

LASER

2-08

Lösnummerpris 85 kr

nytt



Lasertillämpning i Danmark, Finland och Baltikum

Forskning och utveckling, företag och teknologier

- Laserdag hos Volvo Car
- ICALEO 2007 del 2
- Peter Norman – ny doktor
- PICALO i Mittens rike
- Europa blir största tillväxtmarknad för lasersystem
- Internationellt laserseminarium i Luleå

www.se.trumpf.com

Besök oss gärna på
Tekniska Mässan i
Stockholm 21-24
oktober i monter
A02:10 samt på
EuroBlech i Hannover
21-25 oktober.

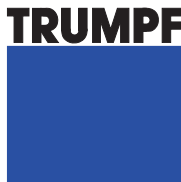


Shape the future with light.



Laser:TRUMPF.

Laser:TRUMPF.



Lasernytt utkommer med 3 nummer/år och ges ut av Lasergruppen c/o Svetskommissionen Box 5073, 102 42 Stockholm Telefon: 08-791 29 37

Redaktör

Hans Engström
Telefon: 0920-49 12 69
Växel: 0920-49 10 00
Fax: 0920-49 22 28
E-post: hans.engstrom@ltu.se

Redaktionellt arbete och kansli

Per Westerhult
Telefon: 08-791 29 37
E-post: per.westerhult@svets.se

Ansvarig utgivare Per Westerhult

Lasernytt på Internet

www.lasergruppen.eu

Produktion: Breakwater Publishing AB,
www.breakwater.se, info@breakwater.se
Tryck: Majornas Copyprint, Göteborg 2008
Omslagsbild: Laserhybrid svetsning, Lappeenranta University

- 5 Laserdag hos Volvo Car lockade rekordmånga deltagare
- 10 Laserverksamheten i Danmark
- 11 Lasertillämpningar – skärning med fiberlaser i Danmark
- 13 Laser Processing Activity in Finland
- 16 Laserbearbetning i Baltikum – vad händer?
- 18 ICALEO 2007 – den bästa på länge
- 33 Europa tar över från Japan som största tillväxtmarknad för lasersystem
- 35 Peter Norman – ny doktor inom laserbearbetning
- 36 Nya erfarenheter och bekantskaper då PICALO drog till Mittens Rike
- 48 Kalendarium 2008–2009
- 48 Internationellt laserseminarium i Luleå

Tankar från styrelsen

Av Hubert Wilbs, Trumpf Maskin AB



Verkstadsföretagen, åtminstone de flesta, producerar fortfarande för fullt och produktionsutnyttjandet är högt. Ändå ser man nu fler och fler mörka moln torna upp sig. Efter en period av flera års högkonjunktur ser det ut som

att en period med lägre aktivitet ligger framför oss.

Vilka möjligheter finns det då i ett sådant scenario?

Efter att de senaste åren ha fokuserat starkt på utökad produktionskapacitet finns det nu tid, möjlighet och kanske även krav på att se över, inte bara kapaciteten ”hur mycket man producerar” utan

även produktionsprocesserna – vilka metoder som används i produktionen.

En av våra kunder uttryckte sitt synsätt på framtiden på följande sätt:

”Jag har redan några laserskärmaskiner. Ska jag då verkligen investera i ytterligare en? Det ger mig mer kapacitet, visst, men egentligen är det bara mer av samma sak. Jag ska då hellre investera i lasersvetsning. Det skulle ge mitt företag ny kapacitet och en starkare och mer unik position på marknaden.”

Min slutsats av det hela är att även lite lugnare tider har sina fördelar.

Det finns mer tid för att se över tillverkningsmetoderna och rusta sin produktion för framtida krav.

Nyckelfärdiga lasersystem

- från produktidé till produktion -



- Snabb, effektiv processintrimning
- Snabb variantanpassning
- Hög tillförlitlighet
- Skärning, Svetsning, Lödning, Märkning, Hybridsvetsning, Påsvetsning och Härdning

Vi erbjuder:



Lasersystem

- Erfarenhet av komplex projektledning
- Säker produktion

Processverktyg

- Snabb variantanpassning
- Flexibla moduler

Tjänster

- Applikationslabb
- Service, reservdelar
- Utbildning

Vad kan vi göra för Dig?



Permanova Lasersystem AB, Krokslätts Fabriker 30, 431 37 Mölndal
Tel: 031-706 1980, Fax: 031-86 46 12, info@permanova.se, www.permanova.se



Laserdag hos Volvo Car lockade rekordmånga deltagare

Av Hans Engström,
Luleå tekniska universitet

Volvo Personvagnar har länge varit en stark kraft för att införa lasertekniken i Sverige och de har sedan flera år tillbaka många produktionssystem i drift. Så det var inte så för-

vånande att 55 personer anmälde sig årets första Laserdag den 15 maj som just ägde rum hos Volvo Car Corp. i Göteborg. Johnny K. Larsson och hans kollegor lockade med en hel eftermiddag med presentationer av Volvos laserverksamhet samt ett besök i fabriken. Laserdagen var

också ett samarrangemang med den danska Erfa-lasergruppen och vi noterade elva danska deltagare.

Fiberlasern erövrar USA

Speciellt inbjuden till Laserdagen var Robert Borgström, Precitec Inc., MI, USA, för att berätta om hur fiber-



Johnny K. Larsson, Volvo Car Corporation, var värd för Laserdagen hos Volvo i Göteborg.



Robert Borgström, president vid Precitec Inc, USA, berättade om laserskärning med högeffekt-laserfiber i USA.

lasern används för skärning i USA. Robert, som har ett långt förflutet vid lasergruppen hos Luleå tekniska universitet har nu arbetat åtta år i USA och har lärt känna den amerikanska marknaden.

– Fiberlasern är här för att stanna, sa Robert Borgström. Redan för fem år sedan började fiberlasern att användas allt flitigare och nu har 9 av 10 tillämpningar hos Precitec i USA IPG:s fiberlaser som laser-källa.

Även robotteknologin gör framsteg och Robert visade en video där en ABB-robot gör en renskärningso-



Exempel på Taylor Blank lasersystem från WayneTrail, Inc,

peration på ett höghållfast pressat plåtämne i 18 m/min med en 4 kW IGP och Precitec svetshuvud YW50. Rundheten på hålen ligger inom 0,1 mm.

Robert berättade om olika installationer i USA och Kanada som använder fiberlaser, t.ex. Formet i St Thomas, Ontario, som har fyra enheter. Det är föresten en av världens största installationer med cirka

50 Trumpf YAG-lasrar. En tillämpning är skärning i 4 mm kolstål med 80 mm/s och gstryck 8 bar.

– När det gäller skärning med fiberlaser får man ibland glömma det man lärt sig tidigare. Det gäller t.ex. inställningen av fokalläget. I fiberlasertillämpningen hos Formet når man bäst resultat när fokalpunkten ligger till 3 mm ovanför arbetsstycket.



Fiberlasersystem från Laser Photonics, FL, USA.



Laserdagen var ett samarrangemang med den danska Laser-Erfagruppen och bjöd bl.a. på presentationer av fr.v.: Aage Söndergaard, Jysk Plade Bearbejdning A/S; Bo Williamsson, AGA Gas AB; Stephan Boëthius, Air Liquide AB; Lars Brandi Jenssen, A.B. Jensen A/S och Mikael Mimer, Trumpf AB.



Precitec YRC är ett nytt skärhuvud för 3D-skärning anpassat för fiberlasrar.

Dyna i Elizabethtown, KN, har 25 lasrar varav 16 nu är fiberlasrar. Med 750 W håller man samma skärhastighet som med 1500 W diodpumpad Nd:YAG-laser.

Chrysler, Maryswill, OH, har tre fiberlasrar. Där gör man laserskärning i en färdigsvetsad bakaxelupphängning. Materialet är 6 mm kolstål och skärhastigheten med 1400 W är 3 m/min. Man har också en Precitec Inner Tube Cutter med automatisk höjdhållning för invändig skärning.

WayneTrail Tech Inc., tillverkar och säljer kompletta maskinceller/lasersystem, bl.a. VIL/WayneTrail Taylor blanks-system installerar regelbundet fiberlasrar. Boeing, Fort Larami, OH använder Remote Welding och svetsar med 700 mm avstånd.

Fiberlasern används också i 2D-tillämpningar. Robert vill avliva myten att det inte går att skära tjockt material med fiberlaser och ger ett exempel på skärning av 20 mm rostfritt med 1 m/min. Det finns nu också s.k. bäddlasermaskiner på marknaden som använder fiberlasrar, t.ex. Laser Photonics FLS 48.

– Precitec har utvecklat sina produkter för att användas med fiberlaser, avslutade Robert Borgström. Nu finns storsäljaren för 2D och rörskärning Precitec HP 1.5” med anpassad optik för fiberlaser. Även skärhuvudena för 3D som Precitec YR30 och det nyutvecklade Precitec YRC är anpassat till fiberlasern.

Brett spektrum av presentationer

Laserdagen gick vidare med presentationer av Aage Söndergaard, Jysk Plade Bearejdning A/S, som berättade om hur han ser på hur konstruktioner kan effektiviseras med laserskärning; Bo Williamsson AGA Gas AB och Stephan Boëthius, Air Liquide AB berättade om ”Trender och utveckling av gasapplikationer för laser”; Lars Brandi Jenssen, A.B. Jensen A/S som talade om ”Lasersvetsning av store emner” och Mikael Mimer, Trumpf AB som presenterade föredraget ”Välj rätt laserkälla för rätt svetsapplikation”.

Laserlödning i allt fler Volvomodeller

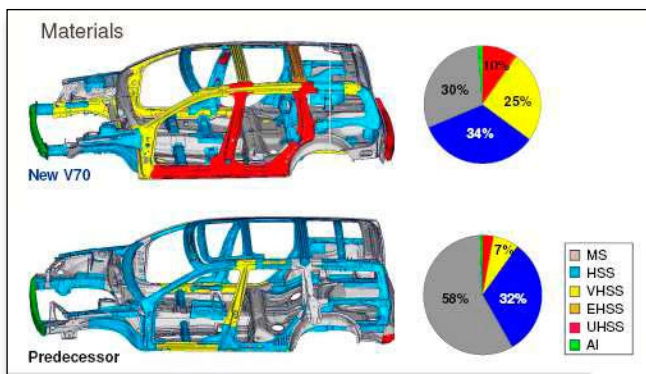
En Laserdag på Volvo kan inte äga rum utan ett flertal dedikerade presentationer av Volvos laserverksamhet och mycket riktigt hade Johnny K. Larsson och hans kollegor fyllt eftermiddagen med en visning av fabriken och intressanta föredrag. Man hade också arrangerat visning av en V70-kaross där vi fick beskåda

		Göteborg	Uddevalla	Gent	Chongqing	Thailand	Malaysia	Total
	S40			54,084	6,313		159	60,556
	S60			39,312		42	78	39,432
	S80	New 39,629				165	174	39,968
	S80					72		72
	V50			60,033			36	60,069
	V70	All-new 29,705						29,705
	V70	8,279		33,574		48		41,901
	XC70	All-new 23,160						23,160
	XC70	15,364						15,364
	XC90	77,233				114	39	77,386
	C70		20,306					20,306
	C30			53,189				53,189
	Total:	193,370	20,306	240,192	6,313	441	486	461,108

Tillverkning hos Volvo Car Corp 2007.



Översikt över laserlödning och lasersvetsning på Volvos modeller 2008.



	New V70	Predecessor
BIW body parts	285	258
Spot welds	4170	4595
MAG weld	5.5 m*	4.6 m*
Laser weld	5.7	3.7 m
Laser braze	1.3 m	0 m
Epoxy adhesive	24.9 m	1.1 m
Rubber adhesive	16.2 m	0 m
Hotmelt	19.8 m	30.5 m
Anti flutter	2.8 m	2.4 m

(*): 2 m MAG-weld for door hinges

Volvo använder allt mera höghållfast stål i V70 karossen. Lasersvetsning och laserlödning har också ökat i den nya V70-karossen.

Volvos tekniker för sammanfogning med laser.

Johnny berättade att Volvo Car Corp. tillverkade 461.000 bilar under 2007 fördelat på flera fabriker.

– Laserlödning har introducerats hos Volvo för några år sedan på bakluckan till S80-modellen och den tekniken har även introducerats på flera andra modeller, berättade Johnny.

Den nya V70-karossen har fått ett ökat innehåll av höghållfast stål för att öka karossens styra utan att därmed öka vikten.

Laserlödning i nya V70-karossen

Per Lindahl, Volvo Car Corp. är en av pionjärerna inom laserlödning och han har arbetat med att introducera laserlödning av bakluckan till



Dr. Per Lindahl berättade om laserlödning på den nya V70-karossen.

Volvo S80 som var den första tillämpningen av laserlödning hos Volvo. Han berättade nu om processen när man satte laserlödning i produktion hos den nya V70 karossen.

Under utvecklingsprocessen arbetade man i princip i fem steg:

1. Lödning av kuponger.

2. Test på fem V50-karosser för att studera åtkomlighet och lödresultat.
3. Test på sju V70 "mockupper" (bakänden på V70-karossen) för att studera parametrar, geometrier och ta fram likare.
4. Förserie i Pilot Plant.
5. Produktion.

– Vi använde simulering för att studera åtkomstmöjligheter speciellt i övre delen av lödning där vinklarna var kritiska. Vi använder också en fogföljning som är patenterad och tryckhjul för att hålla samman plåtarna.

Per Lindahl avslutade med att berätta att man har fått kvalitetspris för denna tillämpning.



Lödning av "Tail gate" på Volvo V70 t.v. och det färdiga resultatet efter lackering.



Niclas Palmquist, Volvo Cars berättade om Volvos alla laserinstallationer.

Laser Brazing Station
Torslanda Plant

- Laser Brazing, 2x 690 mm
- Cycle time: 67 sec., actual: 61,5 sec.
- Laser: 1x3 kW Rofin DY030HP, 2 fibers used
- Robots: 2xABB 6550-3.2
- Tools: 2x HighYAG brazing tools with tactile finger
- Fronius hot wire
- KUKA Quadrodriive wire feeding
- TCP-check
- de-light power measurement

Lödstationen på Volvo Torslanda.

Volvos laserinstallationer world-wide

Det blev Niclas Palmquist, Volvo Cars, som fick avsluta presentationerna och han gav en översikt över Volvo Cars samtliga laserinstallationer och den utveckling som har lett fram till dagens status.

Volvo använder nu laser i Torslanda, Ghent, Olofström, Uddevalla och i en anläggning i Kina. I Torslanda sker svetsning, skärning och lödning och modellerna som behandlas är XC90, XC70, S80 och V70. Skärning utförs med en 750 W Disc-laser.

I Ghent lasersvetsas modellerna S40, V50, S60, C30 och den nya XC60. Bl.a. används en 4 kW disc-

laser, Trumpf TruDisc 4002, för svetsning av XC60.

I Uddevalla sker lödning och svetsning av C70-modellen och i

Olofström laserlöder man bakluckan till S80.

Slutligen så lasersvetsas S40 och S80-modellen i Kina.



Deltagarna fick tillfälle att beskåda laserlödda och lasersvetsade fogar på Volvos nya V70-kaross.

Laserverksamheten i Danmark

Av Flemming Olsen,
Danmarks Tekniske Universitet

Dansk industri er kendetegnet ved primært at bestå af små og mellemstore virksomheder. Vi har således ingen Volvo, vi har ingen stålværker (bortset fra et lille, nu russisk ejet).

Hvad Danmark har meget af, er små underleverandører, der sælger halvfabrikata til dansk, svensk og tysk industri. Det er et marked kendetegnet ved mange virksomheder indenfor et lille geografisk areal.

Laserteknologisk betyder det, at laserskæring hurtigt blev udbredt i Danmark. Vi har vel omkring 500 laserskæremaskiner i drift. Teknologindføringen gik ret uproblematisk i sin tid i 1980'erne: Vi undgik de værste fejlinvesteringer og de dermed følgende skrækhistorier.

Lasersvejsning

Lasersvejsning anvendes også i dansk industri. De væsentligste anvendelse af lasersvejsning er virksomheder som Danfoss og Grundfos, der i deres masseproduktion af kvalitetsprodukter har en række lasersvejsere installeret.

Den første egentlige lasersvejsning hos Danfoss var påsvejsning af et tyndt fjernføler-rør til termostater til radiatorer. Applikationen består af at svejse et rør med en diameter på 0,8 mm og en godstykkelse på 0,2 mm til en plade i stål. Samlingen skal være Heliumtæt – og kunden forventer en produktlevetid på over 30 år.

Udviklingsarbejdet blev gennemført i 1980-1982, og produktet har



Flemming Olsen

i forskellige udformninger været i produktion siden cirka 1984.

Grundfos indførte omkring 1990 svejsning af skovlhjul til vandpumper i masseproduktion og har fortsat et antal ND-YAG-lasersvejsstationer til dette formål.

Bemærkelsesværdig indsats

Danmark har endnu ét stort skibsværft, Lindø-værftet, under AP Møller Maersk gruppen. Her gennemførtes i et ti-år omkring 1990 en bemærkelsesværdig RTD indsats med henblik på at bringe lasersvejsning ind i skibsværftsindustrien.

Arbejdet gennemførtes i en række forskningsprojekter med Lindø-værftet og FORCE-instituttet som væsentlige drivkræfter. Arbejdet kulminerede med installationen af en 12 kilowatt laser celle med en 5 akset gantry med et arbejdsområde

på 16 m x 4 m x 1 m for 10 år siden. Der gennemførtes en del udvikling på anlægget. Hele forarbejdet blev gennemført med lasersvejsning med kold tilsatstråd, men kort efter implementeringen gik man over til hybridsvejsning.

Lindø-værftet er under konstant pres fra asiatiske konkurrenter, og virksomheden kom aldrig til det punkt, hvor teknologien blev indført i egentlig produktion af de kæmpe containerskibe, der er værftets hovedprodukt.

Internasjonal markedsandel

Nogle af de største virksomheder i Danmark finder man indenfor Medico-industrien med NovoNordisk som den største. Her anvendes laserskæring og svejsning af finmekaniske produkter, såsom Novo Pennen – en insulinsprøjte. Der er stigende interesse for mærkning og polymersvejsning i denne branche.

Danmark har en stor international markedsandel indenfor høreapparater, og indenfor dette og andre sektorer med elektronikproduktion findes også en del lasere til skæring af flexoprint samt mærkning.

Fra et tidligt tidspunkt opstod der fra høreapparats-industrien en lille spin-off virksomhed, Laser Technical Services, der startede med at specialisere sig indenfor ridsning, boring og skæring med lasere i keramik for elektronik.

Virksomheden arbejder i dag, ligesom Cowi Gravure (og sikkert andre) med udskæring af stencils i 0,1–0,3 mm tykt rustfast stål for påføring af loddepasta på print i forbindelse med SMT (Surface Mount Technology).

Indenfor udvikling af lasere og laserbaserede systemer findes enkelte små virksomheder. En virksomhed har dog internationalt interessante aktiviteter: NKT (Nordisk Kabel og Tråd), en gammel hæderkronet dansk virksomhed, gik ind i telecom-markedet og begyndte at producere optiske fibre. Virksomheden har nu nogle datterselskaber, der arbejder med fiber-lasere:

Forskning og udvikling

Crystal Fibre, et spin-off fra DTU, producerer aktive fibre for fiberlasere samt moduler, der indeholder den aktive fiber samt indkoblingsenheden for pumpe-lyset. De markedsfører pt. 350 watt lasermoduler.

Offentlig forskning og udvikling i "klassisk" industriel laserbearbejdning foregår på DTU og FORCE. Derudover er der mikrobearbej-

ningsaktiviteter på Teknologisk Institut i Tåstrup, som råder over femtosekund-lasere, diodelasere og excimerlasere til finbearbejdning.

Rapid prototyping (sterolitografi og laser sintering) foregår på Teknologisk Instituts afdeling i Aarhus, som råder over kommercielle udstyr. Der har forgået mindre aktiviteter på universiteterne i Aarhus samt ingeniørskolen i Odense. ☺

Lasertillämpningar – skärning med fiberlaser i Danmark

Av Flemming Olsen,
Danmarks Tekniske Universitet

Den 16. september 2008 afholdt Laser ERFA-gruppen under ATV-SEMAPP en velbesøgt temadag i Odense med over 60 deltagere. Programmet indeholdt to temaer: Fiber laser teknologi samt polymersvejsning med fokus på medico-industrien.

Undertegnede gav for første gang indblik i, hvad vi foretager os indenfor fiber-laser skæring ved DTU. Jeg vil her kort fortælle derom.

Forskningen tager udgangspunkt i to patentansøgninger på en strategi indenfor laserskæring og -svejsning med laserstråler med lavt Beam Parameter Product, dvs. single mode fiber-lasere. Strategien går ud på, at danne specielle strålingsmønstre i for eksempel en snitfuge.

Som det fremgår af figur 1, kan en fiber-laser fokuseres til strålediameter på cirka 40 μm , hvis man ønsker en Rayleigh længde på $\pm 1\text{mm}$. Ønsker man samme dybdeskarphed med en CO_2 -laser, kan denne kun fokuseres ned til en diameter på cirka 120 μm .

Da samtidig fiber-laseren har den store fordel i forhold til CO_2 -laseren, at den kan fokuseres til

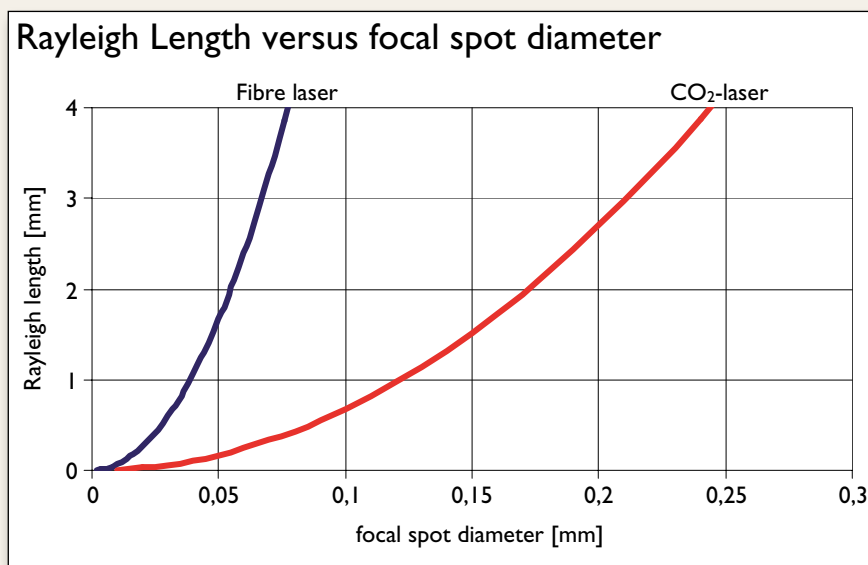
høje intensiteter og danne keyhole i metaller med meget lidt plasma-dannelse, er det muligt at anvende intense laserstråler fra fiberlasere til keyhole skæring, en proces, der har potentiale for at skære meget hurtigere end klassisk laserskæring.

Kvalitetsproblemer

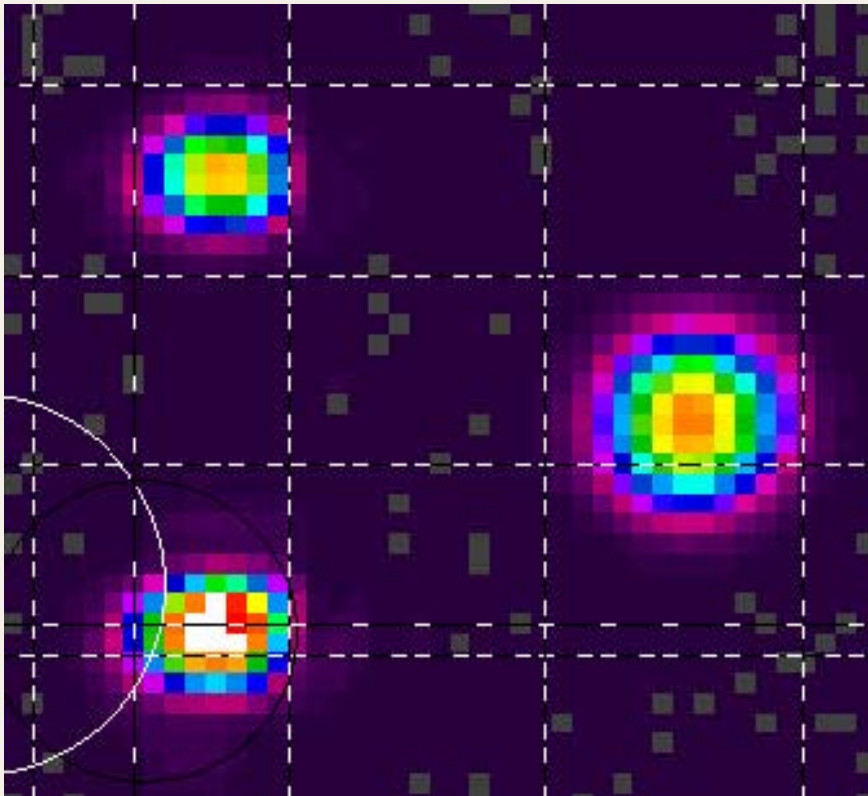
Imidlertid medfører key-hole skæring kvalitetsproblemer. I key-hole skæring løber det smeltede materiale helt eller delvist rundt om laserstrålen og eroderer sig ind i snitkanten. Smeltens hastighed ud af

fugen bliver for lille, og der dannes grater. Det er det, man i praksis ser, når fiber-lasere anvendes til at skære i metaller. For at kompensere for den forringede kvalitet, anvendes fiber-lasere normalt med store waist diameter, og ofte anvendes multimode fiber-lasere.

De gode fokuseringsegenskaber medfører, at det er muligt at placere mønstre af flere single-mode laserstråler i samme snitfuge. Herved kan dannes mønstre, hvor en kraftig stråle danner et keyhole, der trækkes gennem materialet, og



Figur 1: Dybdeskarphed som funktion af fokaldiameter for Fiber-laser og CO_2 -laser



Figur 2: 3 fokuserede laserstråler.

der bagved placeres et mønster af laserstråler, der guider smelten ud af fugen.

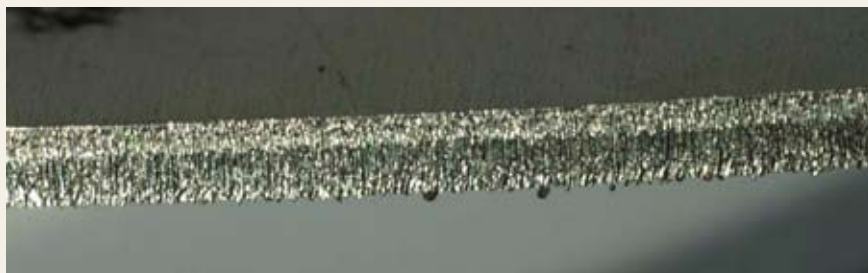
Til at studere dette princip er der opbygget en forsøgsopstilling, der indeholder to single mode fiberlasere: En 400 watt laser fra IPG samt en 100 watt laser fra SPI. Opstillingen indeholder stråledelere, der splitter den ene stråle op et passende

antal stråler. Derefter positioneres alle stråler i et mønster ved hjælp af et antal individuelle spejle, før strålebundtet sendes på en 25 meter lang bane for at tilpasse råstrålernes diameter og for at bringe alle stråler ind på samme fokuseringslinse.

I figur 2 er vist et billede af et (relativt simpelt) strålemønster bestående af 3 laserstråler. Kame-



Figur 3 a: Skæring i 2 mm rustfrit stål med én laserstråle, 2,1 meter/minut.



Figur 3 b: Skæring i 2 mm rustfrit stål med strålebundt, 2,4 meter/minut.

raopløsning er cirka $4 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$, afstand mellem strålecentre er her cirka 100–150 μm .

Kompleks opstilling

Opstillingen er ret kompleks, og vi har netop begyndt at udføre forsøg.

I figur 3 er vist to snit, udført under samme forsøg. Forsøgene er udført med primær stråle med 450 watt, sekundær stråle fordelt over et mønster at stråler med en samlet effekt på 100 watt. Alle stråler har diameter på cirka 50 μm . Forsøgsmateriale er 2 mm rustfri stål, der er anvendt Nitrogen som skæregas, og i figur 3a er vist normal skæring (skærehastighed 2,1 meter/minut), dvs. uden sekundære laserstråler, og i figur 3b er vist skæring med såvel primær stråle som sekundære stråler.

Resultaterne viser, at der ved skæring med det anvendte strålebundt kan skæres stort set gratfrit i et hastighedsområde mellem 0,6 meter/minut til 2,4 meter/minut. Anvendes kun én laserstråle som normalt, kan der skæres med grater i hastighedsområdet mellem 0,6 meter/minut til 2,1 meter/minut. Snitfugen er cirka 100 μm bred, lidt bredere med strålebundtet (der skraber et ekstra lag af snitkanterne).

Jeg vil gerne understrege, at vi er netop startet op. Det har været en ret kompliceret opstilling, og justeringsprocedurerne for strålerne har taget tid at udvikle. Vi skal naturligvis yderligere optimere på opstillingen. Og vi forsøger nu at få adgang til kraftigere lasere. ☺

Laser Processing Activity in Finland

By Professor Veli Kujanpää,
Laboratory of Laser Processing,
Lappeenranta University
of Technology and VTT

Finnish laser R & D is started in 1985, when first large laser project was started in Lappeenranta University of Technology. Since that numerous projects on different fields of laser technology have been executed. In addition some other later activities in universities and colleges have been started. The present developments and activities are mainly concentrated in laser welding (autogenous, filler metal and hybrid welding), laser cutting and laser micro processing.

Finnish industry has the first installation from the year 1981. The most applications are on laser cutting of steels, but there are some interesting applications, e.g. laser welding of sandwich panels, laser cutting of glass tube monitors and laser welding of catalytic converters. These and some more applications are shortly described.



Introduction

The first high-power laser installation in Finland was a flat laser cutting system at Tammerneon Oy (Tampere) in 1981. Soon after, about ten same kind of systems were bought for sheet metal cutting. In 1985 a lar-

ge laser research project was started and led by Lappeenranta University of Technology. This was the pioneering work on laser welding and surface treatment in Finland. Since then a rapid growth of laser processing systems has continued and it shows no signs of slowing down. The total number of systems is about 400 CO₂ lasers and 150 Nd:YAG lasers, used mainly for cutting and marking, Fig. 1. Recently seven diode lasers and a few disk and fiber lasers have been installed.

Industrial activity

A major portion of Finnish laser industrial activity is in laser cutting with a minor role for laser welding. The main reason for this is the strong role of the heavy metal industry, where companies process in small lot numbers. Finland does not have many companies with long production runs such as the auto industry, where laser welding was typically first applied in many countries. However, recently a growing interest to laser and hybrid laser welding is seen. About ten companies have currently laser welding in their production.

The heavy metal industry was started because Finland needed to pay back World War II reparations to the Soviet Union, so they agreed to pay with heavy metal products. So many large companies were established to produce heavy machines, lorries, trains, and so on. The last portion of these reparations was paid in late 1950s, but the industry remained and started to produce all kinds of heavy metal products such as pulp and paper machines, luxury ships, cranes, elevators and power stations.

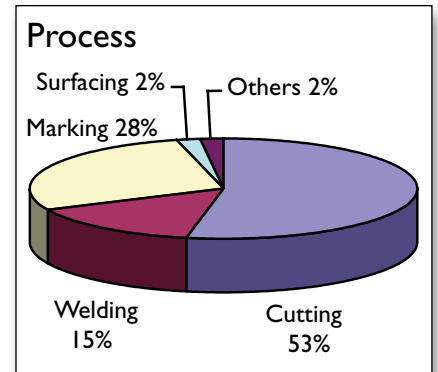


Fig 1. The industrial laser systems in Finland.



Fig 2. Diode laser welding of a catalytic converter (courtesy of Ecocat).

In the late 1990's the number of laser welding applications started to grow. Many subcontractors established facilities such as HT Lasertechnikka Oy (Keuruu, now in 13 locations), High Metals Production Oy (Vantaa), Laserle Oy (Helsinki) and LaserPlus Oy (Riihimäki) applied it in several cases. Veslatec Oy (Vaasa) is a subcontractor in fine mechanics offering precision and micro welding, as well as cutting and drilling, mainly using Nd:YAG pulsed laser technology.

Some companies apply laser welding to their own products. Outokumpu Oyj has two laser welding systems in Finland. One is in their

RAP sheet processing line (Tornio), welding coils together and another is in their Outokumpu Stainless Tubular Products Oy (Pietarsaari)

are widening into other sectors, Fig. 3

One of the most specific Finnish applications is from Proventia Automation Oy (Forssa) which cuts television monitors for waste purposes as seen in Fig. 4. This company, has a world-wide patent and produces the machines for cutting a more valuable face surface apart from the lead-containing tube.

Apart from laser welding and surface treatment, laser cutting is a still increasing the business of subcontractors. About 300 systems for laser cutting are working for this purpose and the largest company is HT Lasertekniikka Oy with 13 locations and more than 20 systems.

Research and development in laser processing in Finland

Research and education on laser materials processing is concentrated in two universities, Lappeenranta and Tampere Universities of Technology. At Lappeenranta Laser Processing Centre, which is a cooperative facility with Lappeenranta University of Technology and VTT, a national research centre, there are 25 people working in R&D and education, Fig. 5. The main research fields are in laser and hybrid welding, surface treatment, laser welding of plastics, micro laser processing and paper processing. The group is very active in publishing and servicing the industry. In addition, the university has undergraduate and a graduate student programs in laser processing and arranges continuing education programs and seminars. They have more than 10 laser systems in the facility. In Tampere, 10 people are working on laser processing, concentrating on surface heat treatment. In addition, Tampere is also strong in optics and has several optics companies started from its Optical Research Centre. University of Oulu has an installation in Nivala with a disc laser station.

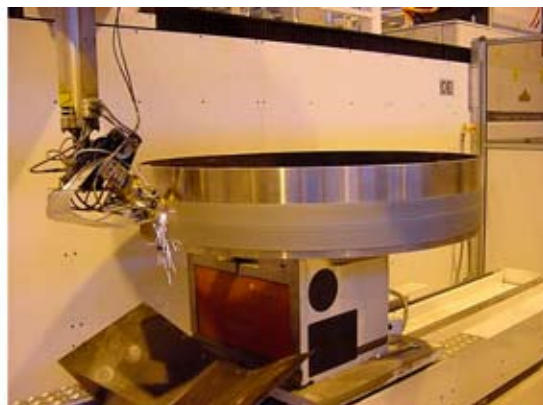


Fig 3. Laser cladding (courtesy of Kokkola LCC)



Fig 4. Laser cutting of television monitor (courtesy of Proventia Automation Oy).

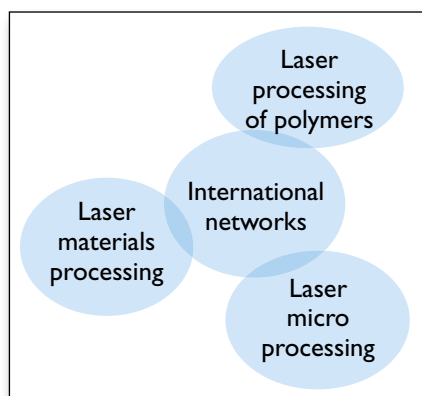


Fig 5. R&D fields of Lappeenranta Laser Processing Centre in Lappeenranta, Finland.

plant for welding tubing. Ecocat Oy (Vihtavuori) welds catalytic converters using a diode laser, Fig. 2. Kennotech Oy laser welds sandwich panels in a new factory in Hämeenlinna. Aker Finnyards Oy (Turku) has a system for a sheet line which will use a 6 kW fiber laser in a hybrid welding application.

Laser cladding is a subcontracting business at Kokkola LCC (Kokkola). Here the work is concentrated on repair welding for power station applications, but the applications



Fig. 6. Hybrid laser welding of a structural steel case.



Fig. 8. Laser polishing of metal.

In addition, several Applied Universities and schools have started their education and service for the industry in laser and hybrid laser welding and cutting. These are located in Kokkola, Keuruu, Laitila, Turku, Lieksa, Riihimäki, Tornio and Raahе.

Laser welding including filler metal and hybrid laser welding, has been a major research activity for 20 years in Lappeenranta, e.g. Fig. 6. Recently the research has concentrated also on new fields, adaptive laser welding and aluminium laser welding applications.

One of the most specific R&D fields of Lappeenranta Laser Processing Centre is thick section multi-pass welding, the research of which is aiming to ITER fusion reactor applications, Fig. 7. It includes large

and thorough investigation of filler metal Nd:YAG, Nd:YAG-MIG hybrid and electron beam welding of thick stainless steels, up to 60 mm thickness.

Seven recent years LLPC is also concentrated in some fields of micro processing. These include laser drilling, laser polishing and laser structuring, Fig. 8. Because of a strong field of Finnish industry, electronic sector, also polymer welding has been a strong part of the activity, Fig. 9.

In 1988 it was established a Beam Processing Club under Finnish Welding Society to increase the interest of laser and electron beam processing. It arranges seminars and happenings for specialists to meet together. Recently in 2005 it was also established a Laser



Fig. 7. Hybrid Nd:YAG laser multi-pass weld.

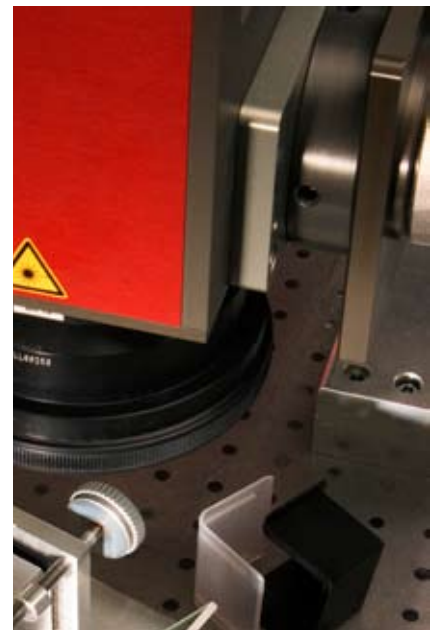


Fig. 9. 3D polymer welding for mass production.

Forum, which is a member society under Finnish Welding Society for interested companies to meet and update the know-how with research facilities in the country. The Laser Forum meets several times a year to update the knowledge and visit to companies working in the field laser processing. ☺

Laserbearbetning i Baltikum

– vad händer?

Av Bo Williamsson,
Manager Laser Technology,
AGA Gas AB/Region Europe North

Den baltiska regionen har ofta lite slarvigt betraktats som en homogen zon för industriell tillväxt. Det äger sin riktighet att betrakta regionen som en växande marknad i många avseenden, men det finns stora skillnader mellan de tre länderna Estland, Lettland och Litauen. När det gäller laseranvändandet växer samtliga marknader, om än i något lägre takt än förväntat. Inflation, begränsad ekonomisk tillväxt och konkurrensproblem har lagt käppar i hjulet för den förväntade ökningen av laseranvändandet.

Lasermarknaden är inte stor men uppvisar en förhållandevis stor tillväxt. Idag finns runt 80 lasermaskiner i regionen, nästan enbart 2D-laserskärmaskiner (en del kombimaskiner). De flesta stora laserfabrikaten finns representerade i regionen, kompletterat med en del maskiner från öst. Denna artikel är ett försök att helt subjektivt summera intrycken av mina resor till laseranvändare i regionen under senare år.

Status i de olika länderna

Estland var tidigt ute när det gäller laseranvändning. Det faller sig ganska naturligt då landet i många avseenden har de största likheterna med de nordiska länderna. Den starka kopplingen till finsk industri (som ju är starkt influerad av laser) har säkerligen bidragit till den tidiga utvecklingen.

Den största tillväxten har dock skett på senare år. I ett tillbakaperspektiv har tillväxten skett ganska ryckigt räknat i antal nya laserma-



Bild 1. AQ Lasertool, Pärnu.

skiner per år. I början av detta år fanns ca 25 lasrar i landet. Övervägande delen av lasrarna, liksom i hela regionen, används för skärning. Många av maskinerna idag är begagnade, importerade från Norden och övriga Europa, men en allt större andel av maskinerna installeras som nya.

I dagsläget dominerar CO₂-lasern totalt, men intresset för alternativa laserkällor ökar, något som även gäller lasersvetsning.

Typiska applikationer är legoskärning av detaljer i tunnare material men även en hel del för egen produktion. Spannet av produkter som skärs med laser är stort. Exempel på produkter är styrketräningsredskap (!), ventilationsutrustning, fartygsdetaljer mm. Den naturliga marknaden är den Baltiska regionen, men en hel del export sker även till Väst-europa mm. Flera nordiska företag med etableringar i Estland använder laser i produktionen idag. Som exempel kan nämnas AQ Lasertool i Pärnu, bild 1.

Andelen rostfri skärning med hög beläggning ökar i regionen, något som syns på den ökade installations-takten när det gäller nitrogentankar för flytande försörjning, bild 2.

Lettland är idag en överhettad marknad med hög inflation och konkurrensproblem när det gäller industriprodukter. Flera företag jag har pratat med producerar enbart med de Baltiska länderna och i viss mån Ryssland, Vitryssland och Ukraina som primära mål. Konkurrensproblem och kostnadsläge försvårar export västerut i större omfattning, även om undantag självklart finns. En väsentlig skillnad mot laseranvändning i de nordiska länderna är att många av de laseranvändare jag har besökt i regionen endast har beläggning för ett skift, i flera fall inte ens ett skift fullt ut. Självklart slår detta hårt mot produktionskostnaderna.

Även i Lettland är skärning med CO₂-laser den dominerande applikationen, även om många uttrycker ett intresse för alternativa laser-



Bild 2. Högtryckstank för flytande nitrogen i Estland.

källor. Lasersvetsning har inte fått något genombrott i landet ännu. I början av 2008 fanns ett trettiotal lasrar i landet.

Många företag använder laser i den egna produktionen, men legotillverkning är också vanligt förekommande. Även i Lettland är laserrelaterad produktion diversifierad. Exempel på produkter är små ställverk för den Baltiska marknaden, ammunitionscontainrar, komponenter till lastbilstrailers mm.

Litauen förväntas växa i takt med regionen i framtiden. Den första lasern installerades enligt utsago 1989, en 1 kW bulgarisk(!) tvärströmlasaser som fortfarande var i drift så sent som 2006. I början av året fanns dryga 20 lasermaskiner i Litauen.

Även här sker övervägande delen av bearbetningen i form av CO₂ laserskärning, (bild 3 och 4). Exempel på produkter är; tillverkning av båttrailers, skåp, vägräcken, värmeväxlare mm. Intressant att notera är att företag i regionen med kvalitetsproduktion i hög grad använder sig av material från SSAB, Rukki och Outokumpu. En annan tendens är också att företag med Nordiskt



Bild 3. Laserskärning hos Robiga, Litauen.



Bild 4. Laserskärning hos Dianoja, Litauen.

ägande förefaller mer benägna att investera i ny (laser)teknik, även om undantag givetvis finns.

Summering

Undertecknad har tillbringat mycket tid i en dynamisk region när det gäller laserbearbetning. De närmaste åren blir mycket spännande att följa. Efter en del problem med kvalitet, konkurrens, kostnadsläge, utflyttning av företag osv. ser framtiden relativt ljus ut. Avgörande för den framtida utvecklingen i regionen är konjunkturläget och den ekonomiska situationen, såväl lokalt som globalt.

Laserskärning är idag en etablerad bearbetningsmetod, utvecklingen pekar mot en fortsatt ökning på skärsidan i kombination med ett behov av 3D-bearbetning, lasersvetsning och alternativa laserkällor för framtiden. I dagsläget påminner utvecklingen till stor del om situationen i Sverige i början av 90-talet. Antalet maskiner i regionen ökar vissa år med över 20%!

Denna artikel är bara att betrakta som en högst subjektiv översikt över situationen i de Baltiska länderna. Vid behov av mer information, kontakta gärna undertecknad. ☺

ICALEO 2007 – den bästa på länge

Del 2.

Rapport från 26th ICALEO, Lake Buena Vista, FL, USA, 29/10-1/11, 2007

Av Johnny K. Larsson, Volvo Cars

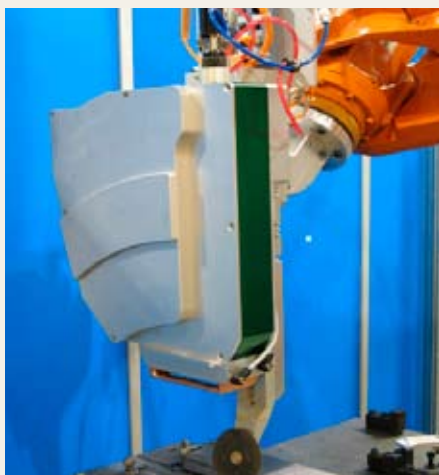
Session "Alternative Joining Processes & Materials"

Feng Lu från Chrysler LCC [Auburn Hills, MI] hade gett sig i kast med den tämligen grannliga uppgiften att lasersvetsa magnesiumlegeringen AM60M. Problemet vid svetsning av detta, för bilindustrin alltmer intressanta lättviktsmaterial, är den stora porförekomst som lätt kan uppstå. Denna beror dels på magnesioms förmåga att lösa in Nitrogen vilket i sin tur absorberar föroreningar på metallytan, dels den volymexpansion som uppstår i magnesiumsmältan och som då den stelnar ger upphov till krympporer. Dr. Feng och hans tidigare kollega Dr. Mari-

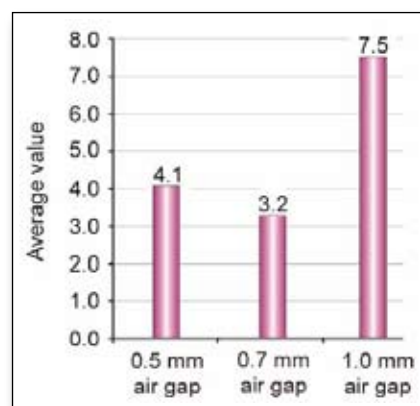
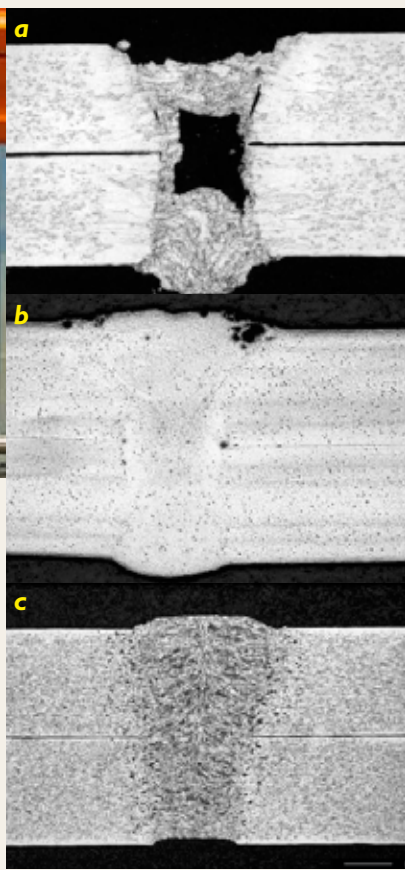
ana Forrest, vilken f.ö. pensionerat sig från Chryslers utvecklingslaboratorium och numera erbjuder sina tjänster via det egna konsultföretaget LasAp, har ju båda varit drivande då det gällt utvecklingen av s.k. dual-beam-teknik för just svetsning av lättviktsmaterial som aluminium och magnesium [Fig. 1]. Därför hade ett för denna teknik utvecklat, integrerat svetsverktyg använts vid försöken, och man menade på att den något lutande efterföljande laserstrålen hjälpte till att optimera avståndet mellan de två fokuspunkterna så att detta "inter-avstånd" inte blev för stort. Försöken hade som sagt utförts på AM60M i tjocklekarna 2 och 4 mm och olika lasereffekter och svets hastigheter hade provats. För-

utom att förlänga nyckelhålet med hjälp av "dual-beam"-tekniken kunde man även skönja en fördel med en något förhöjd fokuspunkt för den efterföljande laserstrålen i den bemärkelsen att detta tycktes förlänga smältan och därmed ge längre tid för avgasning och därmed minskad risk för inneslutna porer. Effektfördelningen i de två laserstrålarna var 47:53 och ytporer på svetsens ovasida kunde undvikas genom kyleffekten från den tillförda Heliumskyddsgasen. Acceptabla svetskvaliteter hade erhållits vid så pass höga processvärden som 6 kW lasereffekt och 5 m/min i svets hastighet.

En repetition av föreläsningen från NOLAMP tidigare under hösten fick vi genom professor Veli Kujanpää som redogjorde för svetsförsök utförda i 3 mm tjock aluminium AA5083 med tillsatsmaterial AA5183 med en tråddiameter på 1,0 mm. Experimenten gick ut på att studera känsligheten för spalten mellan plåtarna i en stumfog. Tre olika spalter hade provats, 0,5, 0,7



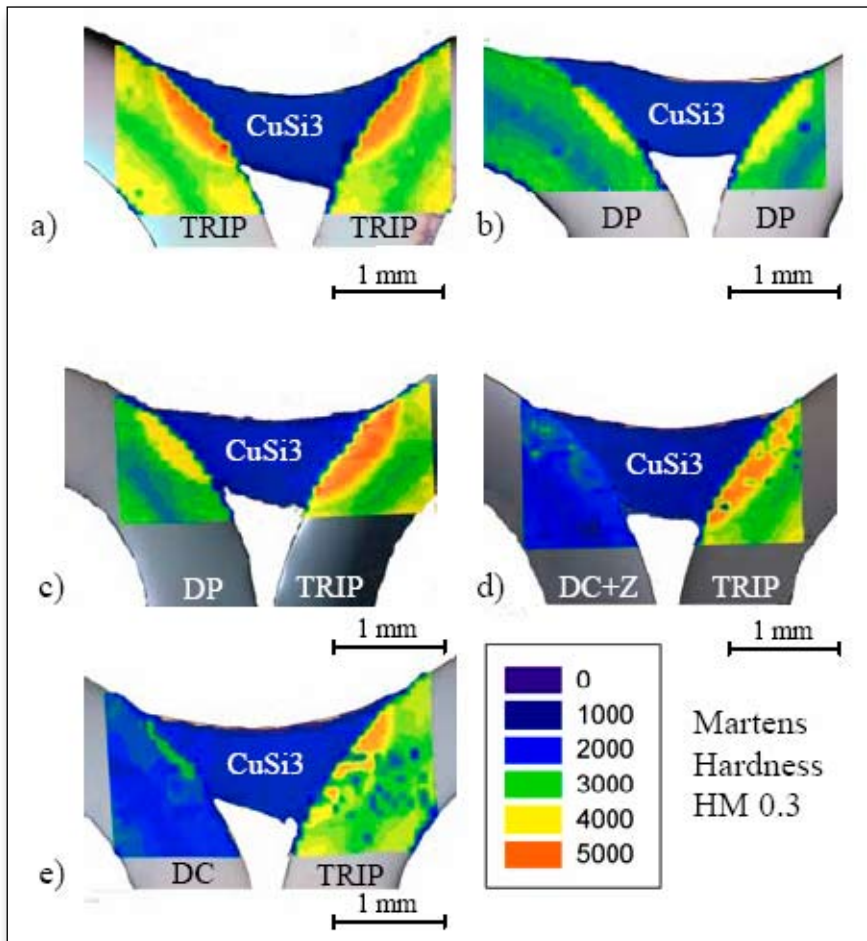
Figur 1. Ovan det vid Fraunhofer Center for Laser Technology [Plymouth, MI] speciellt utvecklade dual-beam-verktyget, och t.h. ses tvärsnitten genom en lasersvetsad överlappsfog i zinbelagt material utan (a) och med (b) dual-beam-teknik, samt en överlappssvets i AM60M utförd med 4 m/min, 5 kW och en effektfördelning på 47:53.



Figur 2. Antalet förekommande svetsdefekter per provobjekt vid stumfogssvetsning, med olika stora luftspalter, av 3 mm tjock aluminium AA5083.



Figur 3. Materialkombinationer laserlödda med en framföringshastighet av 1,8 m/min och en trådmatningsdito på 2,75 m/min. Använd laserenergi var 2,2 kW för kombinationerna a och b, medan blott 2,0 kW använts för övriga.



Figur 4. Hårdhetsmätning i det laserlödda området avslöjar en avsevärd hårdhetsökning i den värmepåverkade zonen [HAZ] för TRIP- och DP-kvaliteterna trots den relativt låga värmepåverkan som laserlödningsprocessen innebär.

och 1,0 mm, och som laserkälla hade man använt en 3 kW Nd:YAG-laser som gav en fokuspunkt med 600 µm diameter.

Skyddsgasen var en 50/50-blandning av Helium och Argon, men därutöver användes även Argon som rotgas. Tillsatsmaterialet hjälper till att kompensera för spalter men bidrar även med metallurgiska effekter som medverkar till att undvika uppkomsten av värmesprickor och porer. Man kunde konstatera

att vid ökande spalt minskade förekomsten av porer, men å andra sidan fick man en alltmer insjunken svets, varför den bästa svetskvaliteten erhöles med en 0,7 mm bred spalt mellan plåtarna [Fig. 2].

Svetsning av höghållfast stålplåt som exempelvis TRIP800 [Transformation Induced Plasticity] är förknippat med en hel del svårigheter, varför hårdlödning kan vara ett tänkbart alternativ. Detta var något som Claus Thomy och hans kol-

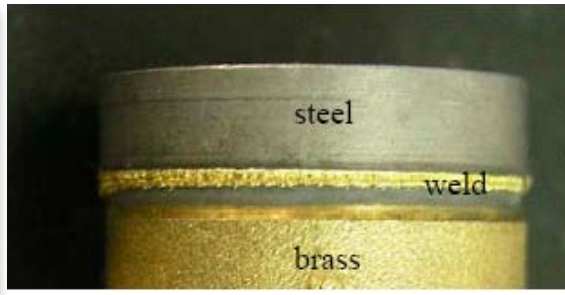
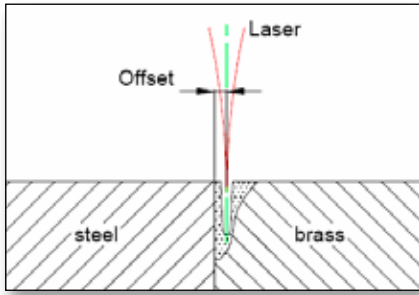
legor på BIAS [Bremer Institute für Angewandte Strahltechnik] i Bremen tagit fasta på.

Ett av problemen vid lasersvetsning av dylika materialkvaliteter är den höga hårdhet som uppstår i svetsgodset tack vare det snabba svetsförloppet. Sådana fenomen undviker man vid lödning, och vid BIAS hade försök gjorts med att laserlöda DP500 alternativt TRIP800 mot en zinkbelagd variant av den mjuka presskvaliteten DC05 [Fig. 3].

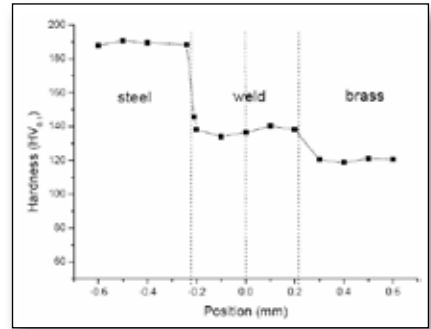
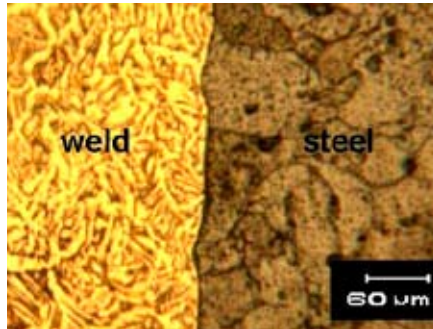
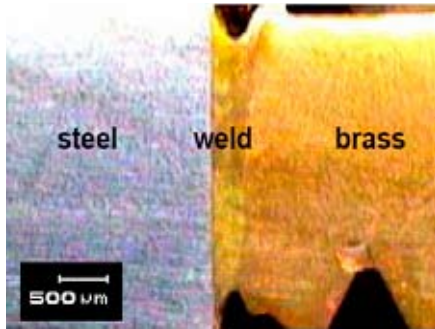
Fogutformningen var av s.k. ”strålfälletyp” och tillsatsstråden var av klassisk CuSi3-kvalitet med en diameter på 1,0 mm. Man hade använt sig av en 4 kW lampumpad Nd:YAG-laser ur vilken man tog ut mellan 2,0-2,2 kW. Strålen var defokuserad för att ge en brännfläck med 2,2 mm diameter på arbetsstycket, och med dessa förutsättningar lyckades man uppnå en framföringshastighet på 1,8 m/min med en trådmatningshastighet på 2,75 m/min.

Emellertid visade det sig inte vara möjligt att helt eliminera hårdhetsproblemet eftersom det uppstår en typ av HAZ [Heat Affected Zone] även vid lödning, och denna uppvisade en hårdhet som var ungefär den dubbla jämfört med hårdheten i grundmaterialet [Fig. 4].

Detta föranledde Dr. Thomy att påpeka att han avser att gå vidare med detta forskningsområde, varför vi med spänning ser fram mot hans rapportering vid någon framtida konferens. Vid kompletterande statistiska dragprov visade sig emellertid den värmepåverkade zonen inte i något fall vara orsaken till brottet.



Figur 5. Principen för lasersvetsning av mässing till kolstål där laserstrålen ansätts någon tiondels millimeter in på mässingssidan. T.h. den färdiga cirkulära fogen.



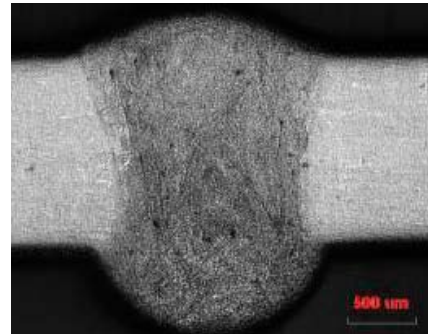
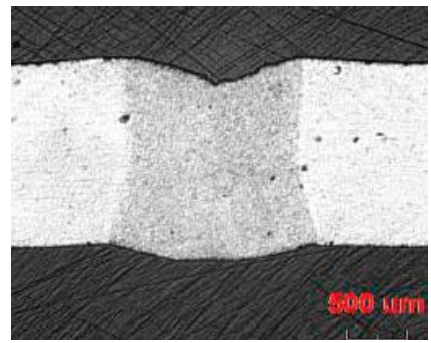
Figur 6. T.v. fogen mellan stål och mässing och därnäst en detalj där den nedsmälta mässingen kan skönjas att marginellt ha diffunderat in i stålet. Längst t.h. hårdhetsdistributionen genom fogen.

Detta gick i stället i lodmaterialet för TRIP800-proven och i fogytan mellan lod och HAZ för DP500-proven, och den genomsnittliga brottlasten var 203 resp. 150 MPa.

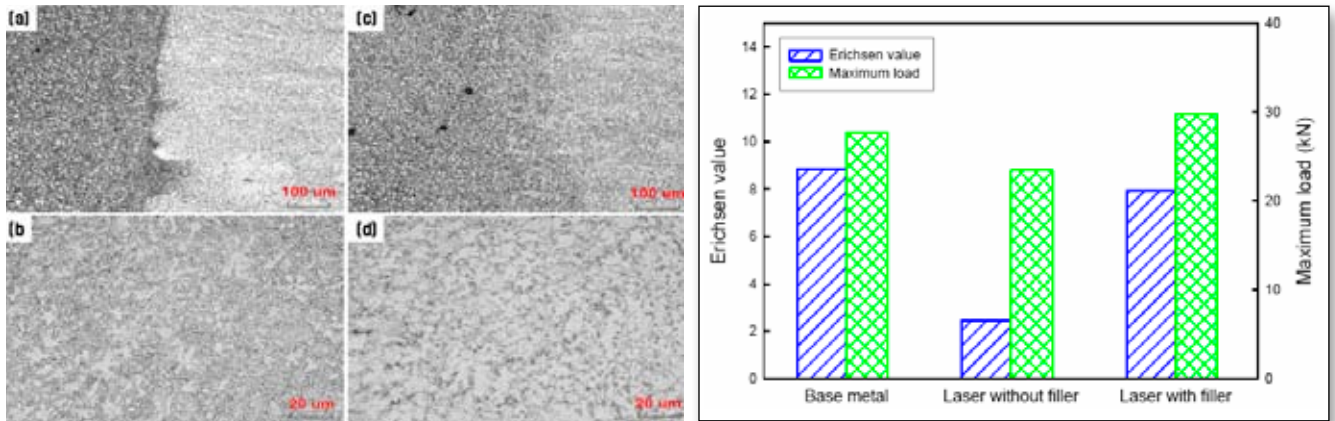
Kai Chen från Institute of Laser Engineering vid Beijins universitet höll ett intressant föredrag kring laserfogning av mässing till kolstål.

Detta kinesiska laboratorium tycks vara välförsett då det gäller laserutrustningar och förfogar idag över tre CO₂-lasrar (bl.a. en diffusionskyld slab-laser DC035 från Rofin-Sinar och en 6 kW TLF6000 från Trumpf) och tre Nd:YAG-lasrar, varav en 1 kW-enhet hade använts vid de här aktuella försöken, där

laserstrålen fokuserats till en 0,3 mm stor brännfläck. Principen vid denna fogning som utförts i stumfogsgeometri var att ansätta laserstrålen 0,1-0,2 mm in på mässingssidan [Fig. 5] och sålunda smälta mässingen men behålla kolstålet i fast fas. Den smälta mässingen diffunderar in i kolstålet till ett djup



Figur 7. Den tilltänkta ämnesskarv-applikationen i magnesium AZ31, en motorhuv, svetsad utan (a och c) och med (b och d) tillsatsmaterial. Längst t.h. tvärsnitt genom de näst intill porfria svetsarna (utan tillsats ovan och med tillsats underst).



Figur 8. T.v. mikrostrukturer av HAZ och svets vid lasersvetsning utan [a och b] och med [c och d] tillsatsmaterial. T.h. framgår att svetsning med tillsatsmaterial ökar svetsens hållfasthet liksom dess formbarhet, här validerat via s.k. Erichsen-prov.

av cirka 3 μm och skapar därmed en bindning [Fig. 6]. Argon med ett flöde av 15 l/min hade använts som skyddsgas, och man hade konstaterat att högre temperaturer ökar vätningens förmåga för den smälta mäsingen. Fogens mikrohardhet var högre än mässingssubstratets och följaktligen skedde brottet vid dragprov i mässingens grundmaterial.

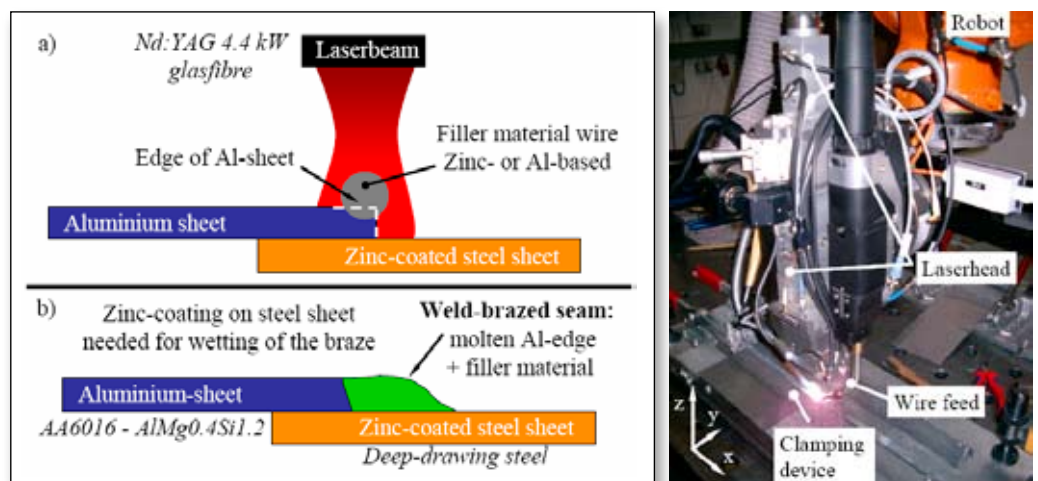
Dr. Mok-Young Lee [Rist, Pohang i Sydkorea] återkom till temat att lasersvetsa Magnesium för en bilapplikation. Här rörde det sig om att med s.k. "Tailored Welded Blanking" eller TWB stumsvetsa plåt av magnesiumlegeringen AZ31, vilken innehåller 3 vikts-% aluminium och 1 vikts-% zink, samt har en sträckgräns på 215 MPa, brottgräns på 274 MPa och en brottförlängning på 12%. Den tilltänkta applikationen var en motorhuv [Fig. 7], och denna lättviktslösning

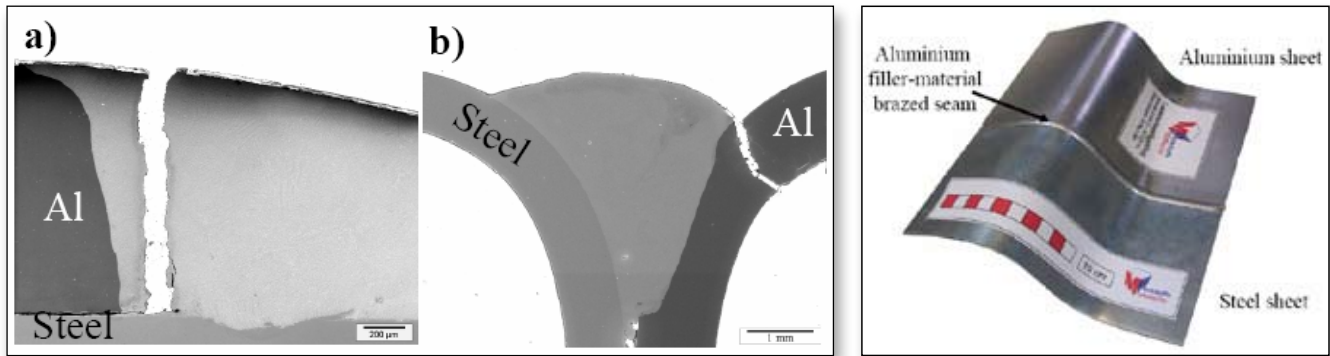
var avsedd att förbättra möjligheterna för exporterade, koreanska bilar att möta de utsläppskrav för CO₂ som snart kommer att gälla i Europa. Magnesium har en låg förångningstemperatur kring 1.100 °C och detta är den huvudsakliga orsaken till de instabilitetsproblem och den porbildning som uppstår vid lasersvetsning i detta material. Utan att avslöja alltför mycket om tillvägagångssätt och använda processparametrar [vi förstod att en 2 kW lampumpad Nd:YAG-laser använts vid försöken] kunde Dr. Lee visa upp väldigt högkvalitativa svetsar med närmast porfria tvärsnitt. Vidare påstod han att hållfastheten vid dragprov var lika med grundmaterialets hållfasthet oavsett om tillsatsmaterial använts eller ej [Fig. 8].

Siste talare i sessionen var Holger Laukant från Universitetet i

Bayreuth och dess institution för "Metaller och Legeringar". Han adresserade ett gammalt kärt ärende, nämligen att med laserteknik foga Aluminium till zinkbelagt stål. Liksom vid tidigare experiment är principen den att endast smälta aluminiumet och låta detta väta mot den zinkbelagda ytan för att skapa bindning, men i motsats till de tidiga resultat som presenterades av bl.a. Michael Kreimeyer från LZH i början av decenniet där man ansatte laserstrålen på stålsidan, hade man här låtit den infallande laserstrålen träffa på aluminiumsidan i överlappsfogen [Fig. 9]. Materialen var alltså 1,1 mm tjockt AA6016 på toppsidan och 0,9 mm tjockt, zinkbelagt DX56 på undersidan. En 4,4 kW Nd:YAG-laser hade använts vid experimenten, och nyhetsvärdet låg i att man hade använt sig av en "dual-spot"-teknik med laserstrå-

Figur 9. Principen för fogning av aluminium till stål med hjälp av laserteknik. På aluminiumsidan sker en svetsprocess medan lödning gäller för stålsidan. Den senare underlättas genom bättre vätning från den smälta zinkbeläggningen. Längst t.h. ett foto över provuppställningen.





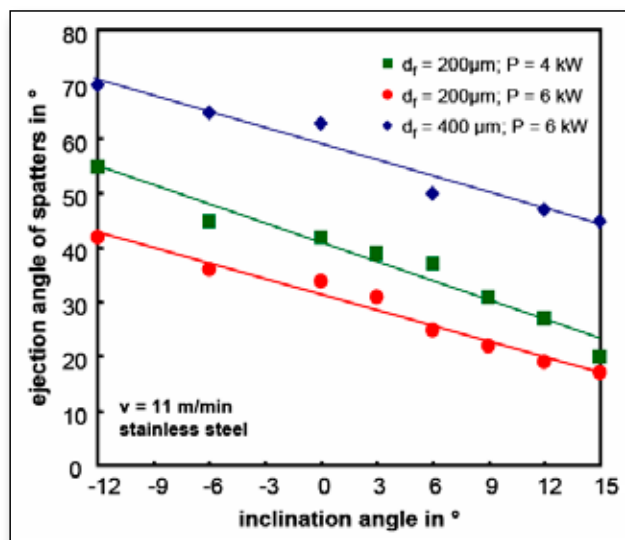
Figur 10. Vid dragprov av överlappsfogar (a) tycks fogen och det använda tillsatsmaterialet vara den kritiska punkten, medan vid exempelvis en strålfällegeometri (b) kan mindre "svetsdefekter" ge anvisningar som gör att brottet som visat går i aluminiummaterialet. Ett bevis på fogens duktilitet ses längst t.h. där provplåten böjts efter sammanfogning..

len uppdelad i två fokalpunkter med hjälp av ett svetsverktyg från HIGHYAG. Fokalpunkterna var placerade vinkelrätt mot framföringsriktningen, detta med motive ringen att man då erhöll en bredare vätningszon för det nedsmälta aluminiumet. I vanlig ordning uppstår en mängd intermetalliska faser som dels kan ha en negativ inverkan på korrosionsmotståndet i fogen, dels påverkar hållfastheten i densamma [Fig. 10]. Dr. Laukant kunde konstatera att Fe₂Al₅-fasen övergår till FeAl₃ ju längre bort från stålsidan man kommer i fogen. Vidare att om ZnAl₂6 är den dominerande fasen går brottet vid dragprov i aluminiumsubstratet, medan om AlMg₄-faser överväger så blir fogen den kritiska punkten. Den uppmätta mikrohården för samtliga faser ligger i nivåer kring 1.000 HV0.01.

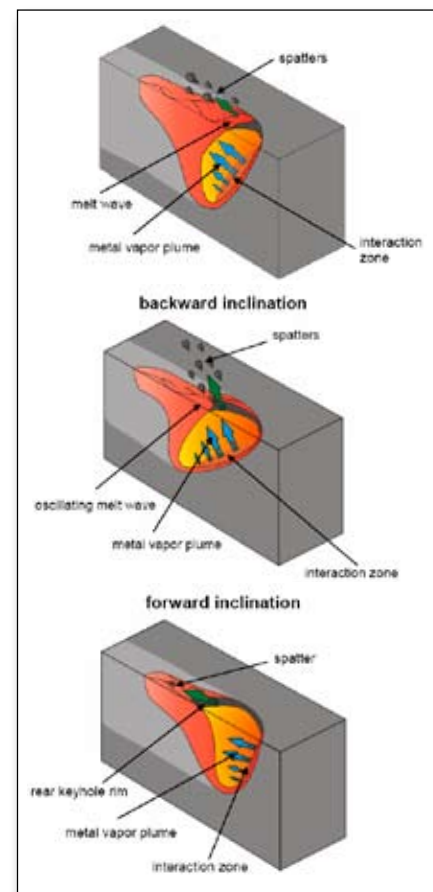
Session "Welding with High Brightness Lasers", del 2

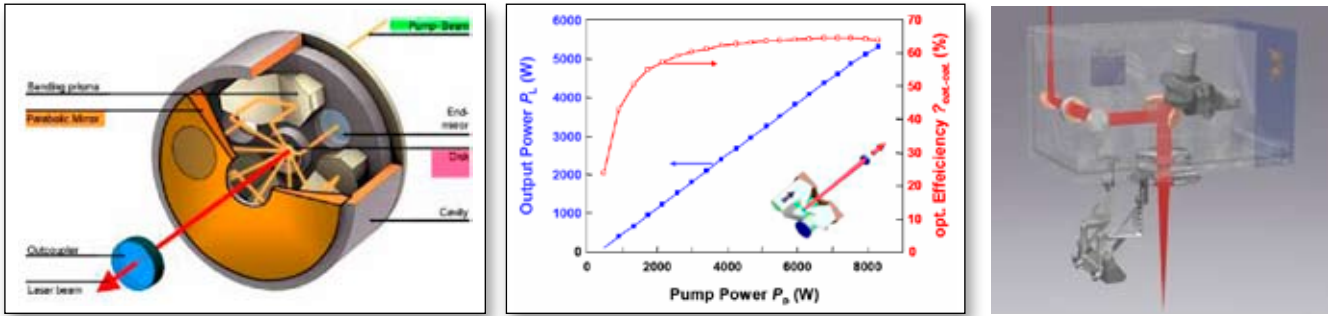
Intresset för de nya laserkällorna med hög strålkvalitet är fortfarande högt, och detta visade sig såtillvida att två olika sessioner vid ICALEO 2007 hade öronmärkts för ämnet. Nu fick vi av Jan Weberpals från TGSW [Technologiegesellschaft für Strahlwerkzeuge MbH] i Stuttgart höra mer om fördelar men också nackdelar för t.ex. disklasrar. Särskilt vid små fokalpunktsstorlekar blir stråldivergensen betydelsefull för penetrationsdjupet vid svetsning. Experiment hade genomförts med institutets 6 kW-enhet från Trumpf, TruDisc 6002, som har en strålkvalitet kring 8 mm*mrad och där laserstrålen skickats genom en 200 µm fiber. Materialet som använts var 18/10 rostfritt i 8 mm tjocklek, och särskild vikt hade lagts vid att stu-

dera fenomenet med svetsstrut. Här kunde man, inte så förvånande, konstatera att svetshastigheten hade en signifikant inverkan och kunde dela upp sprutbenägenheten enligt följande: 3 m/min = inget sprut, 7 m/min = mindre spruttendenser, 11 m/min = oacceptabel förekomst av svetsstrut. Utkastvinkeln för svetsstrutet, i förhållande till vertikallplanet, ökade med ökad svetshastighet och/eller fokalpunktsstorlek, men minskade vid minskad effekt. Det förångade materialet slungas ut vinkelrätt



Figur 11. Genom att arbeta med en "stickande" laserstråle med 12-15° lutning blir det möjligt att rätta upp nyckelhålets framkant och därmed avsevärt reducera mängden svetsstrut.





Figur 12. T.v. principen för hur man "pumpar" en disk och i mitten relationen mellan tillförd energi och uteffekt för en högeffektdisklaser. T.h. ses en skiss över Trumpfs senaste generation av "scanner"-verktyg, s.k. PFO 3D [Programmierbares Fokussier Optik].

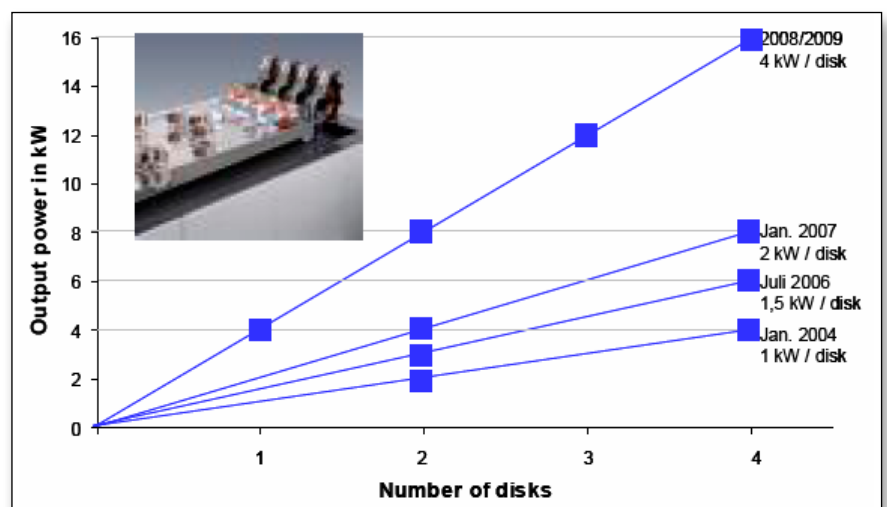
mot nyckelhålets framkant, vilket förklarar beteendet vid olika svets-hastigheter och återknyter till den förklaringsmodell som franske professor Fabbro använt en längre tid. Genom att vid höga svets-hastigheter luta svetsmunstycket 12° "stickande" visade Dr. Weberpals att nyckelhålets framkant kunde rätas upp och svetsstrutet därmed minimeras [Fig. 11].

Näste talare var bekante **Rüdiger Brockmann** från Trumpf som redan vid NOLAMP-konferensen tidigare under hösten gett en bred översikt över användningsområden för företagets disk-laserprodukter. Nu avslöjade den gode Rüdiger att Trumpf även gett sig in i fiberlaserkonkurrensen, låt vara i lågeffektområdet, där man erbjuder s.k. "single mode"-typ med effekter upp till 300 W. Bland exemplen visades på fjärrsvetsning av sidodörarna till nya Mercedes C-Klasse där kollegorna i Sindelfingen valt att satsa stort på disk-lasertekniken [Fig. 12]. Drivkraften har varit ökade krockprestanda, men samtidigt har man med RLW [Remote Laser Welding] kunnat reducera vikten med ungefär 1 kg/dörr samtidigt som produktionskostnaden minskat med 15% jämfört med traditionell punktsvetsning. Ett annat intressant exempel från karosseritillverkning är Volkswagen Passats hatthylla, en del-sammansättning innehållande 34 stycken svetspunkter, som tidigare krävt fyra svetsrobotar och fem

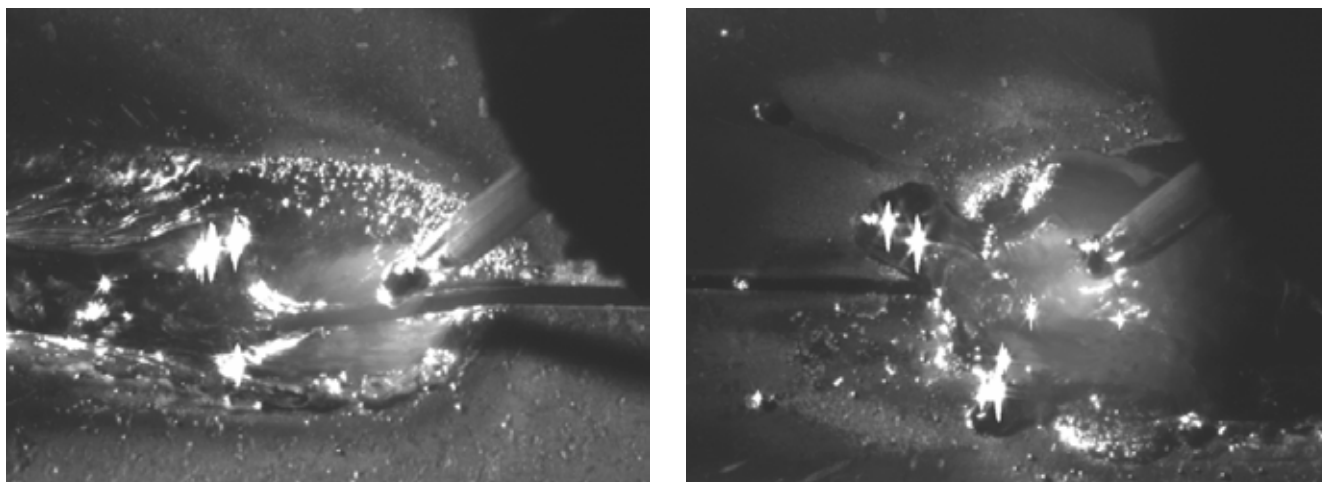
svetsstänger samt en cykeltid på 34,7 sekunder. Med RLW-teknik krävs endast en robot försedd med en laser-"scanner", vilken klarar motsvarande uppgift på 13 sekunder! Andra personbilsapplikationer där disk-laser används idag är t.ex. vid sammansättning av sätesramar och för drivlinekomponenter som svetsning av axlar till muffar. Det senare görs exempelvis med 3 kW laser-effekt vilken resulterar i 3 mm penetrationsdjup vid 3 m/min i svets-hastighet. Men även i grovplåtsapplikationer som 12 mm tjock fartygsplåt används fiberlasern framgångsrikt i s.k. laserhybrid-uppställningar med svets-hastigheter strax över 1 m/min, en metodik som vi ju fick en inblick i vid Lasergruppens besök på finska Aker Yards hösten 2007.

Trumpf har ju sedan en längre tid utlovat att man snart skall kunna erbjuda 4 kW uteffekt från en enskild disk, men tydligen har vissa problem uppstått vid utvecklingslaboratoriet i Ditzingen. Tidigare har ju början av 2008 nämnts som en tänkbar tidpunkt för lansering, men nu meddelade Dr. Brockmann att vi inte lär se dessa produkter förrän tidigast till årsskiftet 2008/09 [Fig. 13].

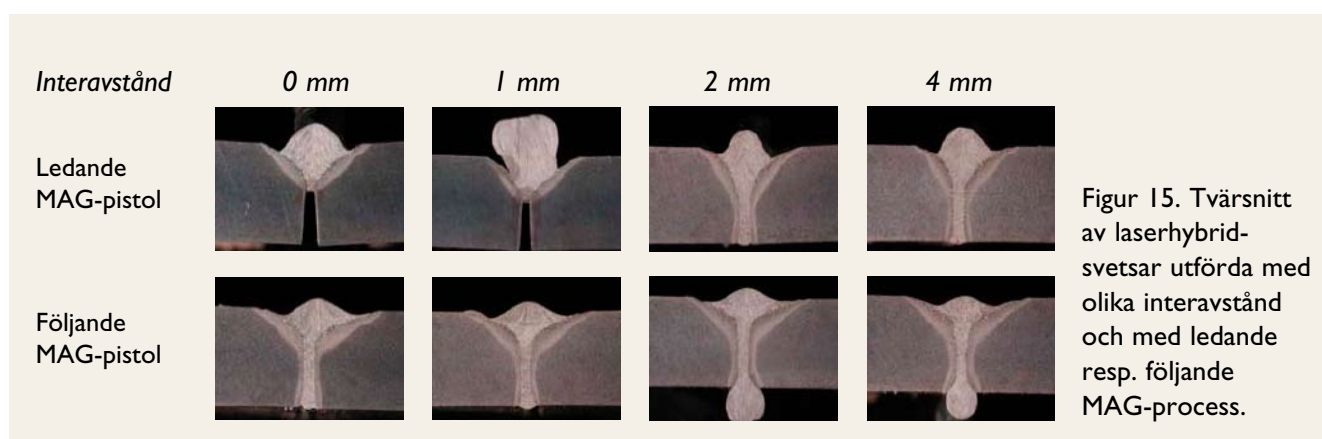
Den 5 kW fiberlaser från IPG Photonics, YLR-5000, som installerats i laboratoriet vid Lappeenranta Technical University tycks ha kommit till flitig användning och nu presenterade **Anna Fellman** de senast vunna erfarenheterna. Anna har ju framför allt specialiserat sig på laserhybridsvetsning och den utrustning



Figur 13. Genom en förväntad ökning av diodpaketets verkningsgrad räknar Trumpf med att kunna få ut mer effekt ur varje disk eller skiva. Idag går gränsen vid 2 kW per disk men kring årsskiftet 2008/2009 räknar man med att kunna ta ut 4 kW från en enskild disk och på detta sätt kunna erbjuda en laser med 4 diskar och en uteffekt på 16 kW!



Figur 14. Den uppenbara skillnaden i processtabilitet vid laserhybrid-svetsning i stumfog med 0,5 mm luftspalt med ledande (t.v.) eller följande (t.h.) MAG-pistol.



som använts vid svetsförsöken i 6 mm tjockt, mjukt S355-stål utgjordes av sagda fiberlaser med 100 µm fiberdiameter och 4,4 mm*mrad i strålkvalitet, kombinerad med ESAB-strömkällan Aristo LUD450. Foggeometrin var stumfog och här hade man observerat att en mindre spalt har en gynnsam inverkan såtillvida att det medger en avsevärd ökning av svetshastigheten. Vidare hade man sett att interavståndet inte bör överstiga 2 mm, samt att en lutning på 58° för smältsvetspistolen gav det stabilaste utfallet. Vilken av de två metoderna laser resp. MAG som skall vara ledande resp. släpande är ju ett tema för ständig debatt. Nu kunde fru Fellman rapportera att med ledande MAG kan man tillåta ett större interavstånd mellan processerna. Denna uppställning ger också ett bättre gasskydd [Fig. 14], men å andra sidan erhålls bredare

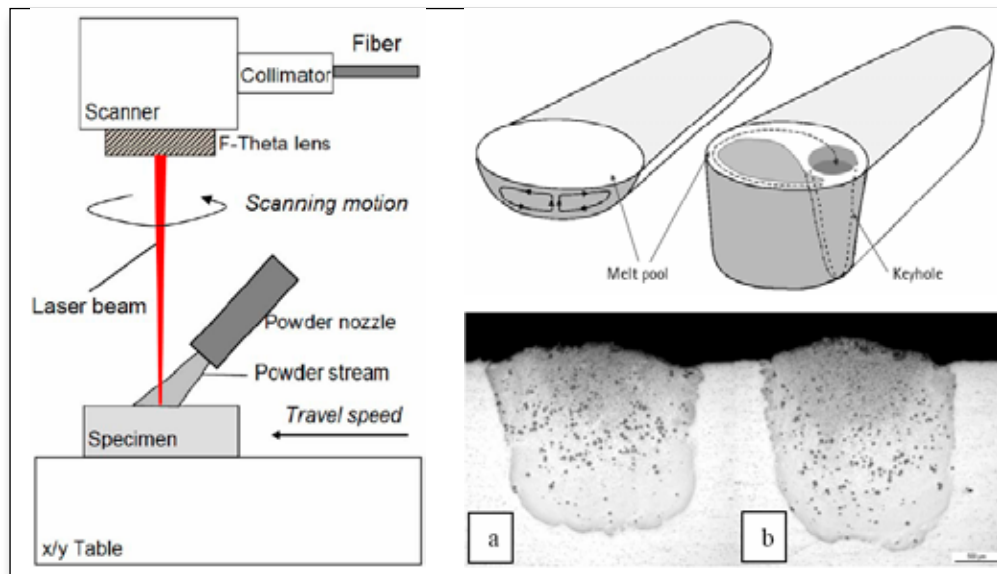
svetsar med en jämnare övergång mellan svetsgods och grundmaterial om den omvända uppsättningen används. Med släpande MAG blir det också lättare att addera fogföljare eller annan extern tilläggsutrustning, varför konklusionen blev att denna "set-up", d.v.s. med ledande laser blir den som sammantaget är att föredra [Fig. 15].

Knut Partes från BIAS [Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik] hade studerat möjligheterna att med hjälp av laserteknik upplegera aluminiumlegeringen AlSi1MgMn med WC/Co för att öka dess slitmotstånd. Konventionell upplegering bygger på konduktiv uppvärmning varför djupet begränsas till omkring 1 mm. Herrn Partes idé var att nyttja laserens nyckelhåseffekt för att erhålla en djupare upplegering [Fig. 16], och för ändamålet hade man använt en 1kW fiberlaser

med 40 µm distributionsfiber. En "scanner" hade använts för att i olika mönster modulera fokuspunkten inom en radie av 1 mm. Detta hade gjorts med frekvenser mellan 10 och 40 Hz och här kunde man se att högre frekvens gav en ökad legeringspenetration, vilket i praktiken innebar att pulvermatningen fick varieras mellan 9 och 36 g/meter.

Som nämnts hade olika moduleringsmönster använts. Dessa var cirkulär, överlappande cirkulär, 8-formig samt linjär, och de två senare visade sig vara de som i tvärsnittsanalys uppvisade de mest symmetriska tvärsnitten. Maximal legeringspenetration erhöll man vid en framföringshastighet på 2,2 m/min och 850 W lasereffekt. För att nå ännu högre penetrationsdjup krävs mer lasereffekt och detta hade verifierats i senare försök med en 3 kW disk laser. Vid maximal effekt

Figur 16. Närmast den experimentella uppställningen för legeringsförsöken. Överst t.h. skillnaden mellan konventionell konduktiv upplegering med laser och djuppenetration via nyckelhålseffekten. Längst ner t.h. kan man skönja en viss inverkan från olika frekvensmoduleringar (a = 20 Hz och b = 40 Hz) på legeringsdjupet.

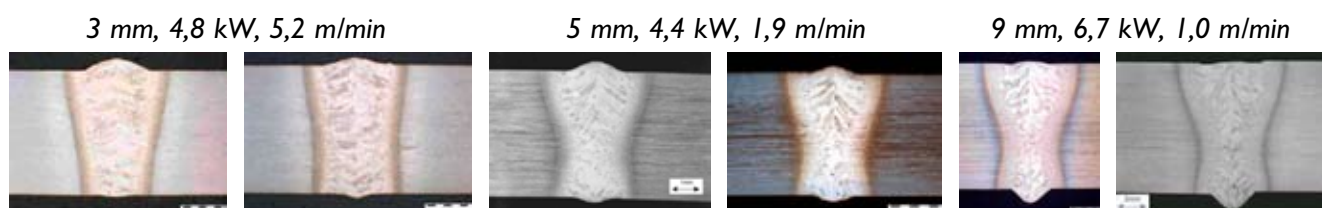


och en processhastighet på 0,6 m/min hade man nått en legeringspenetration på 3,9 mm. Detta skall då jämföras med motsvarande 0,5 mm penetration som man kan uppnå då en 3 kW Nd:YAG-laser och traditionell konduktiv uppvärmning används.

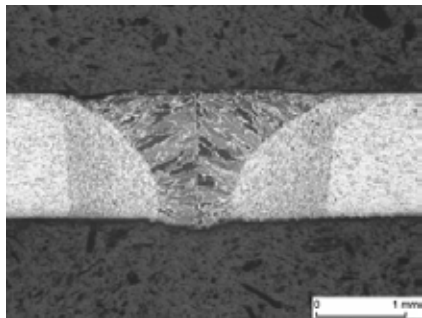
Då konferensen gick av stapeln på hotell Hilton var det självklart att TWI-bekantingen [The Welding Institute, Abington, U.K.] Dr. Paul Hilton tog tillfället i akt att skämtsamt hälsa oss välkomna till "hans" hotell. Alltid lika väl förberedd Paul redogjorde för fiberlasersvetsning av den typiska flygplanslegeringen Ti-6Al-4V. Sålunda utgörs ungefär 15% av materialet i Boeings senaste motorer av just denna Titanlegering, men Titanium använts även flitigt inom kemisk processindustri, för olja och gas samt inom kraftindustrin. Vid försöken hade man använt den 7 kW fiberlaser som finns tillgängligt i TWIs laboratorium, vilket är beläget i Abington strax utanför Cambridge. Denna laserkälla producerar en strålkvali-

tet på 18 mm*mrad och laserstrålen distribueras genom en optisk fiber med en diameter av 300 µm. På arbetsstycket har strålen defokuserats till en brännfläck med 0,6 mm diameter och ren Argon hade använts som skyddsgas. Fyra olika plättjocklekar, 2, 3, 5 och 9 mm, hade använts för BOP- och stumsvetsning, och särskilt vikt hade lagts vid att studera porformeringen [Fig. 17]. Paul menade att inte särskilt mycket forskningsarbete tidigare gjorts inom området, varför detta var att betrakta som något av ett pionjärarbete. Vidare nämnde han att ett av problemen vid lasersvetsning av Ti-6Al-4V är att i befintliga konstruktioner kunna uppfylla där gällande krav för elektronstrålesvetsning för att slippa en omcertifieringsprocedur för laser. Då det gäller att undertrycka uppkomsten av porer vid svetsning av Titanlegeringar är en av tumreglerna att optimera skyddsgastyp och -flöde. Vidare hade man kunnat konstatera att högre svets hastighet resulterade i mindre porförekomst.

En återkommande gäst vid dessa ICALEO-konferenser är Thomas Seefeld från BIAS [Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik] som genom åren brukat skämma bort oss med ett antal högkvalitativa presentationer. Detta år hade Thomas valt att redogöra för forskningsresultat från laserhybridsvetsning av tunn, mjuk pressplåt i tjockleksområdet 1-2 mm. Hybriduppställningen bestod av en 1 kW fiberlaser typ YLR-1000 från IPG med en BPP [Beam Parameter Product] på under 0,4 mm*mrad, och med stråldistribution via en 15 µm grov optisk fiber fram till arbetsstycket på vilket laserstrålen projicerats till en fokuspunktsdiameter av 20 µm. MIG-enheten var en Dalex Vario MIG400, likströmsopererad, och placerad i ledande position. Tillsatsmaterialet utgjordes av en SG2-tråd med 1,2 mm diameter. Vid ett alltför stort interavstånd, som t.ex. i detta fall 4 mm, mellan processerna lägger sig det nedsmälta tillsatsmaterialet uppe på plåten utan att skapa någon svets. Vid svetsförsök i stumfogs-

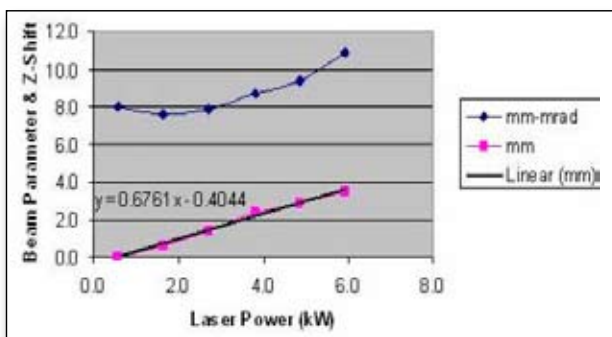


Figur 17. Tvärsnitt av fiberlasersvetsad Ti-6Al-4V som Bead-On-Plate [BOP] t.v. och i stumfog t.h.

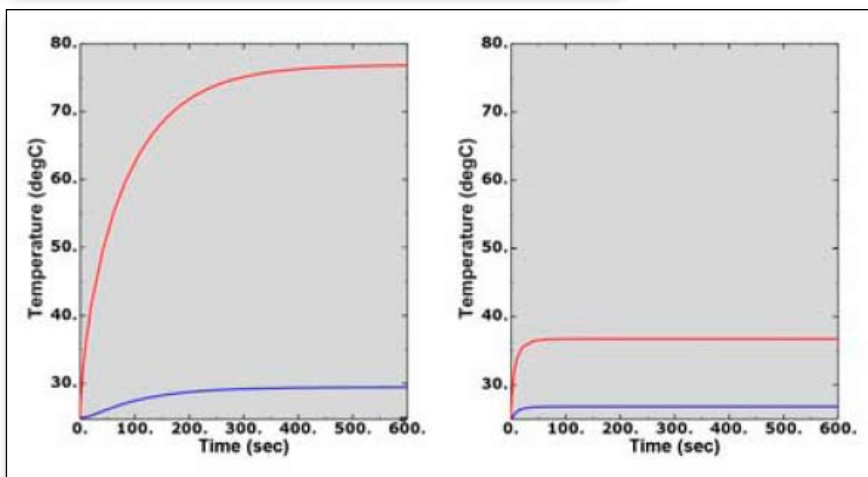


Figur 18. God spaltöverbryggnadsförmåga, 0,7 mm, vid hybridsvetsning med fiberlaser i 1,4 mm tjock pressplåt hos BIAS. Lasereffekt 1 kW, spänning 19,6 V, strömstyrka ~175 A, svets hastighet 4,5 m/min, trådmatningshastighet 6 m/min, skyddsgas Argon med ett flöde på 13 l/min.

geometri hade man nått maximala svets hastigheter kring 4,5 m/min vid svetsning av 1,4 mm grovt material [Fig. 18]. Spaltöverbryggnadsförmågan hade undersöks, och här kunde man dra slutsatsen att acceptabla svetskvaliteter kunde erhållas upp till spalter som var så pass stora som halva plåttjockleken.



Figur 19. Termisk påverkan på fokuserlinser förändrar såväl fokusläge som strålkvalitet.



Figur 20. Tids/tempertaurrensen för kvarts (t.v.) och zinksulfid (t.h.) vid 10 kW lasereffekt.

Sessionen avslutades med ett föredrag kring ett ämne som adresserats tidigare under konferensen, nämligen de utmärkta strålkvaliteternas inverkan på de optiska komponenterna. Tidigare under veckan hade vi ju hört såväl Felix Abt som Björn Wedel ond göra sig över de fenomen i fokalpunktsförskjutning som uppstår då optikkomponenterna påverkas av den höga energitätheten. Nu var det gamle bekantingen Stan Ream från EWI [Edison Welding Institute, Columbus, OH] som undersökt alternativ till de kvartsmaterial som vanligtvis används i fokuseringslinser. Han menade att den fokalpunktsförskjutning på i genomsnitt 1 mm/kW [Fig. 19] som kunnat observeras vid fiber- och disklaserbearbetning kunde minskas avsevärt genom att i stället använda zinksulfid (ZnS) som material för optikkomponenterna. Detta material har en värmekonduktivitet som är 25 gånger större än den för kvarts, vilket medför en betydligt effekti-

vare värmeavledning och därmed förbättrad värmestabilitet hos t.ex. fokuseringsoptiken. Sålunda uppnår en ZnS-lins sin max.temperatur efter 25 sekunder, att jämföras med 300 sekunder vilket är fallet för linser tillverkade i kvarts, "fused silica" [Fig. 20].

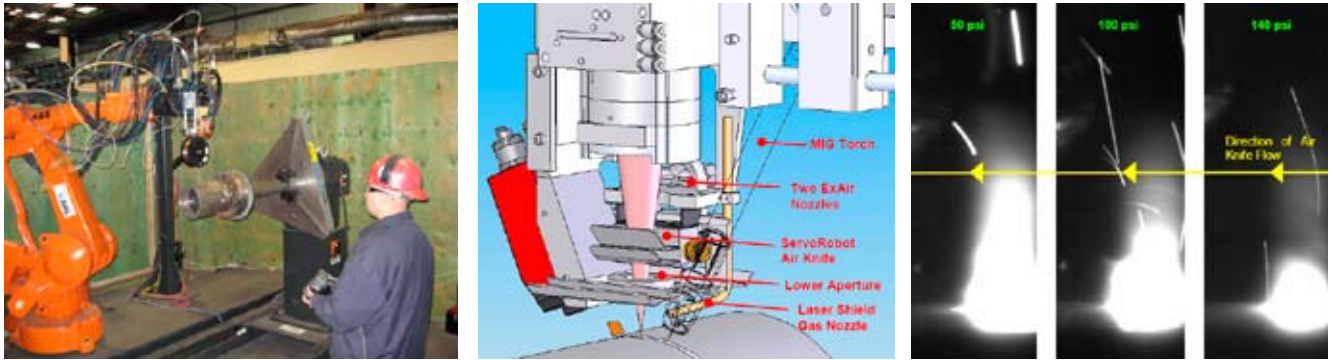
En annan fördel är att materialet är väl lämpat för diamantmaskinbearbetning till komplexa former, vilket gör att antalet optiska komponenter i systemen kan reduceras. Vid försöken hos EWI hade man sett att kontaminerade skyddsglas, vilka för blotta ögat såg ut att vara rena, gav en liknade effekt av fokalpunktsförskjutning. Detta hade man löst på ett innovativt sätt genom att sätta en kopparspegel vid utgången av fokuseringsoptiken för att på detta sätt skapa ett längre avstånd mellan arbetsstycke och linsoptik.

Session "Laser Systems & Equipment"

Dimitrios Iakovou från University of Twente [Enschede, NL] inledde denna session med att berätta om det fogföljningsverktyg för lasersvetsning som utvecklats på skolan. Optisk triangulering är en vanlig metod som används vid fogföljning, men



Figur 21. Integrerat laserverktyg med fogföljning, s.k. "Perimetric sensor", utvecklat vid University of Twente.



Figur 22. T.v. "teach-in" av robot inför rörsvetsförsök med laserhybridteknik, i mitten en principskiss av det komplexa gasskydd som krävs för att skydda optiken från kraftigt svetsssprut, och t.h. laserplasmats utseende vid olika gstryck (bländare 2,8, exponeringstid 1/1000 sekund, 600 bilder per sekund).

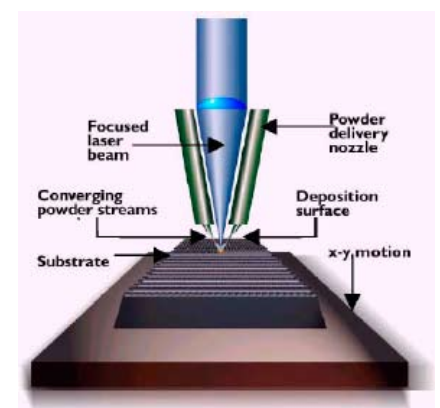
den har begränsningar vid komplexa 3D-fogar och då det gäller att följa en fog över ett hörn. För att komma till rätta med dessa problem hade två separata trianguleringsystem kombinerats samman med en linjesensor i ett verktyg som Herrn Iakovou valde att kalla "Perimetric sensor" [Fig. 21]. Genom att endast ha en av dioderna i trianguleringsystemen påslagen åt gången, dessa växeltändes med en frekvens av 30 Hz, hade man skapat ett tillförlitligt sätt att fogfölja kring hörn. Detta utan att behöva öka robotens rörelse, vilket vid normal triangulering krävs för att fogen inte skall hinna försvinna ur sensorns synfält. Därmed kan man eliminera eventuella positioneringsfel som är att härleda till robotens kinematiska begränsningar.

Därpå återknöt Edward (Ed) Reutzell [ARL, Pennsylvania State University, PA] till ämnet laserhybridsvetsning där han redogjorde för det utvecklingsarbete som föregått en industriell installation av tekniken på General Dynamics NASSCO skeppsvarv, där man använder hybridtekniken för svetsning av rör. Med hybridtekniken har det varit möjligt att öka produktiviteten såtillvida att en tidigare flersträngsoperation med gasmetallbågs svetsning kunnat ersättas med en enkel laserhybridsvetsning. Utrustningen består av en 7 kW fiberlaser från IPG med en 300

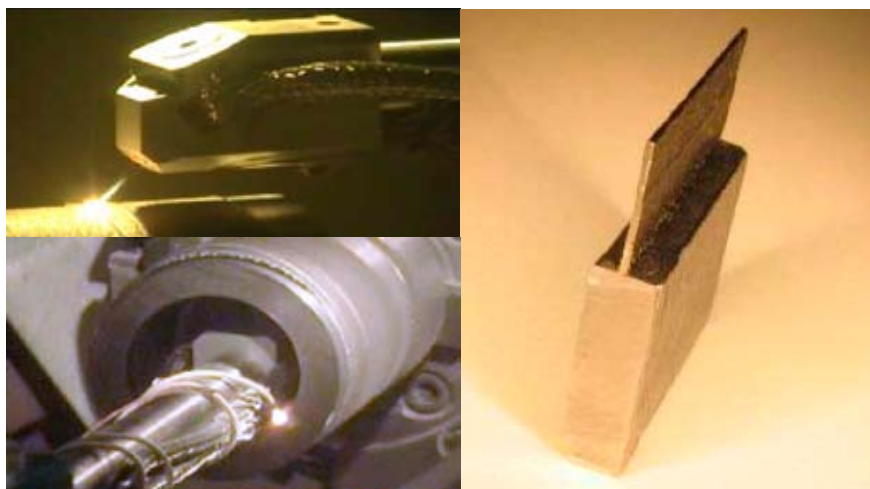
µm grov distributionsfiber. MAG-strömkällan kommer från Fronius och därutöver använder man ett fogföljningssystem från ServoRobot [Fig. 22]. Egentligen är det inte fråga om en riktig hybridprocess eftersom avståndet mellan de båda processernas TCP [Tool Center Point] är hela 25 mm. Stumfogsfixeringen mellan rören görs med några enstaka TIG-svetsar och det klassiska problemet vid svetsavslut i cirkulära svetsar, där man ofta kommer i konflikt med den initialt lagda svetsen, löste man medelst en momentan justering av svetsparametrarna.

Richard Grylls berättade om den revolution inom laserpåläggning som skett i och med tillkomsten av fiberlasrar från Optomec [Albuquerque, NM]. Dels innebär den höga effekt som denna lasertyp erbjuder att påläggningshastigheten ökar, varför metoden inte längre endast är lämplig vid reparationer utan även kan användas vid normal serieproduktion. Den andra fördelen med fiberlasrar i detta sammanhang är den extrema fokuserbarhet som den goda strålkvaliteten erbjuder, vilket gör att man kan bygga upp väldigt små strukturer. Företaget Optomec har specialiserat sig på maskiner för laserpåläggning och -deposition och deras produktserie kallas LENS®, Laser Engineered Net Shaping [Fig. 23]. En innovation som Mr. Grylls visade var ett arrangemang för

pulvermatning som bestod av fyra separata munstycken, och vilket sades vara effektivare än co-axial matning. Med denna utrustning och 500 W lasereffekt fördelad över en 2 mm stor fokalkpunkt hade man kunnat bygga överhäng på 35-45° i såväl Ti, Ni som rostfritt. Man hade vidare utvecklat ett "closed-loop"-system för att kunna kontrollera fokalkpunktens förflyttning i vertikalled under påläggningsprocessens gång samt övervaka storleken av smältans yta. Man hade byggt smala strukturer (300µm×7mm) i Inconel [Fig. 24], vilket sades bara vara möjligt med hjälp av en fiberlaser som via en 100 µm kan ge en fokalkpunkt på 100 µm. På en direkt fråga om vad han trodde var praktiskt möjligt svarade Mr. Grylls att 30 µm vägg tjocklek torde kunna realiserats via de 10 µm fibrer som IPG har att erbjuda!



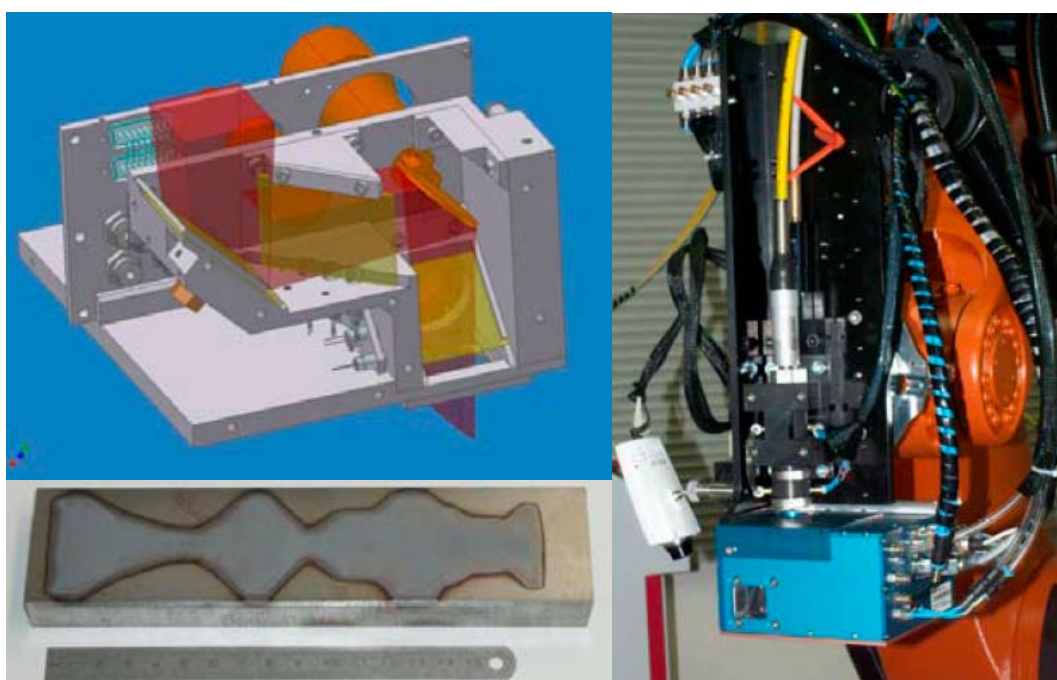
Figur 23. Schematisk beskrivning av den s.k. LENS-processen.



Figur 24. Intressanta "påläggningsövningar".

T.v. en 300 μm bred och 7 mm hög struktur som varit möjlig att bygga tack vare den lilla fokuspunkt som en fiberlaser med hög strålkvalitet kan erbjuda.

T.h. ett av Optimec speciellt utvecklat påläggningsverktyg, DeepRepair™ Deposition Head, som kan nå 300 mm in i en cylinder med en invändig diameter på 45 mm.



Figur 25. Det vid IWS utvecklade "scanner"-verktyget LASSY® med vilket bredden på ett härdspår kan varieras med bibehållet härddjup, vilket illustreras längst ner t.v.

I mitten ses verktyget i detalj och nedan två simultant arbetande robotar [KUKA RoboTeam], vilket möjliggör en optimal härdning över hörn.

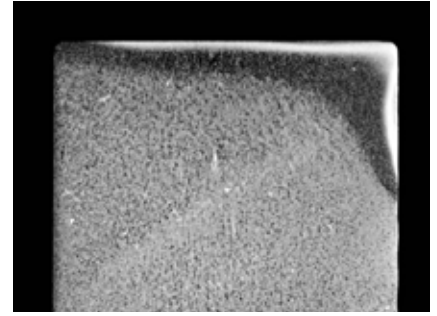
Laserhärdning är ett användningsområde som vuxit dramatiskt på senare tid, framför allt då mer kraftfulla diodlasrar med förbättrad strålkvalitet kommit ut på marknaden. Den stora fördelen med laserhärdning, jämfört med andra metoder, är att man via en s.k. "TopHat"-profil kan åstadkomma ett mycket precist härddjup. Ett problem har varit att undvika att anlöpa ett tidigare utfört härdspår, ett annat att härda över hörn och i slutna härdkonturer. Vid NOLAMP-konferensen i Lappeenranta, hösten 2007, hade vi av Steffen Bonss [Fraunhofer Institut für Werkstoff und Strahlwerkzeuge (IWS), Dres-



den] fått några tips om hur dessa problem kan lösas.

Dr. Bonss redogjorde här ånyo för principen med två synkront

samverkande robotar, var och en försedd med det s.k. laserverktyget LASSY® [Fig. 25], vilket kontinuerligt kan omformera laserstrålen.



Figur 26. Några exempel på lokal härdning med LASSY®-verktyget: T.v. ett formverktyg för strålkastare och i mitten ett klippverktyg i höglegerat stål 1.2379 med tillhörande tvärsnittsbild t.h.

Två LaserLine 6000-diodlaserkällor hade använts, vardera kopplad till respektive verktyg via en 1,5 mm grov optisk fiber. Noggrannheten i positionering och samspelet mellan de två robotarna sades vara under $\pm 0,1$ mm, något som möjliggörs genom mjukvaruprogrammet "RoboTeam" från KUKA [Knapp und Kneppich, Augsburg]. Vidare innefattar konceptet en processövervakningsfunktion i form av temperaturmätningssystemet E-MAqS som justerar effektuttaget från laserkällorna så att man kan hålla ett konstant härdjup. Presentationen avslutades med några intressanta applikationsexempel där man använt den beskrivna tekniken för att härda eggarna på klippverktyg samt lokalt hårda ytor för formverktyg [Fig. 26].

Siste talare i sessionen var **Michael Schmidt**, en av delägarna till BLZ [Bayerisches LaserZentrum] i Erlangen, som adresserade ett gam-

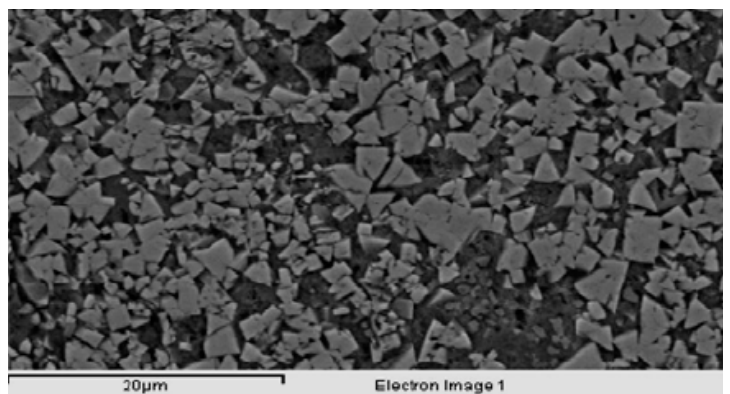
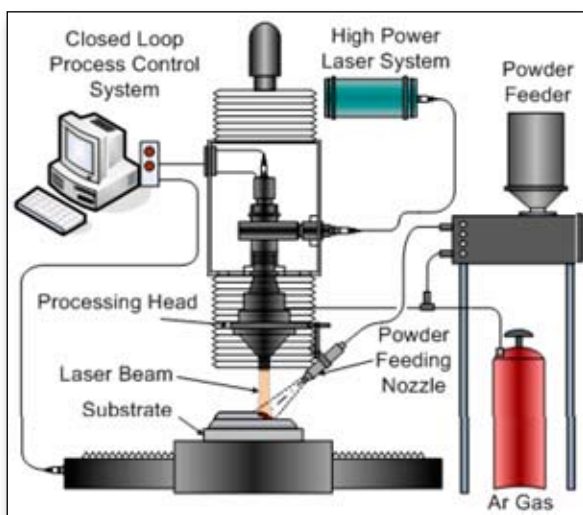
malt kärt ämne, nämligen processövervakning vid laserbearbetning.

Dr. Schmidt gav en intressant historik över utvecklingen samt en sammanfattning av vad som finns att tillgå på marknaden idag. Teknikerna har ju utvecklats från att i början utgjorts av fotodioder för endimensionell mätning, över CMOS-kameror för tvådimensionell registrering, till de tredimensionella system med "time-on-fly"-funktion som idag är under utveckling. Dock påpekade den alltid lika trevlige Michael att mer finns att göra inom området, då de mest avancerade metoderna, som t.ex. termografi, endast kan tala om att det föreligger exempelvis svetsdefekter, men inte kan precisera av vilken typ dessa är. Sammanställningen belyste den stora floran av användningsområden för dylik processövervakning, allt från svetsning, lödning och plastsvetsning till laserskärning av mänsklig hud!

Avslutning och sammanfattning

Låt mig avslutningsvis få lyfta fram några ytterligare godbitar från ICA-LEO 2007:

En representant från GE Global Research i Niskayuna, NY, berättade om de senaste landvinningarna i påläggning med laser, en teknik som exempelvis används vid reparation och prototypstillverkning av flygplanskomponenter som kompressorer, turbinblad och "Blisks". Man hade utvecklat en adaptiv lösning för tillförseln av påläggningsmaterial för att på detta sätt kunna öka deponeringshastigheten samt förbättra formnoggrannheten. Systemet hade man valt att benämna LNSM [Laser Net Shape Manufacturing] för vilket man i dagsläget hade ansökt om två patent. Med LNSM kunde man lösa två klassiska påläggningsproblem. S.k. överhängsgeometrier upp till 35° lutningsvinkel gick att åstadkomma. Vidare brukar man få en något avsmaln-



Figur 27. T.v. principupställningen för ALFA-systemet, och t.h. en elektronmikroskopbild av ett tvärsnitt från en wolframkarbid-påläggning innehållande 12 vikts-% Cobolt.



Figur 28. T.v. påläggning av WC-Co som slitmaterial på ett sågblad med hjälp av laserteknik. I mitten sågbladet direkt efter påläggningsoperationen och t.h. i färdigt leveranstillstånd efter slipning.

de geometri då påläggningen utförs i flera lager p.g.a. förändringar i värmedistributionen, men detta gick nu att undvika med den beskrivna adaptiva tekniken.

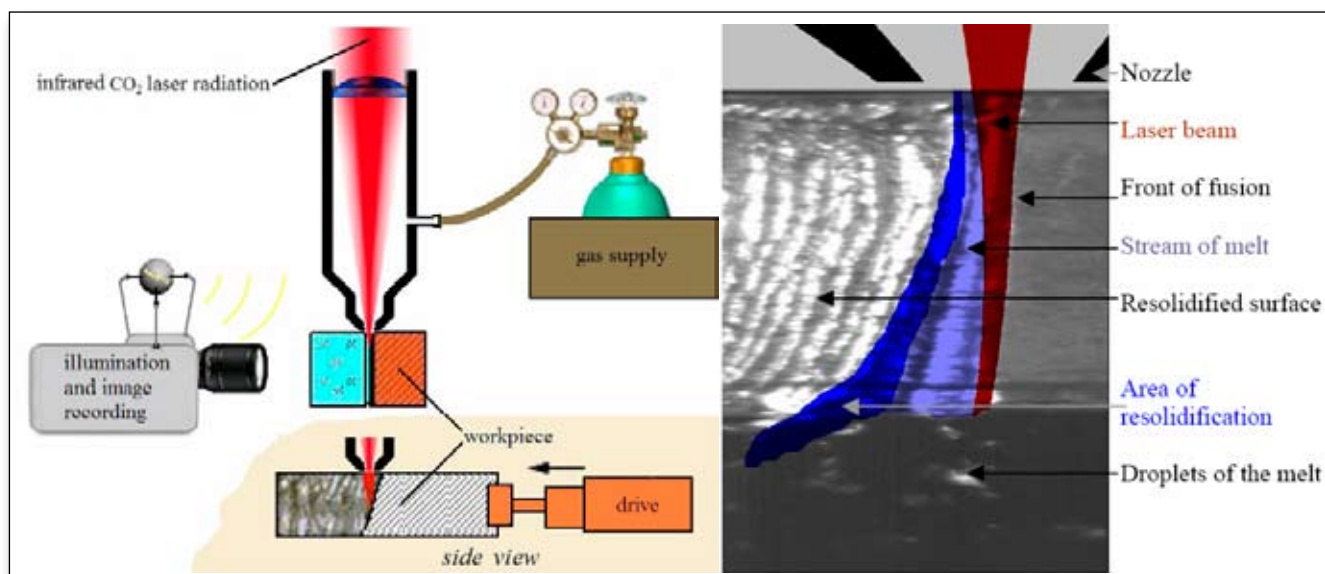
En annan typ av påläggning handlade **Christ Prakash Pauls** [University of Waterloo, ON] redogörelse om. Han och hans kanadensiska forskarkollegor hade tittat på att belägga snabbstål med WC-Co för att öka slittåligheten hos sågblad, men också reducera materialkostnaden för desamma. För detta hade man utvecklat en datorbaserad tillverkningsteknik som man kallade ALFa [Fig. 27], och som lager för lager kunde bygga upp en 3D-geometri. Med "closed-loop"-kontroll kunde man anpassa pulsenergin hos den Nd:YAG-laser som användes,

så att rätt nersmältningsgrad av tillförda WC-Co-pulvret erhöles. Det är nämligen bara Cobolt-partiklarna, vilka tjänar som bindare till snabbstålet, som man vill smälta upp. Detta hade man lyckats väl med och kunde visa på helt homogena och sprickfria beläggningar. Hårdheten i slitytan hade uppmätts till 1.450-1.850 HV, vilket skall jämföras med resten av sågbladet, vars hårdhet uppgick till blott 700-850 HV. Påläggningsoperationen för ett sågblad sades ta i storleksordningen 5-8 minuter [Fig. 28].

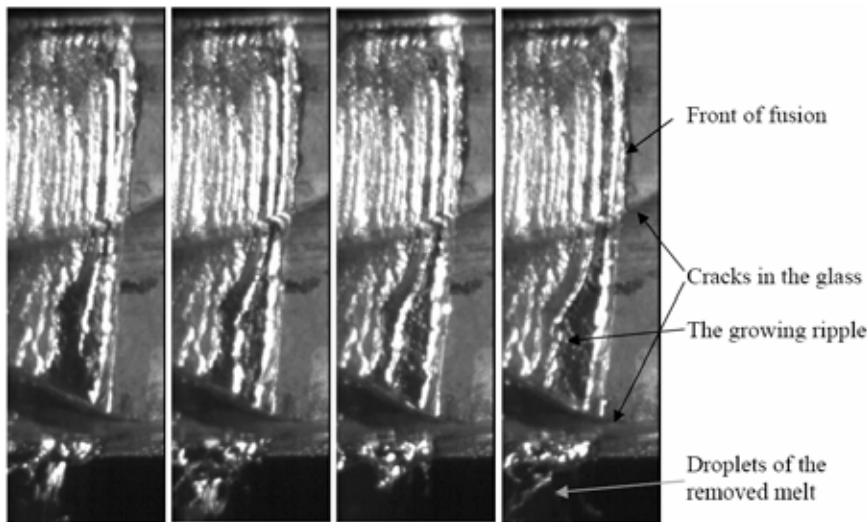
Två unga, ryska forskare från ITAM SBRAS i Novosibirsk, **Peter Yudin** och **Aleksandr Zaitsev**, underhöll oss i laserskärnsessionen med några högklassiga forskningsresultat. Man hade försökt förklara

avlägsnandet av smält material samt formeringen av det bandmönster ["striation"] som uppstår på skärkanten. Detta hade man lyckats med genom att laserskära ett transparent material kallat Rose's alloy och samtidigt höghastighetsfilma processen [Fig. 29].

Det kunde då konstateras att skärfronten var helt vertikal och att tidigare nämnd bandbildning tycktes genereras först på ett visst avstånd från skärfronten samt utan någon påverkan från själva laserstrålen. Vid laserskärning av tjockare material blir nedre delen av snittytan ofta grov och den värme-påverkade zonen bred. Detta beror på att skärgasen separerar från skärfronten. Detta hade undersökts dels experimentellt och då visualiserats



Figur 29. T.v. försökstoppställningen vid laserskärning och höghastighets-filmning genom det transparenta materialet Rose's alloy. T.h. en illustration av vad som händer i skärspalten (4X förstoring).



Figur 30. Sekvensfoton från laserskärning i grovt material vilka uppvisar det typiska skärkantsmönster som uppkommer och som orsakas av fluktationer i det smälta materialets rörelse. Tiden mellan första och sista bild i sekvensen uppgår till 70 millisekunder.

med hjälp av Schlieren-fotografier [Fig. 30], dels beräkningsmässigt via simulering med hjälp av Navier-Stokes ekvationer. Genom att variera parametrarna för skärbredd, munstycksutformning samt skärgasttryck vid experiment inom tjockleksintervallet 10-40 mm kunde man ge adekvata rekommendationer till parameterintervall.

En annan teori för den nämnda bandformeringen på skärkanten framfördes av Dr. Lin Li från University of Manchester. Hans forskargrupp hade utfört skärförsök på 1-2 mm mjukt EN 43-stål med hjälp av en "single-mode" 1 kW fiberlaser, YLR-1000, med fokuspunkten placerad några millimeter över plåt-ytan. Såväl effekt som fokalpunktsstorlek, skärhastighet och skärgasttryck hade varierats, men det var endast vid skärhastigheter kring 60 mm/s som man kunde få en helt slät skärkant [Fig. 31]. Dr. Li menade

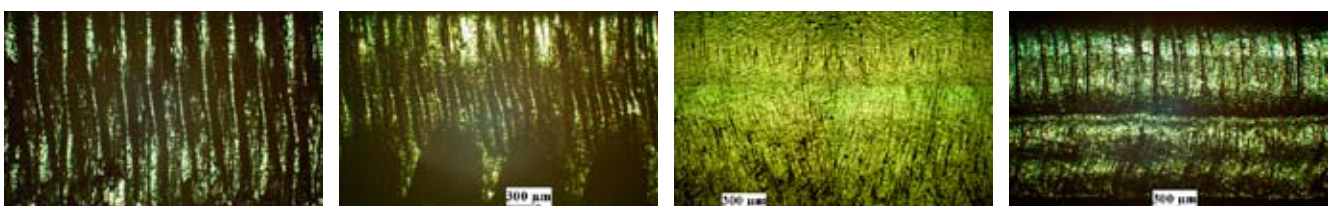
att man har att beakta två skilda skärfronter; en som genereras av lasern och en av den tillförda Oxygen-skärgasen! Vid låg framföringshastighet hamnar Oxygen-fronten framför lasern och då uppstår bandbildning, något som också blir fallet vid hög framföringshastighet då avverkat material inte "hinner ur" skärspalten. Dock skall sägas att här uppstod en livfull diskussion där några "laserskär-auktoriteter" starkt ifrågasatte dessa teorier.

Några nya bilapplikationer fick jag också möjlighet att dryfta med "gamla" kollegor. RLW-tekniken [Remote Laser Welding] är på stark frammarsch, något som ju illustrerats med Mercedes C-Klassens satsning på 43 stycken disklaserbaserade enheter fördelade på tre fabriker. Gamle VW-medarbetaren, numera Trumpf GmbH, Rüdiger Brockmann, lät meddela att denna teknik numera är den gängse för

sammansättning av dörrar till såväl Audi A4 som Mercedes E-Klasse. Men även inom nordamerikansk bilindustri börjar det hända intressanta saker då det gäller laserapplikationer. Av Stan Ream [EWI, Columbus] fick jag veta att GM börjat laserlöda taket på någon av sina Cadillac-modeller. Och vid ett längre nattligt samtal över några öl med Brad Trees gick vi igenom den största lasersatsning som Ford Motor Company någonsin gjort. Det rör sig om den populära F-150 lätta pickup-lastbilen som har en årlig försäljning på 800.000 enheter och därmed varit den mest sålda bilmodellen i USA de senaste 33 åren.

Nu är en ny generation under framtagning [projektnamn P415], och Brad som arbetar för Precitec, Inc. [Wixom, MI] har varit involverad i uppbyggnaden av lasercellerna i fabriken i Kansas City och i DTP [Dearborn Truck Plant]. Varje cell kommer att vara bestyckad med tre laserkällor för främst svetsning av tak och vindrutestolpar. Det lär nog finnas anledning att återkomma till detta spännande projekt i kommande nummer av LaserNytt.

Processövervakning vid lasersvetsning är mer eller mindre ett måste inom den högvolymproduktion som förekommer vid tillverkning av karossdetaljer. Här hade gamle bekantingen Giuseppe D'Angelo från CRIF [Centro Ricerche Fiat] i Orbassano, Italien en intressant presentation. Den handlade om trådlös överföring av en spänningssignal som registreras via sensorer, och där DC-nivån beskriver penetrationsdjupet och AC-delen ytojäm-



Figur 31. Snittkantkvaliteten vid laserskärning i 2 mm tjockt EN 43-stål med 800 W lasereffekt vid olika skärhastigheter; fr.v. 30 mm/s, 45 mm/s, 60 mm/s och 70 mm/s.



Figur 32. En av CRIF utvecklad sensorenhet för trådlös kommunikation vid t.ex. processövervakning vid lasersvetsning. T.v ses den s.k. "Voltage to Frequency Converter" (VFC) och t.h. en sändarenhet.

heter etc. Signalen skickas till en mottagare [Fig. 32] försedd med en VFC [Voltage to Frequency Converter], vilken gör att signalen kan visualiseras på en dataskärm. CRIF har inläggande patentansökningar för detta system både i Europa och USA. Denna form av trådlös övervakning hade framgångsrikt använts vid fjärrsvetsning av 300 stycken bildörrar med inalles 11.100 laserstygn. Det möjliga avståndet mellan sändare och mottagare uppgavs ligga kring hundra meter, men Signore D'Angelo menade att det kan föreligga risker för vissa störningar i form av brus från andra pågående fabriksprocesser.

Sammanfattningsvis kan man säga, att med den uppsättning av olika lasertyper med olika effekterbjudanden som finns att tillgå på marknaden idag, besannas påståendet att det endast är fantasin som sätter begränsningar för vad lasern kan användas till. Dock finns det lite olika "skolor" då det gäller att rekommendera den "bästa lasertypen". I samtal med Björn Wedel [HIGHYAG] menade denne att diodlasern får betraktas som ett undervärderat redskap. I hans ögon är den det självklara valet för lödoperationer, men kan numera tack vare en avsevärt förbättrad strålkvalitet vara ett kostandseffektivt alternativ för lasersvetsning. Genom speciella arrangemang av dioderna

kan HIGHYAG erbjuda skräddarsydda lösningar i form av olika ringoptiker benämnda RFK och VRRF, det senare speciellt utvecklat för rörsvetsning.

Fiberlasrarna har andra anhängare, och här är det väl framför allt professor Eckard Beyer vid Fraunhofer IWS i Dresden, som är den store förespråkaren. Han anser fiberlasern vara det mest flexibla verktyget, och jag kan väl ge honom rätt i den bemärkelsen att en överlägset god strålkvalitet går alltid att "försämrä" för att göra den mer användningsbar vid vissa laseroperationer, medan det är svårare att så att säga gå åt motsatta hållet och förbättra en medelmåttig strålkvalitet. Även min gamle danske kollega, professor Flemming Olsen vid DTU [Danmarks Tekniska Universitet], tycks ha blivit frälst på fiberlasrar och tömt laboratoriet i Lyngby på andra lasertyper. Flemming har valt att satsa på lågeffektbearbetning och utrustningen utgörs idag av tre fiberlasrar på 20 W [Coherent], 100 W [SPI] och 400 W [IPG].

Professor Milan Brandt är en annan trevlig bekantskap jag gjort under åren vid ICALEO. Den synnerligen sympatiska Milan förestår IRIS [Industrial Research Institute Swinburne] nära Melbourne, där han förfogar över en något mer konventionell utrustningspark jämfört med Flemming Olsen. På IRIS hittar

vi en 3 kW diodlaser från LaserLine, en likaledes 3 kW lampumpad Nd:YAG från RofinSinar samt en 5 kW Trumpf CO₂-laser. Så för den som är intresserad av att förlägga lite laser "research" "down-under" går det alltid bra att kontakta professor Brandt.

ICALEO 2007 blev för mig en positiv överraskning, då jag innan varit skeptisk till användbarheten av de forskningsresultat som visats upp vid tidigare årgångar av konferensen. Nu verkade det emellertid som att man tagit fasta på det här med tillämpad industriforskning, varför nivåerna på de olika presentationerna kändes mera "rätt". Emellertid kunde man konstatera att det är européerna som ligger i forskningsframkanten och dominerar ICALEO, något som måhända kan kännas som en nagel i ögat för de amerikanska arrangörerna. Detta var emellertid inget som märktes bland delegaterna, där stämningen som alltid är gemytlig, något som inte minst framkom under arrangemangen "Meet & Greet Fiesta", "President's Reception" och "Laser Industry Vendor Program". Där gavs åtskilliga möjligheter till "internt skvaller" kollegor emellan.

Särskilt roligt för mig var att se inte mindre än 8 svenska kollegor på plats, ett antal som nog också torde vara ett "all-time high". ICALEO 2008 kommer att gå av stapeln i Temecula, CA, 20-23 oktober. Temecula, har det ryktats, är något i stil med Las Vegas, varför den potentielle deltagaren gör bäst i att förse sig med en stabil reskassa. Jag kan verkligen rekommendera Lasergruppens medlemmar ett besök vid ICALEO 2008, och jag hoppas att då få se ännu fler svenska delegater, så att vi kan matcha kollegorna från vårt östra grannland, som fortfarande utgör den största nordiska delegation. ☺

Europa tar över från Japan som största tillväxtmarknad för lasersystem

Av Johnny K. Larsson, Volvo Cars

Hur har laserutvecklingen sett ut i olika delar av världen och vilka är de kort- och långsiktiga utvecklingstrenderna?

Några av svaren på dessa frågor kommer att ges i denna artikelserie där Lasergruppens ordförande Johnny K Larsson kommer att sammanfatta intryck från AKL'08 [Aachener Kolloquium für Lasertechnik] baserade på presentationer, tidningsartiklar och inte minst via informativa samtal med några av världens ledande auktoriteter i fråga om prognoser för framtida lasertrender.

I denna, den första artikeln i serien, fokuseras på utvecklingen i Europa sett ur ett globalt perspektiv, och Johnnys samtalspartner i det här fallet är **Arnold Mayer från Optech Consulting, Tägerwilen, CH** [Fig. 1]. I kommande nummer av LaserNytt kommer pulsen att tas på USA och Japan vad beträffar lasersatsningar, nu och i framtiden, i dessa båda länder.

Efter en rekordtillväxt på 27% under 2006 såg den globala marknaden för laserbearbetningssystem en mera moderat tillväxt på 5% under 2007. Denna karaktäriserades av olika tillväxthastighet beroende på geografisk region. Medan konsumtionen av lasermaskiner i Europa ökade explosionsartat med 20% minskade densamma på många andra marknader. Sammantaget växte marknaden world-wide med 5% till 6,3 miljarder euros.

I Europa var marknader som Frankrike och Spanien de som visade på störst tillväxt, men även i Tyskland, vilket är det överlägset ledande landet i fråga om laserinstallationer i Europa, ökade volymerna med 15%.

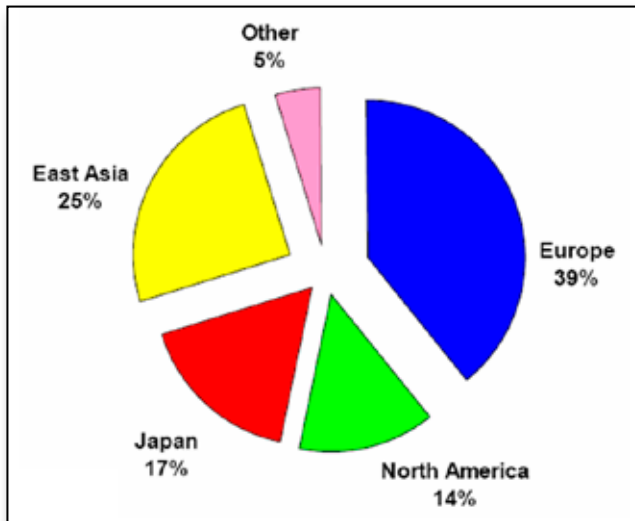
I de centrala och östra delarna av Europa har efterfrågan på lasermaskiner fortsatt att snabbt öka, något som sporrats av den positiva ekonomiska utvecklingen



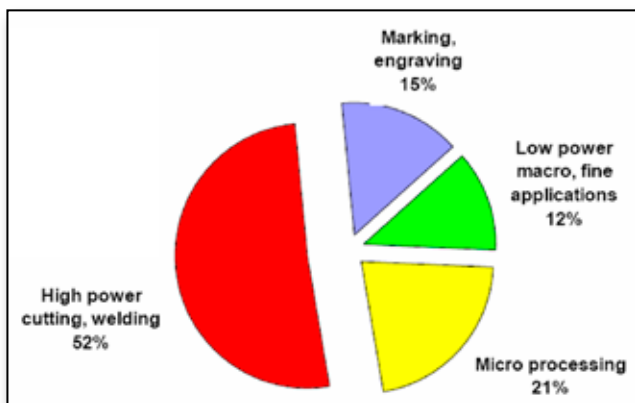
Figur 1. Arnold Mayer i talarstolen under dagarna vid AKL'08 i maj 2008.

där. Allt som allt står Europa idag för 39% av världens investeringar i laserbearbetningssystem. De europeiska lasertillverkarna har tagit fördel av denna positiva utveckling på hemmamarknaderna och därmed ökat sin marknadsandel sett i ett globalt perspektiv. Trots att man säljer world-wide så kommer merparten av inkomsterna från den europeiska marknaden. Dock bör man här notera att även leverantörer från andra kontinenter, exempelvis från Japan, har ökat sina försäljningssiffror i Europa under senare år.

I kontrast till detta tvingas man konstatera att utvecklingen "overseas" varit mindre gynnsam. Faktum är att lasermarknaderna utanför Europa har minskat. Marknaden i Amerika har minskat mycket beroende på en vikande efterfrågan på lasermaskiner i USA, medan Asien uppvisar endast marginella nedgångar. Precis som under de senare åren fortsätter markanden att expandera i Kina, med en årlig tillväxt på cirka 25%, men även här kan en viss avmattning skönjas,



Figur 2a. 2007 års investeringar gjorda i lasersystem avsedda för materialbearbetning i olika delar av världen.



Figur 2b. 2007 års investeringar i lasersystem fördelade mellan olika användningsområden.

och tillväxten i Kina kan inte kompensera för vikande marknader på andra håll i Asien. Beträffande laserbearbetningssystem i Kina är dessa ännu inte i paritet med investeringen i verktygsmaskiner, där landet idag är den ledande konsumenten. Asien, inklusive då Japan, står för 42% av investeringarna i lasermaskiner

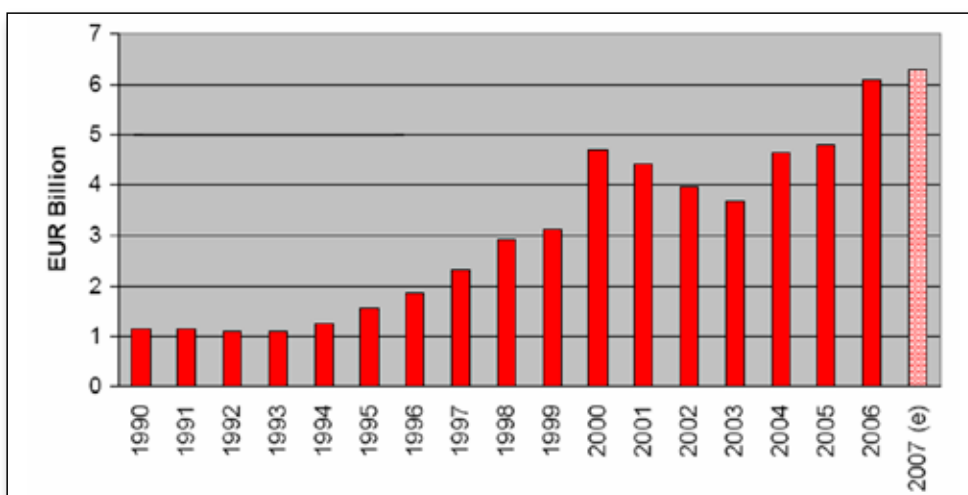
”world-wide”, alltså fortfarande i en knapp ledning över Europa. Däremot står Nordamerika, tack vare en svag efterfrågan och valutaeffekter, idag för blott 14% av de globala investeringarna i lasersystem [Fig. 2a].

Världsmarknaden för laserbearbetningssystem inom makro-området ökade med 6% under 2007 och representerar nästan 5 miljarder euros i investeringar. Lasersystem för högeffektskärning, -svetsning och ytmodifiering, totalt 3,3 miljarder euros, står för lejonparten beträffande makro-bearbetning. Denna omfattar vidare lasersystem för märkning och gravering [nästan 1 miljard euros] samt lågeffektsystem för finskärning, borrning, svetsning samt påläggning och ”rapid prototyping” [samtantaget ungefär 750 miljoner euros].

Världsmarknaden för mikro-bearbetningssystem svarade 2007 för en investering på 1,4 miljarder euros, en siffra som varit tämligen konstant under senare år. Detta segment består av lasersystem för tillverkning av halvledare, plattskärmar, kretskort och solceller. Under 2007 skedde den största tillväxten inom lasersystem för ytmodifiering av plattskärmar och solceller, medan investeringen i lasrar för halvledartillverkning har sjunkit [Fig. 2b].

Sammanfattningsvis ökade världsmarknaden för laserbearbetningssystem från 6,1 miljarder euros 2006 till 6,3 miljarder euros under 2007, detta trots försvagningar av dollar och yen med 9 resp. 10% i förhållande till euron. Denna världsmarknad har haft en genomsnittlig årlig tillväxt på 11,3% under den senaste 20-årsperioden [Fig. 3]. Om hänsyn tas till makroekonomin, ekonomiska fluktuationer samt valutaeffekter är den 5%-iga ökningen 2007 helt i linje med denna mera långsiktiga tillväxttrend.

Om man jämför marknaden för laserbearbetningssystem inom makro-området med tillväxten inom sektorn för verktygsmaskiner inser man lätt intresset för lasertekniken. Medan marknaden för verktygsmaskiner vuxit med 60% under den senaste 20-årsperioden

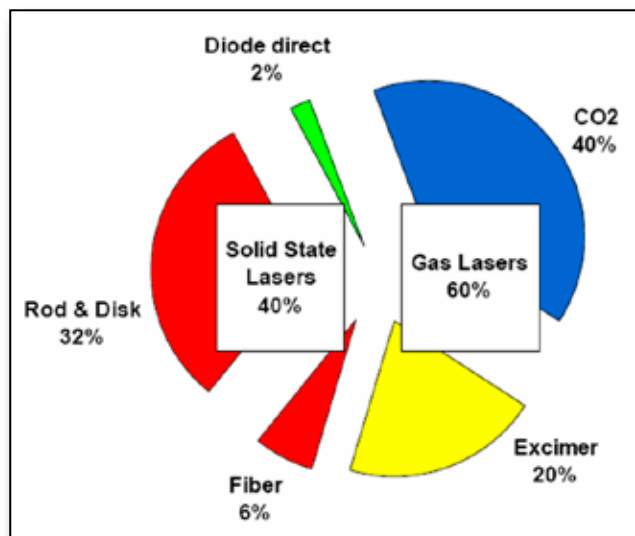


Figur 3. Den årliga investeringen i lasersystem i världen från 1990.

är motsvarande siffra för lasersystemen drygt 800%. Därmed kan man nog förvänta en fortsatt årlig tillväxt mellan 8-9%, även om denna kommer att fluktuera beroende på ekonomiska faktorer. Den förväntade tillväxten bygger bl.a. på antagandet att etablerade processområden som skärning, svetsning och märkning med laser ännu inte är helt mättade. Därutöver kan man förvänta en större tillväxtpotential i centrala och östra Europa samt hos utvecklingsekonomierna i BRIC-länderna [Brasilien, Ryssland, Indien och Kina]. Lägg därtill att nya användningsområden, som de tidigare nämnda plattskärms- och solcellsapplikationerna, troligen kommer att uppstå, varför lasertekniken gå en ljus framtid till mötes.

Om man ser enbart på själva laserkällorna så representerade dessa en volym på 2 miljarder euro world-wide under 2007, en siffra som i princip är konstant jämfört med föregående år. Gaslasrarna dominerar marknaden, där CO₂-lasrarna står för 39% i marknadsandel och excimerlasrar för 21%. Kristallasrarna, inkluderande stav- och disklasrar, representerar 31% av investeringarna, medan fiberlasrar och diodlasrar uppvisar betydligt blygsammare siffror, 6 resp. 2 % [Fig. 4].

Världsmarknaden för laserkällor förväntas växa i samma takt som systemen, d.v.s. med 8-9% per år. Den starkaste tillväxten förväntas ske för diodpumpade kristallasrar [DPSSL = Diode Pumped Solid State Lasers], vilka växer i snart sagt alla applikationsområden, från högeffektssvetsning till precisionsbearbetning. Däremot menar Arnold Mayer att det är lite svårare att prognostisera när det stora genombrottet för fiberlaseranvändning inom de stora, etablerade laserbearbetningssegmenten kommer att ske. ☼



Figur 4. 2007 års investeringar i laserkällor fördelade mellan olika lasertyper.

Peter Norman – ny doktor inom laserbearbetning



Peter Norman tar emot doktorsdiplomet från Professor Jack Samuelsson, betygsnämndens ordförande.

Den 30 augusti försvarade Peter Norman, doktorand på avdelningen för Produktionsutveckling, Luleå tekniska universitet, sin avhandling med titeln "Process Monitoring and Analysis of Laser Welding and Milling".

Peter har arbetat med processövervakning vid fräsning av tunnväggiga konstruktioner och vid lasersvetsning.

Inom lasersvetsning har han utvecklat metoder att simulera den strålning från svetsprocessen som träffar sensorerna i ett processövervakningssystem och att kombinera information från processövervakningssystemet med höghastighetsfilmning. Målet har varit att öka förståelsen för sambanden mellan detekterade signaler i processövervakningssystemet och defekter som kan uppstå i lasersvetsningen. ☼



Nya erfarenheter och bekantskaper då PICALO drog till Mittens Rike

Rapport från 3rd PICALO, Del I.
Capital Hotel, Beijing, PRC, 16-18/4 2008



Av Johnny K Larsson, Volvo Cars

PICALO, som står för Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics, är en förhållandevis ny konferens. Den arrangeras med hjälp av Laser Institute of America [LIA], som ju har en långvarig erfarenhet av att varje år anordna den synnerligen välrenommerade ICALEO-konferensen. I motsats till årligen återkommande ICALEO arrangeras PICALO endast vartannat år och de tidigare två konferenserna har varit förlagda till Melbourne i Australien under beskydd av populäre **Milan Brandt**, institutionsföreståndare vid IRIS [Industrial Research Institute Swinburne] vid Swinburne University of Technology.

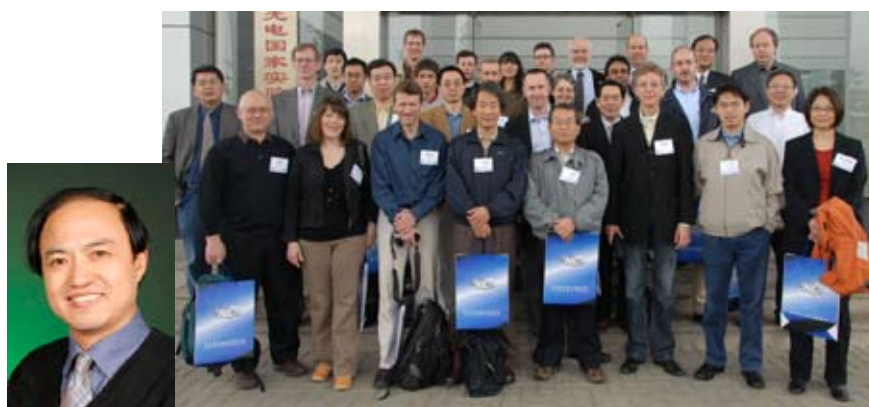
När nu PICALO skulle gå av stapeln för tredje gången hade man valt att vidga utbytet genom att förlägga konferensen till Beijing i Kina, där vi kom att hålla till på Beijing Capital Hotel. Den traditionella Laser Materials Processing-konferensen [LMP] hade nu kompletterats med en Micro, Nano & Ultrafast Fabrication-konferens, vilket var en nyhet för året. Ordförande för den förstnämnda var professor **Lin Li** från University of Manchester, U.K. med god assistans av professor **Hau-Chung Man** från

Hong Kong Polytechnic University i Hung Hom, Kowloon. I den senare turades gamle bekantingen **Yongfeng Lu** [University of Nebraska-Lincoln, NE] och **Xiaoyan Zeng** [Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, PRC] om att hålla i taktpinnen.

PICALO 2008 kom att bli något av en succé, vilket konferensens huvudordförande, den synnerligen sympatiska professor **Minlin Zhong** [Tsinghua University, Beijing, PRC] kunde konstatera i sina slutord [Fig. 1]. Hela 287 delegater från 21 olika länder deltog, något av ett rekord i PICALO-sammanhang. 240 tekniska presentationer, varav hälften var kinesiska, från 17 länder genomfördes under dagarna tre, och ett tret-

tioal laserföretag hade engagerat sig i den utställning, eller "Vendor Reception", som en kväll avhölls under avslappnade former i hotellets Xiang Yun-sal.

Liksom fallet är vid ICALEO-konferenserna erbjöd också PICALO åtskilliga tillfällen till social samvaro och "skvaller" mellan delegaterna och bl.a. arrangerades två stycken "utflykter". Dagarna innan konferensen började kunde man sålunda besöka Wuhan [Fig. 1], som är huvudstad i provinsen Hubei och något av Kinas Silicon Valley. Det sammanlagda värdet av de optiska komponenter som tillverkas här sägs ha en årlig tillväxttakt på 30%, och beträffande optiska fibrer lär man ha den tredje största



Figur 1. T.v. en synnerligen nöjd professor Zhong som vid konferensens avslutning kunde konstatera att PICALO 2008 varit en succé sett ur alla synvinklar. Till höger några bekanta ansikten i den grupp som besökte ett antal laserföretag i Wuhan under "pre-conference"-utflykten.

tillverkningskapaciteten i världen. Under resan gavs PICALO-deltagarna möjlighet att besöka bl.a. National Optical-Electronic Laboratory vid Huazhong University of Science and Technology. Andra intressanta besök avlades hos Chutian Laser Processing Company och Huagong Laser Engineering Company.

Dagen efter konferensens avslutning erbjöds deltagarna ett mer kulturellt inriktat program, vilket självklart omfattade ett besök vid den kinesiska muren. Den del som vi besökte heter Mutian Yu och ligger blott 73 kilometer nordost om Beijing. Här fick vi se ett fantastiskt och välbevarat byggnadsverk på 2,25 kilometers sträckning och såväl digital- som videokameras "gick varma" under de cirka tre timmar som gruppen vistades på muren. På återvägen till Beijing besöktes Ming-gravarna där 13 av kejsarna från Ming-dynastin (1368-1644 e.Kr.) ligger begravda. Här finns bl.a. den vackra Changling-gravplatsen där kejsaren Zhuli ligger begravd tillsammans med flera av sina konkubiner, varav några påstås ha begravts levande tillsammans med den döde kejsaren.

I min fortsatta redogörelse från PICALO-konferensen kommer jag att sammanfatta den tekniska information som kan vara av störst intresse för Lasergruppens medlemmar, men också inflika några verkligt avancerade användningsområden för laserteknik samt några mera kuriösa dito.

Plenary-sessionen

Vid ICALOE-konferenserna har vi ju vant oss vid att LIA:s ordförande Peter Baker hälsar oss välkomna och så var även avsikten här vid PICALO. Emellertid hade denne soignerade gentleman drabbats av bronkitis och tvingats stanna hemma i Orlando. Nu blev det i stället LIA:s president för verksamhetsåret 2008, den

mycket sympatiska Dr. Andreas Ostendorf från LaserZentrum Hannover [LZH, GER] som fick hålla välkomstalet. I detta anknöt han till att det i år är 40 år sedan Laser Institute of America grundades av laserpionjärer som Fred Mairman och Arthur L Schawlow.

Andreas påpekade värdet av ett medlemskap i LIA och de unika tillfällen till "nätverkande" som ett sådant ger, och hoppades få se en stark tillväxt av medlemsantalet. Han gladdes över det stora antalet delegater som sökt sig den långa vägen till Beijing från olika platser i Europa och USA, och citerade vad den gamle filosofen Konfucius sagt 2.500 år tidigare: "It is very nice to have visitors coming from a long distance." Andreas avslutade med att tackade 22 sponsorerna, vilka i vederbörlig LIA-ordning belönades med var sin plakett, samt de två medverkande arrangörsorganisationerna Laser Processing Committee of China Optical Society [LPC-COS] och Tsinghua University.

Därpå följde plenar-sessionen med dess inbjudna talare som delgav oss några av sina avancerade nyutvecklingar under rubriken "The Olympics of Lasers". Först ut var professor Donald Umstadter från University of Nebraska i Lincoln

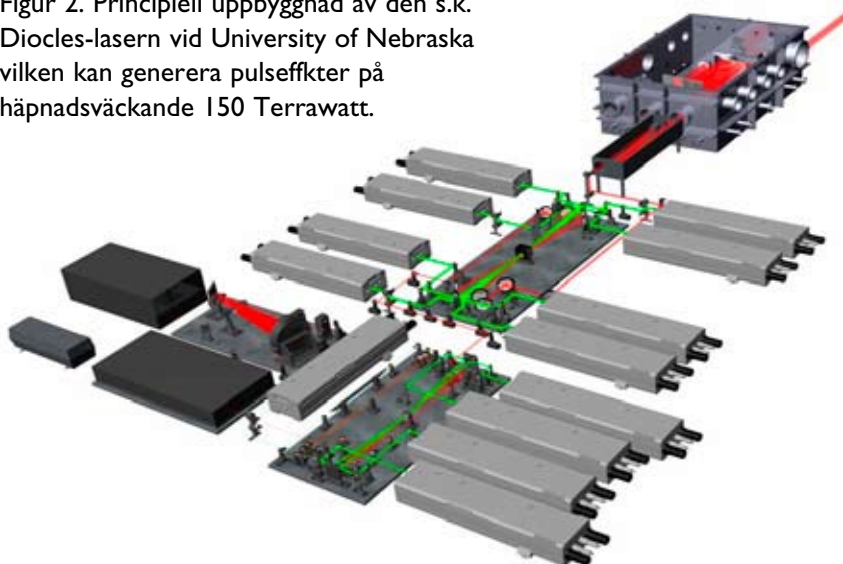
[NE], som berättade om skolans Diocles-laser [Fig. 2], ett namn som man hämtat från den antika historien där Diocles var en man som 2.000 f.Kr. skapa den första solreflektorn.

Det speciella med den nu byggda lasern är att den kan erbjuda pulseffekter kring 150 Terrawatt [= 150.000.000.000 kW] vid pulser i femtosecond-området. Detta resulterar i energitätheter kring 6×10^{22} W/cm², en elektrisk fältstyrka på 4×10^{14} Vm⁻¹, en dito magnetisk kring 1 MT [MegaTesla] och ett tryck på 6 Tbar. Dylka värden menade Dr. Umstadter hittar man bara i svarta hål och supernover!

Man har använt en Titaniumsafir som sista förstärkningselement, och med en deformierbar utkopplings-spegel blir det möjligt att korrigera vågfronten så att energin förblir stabil inom 0,8% under 8 timmars kontinuerlig användning. Med en sådan anläggning blir det möjligt att accelerera elektroner till energinivåer för vilka det krävs enorma avstånd [för partikelacceleration], cirka 10.000 gånger längre då partikelaccelerationen görs på konventionellt sätt, typ anläggningen i Cerns i Schweiz.

En annan finess med Diocles-lasern är att dess stråle fokuserar

Figur 2. Principiell uppbyggnad av den s.k. Diocles-lasern vid University of Nebraska vilken kan generera pulseffkter på häpnadsväckande 150 Terrawatt.





Figur 3. Några exempel där diodlaser används för påläggning (cladding). T.v. påläggning av wolframkarbid för ökad slittålighet, och ovan reparation av skadade rotorblad.

sig själv till skärpedjup på flera millimeter mot cirka 100 μm för normala Raleigh-våglängder.

Vad kan man då ha för praktisk nytta av en dylik skapelse? Ett område kan vara säkerhetsrelaterat, där man i USA numera av förklarliga skäl talar mycket om begreppet "homeland security". Med de här beskrivna pulsenerginivåerna blir det möjligt att detektera radioaktiva och explosiva ämnen som är förvarade i plomberade containrar, och man kan t.ex. läsa texter som sitter bakom 2 tums tjocka stålväggar. Det är t.o.m. så att vid femtosecond-pulser av denna dignitet blir det också möjligt att urskilja de enskilda atomernas rörelser. Mer praktisk användning räknar man emellertid med att få inom medintekniken. Sålunda kan man upptäcka en cancertumör utan att man skadar kringliggande frisk vävnad, något som är risken vid vanlig röntgenstrålning!

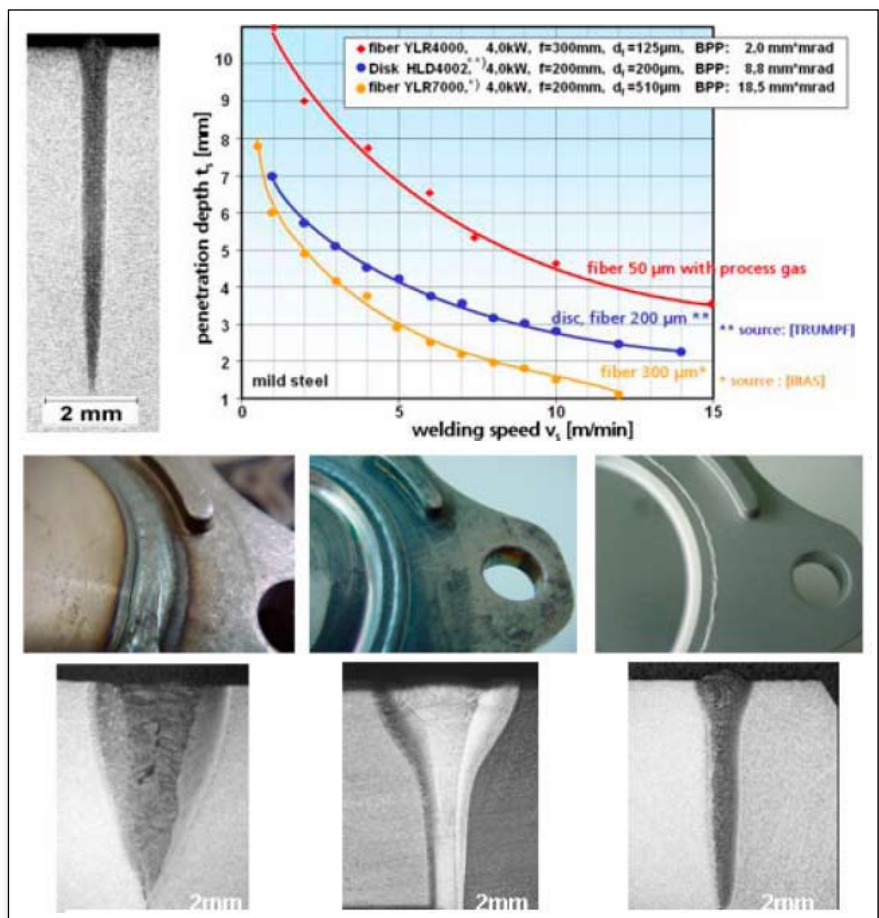
Professor Eckard Beyer [Fraunhofer Institut für Werkzeuge und Strahltechnik (IWS), Dresden, GER] gjorde som vanligt en uppskattad sammanfattning av olika lasertyper och deras huvudsakliga användningsområden. Denna gång slog han ett särskilt slag för diodlasrarna, vilka han menade får allt bättre strålkvalitet, framför allt i det högre effektområdet, och därmed ökar den potentiella användningen av denna lasertyp. Ett exempel på detta är laserhårdning med "scanner"-teknik ner till hårdjup på över

1 mm. Denna uppställning kombinerad med en infraröd kamera för processövervakning var något som vi kände igen från IWS-kollegan Stefan Bonss presentation vid NOLAMP förra året.

Andra traditionella användningsområden för diodlasrar är lödning och ytbeläggning [Fig. 3]. CO_2 -lasern håller sin ställning som bästa alternativ för skäroperationer, men förväntas också få en stor betydelse i framtiden vid bearbetning av syn-

tetiska material och keramer p.g.a. våglängdens fördelaktiga absorbtionssegenskaper beträffande sådana material. Nd:YAG-lasrarna är de beprövade "arbetshästarna" då det kommer till tredimensionell svetsning med laser, men här indikerade professor Beyer att vi i framtiden kommer att få se stora förändringar då högeffektfiberlasrarna till stora delar kommer att ta över!

Vid "scanner"-svetsning är denna lasertyp ett ganska självklart val,



Figur 4. Penetrationsförmågan vid svetsning med olika laserkällor och strålkvalitet (överst). Djupsvetsning av en växellådsdetalj utförd med i tur och ordning CO_2 -laser, elektronstråle och fiberlaser (underst).

men även då det rör sig om konventionell lasersvetsning med krav på djup penetration har fiberlasern med sin utmärkta strålkvalitet ett försteg framför sina konkurrenter. Här visade han på försök gjorda med en 4 kW fiberlaser med en strålkvalitet på 2 mm*mrad matad via en 50 µm grov fiber med vilken man åstadkommit 8 mm djupa svetsar vid en framföringshastighet på 4 m/min [Fig. 4]!

Även inom laserskärning i tunt material är fiberlasern överlägsen, och man kan här konstatera att man med en 1 kW fiberlaser kan uppnå samma skärhastigheter som då en 3 kW CO₂-laser används. Dock bibehåller CO₂-lasern sin ledande ställning då det blir frågan om skärning i grövre tjocklekar >10 mm, där ju fiberlasern ännu inte lyckats uppvisa några acceptabla snittytor. Grövre snittytor vid skärning i koppar, mässing och magnetiska material begränsar också fiberlaserns användning som skärlaser, men professor Beyer menade att han har vissa idéer kring hur detta skall lösas. Spännande!

Siste talare under plenarsessionen var Jinmin Li från Institute of Semiconductors CAS, Beijing [PRC], som gav en bred exposé över den utveckling av laserkällor som pågår i Kina för tillfället. Det sker en omfattande satsning på diod-sidopumpade Nd:YAG-lasrar där man idag har en kommersiell 8 kW-produkt med 30 mm*mrad i strålkvalitet och en elektrisk-optisk verkningsgrad på över 20%. Men även andra lasertyper erbjuds från kinesiska tillverkare och bl.a. nämndes 1 kW hörnpumpad slablaser, 3,3 kW ändpumpad disk laser och 1,2 kW ändpumpad fiberlaser. Dock tittar man också på möjligheterna med sidopumpade fiberlasrar.

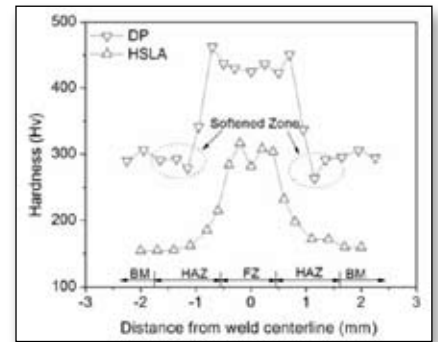
En speciell kinesisk lasertyp är en s.k. SSHCL [Solid State Heat Capacity Laser] med effekter upp till 8,7

kW men med en begränsad driftstid. Även diodlasarna är föremål för intresse i Kina. Idag kan man utvinna 20 W från en diodstav, men man räknar snart med att kunna fördubbla den siffran. Detta skulle ge möjlighet att bygga diodstaplars som kan avge 1 kW per styck. Genom Q-switchning och ett MOPA-system [Master Oscillation Power Amplifier] menade Dr. Li att det skulle vara möjligt att utvinna 100 W/stav och 10 kW från en stapel med en BPP [Beam Parameter Product] på 33 mm*mrad, en effektstabilitet på 92% och en 20%-ig optisk verkningsgrad. Det är bara att önska våra kinesiska kollegor lycka till i deras ambitioner.

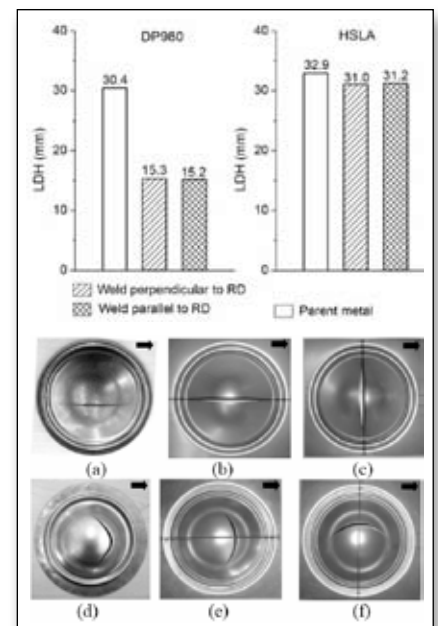
Lasersvetsning av olika material

Ett antal av de presentationer som gavs var riktade mot bilindustrin och svetsning av de höghållfasta stål-kvaliteter som där börjat bli alltmer vanligt förekommande. Dr. Norman Zhou från University of Waterloo [ON, Canada] hade studerat formbarheten av s.k. Tailored Blanks, dvs. stumsvetsade plåtar i kvaliteterna HSLA [High Strength Low Alloy] 450 och DP [Dual Phase] 980 med en tjocklek på 1,2 mm. Svetsningen hade utförts med såväl diodlaser som Nd:YAG-laser i hastighetsintervallet 1,6-6,0 m/min. Den lägre svetsningshastighet som användes vid diodlaserförsöken resulterade i en lägre hårdhet i HAZ [Heat Affected Zone] [Fig. 5].

De svetsade plåtarna hade sedan utsatts för formbarhetsprov i form av LDH-test [Limit Dome Height] och här kunde man konstatera avsevärda skillnaderna mellan de två materialtyperna. För DP-materialet minskade formbarheten 44% jämfört med grundmaterialet, medan motsvarande siffra för HSLA-kvaliteten var blott 4%. En annan iakttagelse var att brottmoden inte bestämdes av plåtarnas valsriktning



Figur 5. Karaktäristisk uppmjukning i HAZ vid lasersvetsning i EHSS (Extra High Strength Steels) som i detta fall är DP980. Grundmaterialens hårdhet är 294 Hv (DP980) resp. 163 Hv (HSLA450).

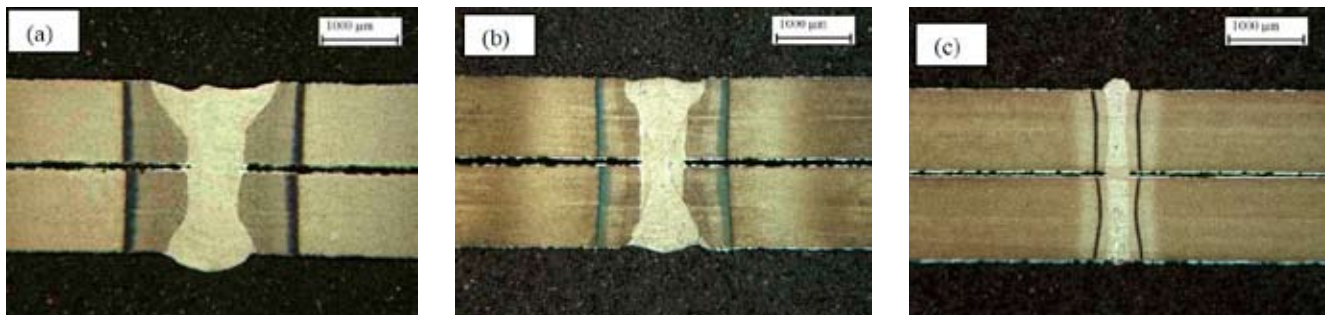
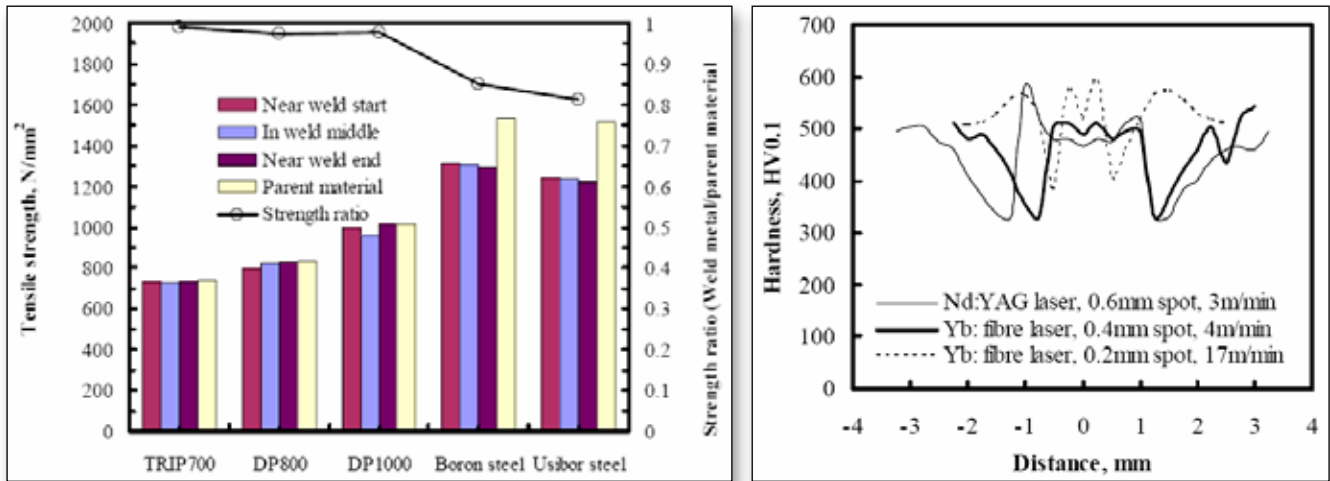


Figur 6. En avsevärd skillnad i formbarhet (LDH-prov) mellan ämnesskarvat DP980 resp. HSLA450 kan ses i stapeldiagrammet.

Under illustreras brottbeteendet för DP- (a-c) och HSLA-materialet (d-f), där pilarna indikerar plåtarnas valsriktning.

utan endast var att relatera till svetsens utsträckning [Fig. 6].

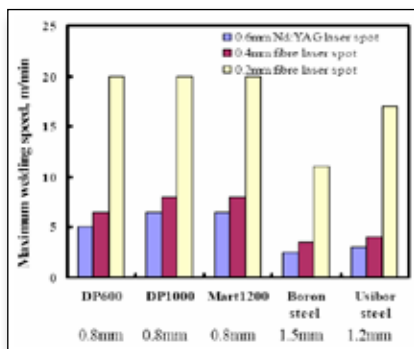
Dr. Zhou slutsats blev att den hårdhetsökning man får i svetsgodset pga. det snabba svetsförloppet är underordnad den uppmjukning man får i grundmaterialet då det gäller brottbeteendet vid denna typ av formbarhetsprov. Dock kan hård-



Figur 7. Inverkan av olika fokalpunksstorlekar på svets hastighet och hårdhet vid svetsning med 4 kW effekt. I undre raden fr. v. tvärsnitt från svetsar utförda med 3, 4 resp. 17 m/min svets hastighet.

heten i svetsgodset få betydelse om det skarvade ämnet ingår i en komponent som blir utsatt för krockbelastning.

Temat lasersvetsning av höghållfasta material för bilindustrin var även innehållt i Dr. Steve Shis [The Welding Institute (TWI), Cambridge, U.K.] föredrag. Tre olika laserkällor hade använts vid försöken; en 4 kW Nd:YAG laser och två Yb-fiberlasrar på 5 resp. 7 kW. Inverkan av olika fokalpunksdiametrar på 0,2, 0,4 och 0,6 mm hade studerats vid svetsning av såväl stum som överlappsfogar [Fig. 7]. Materialkvaliteterna var DP600, DP800, DP1000, TRIP [Transformation Induced Plasticity] 700, ett martensitiskt stål med 1.200 MPa brottgräns samt obelagt och belagt, s.k. USIBOR®, Borstål. Två tjocklekar hade studerats 0,8 och 1,5 mm. Det kunde konstateras att HAZ minskar med ökad svets hastighet, men att det som bestämmer hållfastheten i framför allt överlappssvetsarna är



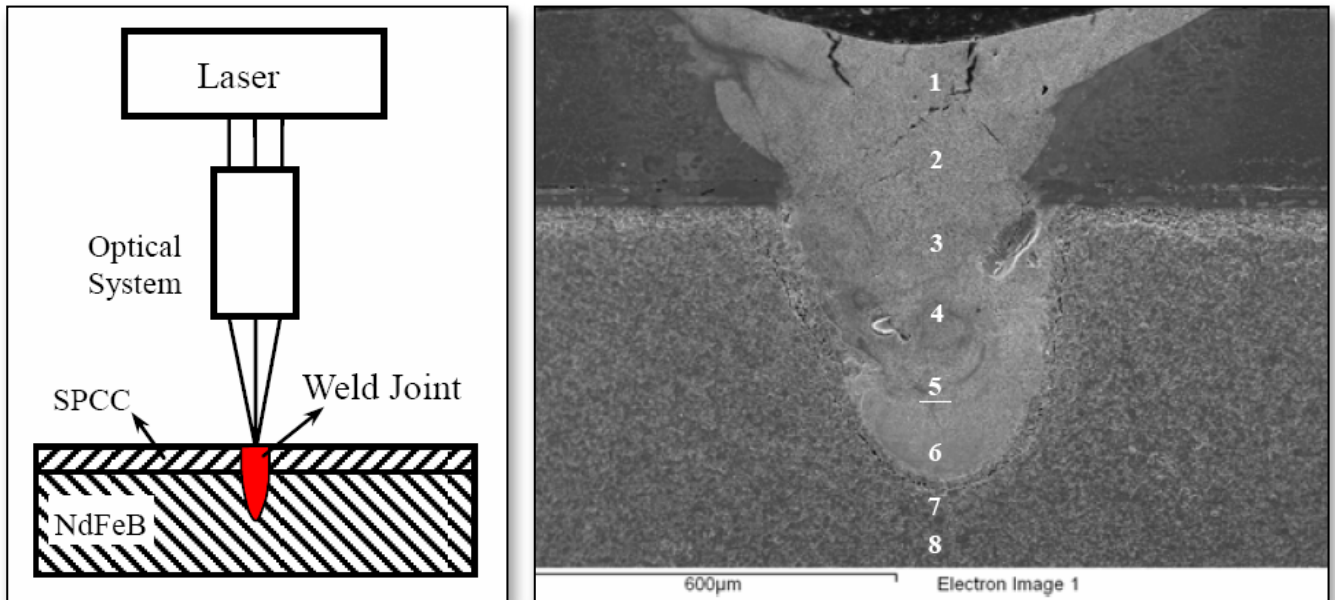
Figur 8. Relationen mellan svetsens och grundmateriallets hållfasthet vid överlappssvetsning av några olika höghållfasta materialkvaliteter.

svetsbredden och inte metallurgiska effekter genererade av olika processinställningar. En tumregel är att upp t.o.m. material med 1.000 MPa brottgräns är svetsens hållfasthet likvärdig med grundmaterial, men för plåtkvaliteter med ännu högre hållfasthet kan man bara räkna med att svetsen motsvarar 85% av materialets hållfasthet [Fig. 8]. Dr. Shi påpekade vidare att vid svetsning av höglegerade material som t.ex.

Borstål bör man vara medveten om risken för väteförspädning.

En intressant, men mindre professionellt framförd presentation, gällde svetsning av magnetiskt material [NdFeB i N48 kvalitet] till kallvalsat SPCC-stål, och där den tänkta applikationen var en mikrofon. Här var det Baohua Chang från Tsinghua University [Beijing, PRC] som redogjorde för de genomförda försöken. Svetsningen av denna överlappsfog, där den infallande laserstrålen träffade SPCC-sidan, hade utförts som punktsvetsning med hjälp av en pulssad Nd:YAG-laser [Fig. 9].

Variabler var pulsenergi, pulslängd, pulsfrekvens och olika fokusavstånd. Man hade kommit fram till att längre pulser, optimal defokusering och Argon som skyddsgas är fördelaktigt, och de bästa resultaten erhöles vid en pulseffekt på 1,5 kW och en dito längd av 4 ms. Då kunde man med en enda puls skapa en svetspunkt med ungefär 1 mm diameter mellan de båda



Figur 9. T.v. den schematiska uppställningen vid laserpunktsvetsning av en blandskarv där en av komponenterna är det magnetiska materialet NdFeB, och t.h. ett tvärsnitt genom sagda punktsvets.

materialen. En intressant observation var den att hårdheten var låg i centrum av denna punktsvets men avsevärt högre i dess omkrets [Fig. 10]. De huvudsakliga problemen vid svetsning i magnetiska material är uppkomsten av porer, sprickor och kratrar, men dessa resultat från Tsinhua-universitetet visade att man med rätt valda laserparametrar kan övervinna dessa problem.

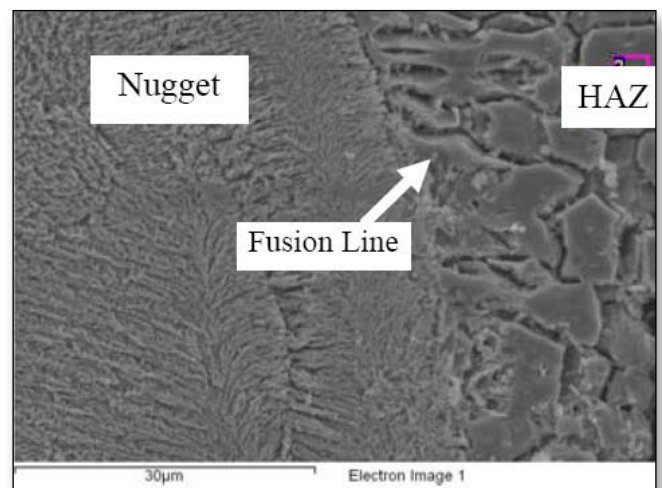
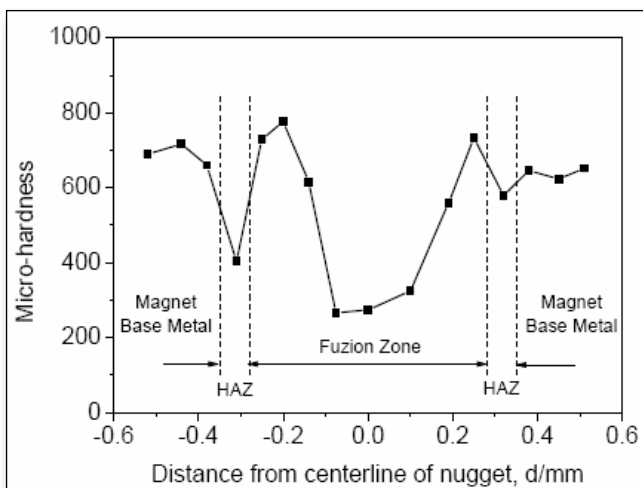
Chi Tat Kwok från University of Macau [Taipa, PRC] hade genomfört lasersvetsningsförsök av rostfria material. Såväl austenitiska [S30400 och S31603] som duplexa [S31803 och SS32760] hade ingått i studien, och man hade använt

en 2,5 kW cw Nd:YAG-laser och Argon-skyddsgas vid svetsningen. Materialen hade stumsvetsats mot varandra, såväl artlika men även i mixar av austenitiskt-duplext. Den använda lasereffekten var 0,9 kW, fokuspunktsdiametern cirka 1 mm och framföringshastigheten vid svetsningen var 35 mm/sek.

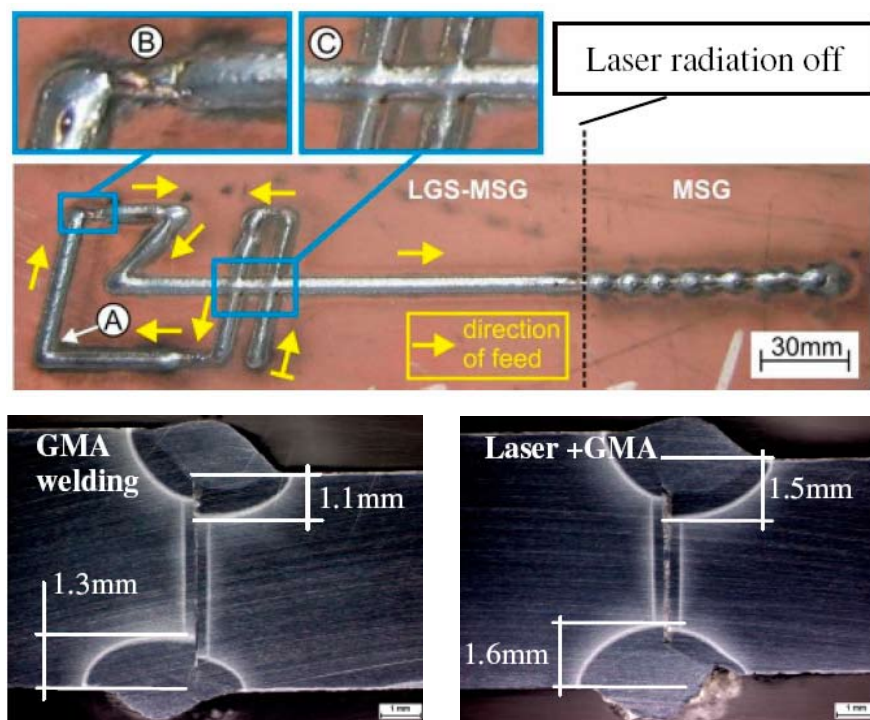
En omfattande analys hade gjorts av mikrostrukturen med hjälp av bl.a. optisk mikroskopi, röntgen-diffraktion, EDS [Energy Dispersive Spectroscopy] samt hårdhetsmätning. I blandskarvarna kunde man konstatera att hårdhetsbidraget i svetsgodset företrädesvis kommer från den duplexa sidan. Även kor-

rosionsbeteendet hade undersökts i en 3,5%-ig Natriumkloridlösning i rumstemperatur [23°C]. Här kunde man se att korrosionsmotståndet är bättre i blandskarvarnas svetsar jämfört med de helt austenitiska materialkombinationerna, och att de korrosionsprodukter som bildas alltid uppstår på den "austenitiska sidan" genom galvaniska effekter.

Några "kombinationsprocesser" presenterades också vid denna session. Först fick vi lyssna på Jörg Hermsdorf från LaserZentrum i Hannover [GER]. Hans forskargrupp hade studerat en laserhybridprocess där man använde en blott 400 W kraftig laser, vars syfte



Figur 10. Intressant hårdhetsfördelning genom laserpunktsvetsen (t.v.) och t.h. mikrostrukturen kring smältzonen.



Figur 11. Uppenbar skillnad i processtabilitet mellan hybridsvetsning och gasetallbågs svetsning (överst), och under syns den förbättrade penetration som man får vid laserhybrids svetsning.

endast var att stabilisera den elektriska ljusbågen från smältsvetsprocessen. Det är nämligen så att man med hjälp av lasern kan öka ledningsförmågan i ljusbågen och därmed stabilisera svetsförloppet vid exempelvis TIG-svetsning [Tungsten Inert Gas] av aluminium. Som laserkälla hade en diodlaser med våglängd 808-811 nm använts och laserstrålen måste fokuseras till en brännfläck på ungefär 300 µm om den önskade stabiliseringseffekten skall erhållas. Dessutom bör fokuspunkten positioneras ungefär 3 mm ovanför arbetsstycket.

Även med denna relativt låga lasereffekt fick man typiska hybridfördelar som ökad svetshastighet och bättre penetration jämfört med en renodlad GMAW-process [Gas Metal Arc Welding] [Fig. 11]. Dr. Hermsdorf påpekade att man med en dylik stabiliseringsmetod kan använda smältsvetsning för nya geometrier och i trånga utrymmen där man annars skulle riskera att kortsluta ljusbågen mot närliggande

ytter och andra detaljer som t.ex. skruvar och konsoler.

En mer udda kombinationsprocess föredrogs av Yvonne Durand från Cast Cooperative Research Centre vid Swinburne University of Technology [Hawthorn, AUS]. Hon hade tittat på den problematik man har med sprödbrott då man använder stansnitteknik [Self-Pierce Riveting (SPR)] för sammanfogning av lättviktsmaterial som aluminium och magnesium. Just magnesium har låga förlängningsvärden och då stansnittekniken är ett slags formningsprocess är risken uppenbar att materialet vill spricka. Dr. Durands förslag var därför att förvärma magnesiummaterialet med hjälp av en laserstråle.

I studien ingick 2 och 3 mm pressgjuten Magnesium i kvaliteterna AM50 och AM60, 3,3 mm stränggjuten AZ31-O, 2 mm tjock aluminiumplåt i kvalitet 5005-H34 och 1,5 och 3 mm extruderad A6060-T5. Dessa material hade kombinerats på olika sätt,

dock med preferensen att placera magnesiummaterialet på dynsidan pga. korrosionsaspekter. En 2,5 kW Nd:YAG-laser hade använts i experimenten där strålen defokuserats till en brännfläck med 35 mm diameter på arbetsstycket vilket gav en yttemperatur kring 330°C. Själva uppvärmningen tar 3,5 sekunder per punkt, och den totala cykeltiden för en stansnitoperation enligt detta koncept ligger kring 5 sekunder.

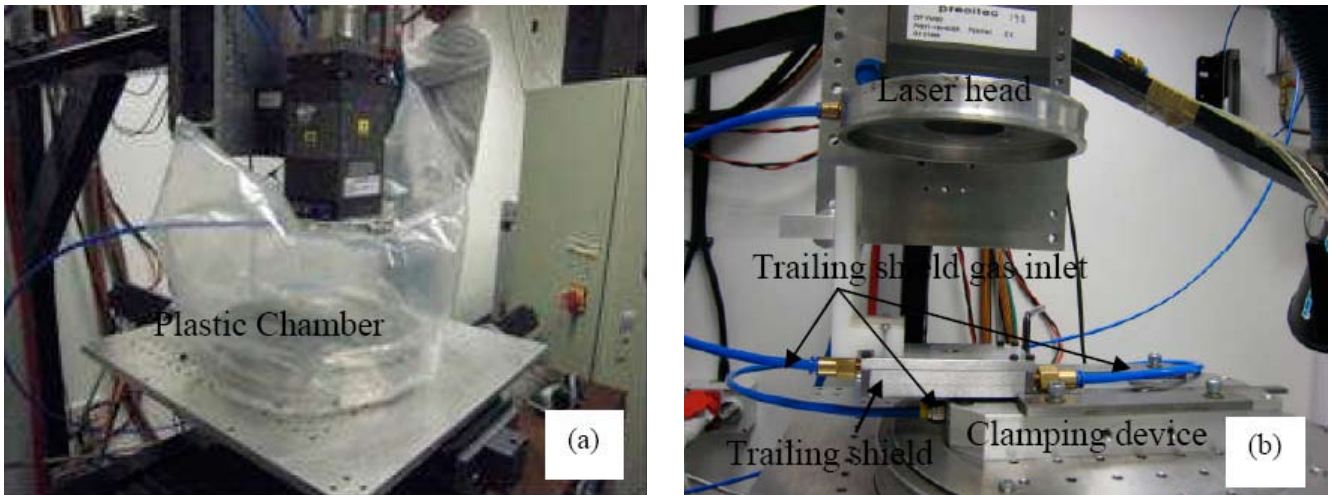
Att denna idé har positiva effekter på såväl nitningsprocess som nitförbandets kvalitet och hållfasthet visades med all önskvärd tydlighet. Frågan är bara om det finns applikationer där metoden med sin förhållandevis långa cykeltid kan vara användbar?

Laserbearbetning av Titanlegeringar

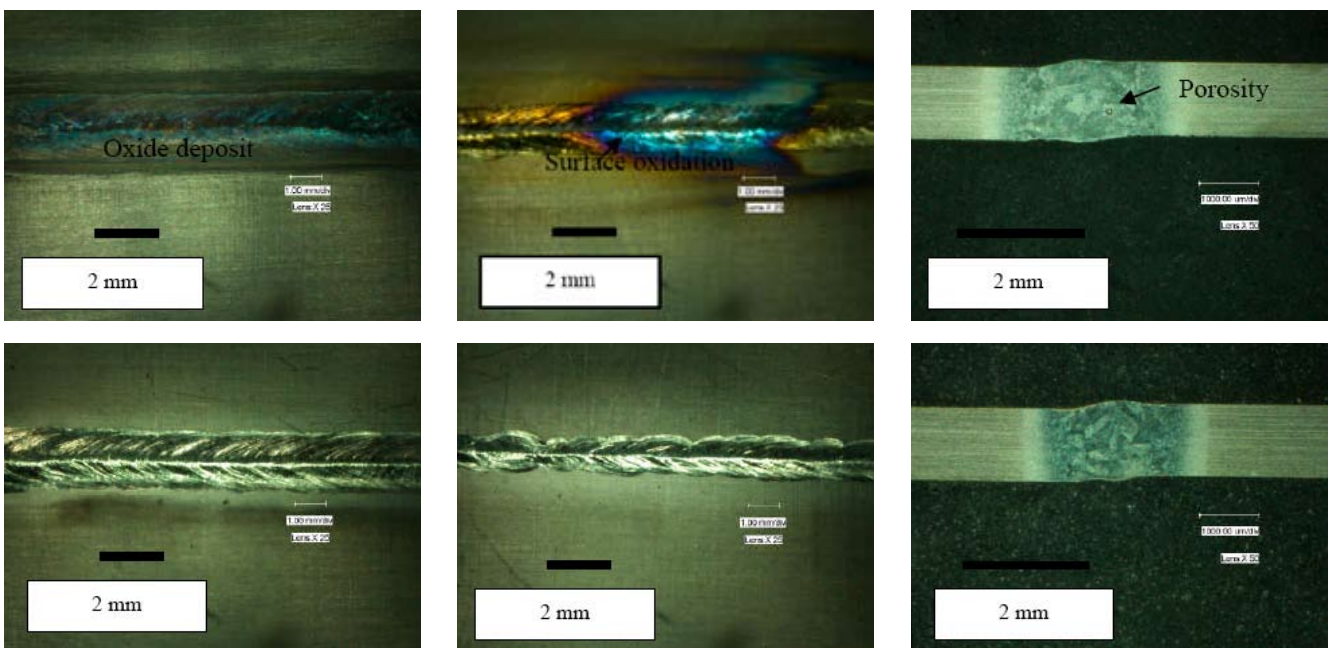
Ett material som återkom i ett flertal av presentationerna vid årets PICALO-konferens var Titan. Inte minst inom flyg- och rymdindustri används detta lättviktsmaterial som har höga prestandavärden vad gäller styrka och korrosionsmotstånd. Olika titanlegeringar används flitigt i strukturerna till Boeing 777 och Airbus A380, och de utgör ungefär 40% av totalvikten för moderna stridsflygplan.

Hittills har nitning och andra typer av mekaniska sammanfogningstekniker varit dominerande, men med tanke på lasersvetsningens ringa materialpåverkan har denna metod blivit ett intressant alternativ. Shui-Li Gong från forskningsinstitutet BAMTRI i Beijing [PRC] berättade lite om de slutsatser som kunde dras utifrån genomförda svetsför-

sök. Sålunda ansåg han att någon form av rengöring av ytorna var nödvändig innan svetsning, liksom användandet av relevant skyddsgas, för att en acceptabel svetskvalitet skulle erhållas. Genom att använda aktiva



Figur 12. Olika försöksupställningar då det gäller tillförsel av skyddsgas vid svetsning av Ti6Al4V; a) gaskåpa i form av en försluten plastpåse och b) ”släpande”.



Figur 13. Toppyta, rotsida och tvärsnitt för svetsar utförda med 600 W lasereffekt och 1 m/min i svets hastighet. ”Släpande” skyddsgastillförsel med utlopp 10 mm (överst) resp. 2 (under) från arbetsstycket.

flusmedel vid CO₂-svetsning av Titanlegeringar kan s.k. undercuts undvikas. Vidare rekommenderade han någon form av efterföljande värmebehandling av svetsgodset för att förbättra dess utmattningsgenskaper.

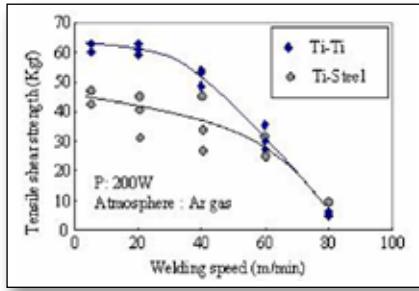
Fiberlasersvetsning av 1,2 mm tjock Ti6Al4V hade undersökts av **Jongkol Iammi** från University of Nottingham [U.K.]. Han hade använt sig av en 2 kW YLR-2000 från IPG, en 200 µm grov distributionsfiber och en fokuseroptik med 125 mm brännvidd. Speciellt hade

skyddsgasens inverkan undersökts, och denna hade tillförts antingen som ”släpande” eller i en gaskåpa, vilken utgjordes av en försluten plastpåse som var monterad på svetsverktyget [Fig. 12].

Med 600 W använd lasereffekt uppnåddes en svets hastighet på 750 mm/min vid stumfogar. Vid högre effekter bildades plasma i gaskåpan, varför detta inte är en lösning att rekommendera. Däremot erhöles fullgoda svetsar vid högre effekter och svets hastigheter då den ”släpande” skyddsgastillförseln använ-

des. Detta förutsatte dock att munstycket inte låg längre bort från arbetsstyckets yta än 2 mm [Fig.13]. I dylika fall kunde man svetsa med 3,5 m/min vid 1 kW lasereffekt och motsvarande 7 m/min vid 2 kW effekt.

Fiberlaser hade också använts vid de försök som **Seo-Jeong Park** från RIST [Research Institute of Industrial Science & Technology] i Pohang [RSC] redogjorde för. Här rörde det sig emellertid om en helt annan dimension, nämligen svetsning av 50 µm tunna folier av Titan,



Figur 14. Svets hastighetens inverkan på skjvdraghållfastheten hos lasersvetsade Ti-Ti och Ti-stål-kombinationer.

som antingen svetsats till varandra eller till stål. För ändamålet hade en "single-mode" fiberlaser använts där effekten varierats mellan 50-300 W och svets hastigheterna låg mellan 5-80 m/min.

Med en fokalpunktsdiameter på 23 µm skapades något som Dr. Park kallade mikro-nyckelhål. Såväl luft som Argon hade utvärderats som skyddsgas, och här kunde man konstatera att Argon gav en svets som uppvisade högre styrka vid dragprovning av Titan-Titan-kombinationer. Titan-stål-kombinationerna hade en lägre hållfasthet pga. de intermetalliska faser som uppstår

Svets hastighet [mm/sek]	Min. fiberlasereffekt [kW]	Min. Nd:YAG-lasereffekt [kW]
60	0,55	2,0
80	0,60	2,2
100	0,65	2,6

Tabell 1. Maximal svets hastighet vid olika effektuttag vid stumfogssvetsning av 2 mm tjock Ti6Al4V.

vid svetsningen, men något som var intressant var att då svets hastigheten ökades till att ligga kring 60 m/min blev hållfastheten i dessa blandskarvar likvärdig med den för de rena Titan-kombinationerna [Fig. 14].

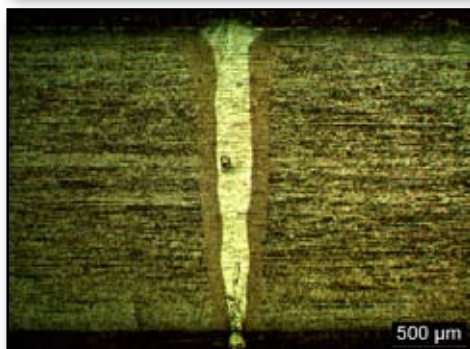
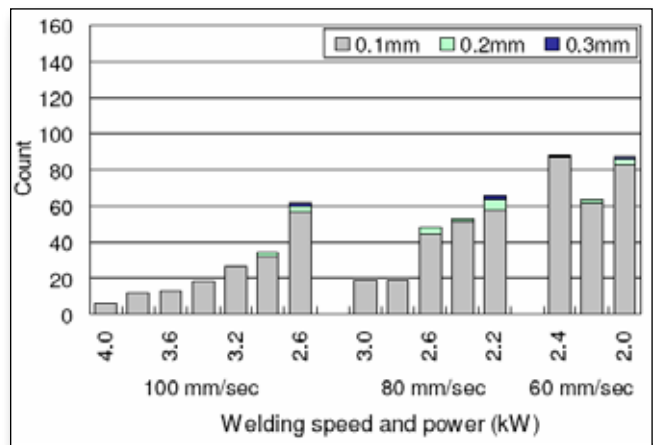
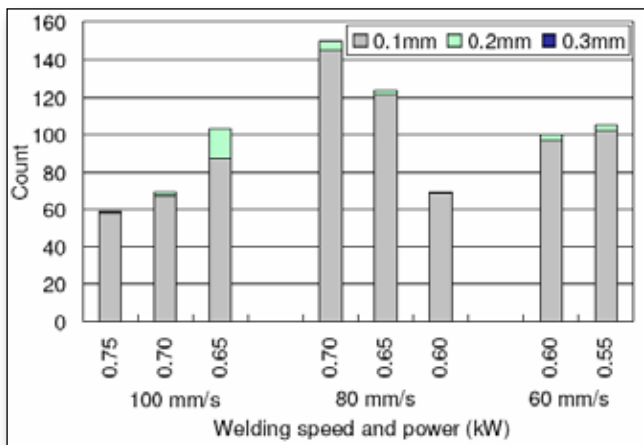
Andrew Pinkerton från University of Manchester, U.K., hade jämfört vad som krävdes i effektuttag mellan en 1 kW single-mode fiberlaser [BPP = 2 mm*mrad] och en Nd:YAG-laser [23 mm*mrad] för stumsvetsning av 2mm tjock Ti6Al4V. De erhållna resultaten framgår av Tabell 1.

Svetsarna hade analyserats med avseende på den värmepåverkade zonens storlek, porförekomst, mikrostruktur samt hållfasthet. Något överraskande hade de olika svets hastigheterna inte lett till någon hårdhetsskillnad i svetsgodset. Fiberlasersvetsningen hade gett en

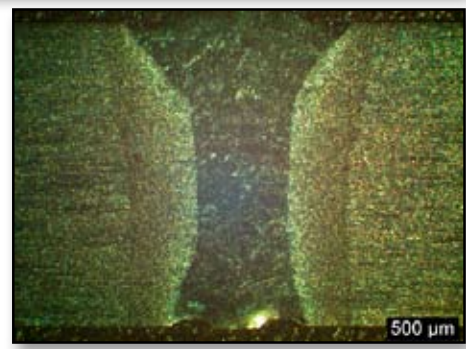
högre porandel [Fig. 15]. Andrew menade att detta kunde bero på att skyddgasarrangemangen var olika i de båda försöksserierna, något som han fick svidande kritik för.

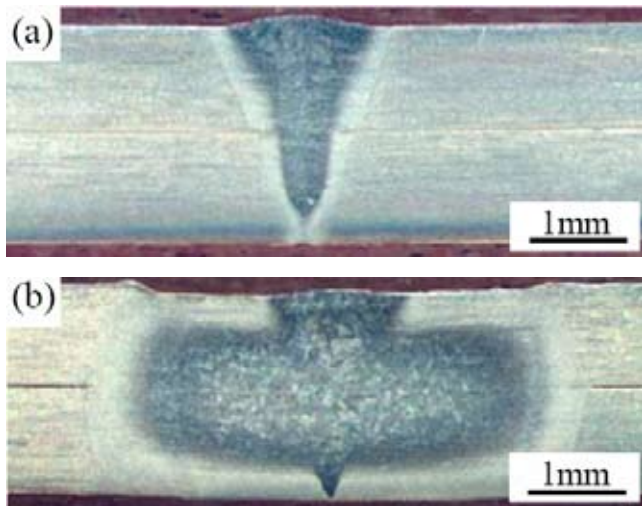
En något udda lösning var den kombinationsprocess som föredrogs av Xinge Zhang från Harbin University of Technology [Harbin, PRC] då det gällde överlappssvetsning av 1,5 mm tjock Ti6Al4V. För att eliminera de porer som uppstod vid lasersvetsningen anbringades en efterföljande metod i form av rullmotståndssvetsning [mash-seam welding], med vilken man åstadkom en omsmältning och därmed en porfri svets [Fig. 16].

Av förklarliga skäl blev brottbeendet helt olika för de båda förfarandena då den med rullsvetsning bearbetade lasersvetsen blev betyd-

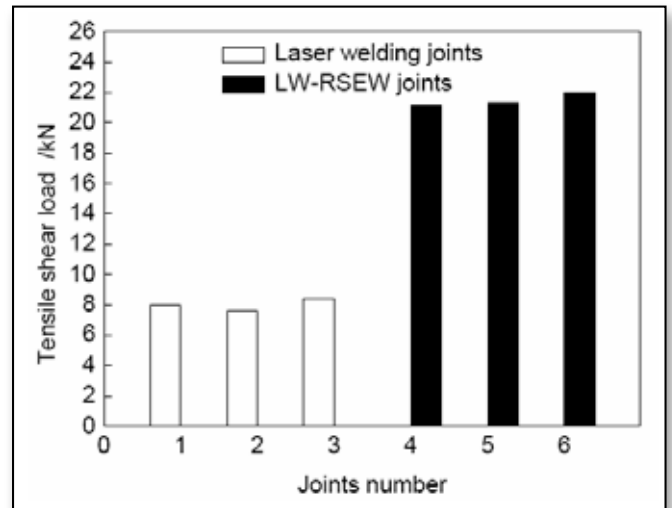


Figur 15. Porandel vid lasersvetsning av Ti6Al4V med olika processinställningar. Resultat från fiberlasarförsök t.v. och för Nd:YAG-laser t.h.





Figur 16. Tvärsnitt och förekomst av porer i lasersvetsat Ti6Al4V (a), och med efterföljande rullmotståndssvetsning (b).



Figur 17. Resultat från skjuvdragprovning av lasersvetsade (t.v.) och med rullmotståndssvetsning bearbetade dylika svetsar (t.h.) i Ti6Al4V.

ligt bredare än sitt original. Medan brottet i den enbart lasersvetsade varianten skedde som ett fogytebrott pga. den lilla bindande ytan, skedde det duktila brottet i HAZ för kombinationsprocessen vid en maximal spänning på 787,3 Mpa [Fig. 17]. Den praktiska tillämpningen av en dylik kombinationsprocess torde kunna diskuteras, men Dr. Zhang hade framtida planer på att kunna köra de två processerna simultant, och att också använda processen vid T-fogar för att förbättra lasersvetskvalitén.

Humping-effekter vid höghastighetssvetsning

S.k. humping är ett fenomen som uppkommer då man svetsar med hög hastighet. Laser strålen tenderar då till att förlora kopplingen till nyckelhål och smälta, varvid processen blir instabil och svetskvalitén undermålig. Fenomenet har studerats alltsedan man började använda lasern som ett verktyg för svetsning och olika teorier om hur man skall undvika humping har torgförts under årens lopp.

En person som ägnat mycket av sin forskargärning åt humpingproblematiken är professor Rémy Fabbro från LALP (CNRS)/GIP

GERAILP i Arcueil i Frankrike. Via försök genomförda på rostfritt material i kvalitet 304L och med en tjocklek på 0,6 mm hade hydrodynamiska fenomen kunnat observeras allteftersom svetshastigheten ökades. Man hade använt sig av en 4 kW Nd:YAG-laser med s.k. top-hat-mode och svetsförloppet hade filmats med en 30 kHz höghastighetskamera medan svetsområdet belystes med halogenlampor. Resultaten gav vid handen att Dr. Fabbro kunde dela upp svetsprocessen i intervall [Fig. 18].

Experimenten visade att det finns ett starkt samband mellan å ena sidan lasereffekt, svetshastighet och lutningen på nyckelhålets framkant [Fig. 19], men också plasmatrycket ökar med ökande svetshastighet. Sålunda uppmättes 9 kPa i Rosenthal-området men hela 20 kPa i humping-området. För att motverka humping är det därför rekommendabelt att skapa någon form av mottryck genom att skicka ner skyddsgas med mycket hög hastighet, 100 m/sek, i själva svetsmältan. Detta är något som validerats i försök som presenterats av Dr. Fabbro vid tidigare tillfällen.

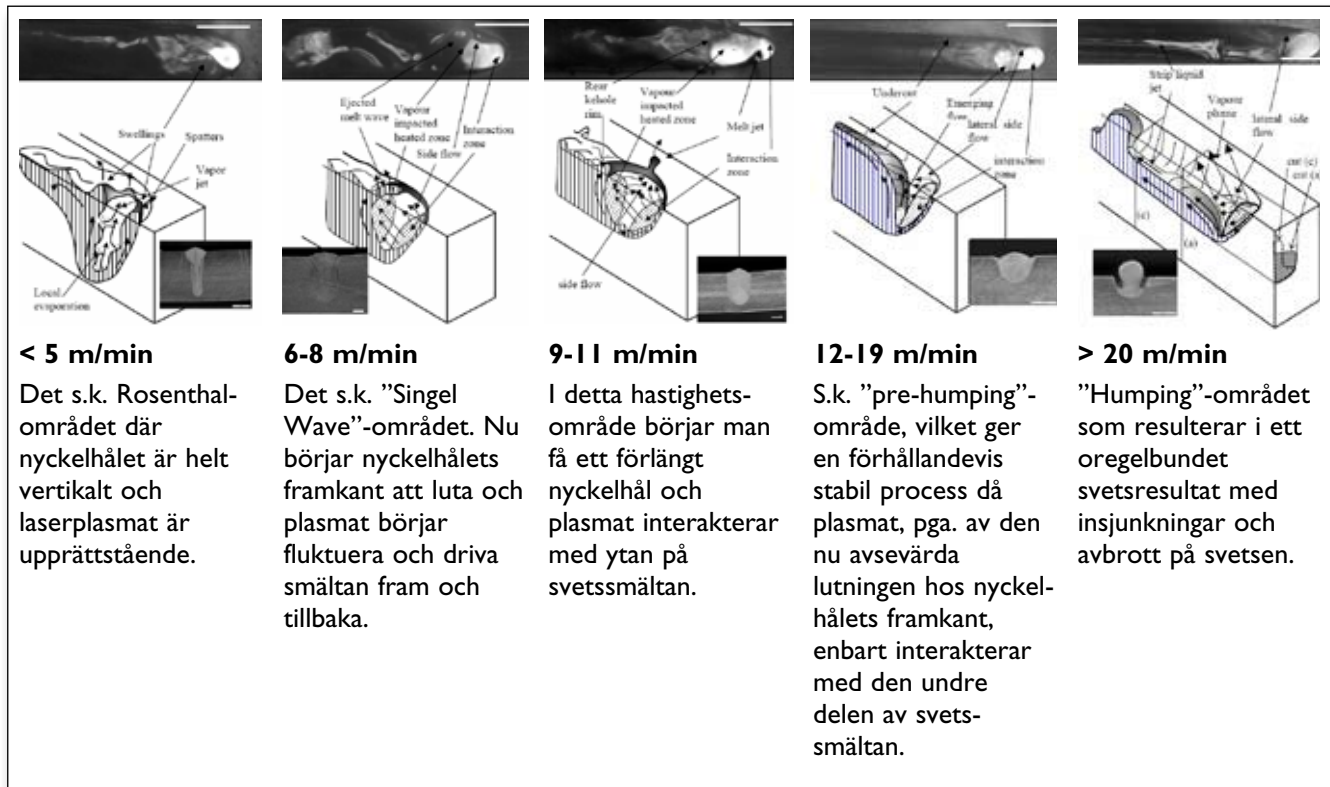
Detta med effekten av att addera ett externt gasflöde till smältan

var något som också studerats av El-Hachemi Amara från Advanced Technology Development Centre [CDTA] i Algeirs [ALG]. Vad vi förstod har han bedrivit sin forskning i nära samarbete med professor Fabbro, men valt att satsa på simulering av svetsprocessen. Hittills hade han bara hunnit med att betrakta nyckelhålsprofilen i Rosenthal-området, men detta visualiserades på ett högst imponerande sätt.

Mjukvaruprogrammet som hade använts var Fluent 6.1 med preprocessorn "Gambit" för tredimensionell återgivning. Man kunde konstatera att genom att rikta en inert gasstråle från rätt avstånd och med rätt infallsvinkel mot nyckelhålet kan man få en jämnare och mer kontrollerad rörelse i smältan.

Kommande simuleringsaktiviteter inom Dr. Amaras forskning avsåg att behandla porbildning vid svetsning av Aluminium och Magnesium samt simulering av svetsprocessen i humping-området.

Axel Hess hade också tittat på humping-effekter nu vid lasersvetsning av 50 µm tunna rostfria folier. Försöken hade utförts i SHARP, ett projekt inom det internationella lasernätverket BRIOLAS. Man hade använt sig av en single-mode fiber-



Figur 18. Strömningen i lasersmältan vid svetsning med olika hastigheter.

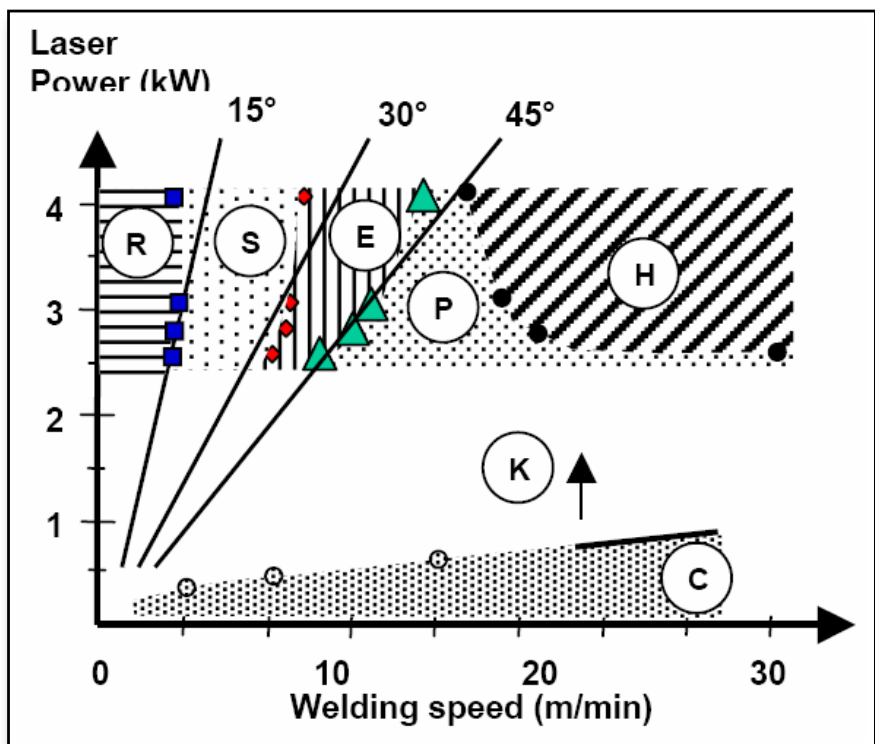
laser YLR-1000 från IPG ur vilken man tog ut 600 W. När man närmade sig svets-hastigheter kring 60 m/min uppstod problem med humping. För att analysera rörelserna i smältan användes ett spårmaterial, i detta fall en stålremsa vilken placerades mellan de rostfria folier som skulle svetsas samman.

Svetsförloppet filmades med hög-hastighetskamera [50.000 bilder per sekund], och man kunde då observera att på toppytan rör sig smältan bakåt relativt till framföringsriktningen, medan den på undersidan först rör sig bakåt men sedan sugts bakåt/uppåt i nyckelhålet.

Dr. Hess angav två möjligheter för att undvika humping; dels den tidigare nämnda metoden med externt tillförd skyddsgas med högt tryck, vilket dock har den negativa effekten att man kan få en alltför hög svetsråge, dels att använda sig av s.k. twin-spot-teknik och på så sätt förlänga nyckelhålet. Nackdelen med den senare metoden är att penetrationen reduceras.

Hur som helst, humping-fenomenet lär fortsätta att fascinera laserforskare runtom i världen, varför vi

kan räkna med att få höra flera idéer vid kommande konferenser om hur man skall kunna undvika det. ☺



Figur 19. Nyckelhålets lutningsvinkel i relation till lasereffekt och svets-hastighet. Bokstäverna R, S, E, P och H står för de tidigare beskrivna områdena. Därtill finns indikerat gränsen mellan nyckelhållsvetsning (K) och värmeledningsdito C.

Air Liquide ger fart åt produktiviteten



Lasern är bara en av flera länkar i en stark kedja. En noggrann och kontinuerlig produktion handlar nämligen också om den rätta gasen, den kompetenta leverantören och den engagerade servicen.

När du använder LASAL-gaser från Air Liquide får du en rad olika fördelar som underlättar och säkerställer din produktion. Gaser och emballage är specialdesignade för att garantera stabilitet och kontinuitet i din process. Men Air Liquide har inte bara rätt gas – vi är också rätt partner när det gäller teknisk rådgivning, installation, utrustning och tjänster.

Vi besöker dig gärna och förklarar hur du kan ha nytta av oss. Ring oss på **040-38 10 00** eller skicka e-post till **info.sweden@airliquide.com** för att bestämma en tid.



Kalendarium 2008–2009

Oktober

- 15 LaserNytt 2 2008
Per Westerhult
- 16 Laserdag 2
Westinghouse Electric Sweden AB, Västerås
Per Westerhult
- 29–30 EWF Specialkurs Lasersvetsning, del 3
Luleå
Hans Engström

November

- 27 Workshop Lasersvetsning
Pemectra Lasertech AB, Trollhättan
Per Westerhult

December

- 15 LaserNytt 3 2008
Per Westerhult

2009

Mars

- 26 Laserseminarium "Konstruera för Laser"
Meritor HVS AB, Lindesberg
Per Westerhult

Maj

- 12 LaserNytt I
- 14 Laserdag I och Lasergruppens årsmöte,
Högskolan Väst, Trollhättan
Per Westerhult

Juni

- 15–17 Lasergruppens studieresa (under planering)
Södra Tyskland, Österrike
Per Westerhult

Augusti

- v. 35 NOLAMP I2
Danmark

Internationellt laserseminarium i Luleå

I samband med den pågående EWF-kursen i Lasersvetsning som pågår vid LTU så arrangerades den 28 augusti ett internationellt laserseminarium med inbjudna föreläsare.

Professor Veli Kujanpää, Lappeenranta Univ. of Technology, berättade om erfarenheter kring "Laser Welding of Thick Section Stainless Steel" från ett pågående projekt där man undersöker olika svets tekniker för tillverkning av en experiment fusionsreaktor i Frankrike.

Docent Andreas Otto, University of Nürnberg forskar kring adaptiv processkontroll vid lasersvetsning och visade prov på resultat från detta arbete. Det tycks faktiskt som att det kan bli möjligt att åstadkomma detta inom en nära framtid. I Nürnberg har man ett sådant system som fungerar, men tyvärr inte alltid. Så nu försöker man förstå vad som avgör om systemet fungerar eller ej.

Prof. Jack Samuelsson, Volvo Construction Equipment AB, avslutade med att presentera ett arbete

om konstruktion för utmattningshållfasthet i komplexa svetsade produkter. ☺



Föreläsare vid det internationella laserseminariet i Luleå. Fr.v. Docent Andreas Otto, University of Nürnberg; Professor Veli Kujanpää, Lappeenranta Univ. of Technology; Prof. Professor Alexander Kaplan, LTU; Professor Jack Samuelsson, Volvo Construction Equipment AB.