa under reducerat lufttryck. Alltså inte rent vakuum utan tryck mellan 0,1-10 kPa och för detta ändamål hade man vid TWI utvecklat en liten vakuumkammare som var avsedd att monteras över själva svetsverket och därmed göra processen mer flexibel i så måtto att man inte behövde ha en större, stationär vakuumkammare [Fig. 7]. Med denna utrustning hade man penetrerat 25 mm tjockt CMn-stål med endast 5 kW lasereffekt och en svetshastighet på 1 m/min. Jonathans slutsats från dessa försök var att man genom att svetsa under reducerat tryck kunde öka penetrationsdjupet 2-3 gånger jämfört med svetsning i luft.



Figur 7.

En schematisk skiss över den flexibla vakuumkammare som ursprungligen utvecklats för elektronstrålesvetsning vid TWI, men som här anpassats för lasersvetsning under reducerat lufttryck mellan 0,1-10 kPa.



Figur 8.

Ovan inverkan av ökande "scanning"-frekvens på svetsens tvärsnittprofil vid BOP (Bead-On-Plate) – svetsning av aluminium; fr.v. 20, 200, 400 och 700 Hz. Th. framgår det att stumsvetsat AA-6082 har en brotthållfasthet motsvarande grundmaterialets medan däremot brottförlängningen reduceras.

Ytterligare en presentation kring MPNG-svetsning, nu av 50 mm tjockt stål respektive aluminium, kunde vi lyssna till från Dirk Dittrich från Fraunhofer IWS i Dresden. Han menade att man med laserteknik kan klara stumsvetsning av tjockt material med fogberedningsvinklar under 5°, där de enskilda svetssträngarna har en tjocklek mellan 1,5-3,5 mm. Två fiberlaserkällor hade använts i försöken, en 5 kW SM [Single Mode] och en 4 kW multi-mode i kombination med ett "scanner"-verktyg. Stålkvaliteten visade sig vara tämligen lättsvetsad, medan 50 mm tjockt AA6082 var en större utmaning. "Scanning"-frekvensen visade sig här ha en avgörande betydelse och frekvenser kring 700 Hz gav ett instabilt svetsbeteende [Fig. 8]. Bästa resultat uppnådde man vid 200 Hz även om det här förekom mindre porer [ $< 0,4$  mm] vilka dock inte ansågs ha något negativt inflytande på hållfastheten.

Däremot understeg brottförlängningen i svetsgodset avsevärt grundmaterialets motsvarande värden.

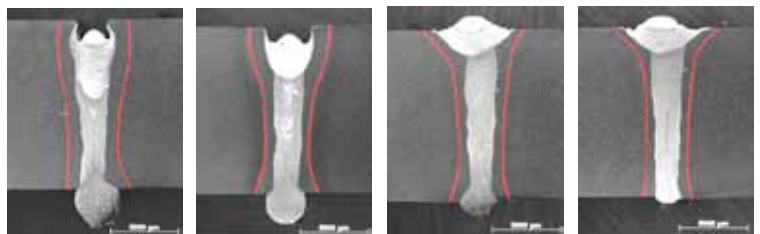
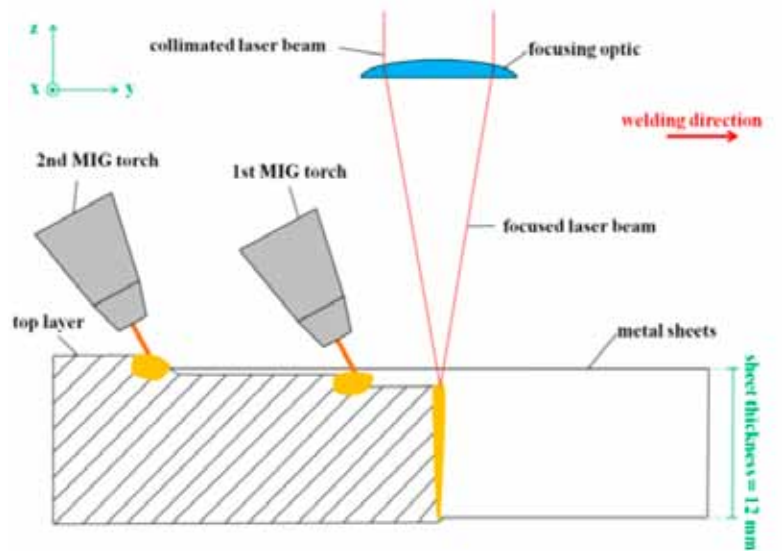
Aluminiumsvetsning var också temat i Oliver Seffers från LZH [LaserZentrum Hannover] presentation. Här handlade det om laserhybridsvetsning av 12 mm tjockt AA6082-T6 där en 16 kW disk laser kombinerats med två MIG [Metal Inert Gas, ex. Ar] -utrustningar med 2,7 respektive 1,8 kW effekt för att avsevärt öka svetshastighet och produktivitet. Precitecs "scanner"-verktyg hade använts vid försöken där framföringshastigheten varierades mellan 3-8 m/min och trådmatningen motsvarande från 6 till 10 m/min. Svetsarnas kvalitet hade utvärderats mot "klass B"-nivån enligt ISO 13919-2:2001. Inverkan av olika interavstånd mellan laserns fokuspunkt och den närmast inmatade tillsatsstråden hade undersökts. För interavstånd på 20-25 mm uppstod vad Herrn

Seffer ville kalla en ”kombinerad process” så tillvida att man får två separata smältbad – ett från lasern och ett från MIG-processen [Fig. 9]. En äkta hybridprocess får man endast då interavståndet uppgår till 10-15 mm, något som också resulterar i en smalare värmepåverkad zon kring svetsen.

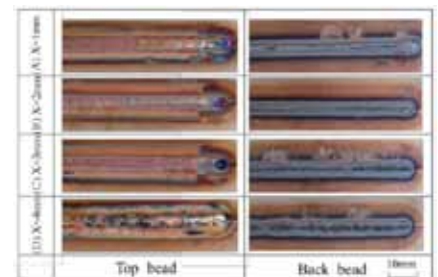
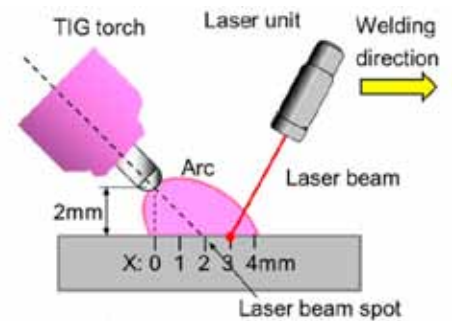
En annan form av laserhybridsvetsning togrfördes av Yuichiro Murata från Mitsubishi Heavy Industries. Här handlade det om att förbättra förutsättningarna vid TIG [Tungsten (W) Inert Gas] -svetsning av tunnplåt kring 2 mm i tjocklek. Ett av de större problemen vid TIG-svetsning är elektrodens förslitning vilket gör att ljusbågens anodfläck blir instabil. Tanken var alltså att använda lasern som en stabilisator och därmed kunna tolerera en större förslitning av elektrodtoppen. Därför var det tillfyllest att använda en pulsad lågeffekt laser med 96 W medeleffekt. I försöken hade laserstrålen, vilken oscillerades med 20 Hz och en pendlingsvidd på 1 mm, positionerats som ledande med olika interavstånd till ljusbågen vars båg-längd uppgick till 2 mm [Fig. 10]. Såväl SUS304 som rostfritt material hade framgångsrikt svetsats med en hastighet på 100 mm/min, och där svetshållfastheten överensstämde väl med grundmaterialets hållfasthet.

Att pendla laserstrålen vid stumsvetsning med tillsatstråd tillåter större variationer i rotspalt och positionering av tråden, något som Yosuke Yamazaki från JWRI vid Osaka University hade studerat i samarbete med kollegor från Hitachi Zosen Corporation. Man hade använd sig av 5-7 kW lasereffekt från en 10 kW fiberlaser där strålen transporterades via en 0,3 mm optisk fiber till ett svetsverktyg med 125 mm kollimeringslins och 300 mm fokuseringsdi- to. Tillsatstråden var homogen med en diameter på 1,2 mm och 2,2% Ni-innehåll, och CO<sub>2</sub> hade används som skyddsgas till en mängd av 30 l/min. Provmaterialet utgjordes av kolstål med en brottgräns på 400 MPa och framföringshastigheten hade satts till 460 mm/min. Pendlingsvidden hade programmerats mellan 1 och 15

mm och frekvensen varierades mellan 10-20 Hz, då högre frekvenser än så visade sig ge porer i botten av svetsgodset [Fig. 11]. En intressant höghastighetsfilm ingick i presentationen där man klart kunde notera svets-sprut i pendlingsens vändlägen. Detta fenomen kunde emellertid motverkas genom att defokusera strålen från z = 0 till z = +20 mm. Vidare observerade man segregeringar i svetsgodset vid trådmattningshastigheter över 3 m/min. Detta förklaras av att, i motsats till svetsning utan pendling då tillsatstråden är kontinuerligt uppvärmd, tråden i det här fallet endast momentant är nedsmält och då laserstrålen passerar över tråden skär den av densamma så att små osmälta stycken faller ner i svetsmältan. Auditoriet hade ett antal lösningsidéer att delge Mr. Yamazaki, och bl.a. nämndes varmtråd alternativt oscillering av strålen i två dimensioner, alltså någon form av cirkulär rörelse, för att motverka det beskrivna fenomenet.



**Figur 9.** Överst Schematisk uppställning för en laserhybridprocess med två efterföljande MIG-pistolerna. Inverkan av olika interavstånd (frv. 10, 15, 20 och 25 mm) på svetsprofilen syns ovan.

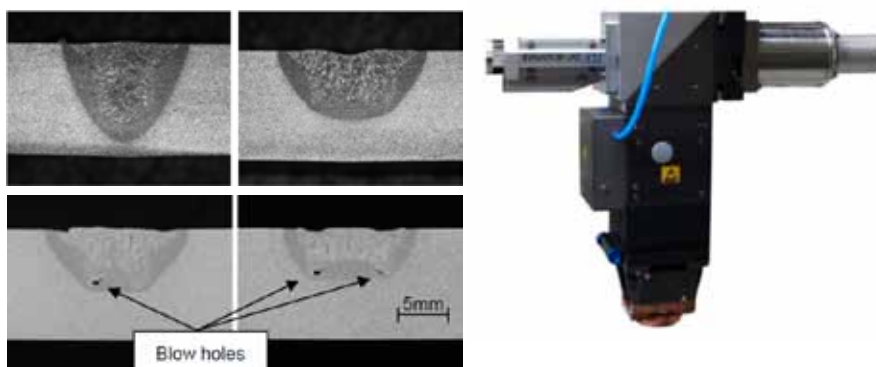


**Figur 10.** Överst försöksuppställningen för laserunderstödd TIG-svetsning och ovan. resultaten vid olika interavstånd där 3 mm gav det bästa resultatet.

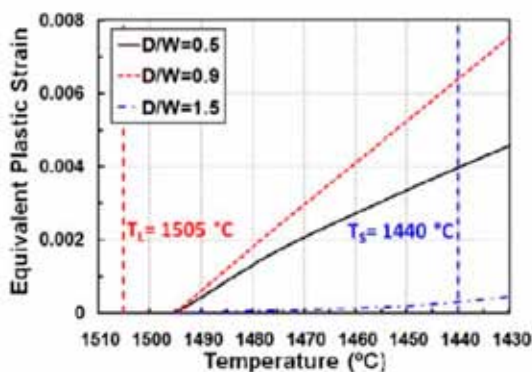
Lasersvetsning med varmtråd i en stumfog med smal spalt hade också studerats av Motomichi Yamamoto och hans kollegor vid Hiroshima University. Även här hade pendlning använts och syftet med undersökningen var att fastlägga rotsvetsens bredd/djup-förhållande och dess inverkan på uppkomsten av stelningssprickor. Försöken hade utförts på 21 mm tjockt 9Cr1Mo-material med en 3mm bred fogberedning. Tillsatsmaterialet utgjordes av ER90S-G vilket smältes ner via en defokuserad, 3 mm stor fokalkpunkt och 3 kW effekt från en fiberlaser. Tråden matades in i en 80 procentig vinkel 2 mm bakom laserstrålen och med en hastighet som varierades mellan 2,4-6.0 m/min.

Framföringshastigheten hade satts till 0,3 m/min och man kunde konstatera att då förhållandet mellan svetsbredd (D) och svetsdjup (W) låg nära 1 var risken som störst för stelningssprickor, något som också validerats via svets-simuleringar där  $D/W = 0.9$  gav den högsta töjningen i svetsens mitt [Fig. 12]. Därför blev slutsatsen att om de geometriska förhållandena för svetsens tvärsnitt är  $D/W > 1.2$  eller  $D/W < 0.6$  går det att undvika dylika stelningssprickor.

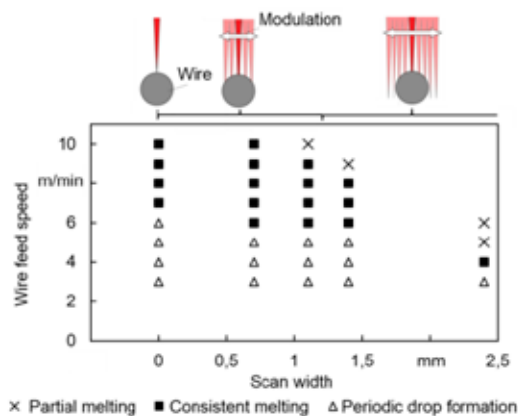
Det ovan beskrivna problemet med avklippit tillsatstråd vid oscillerande svetsning har även uppmärksamats vid BIAS [Bremer Institute für Angewandte Strahltechnik], berättade välkände Dr. Thomas Seefeld i en del av sin presentation, vilken genomgående handlade om svetsning och lödning av aluminium. BIAS har ju sedan några år tillbaka etablerat sitt kompetenscentrum CentrAL, som gärna vill vara forskningsledande då det gäller laserbearbetning av aluminium och andra lättviktsmetaller. Huvudsyftet med pendlning vid stumsvetsning av AA6082 var att kunna skapa en större tolerans för vad som är möjligt att spaltöverbrygga. I försöken hade man använt den 1 kW "single-mode" fiberlaser från IPG [YLR-1000] som man har till sitt förfogande i laboratoriet i Bremen. En fokallängd på 200 mm och med fokalkpunkten placerad på toppytan hade använts vid svetsningen, vilken hade utförts med



Figur 11. Tvärsnitt genom BOP-lasersvetsar utförda med 5 resp. 7,5 mm pendlingsvidd. De två övre svetsarna är utförda med 10 Hz frekvens medan de undre, som uppvisar porer i botten på svetsgodset, svetsas med 100 Hz. Th. det exakta "scanner"-verktyg som användes vid försöken.



Figur 12. Resultat från svets-simuleringar som indikerar att ett förhållande mellan svetsdjup (D) och -bredd (W) på 0,9 ger högst plastisk töjning i svetsgodset och därmed också störst risk för uppkomsten av stelningssprickor.



Figur 13. Svetsfönster för godkänd svetskvalitet här markerad med fyllda kvadrater, och närmast tvärsnitt genom en stumfog i 1 mm tjockt AA6082 med 1 mm luftspalt svetsad med 1 kW lasereffekt, framföringshastighet 3 m/min, pendlingsvidd 1,4 mm samt 4,5 m/min i trådmatning.

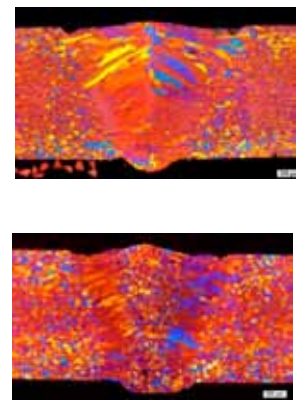
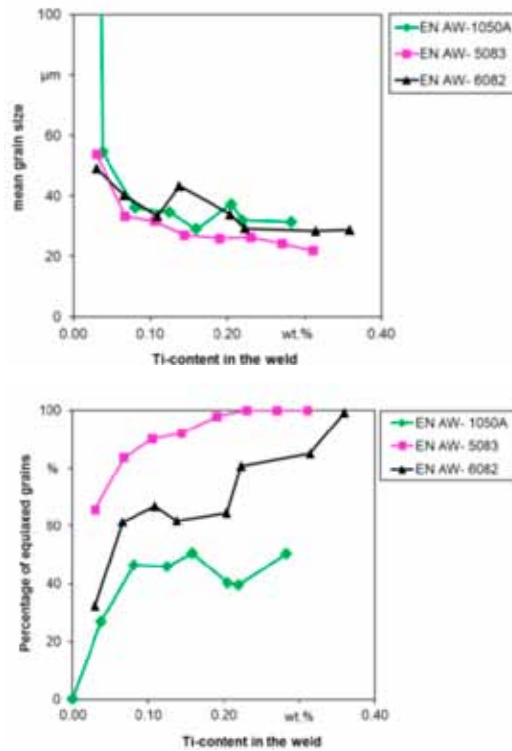
AlSi5-tillsatstråd och med Argon [15 l/min] som skyddsgas. Variabler var framföringshastighet, trådmatningshastighet samt pendlingsvidd med pendlning utförd vid 200 Hz. På så sätt kunde man etablera en form av

"svetsfönster" för de parametrar som gav ett godkänt svetsresultat [Fig. 13]. Just för att undvika den beskrivna avklippningen av tillsatstråden måste man sänka trådmatningshastigheten när pendlingsvidden ökar.

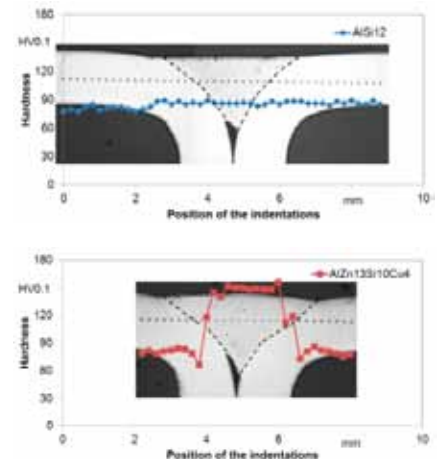
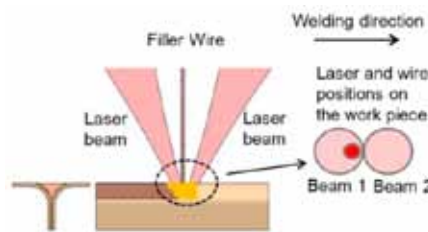
Dr. Seefelds andra tema under föredraget var den välbekanta åtgärden med kornförfining av svetsgodset genom små tillsatser av Ti5B1 för att undvika varmsprickor vid svetsning i aluminium. I den nu redovisade försöksserien hade man använt Trumpfs TruDisc 8002 försedd med ett svetsverktyg med 300 mm brännvidd och en 1D-”scanner” med 250 Hz frekvens. Fokalpunkten var placerad 8 mm ner i materialet och pendlingsvidden var 2 mm. De aluminiumlegeringar som undersökts var AA1050, AA5083 och AA6082 där lasereffekten varierats mellan 4-8 kW och svets hastigheten motsvarande från 2 till 6 m/min. Analysen av svetsgodset gav vid handen att med dessa förfiningsåtgärder kan kornstorleken minskas från 50 till 20 µm [Fig. 14], och där man med ett s.k. Delta-test verifierat ett avsevärt förbättrat motstånd mot varmsprickor.

Den sista delen av Thomas presentation handlade om en speciellt utvecklad legering för laserlödning, vilken har den kemiska beteckningen AlZn13Si10Cu4 och en försänkt smälttemperatur på 500-550 °C. Vid lödningsförsöken hade man använt en lampumpad HL4006D från Trumpf kombinerad med Er-las specialutvecklade lödverktyg DuoSpot© med koaxiellt matad tillsatsstråd och ”beam-splitting”. Trådmatningshastigheten sattes till tre gånger framföringshastigheten. Med den nyutvecklade lödtråden erhåller man högre hårdhet [Fig. 15] och bättre vätningsbeteende jämfört med det mer traditionella tillsatsmaterialet AlSi12.

Svetsning av lättviktslegeringar som magnesium och aluminium erbjuder som bekant en hel del utmaningar, och en av de i mitt tycke bästa presentationerna, framförd av lilla Min-Jung Kang från Korea Institute of Industrial Technology, handlade om åtgärder för att förbättra svetsbarheten hos magnesium [AZ31] och aluminium [AA5052]. Vad hon hade gjort var att addera legeringselement i form av Mn, Zn men först och främst Ca [mellan 0,5-1,5 viktsprocent], och därmed döptes de aktuella legeringarna om med



Figur 14. Genom att blanda in små tillsatser av titan i tillsatsmaterialet vid laser-svetsning av olika aluminiumlegeringar minskar risken för varmsprickor genom att kornstrukturen i svetsgodset blir finare (undre tvärsnittsbilden) i såväl storlek som till form (likaxlig/symmetrisk).



Figur 15. T.v. Principen för Er-las lödverktyg DuoSpot© och ovan hårdhetskurvor för lödfogar utförda med AlSi12- respektive AlZn13Si10Cu4-tillsatsstråd.

prefixet ”ECO-”. Svetsförsöken med magnesium hade genomförts med en Yb:YAG-disklaser, 220 mm fokallängd och 1500 W effekt. Vad man vinner är framförallt en ökad svets hastighet genom att det bildas CaO som har en förmåga att undertrycka plasmaformeringen. Kalciumoxiden hjälper också till att skapa en förfinad kornstruktur i svetsen vilket leder till en ökad hållfasthet i såväl svetsgodset som den värmepåverkade zonen. Motsvarande försök hade gjorts på ECO-AA5052 men här

hade man använt 3 kW lasereffekt och en så pass lång brännvidd som 560 mm. I detta fall medför kalciumtillsatsen att det bildas Al<sub>2</sub>Ca vilket också leder till en finare kornstorlek och högre hållfasthet i svetsgodset. Detta hade validerats genom dragprov där brottet i ECO-versionen gick i grundmaterialet medan de lasersvetsade provstavnarna av konventionell AA5052-legering brast i HAZ [Heat-Affected Zone]. I aluminiumförsöken såg man ingen inverkan på svets hastigheten mellan de två lege-

ringstyperna, men om man däremot undersökte fokalpunktens positionering fanns stora skillnader i så motto att med fokalpunkten i  $z = 0$  nåddes betydligt högre svetshastigheter jämfört med lägena  $z = -3$  och  $-6$ .

Svetsning av ett annat lättviktsmaterial, nämligen koppar, förekom i ett flertal presentationer, bl.a. i den som gavs av Su-Jin Lee från professor Katayamas institution JWRI vid Osaka University. Den handlade om överlappssvetsning av 0,3 mm tjocka membran av koppar och aluminium [AA1050], med det senare positionerat som topp-plåt. Vid svetsförsöken hade man använt 1 kW lasereffekt från en 2 kW "singel-mode"-fiberlaser med 1.070 nm våglängd och en BPP [Beam Parameter Product] på 1,05 mm\*mrad. Med en fokallängd på 150 mm fick man då en brännfläck i storleksordningen 20  $\mu\text{m}$ , vilken positionerades på toppytan. Man hade använt Argon som skyddsgas [35 l/min], och svetshastigheten hade varierats mellan 10 och 50 m/min. Konklusionen var att vid den högsta hastigheten gick det att begränsa tillväxten av det intermetalliska skiktet, som då utgjordes av  $\text{CuAl}_2$ , till 5 nm i tjocklek.

Professor Seiji Katayama [Fig. 16] själv framträdde under avslutnings-sessionen med en redogörelse av sina försök med att laser"svetsa" plast till metall. "LAMP joining", där LAMP i det här fallet skall uttolkas "Laser Assisted Metal to Plastic" hörde jag talas om redan vid LAMP-konferensen i Kyoto 2006, men namnvalet är ju synnerligen passande i detta konferenssammanhang. I de här försöken hade en cw diodlaser med en linjeformig fokalpunkt använts och laserstrålen hade ansatts mot metallsidan som utgjordes av antingen rostfritt 304-material, AA5052 aluminium eller zinkbelagt kolstål. Polymeren var i alla experimenten en fiberförstärkt polyamid [PA] och i denna kunde man se att det uppstod luftbubblor nära fogytan under svetsprocessen, vilket naturligtvis har en negativ inverkan på fogens hållfasthet. Åtgärden för att motverka detta fenomen var att sänka effekten från 1.050 W till 700 W vid en

framföringshastighet av 4 mm/sek. Detta reducerade uppkomsten av bubblor, men kunde inte fullständigt eliminera desamma. Dock låg brottlasten kring 3 kN vid dragprovning av de 20 mm långa fogarna, vilket måste betecknas som en överraskande hög nivå.

### Laserskärning och -borrning

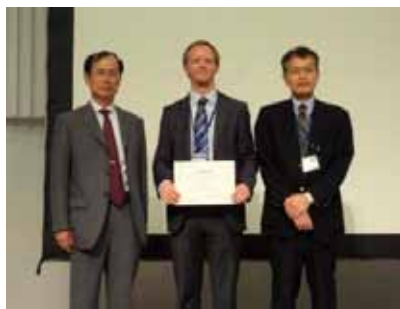
Laserskärning blir alltmer knapphändigt rapporterat i konferenssammanhang och vid LAMP kunde antalet presentationer på detta tema nog räknas på ena handens fingrar. Några godbitar gick dock att finna som exempelvis Grigory Ermolaevs [Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics] visualisering av laserskärningsprocessen via höghastighetsfilmning genom en glasskiva, för vilket han också belönades med HPL-konferensdelens "Outstanding Reward". Denna utmärkelse fick han för övrigt dela med Andreas Heider [Fig. 17] från IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] vid Stuttgarts universitet och dennes röntgendetektering av svetsnsprut vid lasersvetsning av koppar. Detta att filma skärprocessen genom glas introducerades ju första gången vid ICALEO-konferensen i Orlando, FL, 2007 av Dr. Petr Yudin som nu fungerat som handledare åt Herr Ermolaev. Tricket bakom att undvika att glaset upphettas och förstörs av laserstrålen är att man låter det röra sig i motsatt riktning mot skärprocessen. Man hade skurit mjukt kolstål och rostfritt material med  $\text{CO}_2$ -respektive fiberlaser [Fig. 18], och vad man kunde konstatera var att nyckelhålets skärfront betedde sig betydligt mer instabilt då fiberlasern användes.

Hiroyuki Niino från APLROT [Advanced Laser and Process Technology Research Association] i Tokyo berättade om laserskärning av fiberförstärkta polymerer, ett ämne som tycks ligga i tiden. Laserkällan utgjordes av en NIR [Near InfraRed]-fiberlaser med 1.090 nm våglängd och 1 kW cw [continuous wave]-effekt. Till denna hade man kopplat en "scanner" för att kunna ablationsskära 3 mm tjock fiberförstärkt



Figur 16.

Professor Seiji Katayama från Osaka University är en välkänd profil i lasersammanhang, och tillika kraftfullt engagerad i den japanska "Lasergruppen" (JLPS) liksom i LAMP-konferenserna.



Figur 17.

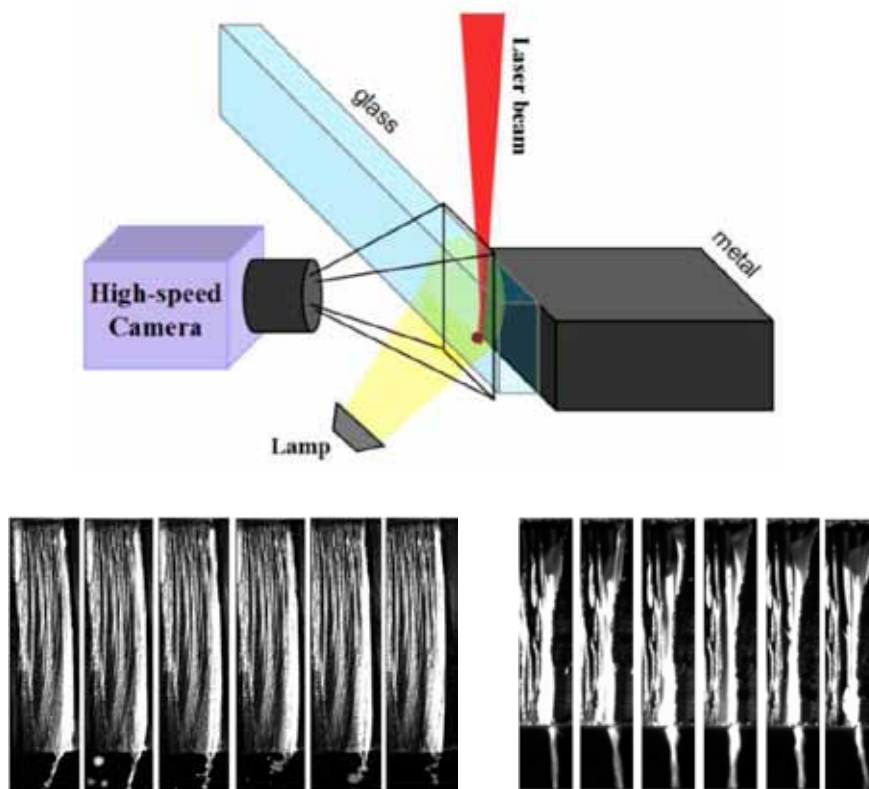
En ny bekantskap som jag gjorde under LAMP-konferensen var doktoranden Andreas Heider (i mitten) från IFSW, vilken belönades med ett "Outstanding Reward" för sitt bidrag om röntgendetektering av svetsnsprut, en utmärkelse som han fick dela med Grigory Ermolaev.

PC [PolyCarbonate]. För att undvika uppkomsten av en bred värmepåverkad zon och att det uppstår små luftbubblor under skärytan behöver man hålla nere temperaturen under skärprocessen. Detta lyckas man bäst med genom att ha en hög skärhastighet kombinerad med många repetitioner. Detta bevisades också i experimenten där 2,3 m/s och 42 repetitioner gav ett betydligt bättre utseende på skärnittet jämfört med en hastighet på 0,2 m/sek och 4 repetitioner. En annan observation var den att om en kontinuerlig fiber används i kompositmaterialens matris krävs fler repetitioner vid skärning i jämförelse med då fibern innehåller korta slumpvis orienterade fibrer.

Samma ämnesområde behandlades av Muneharu Kutsuna från Advanced Laser Technology Research Center Co. Ltd. med avsikten att skära olika sågtandsmönster i fogytan för en stumfog för att på så sätt skapa större kontaktyta och högre hållfasthet i fogen. Här hade en frekvensdubblad [ $\lambda = 532 \text{ nm}$ ], "Q-switchad" Nd:YAG-laser från företaget Thalister med 25 W medeleffekt använts i pulsmode kombinerad med en "scanner" för ablations-skärning. Pulserna var 8 ns långa och pulsfrekvensen 20 Hz vilket gjorde att pulsenergin uppgick till 6,5 mJ. För att penetrera en 0,7 mm tjock polymer krävdes 120 repetitioner, och att detta inte är någon snabb process kunde vi vidare konstatera då Mister Kutsuna på en direkt fråga från auditoriet svarade att för att på detta sätt skära 1 m av ett 6 mm tjockt ämne krävs det 2 timmars processtid!

Barada Nayak från Corning Incorporated i USA berättade om CO<sub>2</sub>-laserborrning av kvartsglas [SiO<sub>2</sub>]. Valet av laserälla berodde på att detta material har en bra absorption av 10,6  $\mu\text{m}$ -våglängden. Även här gäller det att hålla nere värmen under processen för att kunna få acceptabla snittkanter. Lasern hade pulsats på två sätt; dels via s.k. "single-pulse" med cirka 5 mJ tillförd energi och en fokuspunkt på 90  $\mu\text{m}$  i diameter, dels med "multi-pulse" där man brände av 200  $\mu\text{s}$  långa pulser med ett energiinnehåll på 1 mJ/puls till dess man arbetat sig igenom materialet, och här var fokuspunktsdiametern 50  $\mu\text{m}$ . För det senare angreppssättet hade man undersökt inverkan av olika paustider mellan pulserna. Kortare paustid resulterade i en djupare penetration, varför man snabbare kan arbeta sig igenom materialet. Denna effekt blir större vid högre pulsfrekvens, men däremot påverkas inte hålets diameter.

Under avslutningssessionen kunde vi lyssna till en intressant presentation som framfördes av Xinbing Liu från Panasonic Boston Laboratory. Här rörde det sig om att borra hål i keramer med hjälp av ps [10-12 sekund] långa laserpulser. Problemet var att det fanns krav på att hålväg-



Figur 18.

Överst principen för höghastighetsfilmning genom glas av laserskärningsprocessen. Därefter följer bilder tagna med 2 ms intervall; först CO<sub>2</sub>-laser-skärning av 20 mm tjockt kolstål med 4 kW och 0,7 m/min, och därefter 4 mm skurit med 2 kW från en fiberlaser och framföringshastigheten 20 mm/sekund.

garna skulle vara helt parallella och vid konventionell trepanneringsborrning med laser blir ingångshålet alltid större än utgångshålet beroende på laserstrålens speciella form. Detta kan man motverka genom att luta strålen på ett sådant sätt att den ena sidan av laserstrålen faller in vinkelrätt mot ytan samtidigt som den passerar genom ett roterande prisma. Begränsningen med denna lösning är att det endast går att skapa cirkulära hål, och därför har man vid Panasonics laboratorium utvecklat ett system som består av två galvo-speglar med vardera fyra frihetsgrader och en telecentrisk f- $\theta$  "scanning"-lins, där galvo-speglarna flyttar laserstrålen ur sitt axiella läge innan den träffar fokuseringslinsen. Metoden fungerar också på stålplåt, vilket exemplifierades med 95  $\mu\text{m}$  stora hål i 0,5 mm tjockt material, och man hade även skurit ovala, s.k. "race track"-hål. Det går även att borra flera hål simultant med denna teknik. Då placeras den diffraktiva

optiken, som delar upp laserstrålen, efter den andra galvo-"scannern" men innan den telecentriska "scan"-linsen. På detta sätt hade man med fem laserstrålar borrar 15 stycken hål med c/c-avståndet 500  $\mu\text{m}$ . Resultaten var synnerligen imponerande då de genomsnittliga diametrarna på ingångshålen var 93,5  $\mu\text{m}$  och för utgångshålen 93,7  $\mu\text{m}$ !

### Utrustningar och verktyg

Trots att den "table top"-utställning som arrangerades vid LAMP-konferensen var av rudimentär omfattning med endast ett tiotal utställare, kunde jag snappa upp ett antal nyheter på utrustningssidan. Sålunda informerade Tsuyoshi Nakamura från Trumpf i Japan inte helt överraskande om företagets nya "6C-generation" av disklassar med 30% WPE [Wall Plug Efficiency], där man kan "kräma ut" hela 6 kW ur en enstaka disk. Denna TruDisc6002 har en betydligt kompaktare uppbyggnad jämfört med sin föregångare

[Fig. 19] och marknadsförs också i en "tropisk version", vilket innebär att den skall fungera störningsfritt i en verkstadsmiljö med upp till +40° C och 80% R.H. [Relative Humidity], förutsättningar som alls inte är ovanliga i exempelvis Japan. Förutom också nya produkter i TruDio- och TruFibre- serierna visade Mr. Nakamura också upp en processövervakningsmodul för laserskärning benämnd TruControl 1000, vilken kan reglera lasereffekten i tidssteg inom 1 µs [Fig. 20].

En av många speciellt inbjudna talare var Arnold Gillner från Fraunhofer ILT som hade en uppskattad presentation kring utvecklingen av kortpuls-lasrar. Idag erbjuder dessa upp till 100 W lasereffekt och används företrädesvis vid mikrobearbetning, men trenden går mot högre effekter, och den gode Arnold menade att det troligtvis inte dröjer länge förrän vi ser USP [Ultra Short Pulse]-lasrar med 1 kW kontinuerlig effekt och pulsenergi kring 1 J lämpliga också för makrobearbetning. P.g.a. den höga foton-densiteten gäller här inte klassiska absorptionslagar, varför simuleringshjälpmedel blir nödvändiga för att riktigt förstå processen. Likaså ställs speciella krav på optiker då effektopparna vid pulsning blir extremt höga. Vanligtvis används kortpuls-lasrar vid bearbetning av värmekänsliga material som exempelvis FRPC [Fibre Reinforced Plastic Composites] eller till att skraddarsy ytegenskaper som friktion eller hydrofobi [Fig. 21], men Dr. Gillner visade också på exempel där glas hade ablationsskurits vid TU [Technische Universität] München genom att kombinera två laserkällor, en med våglängden 1.070 nm och en med 532 nm våglängd. Den förra hade pulslängder i ps-området medan den senare arbetade med fs långa pulser. För att kunna texturera större ytor i mikro- och nano-skala krävs snabba rörelser av optikkomponenterna, och detta exemplifierades med en höghastighets-"scannande", polygon spegel som kunde ompositioneras inom ett område på 100x100 mm med 340 m/s [!] vid en frekvens på 40 MHz. Ett alternativ till hög-



Figur 19. Trumpf har numera två varianter av sin TruDisk6002-modell där den nya 6C-generationen med endast en disk (t.h.) är extremt kompakt.



Figur 20. Laserskärning utan respektive med effektövervakning genom den nya funktionen TruControl 1000.

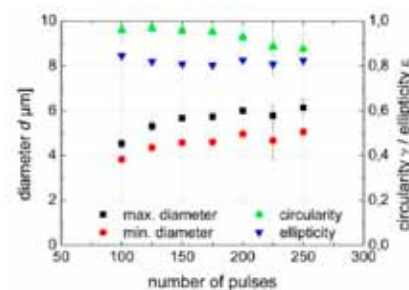
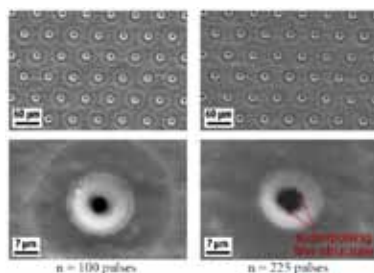


Figur 21. Arnold Gillner från ILT berättade initierat om hur man med kortpuls-teknik texturerar olika ytor:

hastighets-"scanning" kan vara att arbeta med flerstråleteknik genom att dela upp laserstrålen med hjälp av diffraktiva optiker. Exempel på detta var strukturering av cylinderfoder och kolringar vilket utfördes med 6 ps långa pulser med ett energiinnehåll på 300 µJ per puls. Ett annat spännande exempel på DOE [Diffractive Optic Element]-teknik var då

196 stycken hål borrades simultant [Fig. 22]. Dr. Gillner menade att de ovannämnda bearbetningsalternativen kommer att öka avverkningsgraden från dagens 1 mm<sup>3</sup>/min till kanske över 5 mm<sup>3</sup>/sek i framtiden!

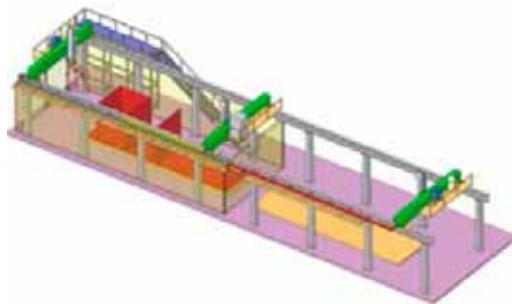
Markus Kogel-Hollacher från Precitec GmbH har ju blivit något av ett inventarium vid sådana här evenemang då det gäller att infor-



Figur 22. Hål borrade i 50 µm tjocka aluminiumfolier med en Nd:YVO4 MOPA laser; c/c-avstånd 50 µm, pulsenergi 0,75 µJ och 400 kHz. I diagrammet t.h. framgår hålets storlek och rundhet som funktion av antalet pulser.

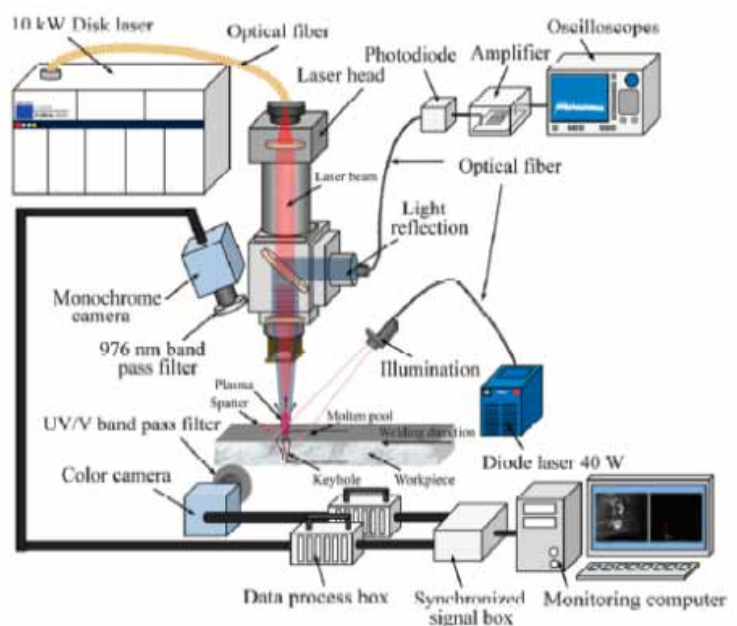
mera om de senaste verktygen för processövervakning, och LAMP 2013 utgjorde inget undantag från detta. Denna gång var huvudtemat laserhybridsvetsning där Precitec sedan en tid tillbaka samarbetar med Cloos Robotic GmbH inom forskningsprojekt som HYBRILAS [Schweißen von Dickblechen mit brillanten Laserstrahlquellen] och QuInLas [Qualitätseinflüsse auf die Schwingfestigkeit Laser- und Laserhybrid geschweißter Schiffskonstruktionen]. Vid Dr. Claus Emmelmans LZN [LaserZentrum Nord] utanför Hamburg har man inom ramen för QuInLas-projektet byggt upp en demonstrationscell i vilken det kommer att bli möjligt att laserhybridsvetsa större fartygssektioner med en 16 kW disk laser och ett nyutvecklat hybridverktyg, där bågsvetsmodulen kan roteras relativt laserstrålen för att få största möjliga processeffektivitet [Fig. 23]. Weldmaster™ är ett välbeprövat Precitec-verktyg för processövervakning som man kommer att använda, och en nyhet var att dess postprocess-modul nu är kopplad till den nya kvalitetsnorm [ISO 12932] för laserhybridsvetsar som har tagits fram, varför det i realtid blir möjligt att klassificera den utförda svetsens kvalitet. Andra hjälpmedel som kommer att utvärderas i QuInLas-projektet är strålscillering för följning med hjälp av Precitecs ScanTracker© samt modulering av lasereffekten.

Just att direkt få ett svar på svetsens kvalitet adresserades i ett flertal presentationer. En av dessa hölls av Deyong You från Guangdong University of Technology i Kina, men för tillfället på besök som studentforskare hos professor Katayama vid JWRI. Vid den här presenterade processövervakningen använde man sig av två fotodioder vilka registrerade synligt ljus och återreflekterad laserstrålning samt två höghastighetskameror som övervakade plasma- och nyckelhålsformering [Fig. 24]. Den insamlade informationen skickades sedan till något som kallades "Support Vector Metal Oxide Semiconductor"-kamera, vilken var ett mjukvaruprogram som hade "lärts upp" att kunna skilja mellan fyra klasser av godkända svetsar och defekta sådana.



Figur 23.

Längst t.v. en skiss över den demonstrationscell som byggt upp vid LZN för laserhybridsvetsning av fullskaliga fartygskomponenter; och närmast ett speciellt hybridverktyg där bågsvetsmodulen kan roteras i förhållande till laserstrålen.

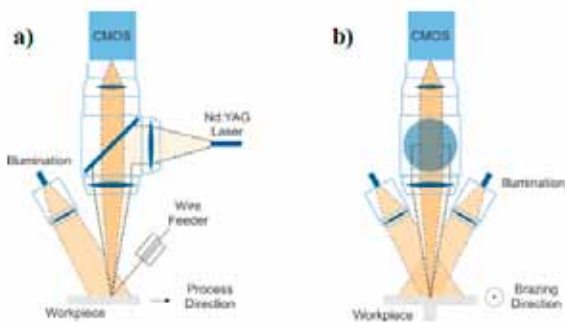


Figur 24.

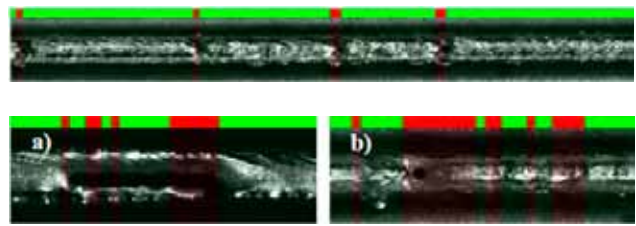
Experimentell uppställning vid lasersvetsning med disk laser och ett flertal optiska komponenter för processövervakning i form av plasma- och nyckelhålsdetektering.

En liknande lösning presenterades av Michael Ungers från Fraunhofer ILT i Aachen men här handlade det om defektdetektering vid laserlödning. Den experimentella delen hade utförts med en 3 kW diodlaser, Scansonics ALO3-verktyg och CuSi3-tillsatsstråd. Provengeometrin utgjordes av en flänsad stumfog i zinkbelagt stål. I lödverktyget hade man koaxiellt med laserstrålen integrerat en CMOS [Complementary Metal Oxide Semiconductor]-kamera som hade en bildfrekvens på 200 fps [frames per second] kombinerad med extern belysning av arbetsområdet från tre sidor [Fig. 25]. Den

erhållna informationen bearbetas sedan via en s.k. FPGA [Field Programmable Gate Array] där två kalibrerade algoritmer gör det möjligt att skilja perfekta lödfogar från dem som uppvisar defekter främst i form av ytporer. 61 av 67 förekommande porer hade kunnat detekteras på ett korrekt sätt. Dock måste Herrn Ungers erkänna att systemet ännu inte är helt tillförlitligt då det inte kan identifiera portyper som inte finns inlärd i FPGA:n. Därutöver kunde också acceptabla fogar klassificeras som underkända p.g.a. förekomst av brännmärken och sot [Fig. 26].



Figur 25. Optiskt system med belysning av arbetsområdet från tre sidor.



Figur 26. Överst ett exempel där fyra porer detekterats på ett korrekt sätt (rödmarkerade), däremot visar de undre bilderna på falskdetektering. I "a" har en större por inte observerats och i "b" har en fullgod svetsundersökning.

AirLiquids specialutvecklade munstycken för lasersvetsning är ju inga direkta nyheter då de nu har några år på nacken, men en kort sammanfattning av Francis Briands föredrag kan vara på sin plats. Vid svetsning med 1  $\mu\text{m}$ -våglängd sker en interaktion mellan den förångade metallen och nyckelhålets bakre vägg, något som vi fått lära oss under åren genom att lyssna till René Fabbros [PIMM Laboratory, CNRS-Arts des Métiers Paris Tech] forskningsresultat och ta del av hans avancerade processimuleringar. Denna interaktion leder till metallsprut och en i allmänhet instabil svetsprocess. För att motverka detta har AirLiquid utvecklat sin "Laser Control Nozzle", vilken innebär att man genom munstycksöppningen på 2 mm diameter skickar en riktad och koncentrerad Argonstråle [18 l/min] ner i själva nyckelhålet så att detta vidgas. Åtgärden har visat sig fungera väl på såväl rostfritt material som zinkbelagd plåt vid överlappssvetsning med en 4 kW Nd:YAG-laser. Det andra munstycket som Monsieur Briand visade var det s.k. "Laser Jet Nozzle", även detta med en munstycksöppning på 2 mm. Detta möjliggör att man kan byta ut dyrt Helium mot Argon [40 l/min] för att undertrycka det plasma som bildas vid  $\text{CO}_2$ -lasersvetsning. Denna fördel hade validerats på en cirka 1 mm tjock ämnesskarvad applikation som svetsats med 6 kW effekt, 200 mm fokallängd och en framföringshastighet på 5 m/min.

### Additiv tillverkning

Att LAMP-konferensen valt att satsa på en sammanslagen session mellan LPM- och HPL-delarna över temat additiv tillverkning var kanske inte helt förvånande då denna form för laseranvändning rörer stort intresse just nu och visar på en kraftig tillväxtpotential både då det gäller SLM [Selective Laser Melting], men framförallt inom området LMD [Laser Metal Deposition] eller laserpåläggning. Sessionen leddes som tidigare nämnts av sympatiske Paul Denney [Fig. 27] från Lincoln Electric med vilken jag för övrigt hade några trevliga frukostsamtal på Nikki Niigata Hotel, och förste talare nu var Minlin Zhong från Tsinghua University i Peking som gav en bred exposé över

olika industriella tillämpningar av laserpåläggning i Kina. Dessutom hade han roat sig med att inventera antalet publicerade konferensbidrag i ämnet sedan 1980 och funnit att Kina varit överlägset bidragande här med 2.800 publikationer följt av USA 490, Japan 261 och Tyskland först på fjärde plats med 246 bidrag. Professor Zhong menade att nästa utvecklingssteg kommer att bli laserbeläggning av mikro- och nanostrukturer utförd med 20  $\mu\text{m}$  grova mikrotrådar. Även lösningar med s.k. "gradient material", d.v.s. att använda sig av olika pulvermaterial i olika lager vid uppbyggnad av strukturer med hjälp av SLM-tekniken, kommer att öka kraftigt i framtiden.

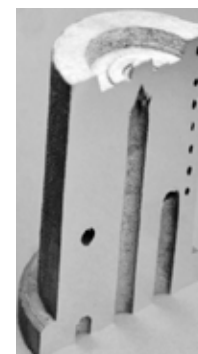
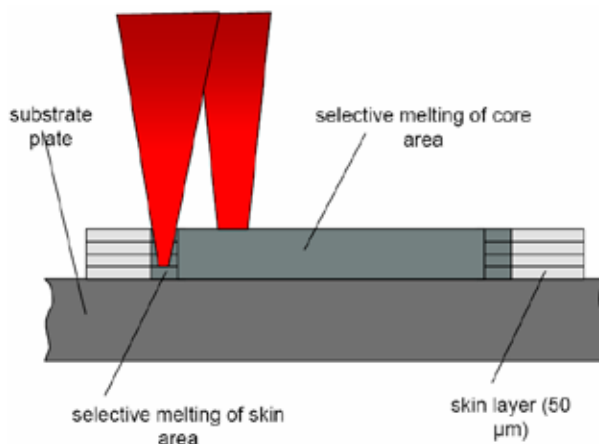


Figur 27. Paul Denney (t.v.) ledde den dedikerade sessionen kring additiv tillverkning där Minlin Zhong (t.h.) gav en bred exposé över laserpåläggning inom kinesisk industri.



Marco Goebel från RWTH [Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule], som har ett nära samarbete med ILT i Aachen, berättade inledningsvis om de olika munstyckstyper som kan användas vid laserpåläggning. De vanligaste är med koaxiell eller diskret pulvertillförsel. För den senare typen används vanligtvis tre öppningar genom vilka pulvret matas fram och som är jämnt positionerade omkring laserstrålen. Denna typ är speciellt lämplig vid komplexa tredimensionella påläggningar men har samtidigt en lägre utnyttjandegrad av pulvret; 41-84% jämfört med 70-97% för den koaxiala varianten. Annars handlade mycket av Dr. Goebels presentation om hur man med LMD kan reparera spetsarna på slitna kompressorblad, där de huvudsakliga fördelarna med denna teknik är låg värmetillförsel, minimala distorsioner och en smal HAZ. Med s.k. "contour-hatch"-teknik bygger man först upp konturen varpå man sedan fyller upp det hålrum som bildats [Fig. 28]. Bredden på fyllningen regleras med laser-effekt och fokalpunktspositionering. Då konturen vid denna fyllningsoperation på nytt kommer att omsmältas vore det önskvärt med någon form av adaptiv LMD som kan reglera laserparametrarna allteftersom detaljernas geometri och temperatur ändras. Idag har man vid ILT tagit fram processövervakningsverktyget CPC [Coaxial Process Camera] med vilket man kan kontrollera tillförd mängd pulver och smältans storlek och form, och det är detta verktyg som man avser att vidareutveckla med ovan nämnda "closed-loop"-funktion. Dessutom vill man även integrera en modul för modellering av geometrin för den detalj som skall repareras med LMD, något som idag utförs med lasertriangulering.

Några av de verktyg som står till buds vid laserpåläggning beskrevs av Jeff Franks från Laserline Japan. Precitec har sitt YC-52-verktyg, ILT har i samarbete med Reis Robotics GmbH utvecklat Varioclad© och IWS har en hel uppsättning verktyg [Fig. 29] som exempelvis:



Figur 28.

Ökad produktivitet vid SLM kan man åstadkomma med s.k. "contour-hatch"-teknik, där man bygger upp bulken med en stor fokalpunkt och hög effekt medan skalen skapas med hjälp av en finare laserstråle. Principen syns närmast och t.h. en insats till ett formverktyg framtagen med denna metodik.

- COAXpowerline som kombinerar påläggning med induktionsuppvärmning av arbetsstycket
- COAX8 med 95% verkningsgrad för pulvret
- COAX11 med så hög deponeringsgrad som 110 g/min tack vare pulvertillförsel såväl framför som bakom laserstrålen
- COAX13 med en diameter på endast 30 mm speciellt avsett för påläggning inuti rör

Just då det gäller påläggning inuti smala rör ryktas det om att Fraunhofer har verktyg på gång som skulle kunna klara rördiametrar ner till 50 mm, dock har man en bit kvar till "rekordet" 26 mm som just nu inne-

has av företaget Pallas' iClad-modul. Mr. Franks kunde inte motstå att lyfta fram Laserlines senaste laser-källa LDF X000-8 med 8 mm\*mråd i strålkvalitet, vilken skulle vara synnerligen lämplig för laserpåläggning av mikrodetaljer. Som framgick av min artikel från "World of Photonics"-utställningen i München i förra numret av LaserNytt är ju detta egentligen ingen diodlaser, vilket ju utgör Laserlines traditionella produkter, utan måste snarast betecknas som en fiberlaser. Förutom laserpåläggning är laserhärdning ett annat användningsområde för företagets diodlasrar. Här visade man på en ny "zoom"-optik som arbetar med 2 prismor i x-led och 2



Figur 29.

En uppsättning av olika verktyg för laserpåläggning framtagna vid Fraunhofer IWS; överst fr.v. COAXpower-line med E-MAqS processövervakning, COAX8, COAX11 och COAX13 för påläggning inuti små rör.

prismor i y-led och med vars hjälp man kan konfigurera fokuspunkten till en rektangelform på 4×38, 8×64 eller 12×80 mm. Här visades på det numera klassiska exemplet där man med en 10 kW LDF-laser och variabel, rektangulär fokuspunkt gör en lokal uppmjukning av en av Audi:s B-stolpar [Fig. 30] för att därigenom uppnå ett optimalt beteende hos denna vid en sidokrock.

Christoph Leyens, som i sista stund fick hoppa in som talare i stället för IWS' institutionsföreståndare professor Eckhard Beyer, berättade om olika knep för att öka deponeringshastigheten vid laserpåläggning, eftersom han menade att processen är förhållandevis dyr och därmed föga lönsam om inte produktiviteten kan ökas. Ett tidigt exempel, egentligen utvecklat för en effektivare lödningsprocess, är Erlas' DuoLaser®-verktyg med koaxiell trådmatning och två laserstrålar. Vid IWS har man nu tagit fram ett liknande verktyg som klarar upp till 6 kW lasereffekt, men där laserstrålen nu är uppdelad i tre separata strålar. En annan lösning med ringfokus och koaxiell trådmatning påstods klara 18 kg/tim vilket torde vara något av ett rekord.

Ett annat sätt att öka deponeringsgraden är att arbeta med varmråd. Detta exemplifierades med påläggning av Inconel625 där 4 kW lasereffekt använts, trådmatningshastigheten var 6 m/min och framföringsdito 0,45 m/min. Detta resulterade i en deponeringsmängd på 2,4 kg/tim att jämföras med 1,2 kg/tim vilket blir resultatet vid kalltrådsbeläggning under samma förutsättningar. Det pålagda skiktet var 1,1 mm tjockt och hade en ytråhet på  $R_z = 63 \mu\text{m}$ . Generellt är påläggning med tråd effektivare än pulver, men Dr. Leyens visade på intressanta exempel med pulverbeläggning kombinerad med induktionsvärmning av arbetsstycket [Fig. 31]. Här hade man använt 9 kW lasereffekt och 20-35 kW för induktionsvärmningen. Pålägningshastigheten var 3,3 m/min, vilket gav en skiktjocklek på 1,2 mm och pulverutnyttjandet var 95%. Typiska deponeringssiffror var för Inconel625 8 kg/tim, Stel-



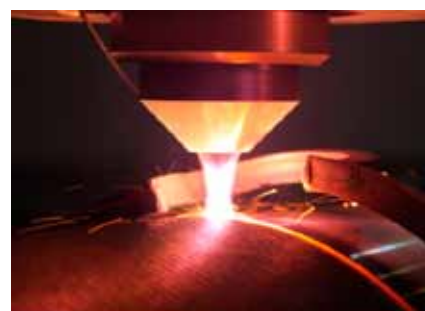
Figur 30.

Lokal uppvärmning med diodlaser av karosskomponenter; i detta fall en B-stolpe från Audi AG, ökar materialets duktilitet och kan därför bidra till ett gynnsammare deformationsbeteende i händelse av en krock.

lite21 14 kg/tim och 18 kg/tim för en MMC [Metal Matrix Coating] -beläggning bestående av WC och Ni-CrBSi. Dessa värden överträffar vad som kan åstadkommas med termisk sprutning, samtidigt som man med lasertekniken skapar en metallurgisk bindning mellan pålagt pulver och substratmaterialet. En annan intressant jämförelse var den att man med induktionsunderstödd pulverpåläggning har samma energiförbrukning per pålagt kilo som för laserpåläggning med varmråd!

### Ytbehandling med laser

Två likartade föredrag av representanter från IWS, Steffen Bonns och Stefan Kuehn, var "dragplåstren" under denna session. Dr. Bonns inledde med att berätta om värmebehandling av ångturbinblad med laser för att förbättra deras slittålighet. 1987 hade man på experimentell basis laserhärdat de första turbinbladen tillverkade av martensitiskt hårdande material med  $\text{CO}_2$ -laser. 2004 upplevde laserhärdningen något av en renässans i och med introduktionen av diodlasrar med hög effekt, då denna lasertyp är speciellt lämpad för ändamålet. Genom åren har man vid IWS utvecklat flera verktyg för kontroll och övervakning av härdningsprocessen. Ett sådant är E-MaQS där man med hjälp av en CCD [Charged-Coupled Device] -kamera med en bildfrekvens på 1.000 Hz kan mäta temperaturen på den härdade ytan [Fig. 32], något som är viktigt då det krävs minst 600 °C



Figur 31.

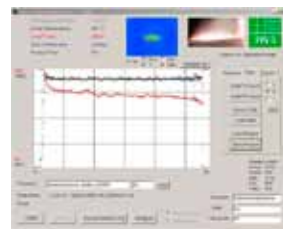
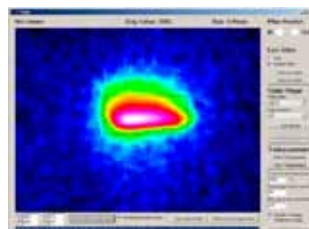
Produktivitetshöjning i form av ökad deponeringshastighet vid LMD kan åstadkommas genom att kombinera lasern med en induktionsutrustning, som här vid Nickelbaserad pulverpåläggning av en cylinder.

för att processen skall kunna ske och då kan ge härd djup på upp till 1,5 mm. E-MaQS-enheten kan integreras i ett strålomformningsverktyg benämnt LASSY, som arbetar med två "scanner"-speglar vilka båda klarar lasereffekter upp till 10 kW och med vars hjälp man kan variera bredden på det härdade området. Vidare har man utvecklat LompocPro, som är ett mjukvaruprogram som möjliggör en "closed-loop"-kontroll vid laserhärdning då det övervakar temperatur och smältans storlek med en noggrannhet på  $\pm 5\%$ . När man härdar spetsen på ett turbinblad är det viktigt att detta görs simultant från båda sidor annars föreligger risken att man vid sekventiell härdning i stället mjukar upp ett tidigare härdat område. En sådan anläggning för simultan dubbelsidig härdning av turbinblad togs i drift hos Siemens i juni detta år och består av två indu-

strirobotar med E-MaqS-verktyg och två 6 kW diodlasrar av typen LDF 1500-600 från Laserline [Fig. 33].

Eftersom de båda laserprocesserna härdning och påläggning kräver likartad strålkvalitet vore det optimalt att använda en och samma laserkälla för de två processerna kombinerat med någon form av "beam sharing". Stefan Kuehn berättade att inom bilindustrin finns ett sådant användningsområde att finna i pressverkens underhållsavdelningar där man kan härda klipp- och formverktyg samt med LMD reparera slitna verktygsytor. Detta är något som VW-koncernen har tagit fasta på och i samarbete med IWS har man installerat en sådan cell hos Audi år 2010 [Fig. 34], vilken följts av en andra installation hos Volkswagen 2012. Arbetsstationen har måtten 7×3×2 meter och är inkapslad av en dubbel aluminiumvägg för att uppfylla gällande säkerhetsföreskrifter. Laserkällan är en 6 kW diodlaser från Laserline med fiberkoppling fram till de två verktygen som är monterade på en industrirobot. Härdningsverktyget är det ovan nämnda LASSY monterat på en linjäraxel och ställbart i 45 alternativt 90° i förhållande till arbetsytan. Vidare finns inkopplingsmöjligheter för alla nödvändiga media såsom vatten, luft och elektricitet. Påläggningsverktyget är det hos Fraunhofer utvecklade COAX12 med s.k. "multi-jet"-munstycke för tredimensionell påläggning. Även här finns möjligheter för mediainkoppling, olika vinkelinställningar av verktyget samt processövervakningsmöjlighet i form av E-MaqS.

Sangwoo So från UNIST [Ulsan National Institute of Science and Technology] redogjorde för laserhärdning av AISI 1020-stål med en 3 kW diodlaser där plåttjocklekens inverkan på härdningsprocessen hade studerats. Slutsatserna var att ECT [= Effective Cooling Time] reduceras vid tunnare plåt då den minskade materialvolymen hindrar en snabb avkylning, medan däremot parametern ECDD [= Effective Carbon Diffusion Time] blir försumbar i jämförelse med vad som är fallet för grövre plåttjocklekar.



Figur 32.

T.v. IWS' E-MaqS-verktyg för temperaturövervakning vid laserhärdning, och ovan "screen-shots" av detta och effektkontroll med mjukvaruprogrammet LompocPro.



Figur 33.

Ett system för laserhärdning av turbinblad hos Siemens i Mühlheim med två 6 kW diodlasrar och två industrirobotar, vilka båda är utrustade med strålomformningsverktyget LASSY.

Uppkomsten av okristallina skikt av Fe<sub>34</sub>Co<sub>34</sub>B<sub>20</sub>Si<sub>5</sub>C<sub>3</sub>Nb<sub>4</sub> vid pulverbeläggning av kolstål hade studerats av Zhugio Li och hans kollegor vid Shanghai Jiao Tong University. Lasereffekten hade varierats mellan 1,5-2,0 kW, framföringshastigheten mellan 2,5-3,5 m/min och "scanning"-hastigheter mellan 5-50 mm/s hade undersökts. Konklusionen var att uppkomsten av de okristallina skikten ökade med ökad pendlingshastighet och kraftigare utspädning, det senare en effekt av högre lasereffekt. Dessa okristallina skikt visade sig ha en högre hårdhet [1.139 HV] jämfört med de påläggningsskikt som företrädesvis bestod av dendritiska kristaller [418 och 907 HV].

En annan form av laserpåläggning är upplegering av ytan med hjälp av en laserkälla. Vid Technology Re-

search Institute of Osaka Prefecture hade en studentgrupp under ledning av Takuto Yamaguchi belagt ett medelhöghållfast kolstål med beteckningen JIS:S50C med pulverblandningar bestående av Ti, Nb,

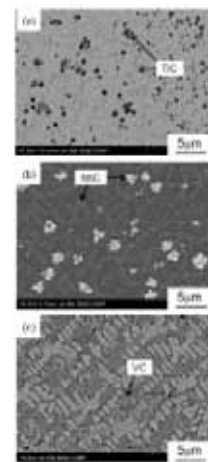
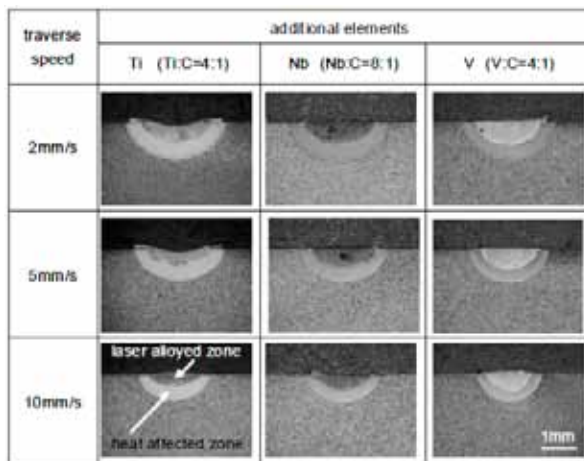


Figur 34.

I ett av Audis pressverk har man installerat denna cell för härdning och reparation av formverktyg. En 6 kW diodlaser är kopplad till ett LASSY-härdningsverktyg och ett verktyg för laserpåläggning, båda monterade på en och samma industrirobot.

V och C. Pulvret hade placerats på substratet varpå 720 W effekt från en diodlaser, fokuserad till en brännfläck med 1,0 mm diameter, smält upp substratmaterialet för att erhålla den eftersträvade legeringseffekten. Framföringshastigheten varierades mellan 2-10 mm/sek [Fig. 35] varvid det upplegerade området fick en bredd på 1,5-2,0 mm och ett djup på mellan 0,4-0,6 mm. Hårdheten i legeringsskiktet kom att variera mellan 800 och 1.000 HV0.3 och resulterade i ett bättre nötningsmotstånd än vad en motsvarande laserhårdad yta kan uppvisa.

Även om Pablo Romeros [AIMEN Technology Centre, Porriño, Spanien] presentation inte direkt handlade om ytbehandling utan snarare om laserunderstödd rotationsformning hade arrangörerna valt att sortera in den i denna session. Att rotationsforma cylindriska koppar i höghållfast stålplåt, i detta fall 0,97 mm tjockt zinkbelagt DP [Dual-Phase] 780 från SSAB, har begränsningar då det gäller återfjädring och materialförtunning. Att använda en defokuserad laserstråle som ansätter det arbetsområde där formningen skall ske kan vara en lösning på dessa problem, och därför hade experimentella försök genomförts hos den spanska maskinbyggaren DENN. Man hade använt sig av en laserkälla från Laserline med modellbeteckningen LDL-160 och från denna använt 3,6 kW lasereffekt. Strålen distribuerades via en 1,5 mm grov optisk fiber fram till ett verktyg med 78 mm lång kollimering och en fokuseringslins med 100 mm brännvidd [Fig. 36]. Detta resulterade i en stor fokalpunkt med mellan 8-10 mm diameter. Att öka rotationshastigheten från 450 rpm [revolutions per minute] till 2.000 rpm tycktes öka formbarheten, men att stationärt rikta laserstrålen mot formningsområdet påverkar inte materialförtunnningen utan medför endast en gynnsam förändring av kornstrukturen. Om man däremot även vill komma tillrätta med materialförtunnningen måste man pendla laserstrålen så att man åstadkommer en uppmjukning av ett större område, vilket till-



Figur 35.

Tvärsnitt genom material där ytan upplegerats med Ti-, Nb och V-karbider med hjälp av laser vid olika processhastigheter, och t.h. förstoringar av de olika ytorna.

låter materialet att flyta bättre under formningsprocessen.

### Mikrobearbetning

Området mikrobearbetning är ju inte precis något som jag vanligtvis bevakar vid mina konferensbesök, men eftersom min gode vän Isamu Miyamoto från Osaka University länge bett mig om att utvärdera hans forskning kring sprickfri lasersvetsning av glas, valde jag att besöka en dedikerad session kring mikrosvetsning där sagde Dr. Miyamoto framträdde med två presentationer. Sessionen leddes för övrigt på ett alldeles utmärkt sätt av professor Peter Herman från University of Toronto. Hemligheten bakom att åstadkomma sprickfria svetsar i glas är att utnyttja USLP [Ultra-Short Laser Pulse] -tekniken. Om man försöker lasersvetsa glas med cw [continuous wave] får man ett ganska stort svetsvärsnitt som dessutom når toppytan vid en överlappssvets. Detta gör att man hindrar spänningar att frigöras då svetsgodset avkyls varför materialet spricker. Om man däremot använder kortpulsteknik kommer svetsgodset att ligga inbäddat i fogytan mellan de två materialen och fungerar mer eller mindre som en elastisk kropp, vars inbyggda spänningar tillåts frigöras under avkylningen. För att få en bättre förståelse för dessa fenomen hade



Figur 36.

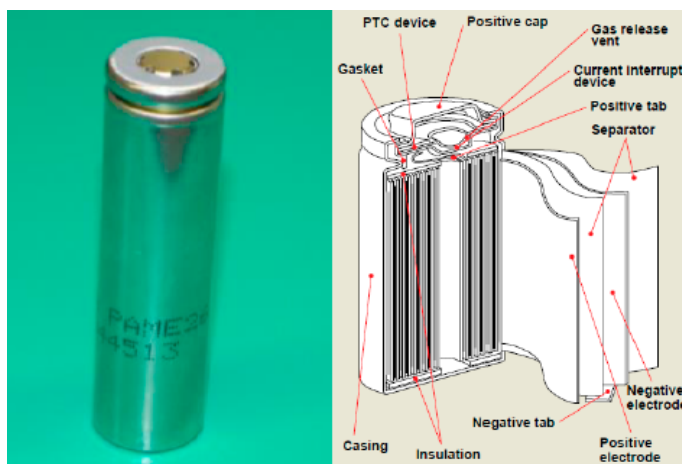
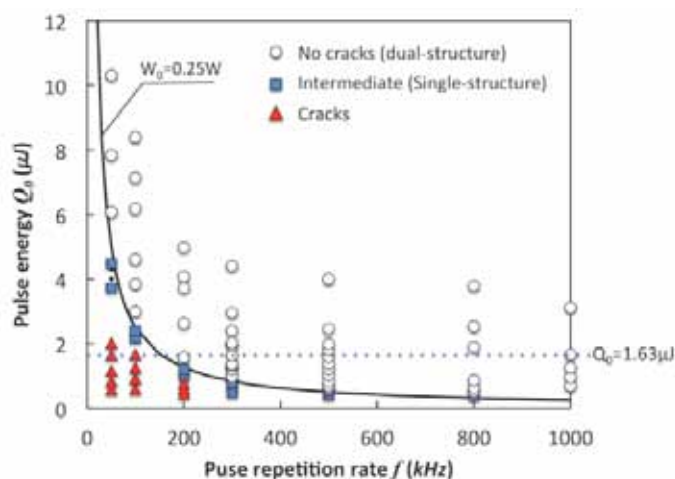
Laserunderstödd rotationsformning av cylindriska koppar kan vara ett sätt att reducera återfjädring och materialförtunning.

Dr. Miyamoto utvecklat en förenklad simuleringsmodell för termiska spänningar. Den experimentella delen av det redovisade arbetet hade utförts på "Borosilikat"-glas med den kommersiella beteckningen Schott D263. Svets hastigheten låg kring 20 mm/sek och pulsenergin mellan 1,67-2,40 µJ. Vid frekvenser upp till 200 kHz varnade den gode Isamu för att sprickor kan ske vid själva uppsmältningen av glasmaterialet och detta beror på att pulserna är så korta så att man inte kan utnyttja värmeledningen i glas. Detta kan motverkas genom att

använda högre frekvenser upp mot 1.000 kHz [Fig. 37]. På så sätt kan man understiga tröskelvärdet för sprickinitiering, som utgörs av kvoten mellan den temperatur som induceras i materialet vid varje puls och substratets temperatur, och som bedöms ligga på 280 °C.

Den kvinnliga studenten Sizhu Wu som är en av professor Midorikawas lärjungar vid RIKEN hade också undersökt att svetsa i fotosensitivt glas av typen "Foturan" från Schott Glass Corp. Hennes angreppssätt var att använda sig av en dubbelpuls där hon forskat fram att en paustid på 20 ps gav högst hållfasthet, medan styrkan försämrades vid längre paustider. Experimenten hade utförts med en  $\mu$ -Jewel D400-laserkälla, som är en förstärkt femtosecond Er-fiberlaser, med en våglängd på 1.045 nm, 360 fs långa pulser och en pulsfrekvens på 200 kHz. Den högre hållfastheten förklaras av en högre absorptionsgrad för laservåglängden och en sådan absorptionstopp hade identifierats ligga vid paustider < 30 ps. Fröken Wu kunde vidare konstatera att en högre lasereffekt också ledde till en ökad absorption av laserstrålningen.

En annan form av mikrobearbetning är den som krävs för uppbyggnaden av Li-ion battericeller där man svetsar samman elektriskt ledande förslutningsplattor i CuSn6-brons till batterikapslingen som utgörs av nickelpålat DC04-material. I detta produktionssteg är kapseln redan fylld med elektrolyt som inte får påverkas av svetsprocessen, varför det här är frågan om verklig precisionsbearbetning, inte minst med tanke på att de aktuella vägg tjocklekarna ligger mellan 200-250  $\mu$ m. Kring detta berättade Benjamin Mehlmann från Fraunhofer ILT vad kollegorna där, i samarbete med batteritillverkaren H&T Marsberg, åstadkommit. Den aktuella battericelltypen har beteckningen 18650, vilket skall uttolkas som att kapseln har en diameter på 18 mm och en höjd på 65 mm [Fig. 38]. En fiberlaser av typ SPI 200C med 1.070 nm våglängd och en strålkvalitet med  $M^2 < 1,1$  hade används i cw-mode vid svetsförsöken. Utrust-



Figur 37.

Ett sätt att undvika att glas spricker vid pulsad lasersvetsning är att öka frekvensen vilket gör att kvoten mellan inducerad temperatur och substratets dito kan hållas under kritiska 280 °C.

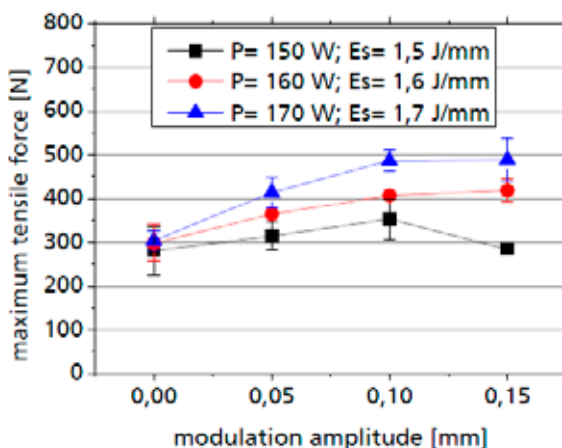
ningen bestod vidare av Scanlabs "scanner"-verktyg SK1020 då avsikten var att studera inverkan av cirkulär modulering av laserstrålen för att på så sätt åstadkomma breda men grunda svetsar. Tre variabler ingick i försöksmatrisen; svets hastighet [90, 100 och 110 mm/sek], sträckenergi [1,5, 1,6 och 1,7 J/mm] samt moduleringsamplitud [0, 0,05, 0,10 och 0,15 mm]. Svetsresultaten hade validerats med dragprov som visade på att bästa hållfasthet uppnåddes med en amplitud på 0,10 mm. Om svets hastigheten ökas men sträckenergin hålls konstant blir inverkan av olika moduleringsamplituder däremot försumbar. Alltså kunde Herrn Mehlmann sammanfatta det hela med att lasereffekten har en större inverkan på hållfastheten än vad sträckenergin har.

Ett helt annat område där laser-mikrobearbetning används är för texturering av verktygsytor på skärverktyg för att på så sätt kunna sänka friktionen. Om detta berättade Hiroki Kiyota från Nagoya Institute of Technology. Med hjälp av en lågeffekt laser på 600 mW, 1.045 nm våglängd, en 100 mm lång fokallängd och en 10  $\mu$ m stor brännfläck skjuttes laserpulser med 700 fs varaktighet med en frekvens på 100 kHz. På detta sätt skapas små gropar i skäreppens sidor vilket minskar friktionen vid mekanisk bearbetning. Verktygsmaterialet utgjordes av sinttrat WC-Co och man siktade på en gropstorlek mellan 10-20  $\mu$ m i diameter, där groparna kom att utgöra 40% av verktygsytan. Görs hålen mindre än så slits skäreppen ut snabbare och om de blir för stora riskerar

man att de fylls upp av avverkat material. De på detta sätt modifierade skärverktygen hade sedan provats vid bearbetning av AISI 1045-material i skärhastigheter mellan 50-200 m/min, och Mister Kiyota kunde nöjt konstatera att med den lägre friktionen kunde man öka skärverktygens livslängd med 10-15%. Den största effekten av denna form av ytmodifiering fick man vid den högsta bearbetningshastigheten.

Till mikroområdet måste vi också räkna Jarno Kaakkunens [VTT Technical Research Centre of Finland] presentation som handlade om parallell mikrobearbetning med hjälp av ett SLM [Spatial Light Modulator] -verktyg från Hamamatsu [X11840], med vars hjälp laserstrålen kan delas upp i något som kan beskrivas som ett optiskt hålkort [CGH = Computer Generated Hologram], och därmed skapa olika punktformiga mönster. För att ytterligare öka hastigheten hos denna form av märkningsprocess hade försöksupställningen kompletterats med en galvo-”scanner” från Scan-Lab [hurryScan II]. Två olika fiberlasrar från IPG, YLP-20 och YLP-100, hade använts i pulsmode med ns [10-9 sekund] långa pulser och 20 kHz frekvens. Man hade avbildat bokstäverna V och T med vardera 9 punkter och med 4 pulser/punkt i rostfritt material [Fig. 39] och då kunnat skapa osannolika 5.000 respektive 50.000 bokstäver per sekund [!]

Personligen tycker jag det var fyra väl använda dagar i Niigata. Vanligtvis kommer man ju mest i kontakt med vad som händer i laserbranschen i de anglosaxiska länderna, företrädesvis i Tyskland och USA. Det är mera sällan som man har möjlighet att få en överblick över vad



Figur 38. Batteritypen 18650 har en väggjocklek på 200-250  $\mu\text{m}$  där förslutningsplattorna lasersvetsats till den nickelpläterade inkapslingen. T.h. kan man se att en moduleringsamplitud kring 0,10 mm resulterar i den högsta hållfastheten.

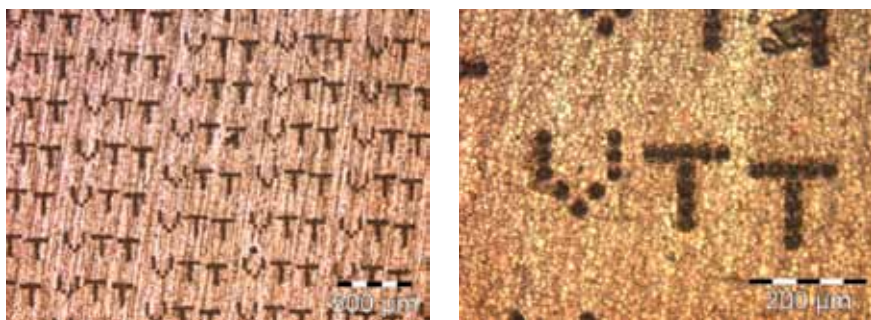
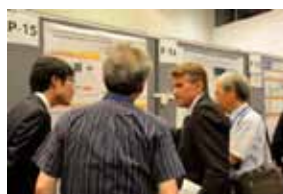
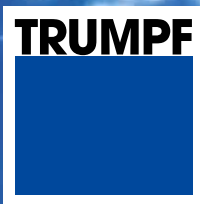


Fig. 39. Punktformiga mönster skapade genom att kombinera en s.k. "Spatial Light Modulator" med en galvo-”scanner”. Med 20 W lasereffekt skapas punkter med 20  $\mu\text{m}$  diameter och ett inbördes avstånd på cirka 30  $\mu\text{m}$ .

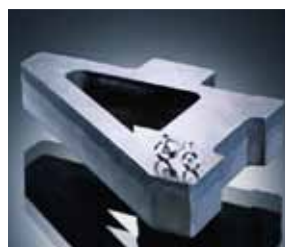
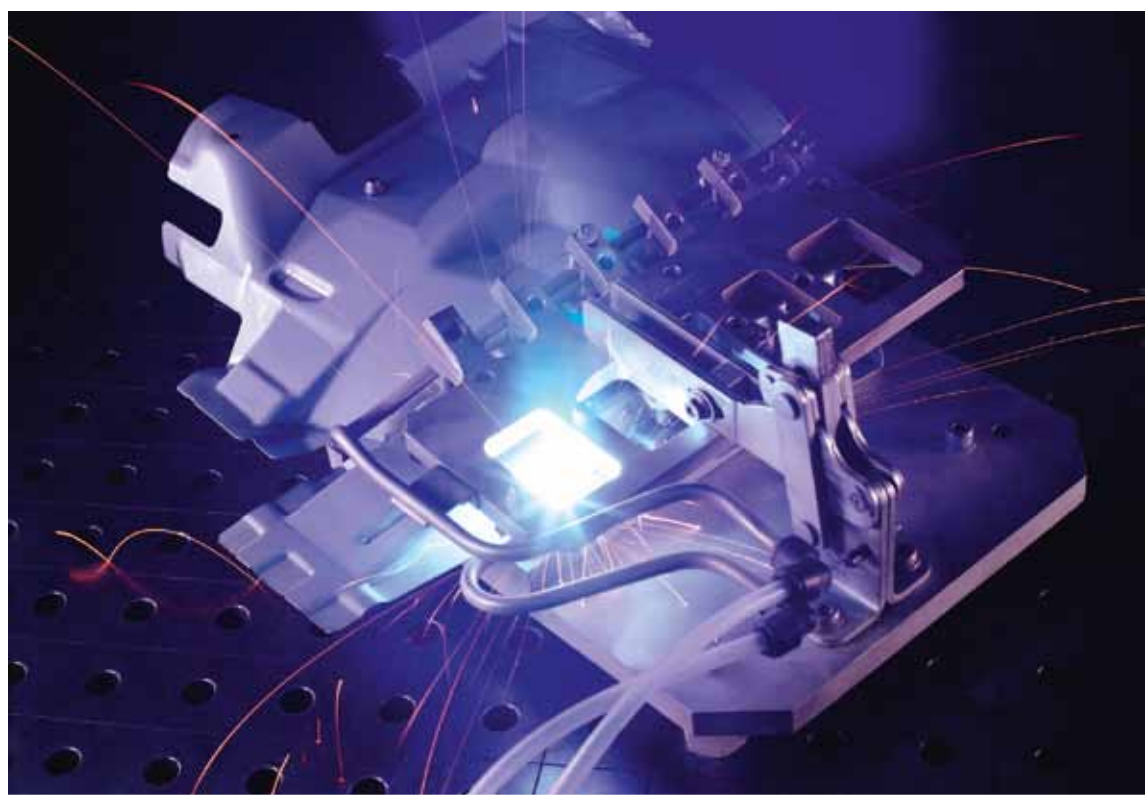
som pågår i exempelvis Japan och Kina och det är här som jag ser att LAMP-konferenserna verkligen har en funktion att fylla. Även om detta var en internationell konferens kan språkförbistringen vara en hämsko för förståelsen av de forskningsresultat som kommit fram, men i den allmänt positiva atmosfär som rådde fanns det alltid en vilja från de mer språkbevandrade deltagarna att gripa in och försöka fungera som tol-

kar. Många nya kontakter kom att knytas som säkert kommer att gynna den gemensamma internationella laserforskningen på sikt, och det finns onekligen både kompetens och gynnsamma fysiska forskningsmiljöer i såväl Japan, Korea och Kina. Det är bara att önska våra ”fjärran östern”-kollegor lycka till och med förväntan se fram emot nya, spännande laserinnovationer från deras sida vid kommande konferenser.





# Lasersvetsning



LASERSKÄRNING



LASERMÄRKNING



STANSNING



KANTPRESSNING

# KALENDARIUM 2013

DECEMBER

15

LaserNytt 3-2013

Per Westerhult

# KALENDARIUM 2014

MARS

20

Laserdag  
Lasergruppens Årsmöte

Per Westerhult

Lasergruppen önskar sina läsare

God Jul &  
Gott Nytt År

