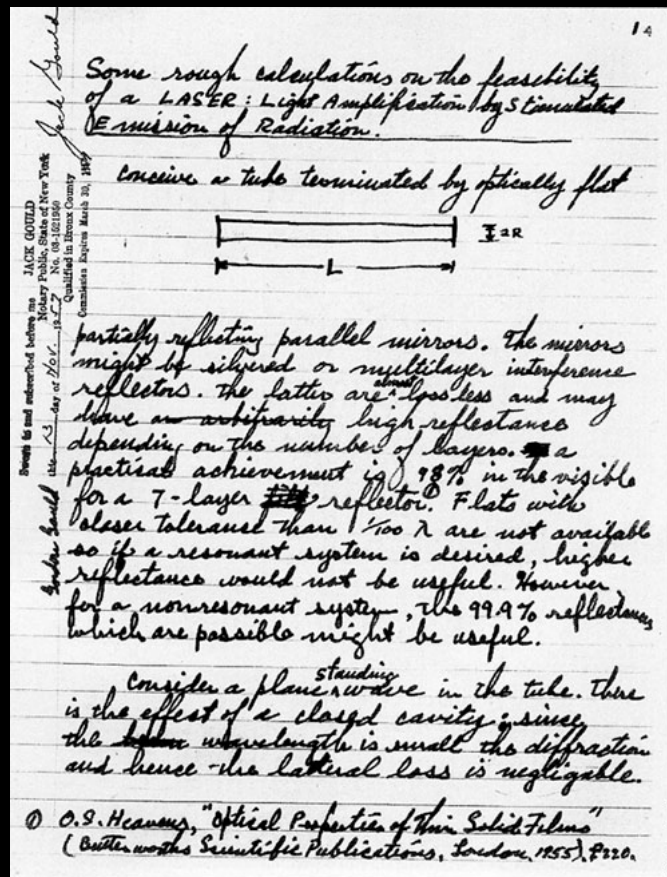


LASER

3-2010

Lösnummerpris 85 kr

nytt



A Short History of the Laser

- Laserdag i Nyköping ■ Wedholms AB ■ Mikrobearbetning med laser
- AKL 2010 ■ En fiberoptisk kabel – två användningsområden ■ EALA 2010
- IIW-C IV 2010 ■ Samtal kring lasertrender ■ Innovation Award Laser Technology

Nyckelfärdiga lasersystem

- från produktidé till produktion -



- Svetsning, 3D-skärning, hybrid-svetsning, märkning, påsvetsning, lödning, härdning
- Snabb variantanpassning
- Hög tillförlitlighet
- Egenutvecklade flexibla processverktyg

Vi erbjuder Dig:



Laser-robot-celler

- Ett färdigt arbetssätt med korta ledtider
- Lönsamhet även i små batcher
- Ny designfrihet för Dina produkter

Applikationslabb

- 6 kW laser + robot
- Processutveckling
- Förstudier

Tjänster

- Service, reservdelar
- Utbildning
- Konsulting

Kontakta oss redan idag!



Laser is our passion

LASER nytt

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

Redaktör

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

Redaktionellt arbete och kansli

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

Ansvarig utgivare Per Westerhult

Lasernytt på Internet

www.lasergruppen.eu

Omslagsbild: Gordon Gould och hans anteckningar där ordet laser troligen har använts första gången.

Produktion: Breakwater Publishing AB,
www.breakwater.se, info@breakwater.se
Tryck: Lindgren & Söner AB, Göteborg 2010

- 4 Laserdag i Nyköping
- 8 Wedholms AB i Nyköping har uppgraderat sin 15 år gamla svetslaser
- 10 Rapport från AKL 2010
- 19 Rapport från EALA 2010
- 21 En fiberoptisk kabel – två användningsområden
- 23 Samtal kring Lasertrender, del 8
- 26 Mikrobearbetning med laser
- 28 Högtidligt i Europas lasercentrum Aachen då ”Innovation Award Laser Technology 2010” delades ut
- 31 A Short History of the Laser
- 35 IIW-C IV 2010
- 40 Kalendarium

Tankar från styrelsen

Tore Salmi, Permanova Lasersystem AB



Många spännande saker händer på maskinsidan. Vi ser hur allt fler planlaserskärare utrustas med fiber- eller disk-laser, speciellt för tunna, alternativt ”exotiska” material typ koppar etc, där CO₂-lasern inte hänger med. Nya tillverkare ser också sin chans med ny laser

teknik. Även rörlasermaskiner utrustas med ett fiberalternativ för att kunna klara de svåra materialen, och i vissa fall med en planskärningsmöjlighet i samma maskin. Dvs ungefär som tidigare års CO₂-laser-planskärare som utrustades med en rör/profil-tillsats, fast tvärtom.

De nya lasrarna med fiberöverförd stråle har också inneburit en prispress på själva laserkällan, samtidigt som mycket högre verkningsgrad, bättre strålkvalitet och kompaktare utrustning dramatiskt sänkt både installations-, drifts- och underhållskostnaderna.

Allt detta öppnar för nya marknadsmöjligheter. Vi ser att det inte längre bara är kombinationerna billig produkt/stor volym eller dyr produkt/lägre volym

som gäller. Även mindre volymer med inte alltför dyra produkter blir kandidater för tillverkning med en laserprocess.

Lasertekniken har mognat, vilket inte minst märks på att man ytterst sällan behöver prata om hur lasern i sig fungerar, med fotoner, energiövergångar etc. Nu räcker det att tala om vad den förmår att uträtta på kundens produkt, i form av svets-, skär-, märk-prestanda etc. Och givetvis vad den kostar att köra och underhålla. Vi ser också hur ”stor köper liten”, senast Rofin-Sinars förvärv av Lasag.

Från Permanovas sida ser vi hur lasersvetsning fortsätter att etablera sig, och hur den blir ett alternativ även för mindre företag. Lasermärkning lever sedan länge ett eget liv och tar sig in på allt fler ställen.

Lasergruppen gav för en tid sedan Luleå tekniska universitet i uppdrag att göra en enkät bland Lasergruppens och Svetskommissionens medlemmar, bla för att öka förståelsen för vilka faktorer som driver på laserinvesteringar. I nästa steg har Lasergruppen ett underlag för att effektivare verka för ökad laseranvändning. Visste du t ex att produktivitet och precision är viktigaste investeringskriterier för både laseranvändare och icke laseranvändare? Inte? Dags att gå med i Lasergruppen!

Svetsning av rostfritt i centrum

Av Hans Engström, Luleå tekniska universitet

Laserdagen hos Wedholms AB i Nyköping den 14 oktober lockade hela 33 deltagare vilket kanske också bekräftar att "den stora krisen" är på väg att gå över i ett mera normalt tillstånd i industrin.

Lasersvetsning av rostfritt var temat vilket var naturligt med tanke på att Wedholms är en stor och mycket rutinerad lasersvetsare av rostfritt material. Roland Skytt, som har varit med på hela laserresan hos Wedholms var värd för dagen och visade en mycket imponerande lasersvetsning av mjölkkyltankar. Inget lämnas åt slumpen när det gäller svetskvalitet.

Mikael Mimer, Trumpf Maskin AB inledde dagen med att berätta om lasersvetsning inom livsmedelsindustrin, där högkvalitativa fogar i rostfritt är ett signum. Höga krav på hygien leder till att man använder rostfritt stål och svetsarna ska vara täta utan spalter där bakterier kan samlas och växa. Det finns av samma anledning krav på hög ytjämnhet



Roland Skytt till höger, och Tommy Johansson bjöd på en trevlig och intressant laserdag hos Wedholms AB i Nyköping.

och oxidfria svetsar. Produkter som svetsas är till exempel tankar, diskbänkar, olika hållare till förpackningsindustrin, kåpor och lådor till till exempel livsmedelsvågar.

Diskbänksplåten och kåpan i bild 1 svetsas med så kallad kosmetisk svets, vilket är en värmeledningssvets med ett välarrangerat skyddsgasflöde som förhindrar oxidbildning. Svetsarna blir mycket släta och helt oxidfria och detaljen behöver som regel ingen efterbearbetning. Typisk storlek på fokalpunkten är ca 2 mm.

– När ska man då lasersvetsa, frågar Mikael Mimer, och kommer därmed in på temat konstruera för laser. Vi kan särskilja på två fall: utökad funktionalitet med bibehållen kostnad och lägre kostnad med bibehållen funktionalitet.

Mikael visar exempel på en lasersvetsad tvärbalk som sitter i en laserskärmsmaskin, bild 2, där vikten är reducerad med 50% vilket ger högre prestanda. Laserskärning kombinerat med lasersvetsning kan ersätta fräsning genom så kallad multilager-



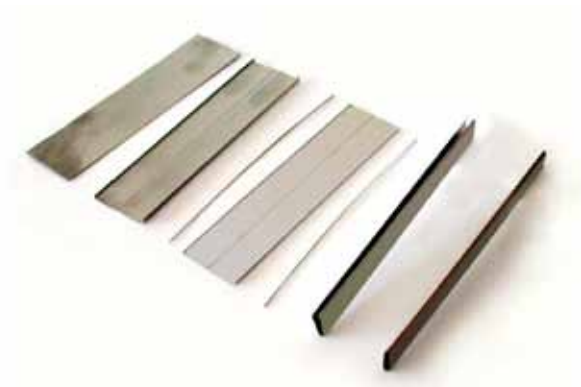
Bild 1. Exempel på detaljer som lasersvetsas inom livsmedelsindustrin. Från vänster diskbänksplåt, hållare, kåpa till livsmedelsvåg. Källa: Trumpf



Bild 2. Hos den lasersvetsade tvärbalken har vikten minskats med 50% vilket ger högre prestanda i maskinen där den används. Källa: Trumpf



Bild 3. Multilagerdesign genom laserskärning och lasersvetsning kan ersätta fräsning. I detaljen ovan till vänster har kostnaden därmed reducerats med 80%. Kåpan till höger har lasersvetsats med värmeledningssvetsning och kostnaderna har minskats med 70% genom att efterbearbetningen i princip har eliminerats. Källa: Trumpf



The heat exchanger

Manufacturing of exhaust tubes

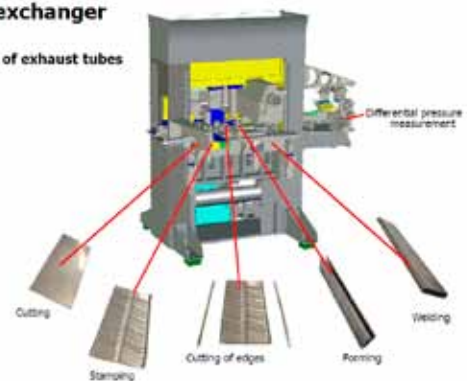


Bild 5. Tillverkning av rören till avgasvärmväxlare sker i en kontinuerlig, automatisk process som avslutas med lasersvetsning. Källa: Weil Engineering GmbH

design och då kan tillverkningskostnaderna minskas radikalt (80%), bild 3. Böckning i kombination med värmeledningssvetsning av kåpan till en livsmedelsvåg minskar tillverkningskostnaden med 70% genom att man inte behöver efterbearbeta produkten, bild 3.

Mikael Mimer avslutade sedan sin presentation med att berätta om Trumpfs produkter.

Lasersvetsning av avgasvärmväxlare

Richard Petersen, Weil Engineering GmbH, Müllheim, Tyskland levererar tillverkningssystem för rör men också specialmaskiner för svetsning. Formning och sammanfogning är kärnkompetensen i företaget som idag har ca 200 anställda och omsätter 240 miljoner kronor.

– Lasersvetsning förekommer i ca 60% av svetsapplikationerna och CO₂-lasern används faktiskt fortfarande i hälften av laserapplikationerna, säger Richard Petersen.

Richard berättade hur man svetsar avgasvärmväxlare som faktiskt var en av de första applikationerna för scannersvetsning och som utvecklats hos Weil Engineering. Komponenten används för att kyla och recirkulera avgaser i motorer.

Tillverkning sker i en kontinuerlig process från band där rörämnena klipps, stansas, formas, renklipps och svetsas i en maskin, bild 5. Stansningen görs för att öka den aktiva ytan. Cykeltiden är ca 3 sekunder. Rören tillverkas av 0.2-0.3 mm tunna i rostfritt stål eller aluminium.

Nästa steg i tillverkningen är att



Bild 4. Richard Petersen, Weil Engineering GmbH berättade om hur man lasersvetsar avgasvärmväxlare till motorer.

fästa rören i sin hållare vilket sker med scannersvetsning med disk-laser. Utrustningen har ett visionsystem som gör att kravet på positionering kan minskas; systemet korrigerar för fel i positionen av komponenterna.

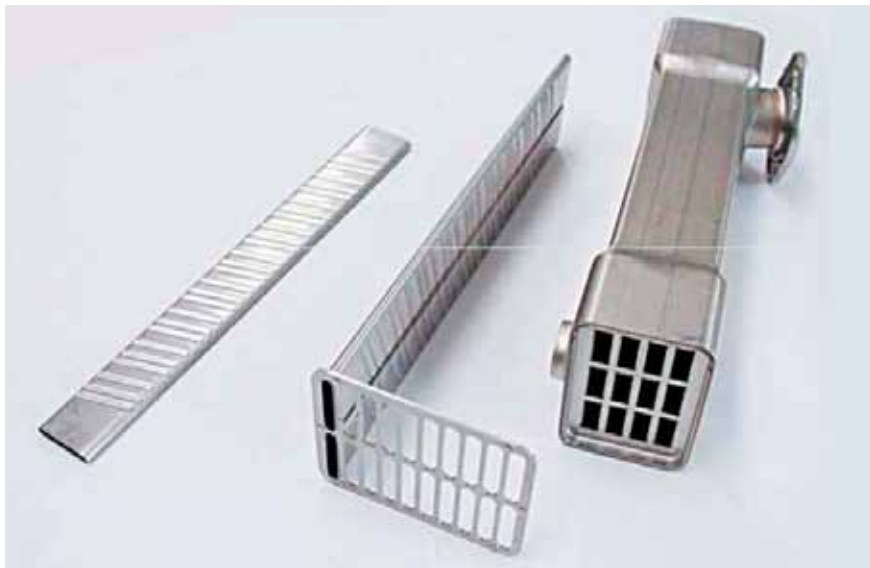


Bild 6. Lasersvetsning av komponenten som styr gasströmmen i värmeväxlaren sker i sex svetsstationer med CO₂-laser. Delar av komponenten kommer att svetsas med disk- eller fiberlaser i framtiden. Källa: Weil Engineering GmbH

Bild 6. Rören till avgasvärmeväxlaren svetsas till höljet genom scannersvetsning med disk-laser. Källa: Weil Engineering GmbH

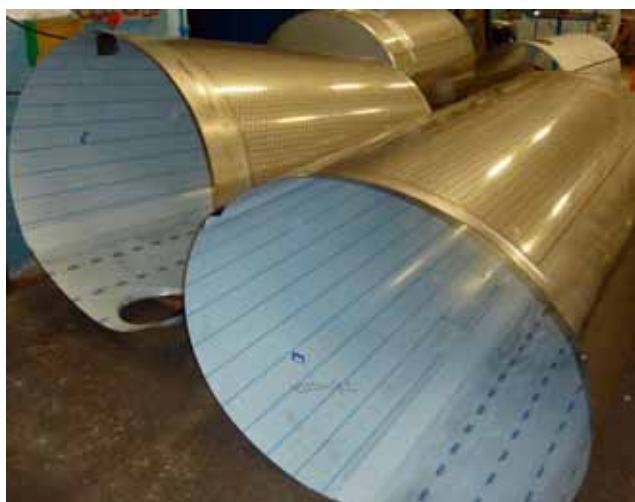


Bild 7. Lasersvetsade kylmantelplåtar som sedan monterats till en tank

Värmeväxlaren har också en komponent som styr gasströmmen och den är bland annat uppbyggd av ett flertal plåtkomponenter, bild 6. Den svetsas i sex olika svetsstationer och man har övergått från en gjuten detalj och har därmed minskat vikten med 50% och kostnaden med 30%. Tillverkningen sker nu i tre svetsceller som betjänas av en CO₂-laser, men även här kommer scannersvetsning att börja användas på delar av komponenten. Man kör wobblande svetsning för att klara spalter på upp till 0.4 mm. Efter svetsarna sker 100% kontroll av täthet och flöde.

– Nya krav och nya material

bidrar till att utveckla nya lösningar där lasersvetsning är ett måste, avslutade Richard Peterson.

Högkvalificerad lasersvetsning hos Wedholms

Hos Wedholms lasersvetsas kylmantlar till mjölk tankar. Det är en produktion som har pågått sedan 1995 då den första lasersvetsanläggningen installerades (se separat artikel för mera fakta om lasersystemet).

– Motiven för att installera lasersvetsning var flera, berättar Roland Skytt, som är ansvarig för lasersvetsningen. Den bärande tanken var ökad produktivitet genom att lasersvetsningen ersatte punktsvetsning,

sömsvetsning och slipning. Med tiden har tankarna blivit större och större vilket kräver annan utrustning.

– Fördelarna med lasersvetsning är också att processen är enklare att kvalitetssäkra, den passar för utveckling mot ökad kundanpassning och den ger kortare ledtider. Vi har även investerat i en skärlaser och den bidrar till kortare ledtider och bättre kvalitet.

Det är stora svetslängder som produceras varje år. Under perioden 1999-2003 så låg man på ca 100 km svets/år men sedan ökade svetslängderna på grund av ökande tankstorlekar så 2008 lasersvetsade man



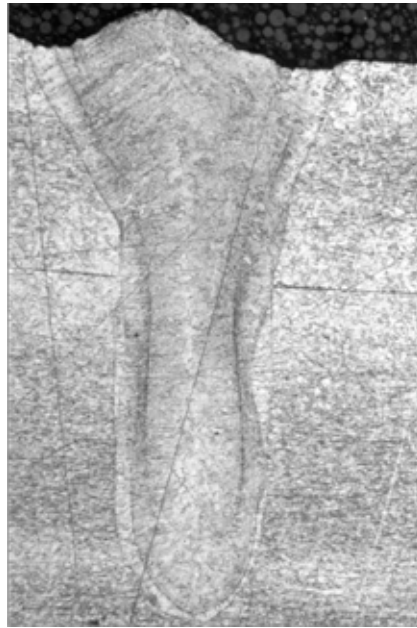
Bild 8. Närbild av den lasersvetsade kylmantelplåten och svetsvärnsnitt.

ca 180 km. Den totala svetslängden från 1999 till dags dato motsvarar sträckan Nyköping Paris.

– Wedholms var en produktionsenhet under 1990-talet fortsätter Roland Skytt. Situationen blev mycket besvärlig 1996 då Sciaky som hade levererat laserutrustningen gick i konkurs. Då stod vi i princip utan laserkunskande. Men ett par studenter från Luleå teknisk universitet gjorde då ett exjobb och det gav mycket värdefulla lärdomar om svetsprocessen.

Wedholms lägger mer mycket möda på att kvalitetssäkra lasersvetsprocessen. Man har ett mycket smalt processfönster när den 2 mm tjocka, plastbelagda mantelplåten överlappssvetsas mot den 0,8 mm förångarplåten. Plåsten får nämligen inte smälta, bild 7.

Varje morgon innan produktionen startar gör man svetsar man 6 m långa prov där man undersöker penetrationen, bild 9. Faktiskt blir ca 2% av all svetsning testsvetsar. Man för svetsprotokoll där alla vik-



tiga svetsparametrar dokumenteras. Dessutom görs indirekta prov på små mantlar och lastväxlingsprov (utmattning). Till kontrollrutinen hör också att mäta effekten på arbetsstycket.

Hos Wedholms lasersvetsar man numera också en patenterad rörkyl som kyler mjölken på väg från mjölkroboten till mjölktanken, bild 10.

Roland Skytt avslutar med att berätta att spalter mellan plåtarna är ett stort bekymmer som man gör allt för att undvika. Har till exempel en plåt fått en repa måste man slipa den för att försäkra sig om att det inte blir en spalt. Om trots allt det skulle bli ett svetsfel kan man göra en urborring i förångarplåten och sedan TIG-svetsa igen hålet. Men det fungerar bara om man har en till två fel per tank annars måste plåten skrotas.

Hittills har man inte haft en enda



Bild 9. Roland Skytt visar en typisk testplåt som man svetsar varje morgon för att kontrollera laserparametrarna innan dagens produktion startar.

reklamation lasersvetsade mjölktankar på grund av att svetsen har falerat. Men man har en (1) tank som man misstänker kan ha en svetsdefekt men den är fortfarande tät och fungerar. Ett i sanning imponerande resultat – noggrannhet och målmedvetet kvalitetsarbete lönar sig!

Lasergruppen tackar för ett intressant och lärorikt besök. ☺

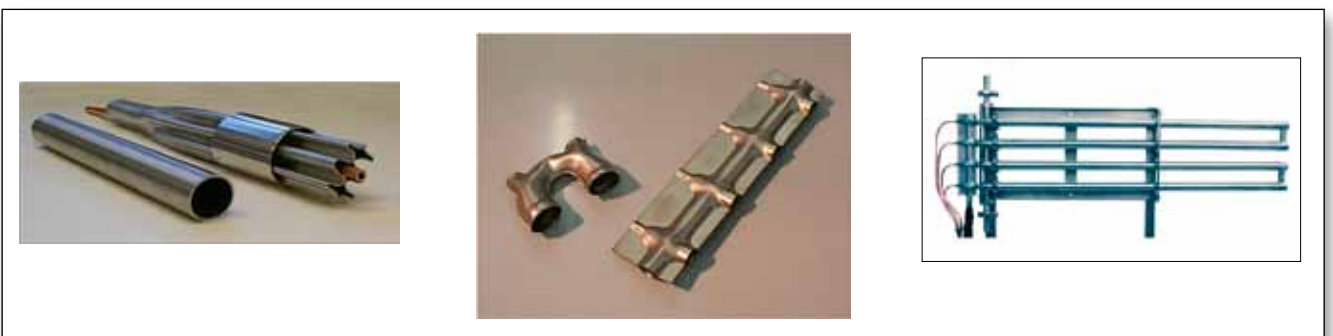


Bild 10. Wedholms lasersvetsar numera en patenterad rörkyl.

Wedholms AB i Nyköping har uppgraderat sin 15 år gamla svetslaser

Av Roland Skytt, Wedholms AB

Wedholms AB är ett privatägt företag som huvudsakligen tillverkar mjölkkyltankar till jordbruksföretag runt Östersjön, även om företagets produkter förekommer i andra delar av Europa och Asien. Företaget omsätter 10 miljoner Euro och har 80 talet anställda, varav cirka 35 är stationerade i Nyköping. Att tillverka en mogen produkt i ett högkostnadsland som Sverige kräver en mycket hög funktionalitet och kvalitet, vilket kan motivera ett högre pris.

För att överlappssvetsa förångarplåten på kylmanteln installerades en svetslaser från Sciaky i juli månad 1995. Fönstret för aktuell svetsprocess är mycket begränsat då det skall klara en överlappssvets med full brott- och utmattningshållfasthet samtidigt som den plastfilmsskyddade undersidan på kylmanteln (som är 2 mm tjock) inte får oxidera.

Lasermaskinen var utrustad med en turbinresonator från Rofin Sinar som levererade 2000 W. Styrsystemet var från Siemens med beteckningen 820N. Alla svetsparametrar var låsta och nyckelords skyddade av leverantören som gick i konkurs 1996. Sedan dess har Wedholms ingått serviceavtal med Siemens och Permana AB (för Rofin Sinar resonatorn). Svets hastigheten uppgick initialt till 2 800 mm/min men utvecklades senare av operatörerna till 3 500 mm/min. Underhåll, service och reparation av den övriga maskinen har utförts av laseroperatörerna själva. Wedholms har lagt mycket stor vikt vid schemalagd service med tanke på att lämplig alternativ produktionsmöjlighet inte står till buds.

Till den första juli 2006 meddelade Siemens att de inte längre kunde garantera reservdelförsörjningen och då valde Wedholms att byta styrsystem till Siemens 840D. I kravspecifikationen för det nya styrsystemet krävdes svets hastigheten 6 000 mm/min för punkter med diameter 8 mm, vilket innebar en uppgradering av motoreffekten för axlarna. Förutsättningen för uppgraderingen var att kulskruvarna för aktuella axlar



Tommy Johansson visar maskinen med Truflow 2800 och med nytt svetshuvud.

hade kondition som nyskick enligt företaget Turn Key Automation Scandinavia AB som utförde ombyggnaden. Då resonatoreffekten var begränsad behöll Wedholms den tidigare svets hastigheten 3 500 mm/min, men produktiviteten ökade trots detta med cirka 15% genom bättre accelerationer och snabbare informationsbehandling. Ombyggnaden innehöll tidplanerna och efter två veckor upptogs produktionen igen. Försörjningen av kylmantlar under uppehållet hade tillgodosetts i förväg så produktionskapaciteten påverkades inte, trots att ombyggnaden gjordes under högsäsong.

Nästa steg i uppgraderingen genomfördes vid årsskiftet 2009/2010 då den gamla resonatorturbinen ersattes av en Truflow 2800 från Trumpf Maskin AB. Projektet komplicerades av att den nya laser källan tog mer plats än den gamla, samt att tidigare dragning av kablage och slangar i kabelrännor ovanför maskinen inte kunde tillåtas, då den nya resonatorns skyddskåpa öppnas uppåt. Vidare levererar den nya laser källan ett ljus med energifördelning enligt TEM 00 mot tidigare TEM 01. Med högre och mer koncentrerad effekt misstänkte Wedholms att befintlig optik med indirekt kylning inte skulle uppnå godkänd funktion. Därför beslöt man att ersätta all yttre optik med direktkyld dito. För att ytterligare säkra ljuskvaliteten inskaffades en flödesvakt till kylslangen för den yttre optiken. Slutligen bestämde



Det gamla svetshuvudet från Sciaky, som använts i 15 år.

företaget sig för att ersätta det tidigare svetshuvudet som hade nozzel med koaxiell skyddsgasflöde med ett standardhuvud från Kugler som hade cross jet och där skyddsgasen tillförs via två rör på ömse sidor om laserljuset.

Projektet planerades till två veckors produktionsuppehåll i inledningen av 2010. Tiden innehölls mycket tack vare Trumpf Maskins projektledare som redan inledningsvis kunde ge nödiga förutsättningar för projektet. Även genomförandet löpte på ett exemplariskt sätt med rätt komponenter i rätt tid. Lägg därtill en rutinerad och kompetent installationstekniker så finns för övrigt inget ytterligare att önska.



Detalj över monterat svetshuvud från Kugler med egenkonstruerat utsug från Wedholms.

Produktionen har inletts med de tidigare svetshastigheterna för att lära känna den nya utrustningen och laserljusets nya energifördelning. Efter mer än ett halvårs drift kan vi notera att även denna gång ökar produktiviteten trots bibehållen svetshastighet. Förklaringen är väsentligt lägre underhålls- och servicebehov på lasersvetsmaskinen. Trots att vi behållit vår omfattande kvalitetssäkringsprocedur har tillgänglig produktions tid ökat med cirka 15%.

Ökning av svetshastigheten till 5 000 mm/min är inte så långt borta, och företaget har svetsat ett flertal prover som har brott- och utmattningstestats och röntgats utan anmärkning. ☺

Wedholms AB

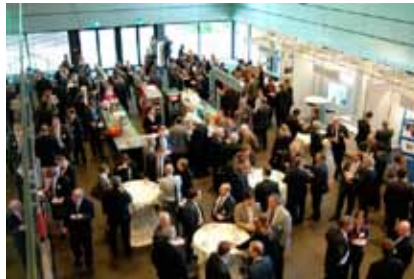
Wedholms grundades 1879 av R. Wedholm och började runt 1900 tillverka mjölkkanor. Den första mjölk-taken tillverkades 1957 och nu gör man ca 500 tankar per år. Man har tillverkning i Nyköping och i Polen genom Eurotanks. Man omsätter ca 10 miljoner Euro och finns i länderna runt Östersjön. Man är marknadsledande i Finland och Sverige, 2:a i Norge och i delad ledning i Polen. Ryssland är en ny marknad som har börjat vakna till liv.

Öppna tankar på 330-1900 liter tillverkas i Polen men säljs inte i Sverige. Mellantankarna på 1 600-8 000 liter är storsäljaren. Dessa tankar har automatisk diskning och ett mycket avancerat styrsystem för kylningen som tillåter mer än 100 olika inställningar. Man tillverkar också stora tankar på 9 000-30 000 liter.

Se också www.wedholms.se för mera information.



Anders Herolf produktchef på Wedholms berättade om företagets verksamhet.



Rapport från AKL'10, Eurogress, Aachen, GERMANY, 5-7/5 2010

Högklassig laserkonferens i Aachen bekräftade ånyo laserteknikens mångfasetterade användningsområden

Av: Johnny K Larsson, Volvo Cars

AKL [Aachener Kolloquium für Lasertechnik] måste nog betraktas som en av världens bästa laserkonferenser då det handlar om industriell lasertillämpning.

I år var det åttonde gången som konferensen lanserades, nu under akronymen AKL'10, och drygt 500 delegater hade sökt sig till anrika hotell Quellenhof i Aachen där merparten av mötesförhandlingarna ägde rum. Det stora deltagarantalet, tillsammans med det faktum att bortemot 50 stycken av de mer etablerade företagen för laserutrustningar och optiska komponenter ställer ut under dagarna två, tyder ju om något på konferensens popularitet. I år sammanföll den dessutom med att ILT [Institut für Lasertechnik, Aachen] firade sitt 25-årsjubileum, vilket

gav lite extra pompa och ståt åt evenemanget. Ett exempel på detta var banketten som avhölls i Aachens gamla rådhus och där samtidigt det prestigefyllda "Innovation Award Laser Technology 2010" delades ut. Mer kring detta kan Du läsa om i nästa nummer av LaserNytt.

Beträffande det tekniska innehållet i konferensen kunde jag urskilja två särskilda fokusområden. Det ena var LAM [Laser Additive Manufacturing], använd som reparationsmetod för dyra komponenter inom främst flygindustrin. Det andra rörde utvecklingen av laserkällor som går mot högre briljans, bättre strålkvalitet och ultrakorta pulslängder. Begreppet briljans eller "brightness" har ju på senare år lanserats som ett alternativ till BPP [Beam Parameter Product] för att ange hur "skarp" laserstrålen är, och beräknas helt enkelt genom att man dividerar lasereffekten med strålkvaliteten. Dr. Ulrich Hefter [figur



Figur 1. Dr. Ulrich Hefter redogjorde på ett förklarande sätt begreppet "briljans" hos en laserstråle under den inledande "Gerd Herzinger Session".



Figur 2. Längst till vänster Dr. Kelbassa från LLT/RWTH som agerade ordförande i de två sessioner som handlade om laserpåläggning. Därefter följer de kompetenta föredragshållarna Peters, Richter, Kappmeyer, Gasser, Metzger och Eimann.

STRÅLKVALITET OCH BRILJANS HOS BEARBETNINGSLASRAR.

Lasertyp	Strålkvalitet [mm*mrad]	Briljans
Lampumpad stavlaser	25	0,6
CO ₂ tvärströmningslaser	19	2,2
Direktverkande diodlaser	12	2,8
Diodpumpad disk laser	8	6,2
CO ₂ axialströmningslaser	11	6,7
Slab-laser	3,7	58
Fiberlaser	2	100

1] presenterade i sitt föredrag, under den så kallade "Gerd Herziger Session", en sammanställning av "över olika laserkällors potentiella briljans [Tabellen ovan].

I denna min första rapportering från AKL'10 kommer jag emellertid att hålla mig kring ämnesområdet laserpåläggning där vi fick oss beskrivet senaste nytt i två olika sessioner. Den första avhölls på onsdagen under temat "EU Innovation Forum" och den andra på fredagens förmiddag. Båda sessionerna leddes med fast hand av Dr. Ingomar Kelbassa [figur 2] från LLT/RWTH [Lehrstuhl Lasertechnik/Rheinland Westfalen Technische Hochschule], vilken blivit något av en "guru" inom denna form av laserprocess.

Först ut av talarna var Dr. Thomas Peters från företaget Sulzer Innotec Markets and Technology AG i Winterthur i Schweiz. Företaget tillhandahåller specialtillverkade utrustningar för laserpåläggning och har sitt forskningscentrum just i Winterthur. I sitt laboratorium förfogar man över en 2 kW CO₂-laser,

en mobil enhet baserad på en 1,5 kW fiberlaser samt en 150 W pulsad Nd:YAG-laser [figur 3]. Besök gärna hemsidan www.sulzerinnotec.com. En speciell teknik som man utvecklat är att rotera laserstrålen under påläggningsprocessen för att få jämnare skikt speciellt vid mer komplexa geometrier, något som illustrerades med en reparation av ett turbinblad i Nickellegeringen Inconel.

Generellt går reparationerna till sålunda att först avverkas allt skadat material. Därefter byggs strukturen upp genom att ett tillfört pulver smälts ner med hjälp av laserstrålen. Uppbyggnaden sker i skikt om 0,6 mm tjocklek och till höjder som varierar mellan 3-12 mm. Slutligen slipas påläggningen ner till sin färdiga form. Ett antal applikationsexempel hjälpte till att illustrera resultatet, såsom

- * Kompressorblad i rostfritt X20Cr13
- * Kompressoraxel i 34CrNiMo6, 3,5 m lång och 4 ton tung
- * Propeller i X4CrNi13
- * Skruv-conveyor i Stellite6
- * Turbopump som reparerats med



Figur 3. Olika utrustningar för laserpåläggning hos Sulzer Innotec; Högst upp en station baserad på en 2 kW CO₂-laser och därefter de mobila enheterna med 1,5 kW fiber- respektive 150 W Nd:YAG-laser.

en blandning av Tungstenskarbid och Stellite

- * Ångturbinblad belagda med Stellite

De sistnämnda [figur 4] arbetar i en miljö med hög luftfuktighet vilket gör att de förslits via korrosiv erosion. En stor fördel med laserpåläggningen är att den i motsats till



Figur 4. Rekonditionering av ångturbinblad med hjälp av LMD (Laser Metal Deposition). Närmast 6 mm uppbyggnad av bladspets och till höger 2 mm uppbyggnad av kontaktytor.



Figur 5. En avspänd Karl-Hermann Richter redogör för de senaste applikationerna för laserpåläggning hos MTU Aero Engines.



Figur 6. Framgångsrika reparationsförsök av så kallade BLISKS vid MTU Aero Engines i München. Överst till vänster det skadade rotorbladet och därunder utseendet efter LMD.

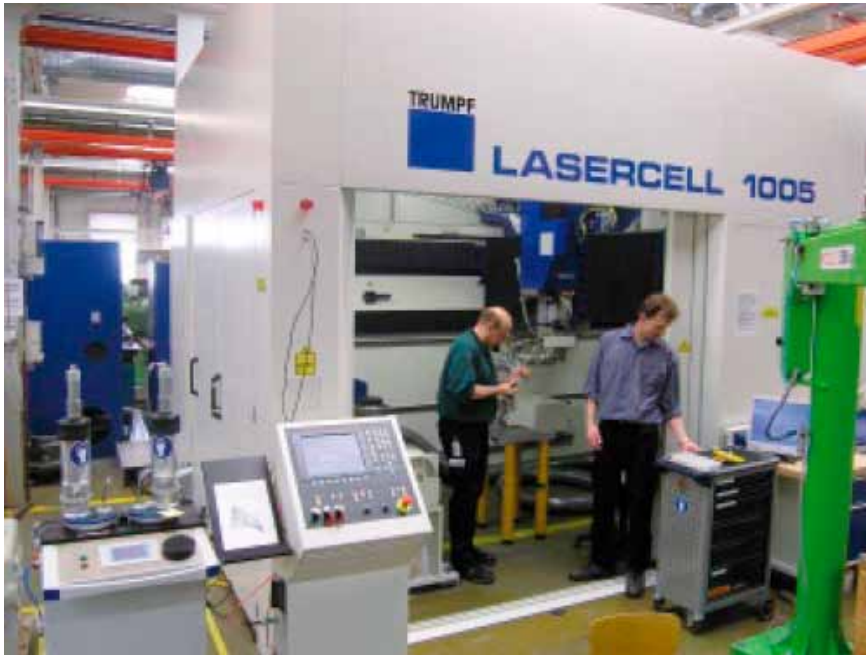
andra typer av reparationsmetoder inte kräver någon efterföljande värmebehandling.

MTU Aero Engines var ju ett företag som Lasergruppen hade för avsikt att besöka vid studieresan i september förra året, men som vi tyvärr tvingades ställa in på grund av det låga deltagarantalet. Min kontakt där Dr. Karl-Hermann Richter [figur 5] berättade nu om företagets

användning av LMD [Laser Metal Deposition]. MTU använder många olika typer av laserbearbetning vid anläggningen utanför München. Dominerande är laserborrning som utgör 43% av applikationerna medan 24% står för lasermärkning och blygsamma 19% för LMD. Främst är det Titan- och Nickellegeringar som repareras, men man använder även påläggningstekniken

för att förbättra motorkomponenternas prestanda. Ett exempel på detta är hårdbeläggning av vissa delar på lågtrycksturbinblad, där lasertekniken slagit ut den tidigare använda mikroplasma-svetsningen.

När man började studera tekniken med att reparera med hjälp av laserpåläggning var det främst CO₂-laserkällor som användes. Idag är det däremot uteslutande disklasrar som gäller.



Figur 7. Lasercellen för LAM vid Rolls-Royce Deutschlands anläggning i Oberursel.



Figur 8. Några exempel på reparation av olika tätningsbärare i turbinhus.

Reparation av högtrycksturbinblad [HPT-blades] i Nickel eller Cobalt är en omfattande verksamhetsgren, medan reparation av Titaniumkomponenter fortfarande befinner sig i sin linda hos MTU. En hel del har dock gjorts på laboratorienivå, bland annat inom EU-projektet "FANTASIA", där man arbetat med Ti6242-legeringen. Nackdelen vid LMD-reparation av Titan-komponenter är att processen måste ske i inert skyddsgasmiljö [exempelvis Argon med en renhet på 99,995%] och därför kräver en gastät kammare, vilket många gånger begränsar storleken på de komponenter som skall processas. Emellertid hade framgångsrika reparationsförsök genomförts på exempelvis så kall-

ade "BLISKS" [bladed disks, figur 6], kompressorblad i TiAl6V4 samt styrvingesegment i IN718.

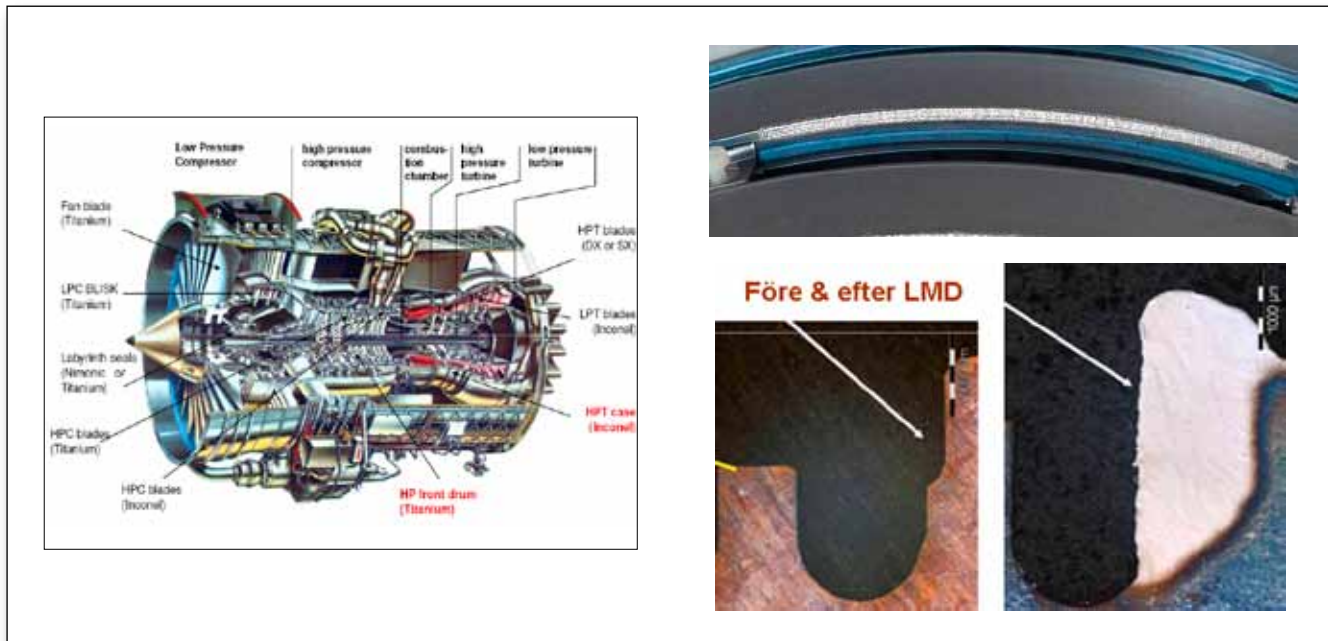
Ur hållfasthetssynpunkt menade Dr. Richter på att uppbyggnadsriktningen kan påverka hållfastheten med tanke på de lastriktningar som komponenten utsätts för under drift. Dock hade man konstaterat att utmattningsbrott alltid skedde i grundmaterialet hos de reparerade Titan-komponenterna, trots att hårdheten ökat från 350Hv i grundmaterialet till 400Hv i de pålagda reparationsskikten.

Liksom MTU använder sig Rolls-Royce Deutschland, med huvudsäte i Oberursel [figur 7], sig av LAM vid reparation av motorkomponenter.

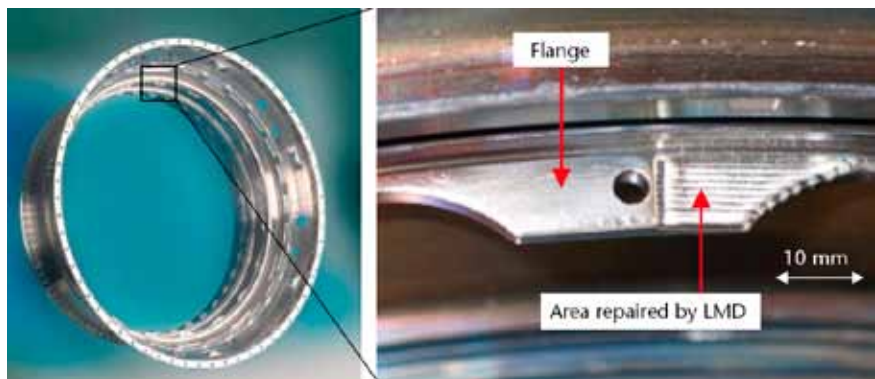
Här berättade Dr. Gregor Kappmeyer att processkedjan vid dylika reparationer är tämligen lång, och att maskinbearbetning och påläggning bara utgör cirka 23% av den totala cykeltiden. Han visade på reparationsexempel av spår för montering av tätningar [figur 8] i cylindrar, turbinhus samt tätningsfenor på kylplattor. Vanligtvis utgörs materialet i nämnda komponenter av antingen Ti6242 eller TiAl6V4. Ett annat användningsområde för LMD är tillverkning av små formverktyg, vars storlek är lämplig med tanke på kravet om tillverkning i en gastät kammare. I sådana formverktyg tillverkar man exempelvis verktygshållare för precisions-skärverktyg.

I en efterföljande paneldiskussion dryftades bland annat vilken laserkälla som ansågs lämpligast för laserpåläggning? Eftersom CO₂-lasern ger mer reflexion och därmed mindre absorption är den minst lämplig, utan valet föll på fiberlasern som också har den bästa energidistributionen i strålen. Däremot kan CO₂-lasern vara ett prisvärt alternativ då den kräver mindre säkerhetsåtgärder jämfört med andra laserkällor. Vidare var samtliga talare rörande överens om att det idag inte finns någon tillförlitlig NDT [Non-Destructive Testing]-metod för att fastställa kvalitén hos de uppbyggda skikten.

En kollega till Dr. Kelbassa vid ILT är Dr. Andres Gasser, som även han är djupt involverad i LAM-forskningen, och som gav en mycket uppskattad presentation i ämnet vid den förra AKL-konferensen. Hans föredrag i år fokuserade på reparation av turbomotorer för flygplan, ett nog så aktuellt ämne med tanke på det askmoln som vulkanen Eyjafjallajökull spydde ut vid tillfället för konferensen, och som kan ställa till avsevärda skador på flygplanens vitala motordelar. Fördelen med laserpåläggning som reparationsmetod är att strukturen kan byggas



Figur 9. Den komplexa uppbyggnaden av en Rolls-Royce BR715-turbin där rekonditionering av bland annat spårerna för montering av dämpartätningar utförs med LMD.



Figur 10. Exempel på reparation av flänsar i HPT-hus med hjälp av laserpåläggning.

upp med ytterst tunna skikt [$\geq 0,05$ mm], man får inga insjunkningar och processen tillför lite värme. Även om det som ovan nämnts inte finns några bra NDT-metoder för kvalitetskontroll, finns det däremot processövervakningssystem vilka på sitt sätt utgör en indirekt kontroll.

Dr. Gasser gick mer detaljerat in på två praktikfall från Rolls-Royce's BR715-turbin. Här hade man reparerat spår för montering av dämpartätning i turbinens främre cylinder [High Pressure Front Drum] där materialet utgörs av Ti6246 [figur 9]. Den andra applikationen gällde

reparation av högtrycksturbinhuset [High Pressure Turbine Case] som består av Inconel-material [figur 10]. All reparation hade utförts med lokal skyddsgastillförsel och inte i någon slutna skyddsgaskammare, något som också lyftes fram som en av fördelarna med LMD.

Från KLM i Amsterdam [figur 11] hämtade Dr. Gasser en handfull exempel på reparation av flygmotor-komponenter med hjälp av laserpåläggning. Dessa var:

- * 1,5 mm tjock fläns på en skyddskåpa i Inconel718
- * Roterande tätning i 17-4PH-material där reparationsalternativa

tivet var en 40 gånger långsammare TIG-svetsning

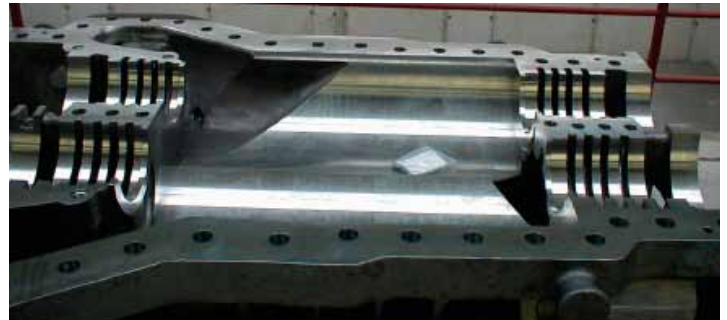
- * BLISKS inom ramen för EU-projektet AWFORS
- * Rekonditionering av höjden på turbinblad i Ti6246
- * LPC-blad reparerade med TiAl6V4
- * HTP-blad reparerade med Rene80
- * Så kallade "HighTech"-blad reparerade med CMSX4

Ett annat exempel var en turbomotor från MAN där laserpåläggning använts vid reparation av skaft-, axial- och skruvkompressorer, skyddhus och labyrinthtätningar [figur 12].

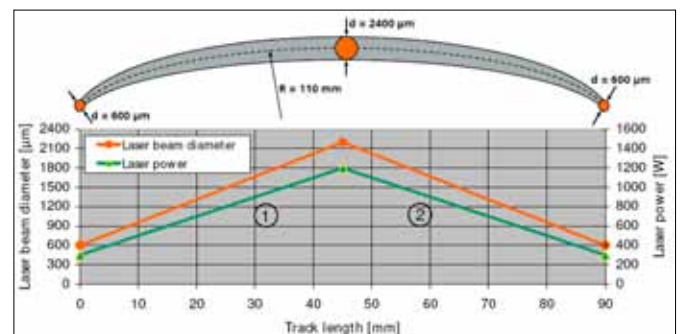
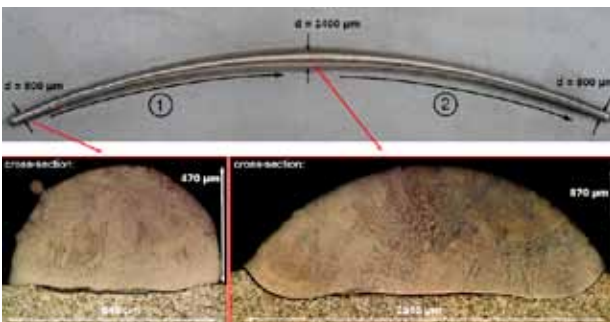
En nyhet som Dr. Gasser visade



Figur 11. Längst till vänster lasercellen för reparationspåsvetsning med laser hos KLM i Amsterdam, och till höger ett exempel på LMD på en husfläns i Inconel718.



Figur 12. LMD-reparerade komponenter hos MAN, som skruvkompressorer (till vänster) och skyddshus (till höger).



Figur 13. Med hjälp av en nyutvecklad zoom-optik är det möjligt att variera bredden på det pålagda skiktet med hänsyn till detaljens geometriska form. Till höger illustreras de rekommenderade parametrarna för variablerna fokalpunktsdiameter och lasereffekt vid påläggning över en sträcka på 90 mm.

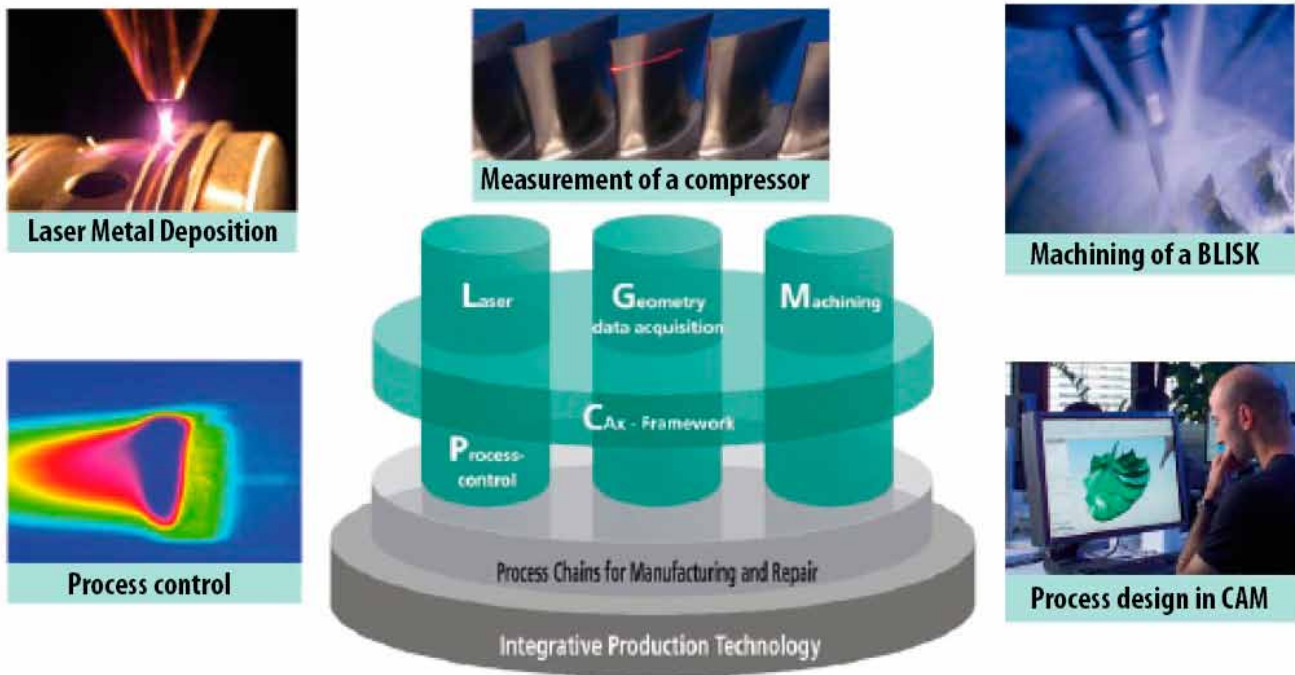
var den zoom-optik som gör det möjligt att variera bredden på det pålagda skiktet [figur 13] och som ILT utvecklat i samarbete med Reis Robots. Bredden kan varieras mellan 600-2400 μm, och med detta verktyg elimineras behovet av överlappande pålägssträngar.

En annan innovation var ett verk-

tyg, utvecklat tillsammans med företaget Pallas, som gjorde det möjligt att utföra LMD inuti små, trånga rör. Dessutom kunde man via separata munstycken tillföra två olika pulver.

Avslutningsvis gjorde Dr. Gasser reklam från det nyligen startade EU-projektet "TurPro" med sina 5

så kallade "teknologikluster" [figur 14], som syftar till att vidareutveckla laserpåläggningstekniken i reparations syfte. På en fråga från gamle PICALO-arrangören Dr. Minlin Zhong om huruvida det inte finns risk för uppkomsten av restspänningar vid LMD-processen menade Dr. Gasser att sådana effekter kan



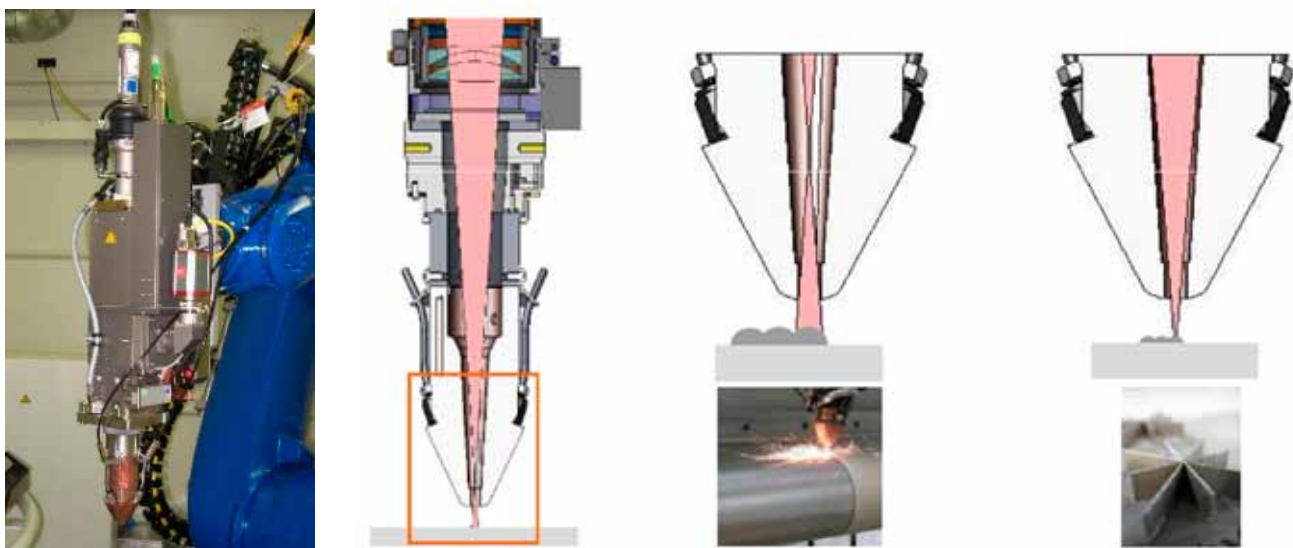
Figur 14. Schematisk illustration av EU-projektet "TurPro" med sina 5 "teknologikluster", varav två är LMD-processen och processövervakning. Projektet har en total omslutnings-budget på 10,25 miljoner euros, där industripartners och delstaten NordRhein-Westfalen står för vardera 3,1 milj. och Fraunhoferinstituten för resterande 4,05 miljoner.

reduceras med hjälp av den värme som tillförs från laserstrålen. Dock är frågeställningen relevant och utlovades bli ett forskningsområde inom de simuleringsaktiviteter som avses genomföras inom ramen för "TURPRO".

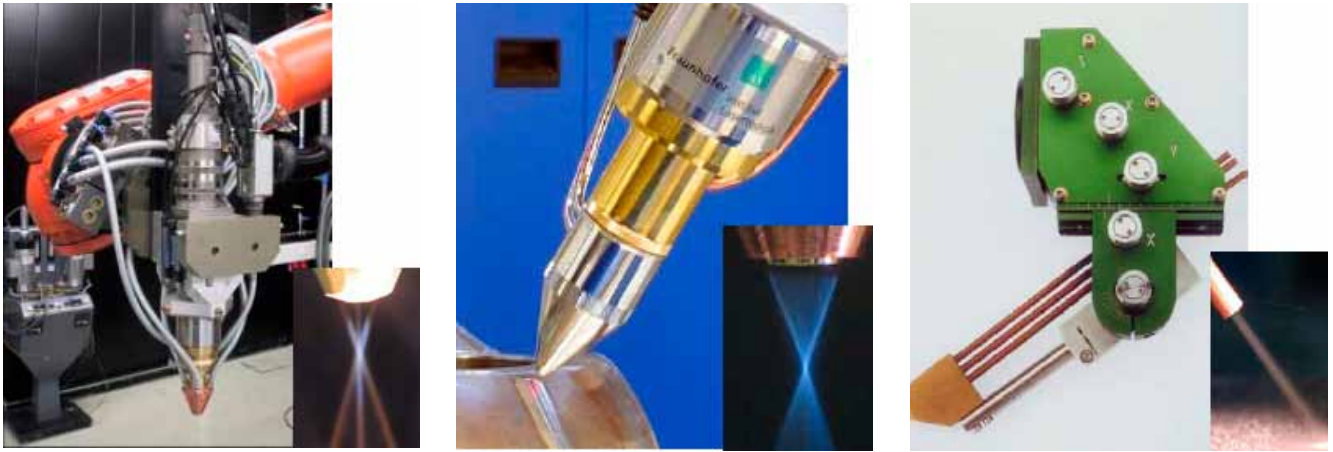
Mer detaljerat kring utrustningar och komponenter för laserpåläggning beskrev Jürgen Metzger från

Trumpf Laser- och Systemtechnik i Ditzingen. En komplett systemlösning består av laserkälla, pulvermatningsenhet, optik med munstycke, någon form av manipulator samt en "off-line"-programmeringsfunktion. Som transportgas vid pulvermatning används vanligtvis Helium, medan skyddsgasen brukar vara Argon. Såväl disk-, fiber- som diodlasrar

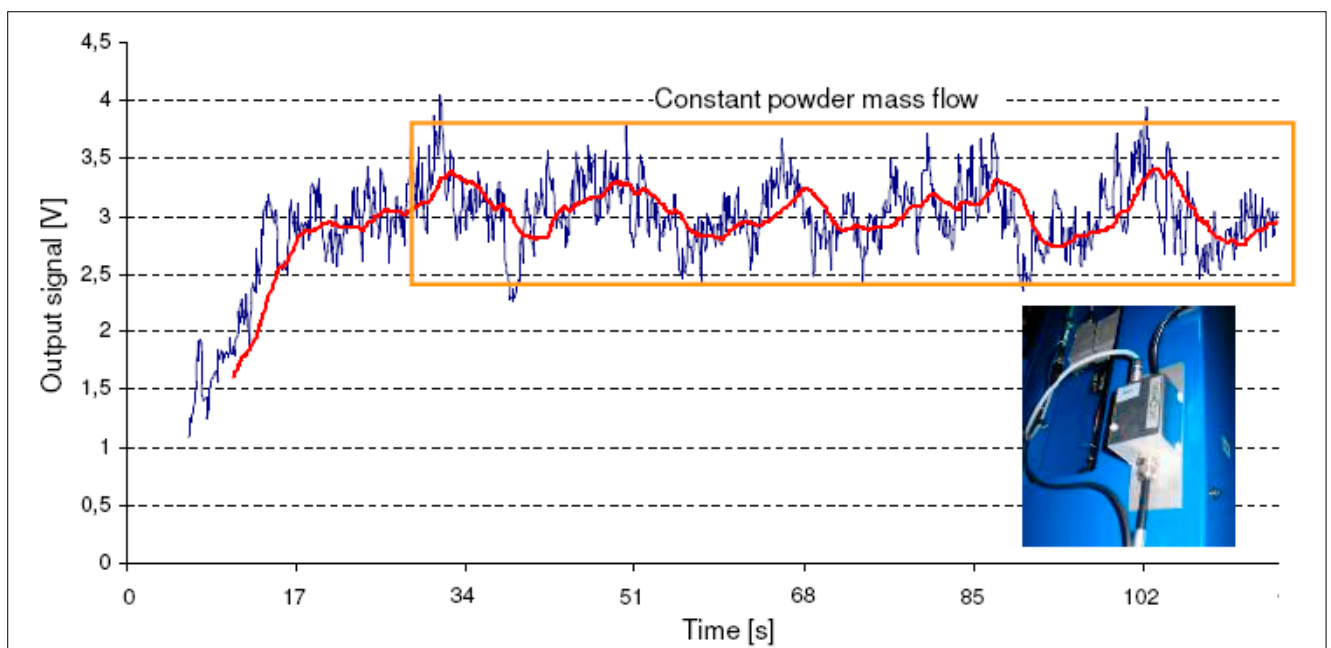
lämpar sig för ändamålet, och Herrn Metzger visade olika koncept för påläggningsverktyg. Ett av dessa var att använda sig av den konventionella svetsoptiken "BEO D70" från Trumpf vilken kunde kombineras med olika typer av påläggningsmunstycken, vilka på ett flexibelt sätt monterades på optiken genom en magnetisk koppling. Tack vare



Figur 15. Trumpfs svetsoptik "BEO D70" anpassat för LMD, vilket gör det möjligt att variera fokuspunktsdiametern mellan 0,4-7,0 mm med hjälp av en "zoom-optik".



Figur 16. De tre principerna för pulvermatning vid laserpåläggning; från vänster "Multi-jet" vid lasereffekter upp till 4 kW, koaxiell matning vid små fokalpunkter och lasereffekter på max. 2 kW samt pulver tillfört från sida vid högeffektpåläggning.



Figur 17. För att garantera en konstant pulvertillförsel har företaget Medicoat AG utvecklat en flödesmätare som bygger på spänningsmätning.

detta blir det möjligt att arbeta med fokalpunktsstorlekar från 0,4 mm ända upp till 7,0 mm [figur 15]. Dr. Nowotny från IWS [Institut für Werkstoff- und Strahltechnik] i Dresden påpekade att detta resulterar i olika strålfiler, som gaussisk och så kallad "top-hat" strålmode, men Herr Metzger å sin sida menade att detta inte hade någon inverkan på processen.

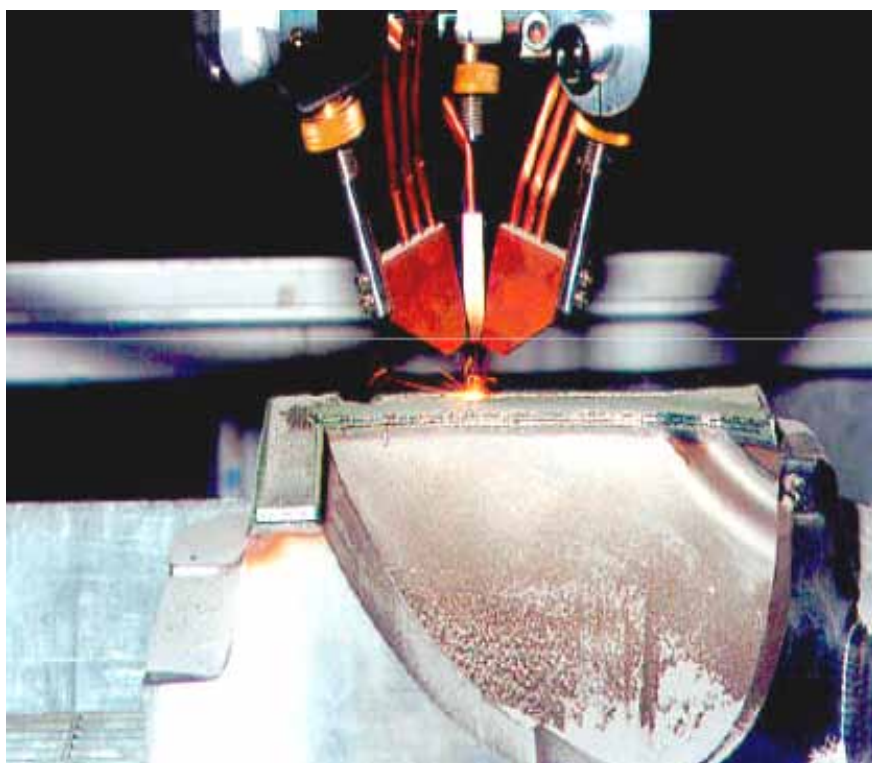
Sedan tidigare har vi lärt känna de olika munstyckstyper som finns att tillgå [figur 16]. Dessa kan delas upp i så kallade "multi-jet"-mun-

stycken lämpliga vid bearbetning med fokalpunkter större än 1,5 mm och effekter lägre än 4 kW, munstycken för koaxiell pulvermatning med fokalpunkter ända ner till 0,4 mm men då med en rekommenderad högsta lasereffekt på 2 kW, samt för högeffektbearbetning upp till 12 kW med "off-axis" pulvermatning.

Bristen på tillförlitliga kvalitetsövervakningssystem nämndes vid ett flertal tillfällen under konferensens gång. Dock har Trumpf ett system där man med en CCD [Charge Coupled Device]-kamera kan visua-



liserar processen. Vidare visades en flödesmätare för kontroll av pulvermatningen [figur 17] vilken utvecklats av företaget Medicoat AG. Även



Figur 18. Överst ett typiskt formverktyg för formsprutning av tandbortsskaft, och nederst reparation av ett sådant med hjälp av LMD hos Braun OralB i Marktheidenfeld.

effektmätning med exempelvis Primes' "PowerMeter"-verktyg är en ingrediens i kvalitetsövervakningen.

En diskussion kring pulverkornens storlek startades av professor Minlin Zhong som ville veta huruvida så små kornstorlekar som 10 μm gick att använda. Här svarade Herrn Metzger att man ur arbetsmiljösynpunkt har att beakta särskilda säkerhetsåtgärder då man arbetar med pulver med en kornstorlek som är mindre än 20 μm , men att man vid interna försök på Trumpf visat

att laserpåläggning med så pass liten kornstorlek som 5 μm är möjlig. Dock förekommer vid alla pulver en viss variation i kornstorlek, någon som minskar processfönstret.

Siste talare i ämnet "Laser Additive Manufacturing" var Klaus Eimann från Braun OralB i Marktheidenfeld. Han berättade om de laserteknologier som används för tillverkning av elektriska tandborstar där dagsproduktionen kan ligga så högt som 800 000 enheter. Tandborstskäften tillverkas via form-

sprutning i små formverktyg, och för att minska kostnaderna för dessa har man på Braun gått över till så kallad laserformning eller SLM [Selective Laser Melting]. Här använder man sig av en dedikerad utrustning baserad på en 500 W fiberlaser. Man har idag över 850 formverktyg och när dessa behöver justeras på grund av någon designändring, eller repareras på grund av förslitning så är det LMD [Laser Metal Deposition] som gäller [figur 18]. Här har man en utrustning där laserstrålen fokuseras till en arbetsfläck på 300 μm , och där såväl pulver som verktygets toppyta smälts för att ge en optimal vidhäftning. På detta sätt hade man reparerat korrosionsskadade insatser med ett skräddarsytt, korrosionsresistent pulver. Avslutningsvis berättade herrn Eimann att lasertekniken även används för borrar av små ventiler i formverktygen för att undvika blåsbildning i de tillverkade plastdetaljerna. Dessa ventiler kan vara så små som 0,3 mm i längd och 5 μm i diameter.

Så långt om laserpåläggning eller LAM eller LMD och så vidare. Kärt barn har som sagt många namn! Håll dock med om att tekniken är fascinerande och nog borde det gå att hitta användningsområden för metoden även här i Sverige. Man får bara hoppas att denna artikel kan ge lite inspiration till såväl Lasergruppens medlemmar som andra företag som överväger att investera i ny teknik. Ett tips för att förkovra sig i tekniken kan vara att delta vid den dedikerade konferensen ICTM [International Conference on Turbomachinery Manufacturing] som går av stapeln i Aachen 23-24 februari nästa år. I nästa nummer av LaserNytt återkommer jag till de nyheter som berörde själva laserkällorna och deras användningspotential. Begrepp som "tailored light", briljans och ultrakorta laserpulser kommer då att få en närmare förklaring! ☺

Intressanta Workshops vid 2010 års EALA-konferens med slutsatser som kan vara till nytta för LaserGruppens medlemmar?

En statusrapport från 11th European Automotive Laser Application 2010 3-4 februari i Bad Nauheim, Frankfurt a.M.[del 2]



Av Johnny K Larsson, Volvo Cars

Nytt för EALA 2010 var att man den första konferensdagen hade inplanerat ett antal så kallade "workshops".

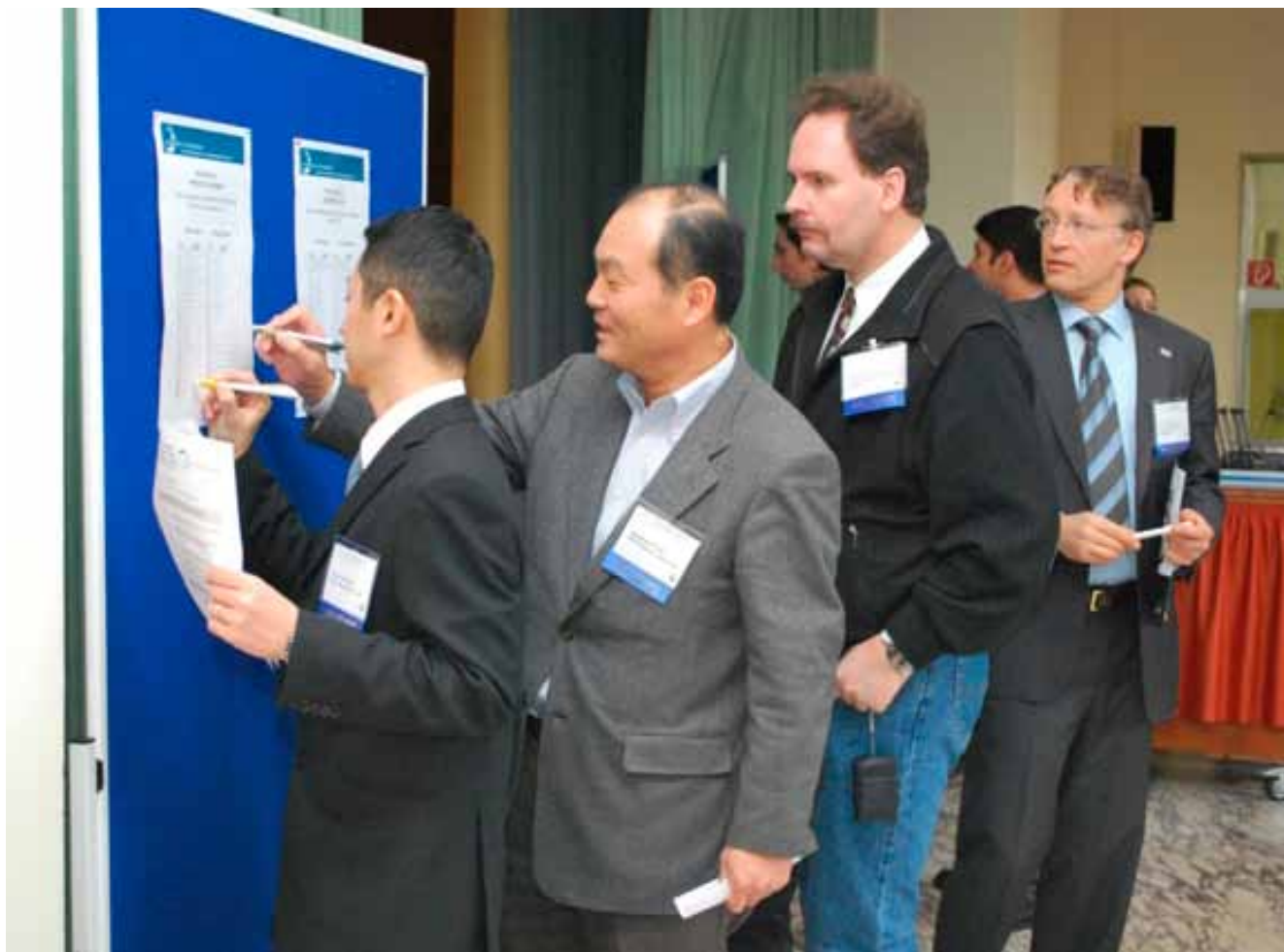
Här kunde den intresserade välja mellan fyra olika ämnesområden som alla adresserade det övergripande problemet som var "Hur den ideella laserprocessen skall utformas?" Dessa områden anknöt till konferensens temablock och handlade om processplanering, så kallad "business case" för laser, nya material och lämplig konstruktiv utformning. Själv hade jag nöjet att tillsammans med min kollega Niclas Palmquist moderera den förstnämnda, som hade den internationella titeln "The Ideal Laser Process with Regard to Process Planning" [figur 1]. Det handlade om att iden-

tifiera tänkbara hinder för införande av laserteknik i produktion, och vilka mått och steg som bör vidtas för att en tillverkningsenhet skall förberedas för omställning, och på ett smidigt sätt kunna integrera laserbearbetning. Under workshoppen kom det fram en hel del tänkvärda och viktiga synpunkter som jag tror även kan vara till nytta för de av våra medlemmar som står i begrepp att satsa på exempelvis lasersvetsning. Dessa slutsatser sammanfattas nedan i punktform med förhoppningen om att kunna tjäna som stöd vid implementering av olika laserprocesser i svensk verkstadsindustri!

- * Tidig information mellan nybilsprojekt och fabrik rörande nya installationer och processer, vilket kommer att skapa ett tidigt engagemang från produktionspersonalens sida.
- * Träning för att skapa djupkun-

skap om hur laserprocesserna fungerar, då många misslyckanden visat sig bero på handhavandemisstag från fabrikspersonalens sida.

- * Upplärning av personal skall ske i tidigt skede, antingen i för utbildningsändamål speciellt inrättade laserceller eller i fabriken.
- * Etablering av ett utbildningscentrum i själva fabriken
- * Personal från olika produktionsanläggningar dras samman i anslutning produktionsstarten för att centralt utbildas i laserteknik. Dessa personer återvänder sedan till respektive fabrik för att implementera tekniken.
- * Validering av produkt och process i fabriken där laserprocessen är avsedd att användas kommer att involvera personalen på ett naturligt sätt.
- * Kunskapstransfer från projektorganisationen till produktionsan-



Figur 1. Finns det platser kvar?

Ganska snabbt fulltecknades deltagarlistan för den workshop som handlade om hur man förbereder en produktionsanläggning inför införandet av laserteknik.

läggningen kräver engagemang från båda sidor.

- * Det krävs omfattande kunskap om kvalitetskontroll i fabriken. Vad är att betrakta som en defekt artikel och hur skall processen justeras med hänsyn till detta?
- * En glasklar ansvarsfördelning mellan olika instanser i produktionen är nödvändig, vilket även innefattar någon form av central support.
- * Undvik att flytta runt personal som är öronmärkt för laserverksamheten till andra uppgifter.
- * Inverkan av produktdesign på utformningen av laserverktyg måste vara medvetandegjord hos konstruktörerna.
- * Produktutvecklingen måste ha förståelse för de faktorer som kan påverka lasersvetskvaliteten såsom detaljernas toleranser, återfjädring, klippkanter och hur den enskilda komponenten tillverkas (varmformning, plåtpressning, kanttrimning etc.).
- * Matchningsaktiviteter mellan detaljer och justering av fixturer måste gå hand i hand för att nå en optimal produktkvalitet och bästa möjliga geometriförutsättningar inför lasersvetsning.
- * Det krävs en helhetssyn över laserinstallationen, vilken också inkluderar mediatillförsel och dess kostnader och hur dessa förväntas variera i framtiden.
- * "Plug and play"-lösningar och nyckelfärdiga anläggningar efterfrågas på vissa marknader, vilket gör att problem som sedan upp-

kommer i löpande produktion kan bli svårhanterliga.

- * Lämpligt att starta med lasersvetsning på mindre delsammanställningar innan tekniken tas in i fabriken huvudflöden.
- * Produktionslinjerna måste vara så pass flexibla att de även kan hantera produkter som är specificerade för annan sammanställningsteknik, men även att så kallade "carry-back" kan implementeras på de gamla produkterna.
- * Då utrustning för processövervakning "on-line" används måste sådan utrustning uppvisa högsta tillförlitlighet.
- * Tillgång till kontrollsystem för att kontrollera utrustningens kondition måste finnas. ☺

En fiberoptisk kabel

– två användningsområden

2in1 fiber möjliggör för en TruLaser Cell 7040 fiber att både svetsa och skära endast med ett byte av optik

Av Mikael Mimer, Trumpf Maskin AB

Optimal skärning och svetsning med endast en fiberoptisk kabel. Den nya "2in1"-fibern gör att det är möjligt i en TruLaser Cell 7040 med disklasar.

Dess inre kärna har en diameter på 100 µm och den yttre ringkärnan har en diameter på 400 eller 600 µm. På det här sättet kan en optimal fokuspunkt fås för varje applikation. Den här nya fibern visades för första gången på Euroblech i Hannover.

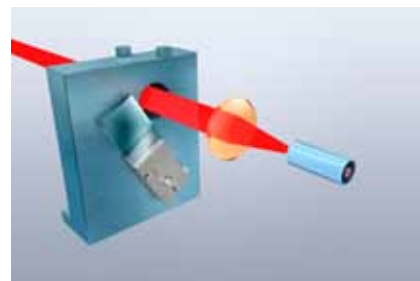
Laserskärning kräver högre strålkvalitet än lasersvetsning. Ett sätt att försäkra strålkvaliteten för att kunna svetsa är att defokusera laserstrålen, men det är i många fall inte tillräckligt. Därför krävs det att man byter fiberoptisk kabel samtidigt som man byter från skärning till svetsning och tvärtom. När laserstrålen når

arbetsstycket är det viktigt att den har rätt egenskaper och det är endast möjligt om den har transporterats genom en fiber som är anpassad för respektive uppgift.

Den nya fibern 2in1 som TRUMPF har tagit fram för användning tillsammans med disklaserversionen av TruLaser Cell 7000 har två olika, men helt koncentriskt placerade fiberdiametrar i en och samma fiberoptiska kabel. När maskinen skall skära leds laserljuset in i den inre tunnare fiberkärnan. När det är dags för svetsning så leds ljuset istället in i den yttre något större fibern. På det här sättet är det möjligt att säkertälla så att laserljuset har rätt egenskaper, till exempel fokuspunktsdiameter och skärpedjup, när det träffar arbetsstycket.

Användare som skall byta från skärning till svetsning i sin TruLaser Cell 7040 måste endast byta fokuseringsoptik. Styrningen i maskinen

identifierar sedan vilken optik som är ansluten och leder automatiskt in laserljuset i den för processen lämpliga fiberkärnan. Den nya fiber-teknologin gör det möjligt att på ett optimalt sätt kombinera skärning och svetsning i en och samma maskin baserad på disklaserteknologin. ☺



▶
**Vi ger dig »roligare«
plåtbearbetningslösningar**



3D Fiberlaser



Rapido Evo 3D fiberlaser. Film och mer info – klicka här ▶

Vi på Din Maskin är ett gäng på ca 45 glada specialister som sammantaget har många års erfarenhet av plåtbearbetning. Den energi och det engagemang som finns i vår organisation är något som vi med stolthet kan dela med oss av till andra. Eftersom vi tycker att plåt är så roligt har vi också kul på jobbet. Just det är en viktig ingrediens i ett framgångsrecept. Vi brukar säga att vi inte får tjäna så mycket pengar att vi inte har roligt, men vi får heller inte ha så roligt att vi inte tjänar några pengar. Välkommen till oss så har vi kul och tjänar pengar tillsammans!

Roa dig vidare på dinmaskin.se

Stansmaskiner, bockautomater, laserskärmaskiner, kantpressar, elektriska-, hydrauliska- och mekaniska pressar, bandmatning, saxar, rörbockningsmaskiner...



PRODUKTIONSUTRUSTNING FÖR PLÅT

Din Maskin AB, Teknikcenter; Silkesv. 22, Box 742, 331 27 Värnamo. Tel 0370-69 34 00. www.dinmaskin.se
Vi är certifierade enligt BS EN ISO 9001:2000

Den Q-switchade INNOSLAB-lasern erbjuder många olika användningsområden

Av Johnny K. Larsson, Volvo Cars

Dr. Keming Du och hans kollegor vid EdgeWave sopade som bekant hem det prestigefyllda Innovation Award Laser Technology, vilket delades ut under ceremoniella former vid AKL'10-konferensen tidigare i år [figur 1].

Priset fick man för att ha utvecklat en ny och innovativ mikrobearbetningsteknik genom vidareutveckling av en laserkälla som är lämplig



Figur 1. Dr. Keming Du gratuleras till erövrandet av Innovation Award Laser Technology av Dr. Stefan Kaierle, ordförande för European Laser Institute (ELI).

för en mångfald applikationer inom såväl industri som forskning. De så kallade Innoslab-lasrarna kombinerar diodpumpning, laserkristall, kylförfarande och resonatordesign på ett fördelaktigt sätt, vilket har resulterat i utmärkande egenskaper som korta pulslängder, höga effekttoppar, höga pulsfrekvenser, utmärkt strålkvalitet vid förhållandevis höga medeleffekter samt en flexibel strålprofil som kan varieras från en linjeformig, endimensionell tophat-mod till en tvådimensionell dito med rektangulärt tvärsnitt.

Som ni hör; en hel del intressant laserfysik, och sådant vill man ju veta mer om, eller hur? Därför passade jag på att ta pulsen på Dr. Du med hjälp av några intrikata frågeställningar då vi träffades under en paus mellan föreläsningarna under AKL'10 i Aachen.

Vad var egentligen det ursprungliga syftet med vidareutvecklingen av Innoslab-lasern?

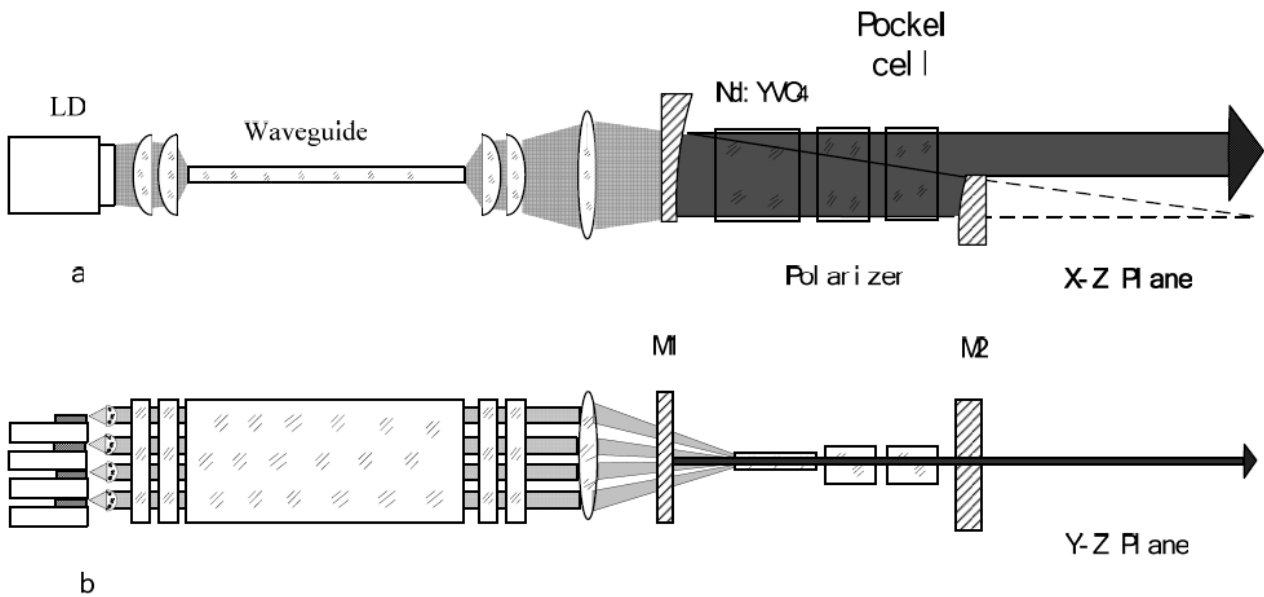
Själva grundkonceptet för Innoslab-lasern med tillhörande förstärkare uppfanns 1993. Vid den tidpunkten skedde en snabb utveckling av diodlasrarna med hänsyn till effekt, strålkvalitet och tillförlitlighet. Detta möjliggjorde utvecklingen av diodpumpade "fasta tillståndets" lasrar. Beträffande diodpumpade stavlasrar kunde man öka deras prestanda till medeleffekter kring 5 kW. Emellertid lämnade strålkvaliteten hos dessa lasrar fortfarande en hel del övrigt



att önska. Under samma period var pulslängden vid q-switchad användning åtskilliga nanosekunder. Diodpumpade disklasrar å andra sidan drog fördel av diodlasrarnas smala våglängdsområde och kunde därmed nå goda resultat vad gällde verkningsgrad och strålkvalitet. Optiska störningar undveks på ett elegant sätt via axiell pumpning och tunna laserkristaller. Handikappet för disklasrar kan hänföras till dess begränsade absorptionsförmåga vilket medför att endast kraftigt dopade lasermedia kan användas. Q-switchade disklasrar blir därför begränsade i användning på grund av sina långa pulslängder och låga puls-frekvenser. Vi utvecklade Innoslab-lasern för att tillhandahålla lasermarknaden en lösning på dessa begränsningar.

Vilka är då de väsentligaste fördelarna jämfört med andra laserkällor?

En q-switchad Innoslab-laser kombinerar ett antal element och designutformningar! Laserkristallen

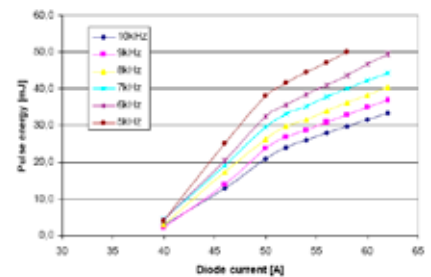
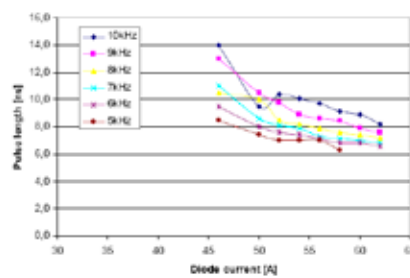


Figur 2. Innoslab-lasers schematiska design, vilken medför att vilken typ av laserkristall som helst kan användas, i detta fall en Nd:YVO4. För q-switchfunktionen används en Pockel-cell i kombination med en polarisator (överst).

är utformad som en platta och har endast två polerade ändtytor för att släppa igenom såväl strålningen från pumpdioderna som för den genererade laserstrålen. Kristallens två större ytor har termisk kontakt med var sin kylkropp för att därigenom uppnå en effektiv kylning.

Vidare kan man använda sig av så kallad partiell pumpning av laserkristallen genom att strålen som kommer ut från diodpaketet är linjeformig och därmed matchar slab-kristallen på ett optimalt sätt. Den volym som pumpas av en linjeformig laserstråle får en rektangulär tvärsnittsytta vilken "underfyller" kristallen (partiell pumpning), men koncentrerar laserexiteringen till kristallens centrum.

Genom en så kallad hybridresonator kan man begränsa laserstrålens diffraktion även vid höga verkningsgrader. Resonatorn är stabil i det plan som motsvarar slab-kristallens mindre tvärsnitt, men instabil och "off-axis" i det plan där kristallen har sin största utbredning. Eftersom resonatorns axel är parallell med pumpriktningen minskar riskerna för så kallad



Figur 3. Till vänster pulslängder i nanosekunder och till höger energin per laserpuls uttryckt i mJ som funktion av diodströmstyrka vid några olika repetitions hastigheter.

parasitisk oscillation avsevärt och därmed erhåller man en ökad energilagringsskapacitet. Som q-switch använder vi en fyrkantig Pockel-cell tillsammans med en polarisator [figur2]. Därmed kan den elektriska spänningen reduceras och möjliggör att höga repeterfrekvenser kan åstadkommas. Genom att använda Innoslab-designen kan vilken typ av laserkristall som helst användas. Detta gör att Innoslab-lasrarnas parameterfönster kan ökas alltefter det behov som den aktuella applikationen kräver.

Den optimala kombinationen av kristallform, kylningsförhållanden och resonatordesign är ursprung-

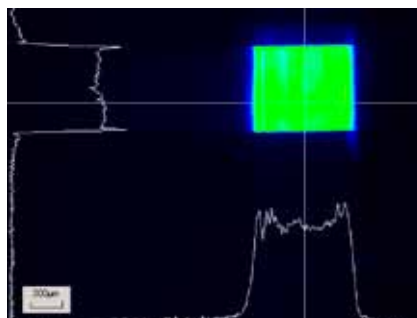
et bakom de unika egenskaper som Innoslab-lasrarna erbjuder, såsom korta laserpulstider [figur 3], höga topp effekter, höga repetitions hastigheter och en mycket bra strålkvalitet vid höga medeleffekter. Lägg därtill strålprofilens flexibilitet vars form kan varieras från en linjeformig endimensionell tophat-mod till en tvådimensionell tophat med rektangulärt tvärsnitt [figur 4]. Kortpulstekniken erbjuder precisionsbearbetning med minimala värmepåverkade zoner. Den förträffliga strålkvaliteten vid höga medeleffekter ökar såväl produktivitet som bearbetningsprecisionen. Strukturering och selektiv materi-

alberttagning på tunna filmer har nytta av den skräddarsydda strålprofil som Innoslab-lasern presenterar. För att sammanfatta det hela; Innoslab-lasrarna överträffar helt enkelt konkurrerande lasertyper i fråga om topp effekter, pulsfrekvenser såväl som i strålkvalitet.

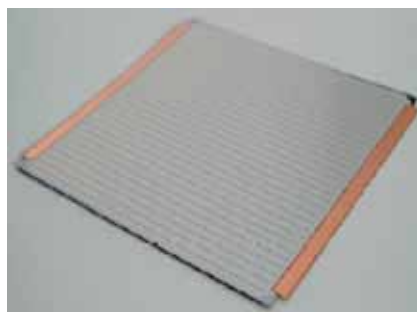
Vilka tror Du kommer att bli de viktigaste framtida applikationerna där Innoslab-laserns fulla kapacitet kan utnyttjas?

Innoslab-lasrarna kan användas i de flesta typiska laserbearbetnings-sammanhang. Vi fokuserar på applikationer där Innoslab-laserns unika egenskaper verkligen kan ge våra kunder största möjliga värde. Vid produktion av tunna filmer för solceller används den till ritsning, kantavverkning och borrarning av kontakteringshål [figur 5]. För tillverkning av kiselplattor till solceller används denna lasertyp till att strukturera fram de icke-ledande respektive konduktiva skikten [figur 6].

Processer för selektiv dopning och härdning är föremål för en intensiv utveckling och vi räknar med att ha dessa processer färdigpassade i en nära framtid. Inom området "displayers" används Innoslab-lasrar för att härda TFT- [Thin Film Transistor] plattskärmar, men också för skärning av indikatorpaneler i glas. Inom halvledarindustrin används Innoslab-lasern för att skapa EUV- [Extreme UltraViolet] strålning med 13 nm våglängd, vilket är den väsentliga beståndsdel i nästa generations litografiprocess. Sist men inte minst används Innoslab-lasrar för forskning och utveckling, till exempel för pumpning av lasrar i det synliga våglängdsområdet och av OPOs [Optical Parametric Oscillators], vilka används vid analys av förbränningsprocesser, spektroskopi och foto-akustisk diagnos.



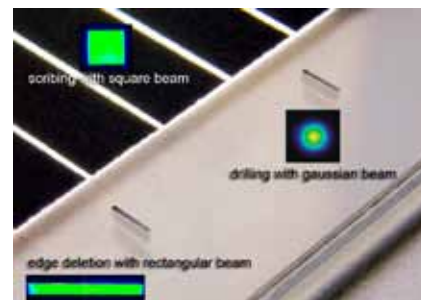
Figur 4. Med Innoslab-lasern kan strålprofilen skräddarsys alltefter behov, här illustrerat med en tvådimensionell hatprofil-mod med rektangulär fokusfläck. Strålkvaliteten (M^2) är i båda dimensionerna lägre än 2, och den numeriska aperturen $< 0,05$ vid våglängden 532 nm.



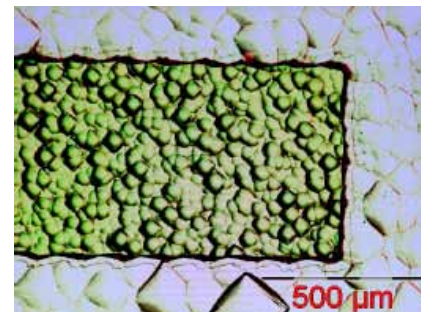
Figur 6. En annan solcellsapplikation för Innoslab-lasern är att strukturera fram dielektriska och konduktiva skikt på de kiselplattor som används.

Innoslab-lasern har visat sin duglighet beträffande höga pulsfrekvenser, topp effekter och suverän strålkvalitet! Inom vilka ytterligare områden planerar Ni på EdgeWave att göra förbättringar?

Just nu menar jag att vi lyckas förse marknaden med Innoslab-lasrar som ger rimliga parameteromfång. Den framtida utvecklingen kommer att fokusera på att "skala upp" medeleffekten till över 1 kW, energin per puls till 100 mJ och pulsfrekvensen till över 200 kHz. Dessutom försöker vi att minska storleken på våra lasrar, speciellt med tanke på de applikationer som krä-



Figur 5. Vid tillverkning av solceller drar man nytta av Innoslab-laserns flexibla strålprofil. Här använder man sig av en fyrkantprofil för ristning, en rektangulär profil vid kantavverkning och till sist en Gaussisk profil för hålborrarning.



ver en skräddarsydd strålprofil, och där fiberlasrar eller fiberdistribution av laserstrålen inte kan leverera motsvarande energidistribution till arbetsstället. Ett annat fokus för framtida satsningar är att vidareutveckla Innoslab-förstärkarna. Med en ny generation av dessa blir det möjligt att öka den tillgängliga effekten hos ps- och fs-lasrar till hundratals Watt, ja varför inte till och med över 1 kW, och därmed understryka Innoslab-laserns flexibilitet beträffande strålprofil, dess kompakta uppbyggnad, prisvärdheten samt dess tillförlitlighet vid industriella applikationer. ☺

edgewave

Mikrobearbetning med laser

Johnny K Larsson, Volvo Cars

Lasermärkning av tegel

Av rödlera framställda tegelstenar används inom skilda områden i byggnadsindustrin som exempelvis i fasader eller som material i trottoarbeläggningar. CO₂-lasermärkning erbjuder permanenta gravyrer på tegel, vilka kan motstå väderpåverkan i tuffa utomhusklimat.

En vanligt förekommande applikation är ingravering av donatornamn på välgörenhetsinrättningar, minnestavlor och trottoarbeläggningar [figur 1]. Dessa projekt passar bra för lasermärkning då de kräver ett större antal av varierande individuella tecken samtidigt som processen måste vara lätt att automatisera eftersom det ofta rör sig om stora serier. I det här illustrerade exemplet läser märkverktyget av sekvensen av märkdata från en textfil ansluten till en PC eller ett nätverk. Varje textlinje i datafilen innehåller namnet på en donator, och när graveringen av ett namn är fullbordad flyttas märkningsinformationen vidare till nästa rad i textfilen.

Utrustningen för den här speciella applikationen utgjordes av en 100 W CO₂-laser med ett så kallat "FH Flyer" märkverktyg med en fokallängd på 200 mm. Verktyget åstadkommer en brännfläcksdiameter på 290 µm på tegelytan och erbjuder ett märkfält på 134 × 165

mm som väl täcker en normal tegelsten. Märkningen består av 15,2 mm höga Arial "TrueType"-tecken. Upplösningen för teckenmarkeringen har varit inställd på ungefär 40 "scanning"-linjer" per sekund och märkningshastigheten ligger på 190,5 mm/sek.

Denna form av högupplöst märkning tar 6 minuter per tegelsten. Själva märkningen är som sagt en form av gravyr vilket ger en vacker kontrastverkan. Kiselinnehållet i teglets yta smälter och omvandlas till en tunn glasfilm som garanterar en hållbar och något glänsande karaktär på texten.

Laserskärning av trä med 400 W effekt

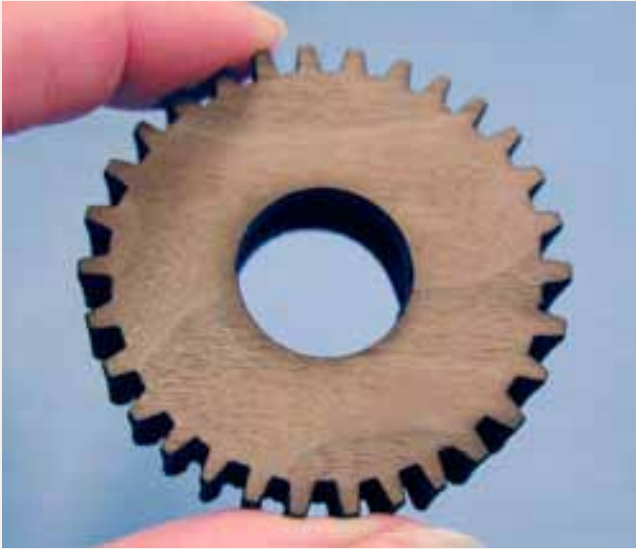
Många välkända industriella laserprocesser innefattar skärning, märkning, borrar och svetsning i olika metalliska eller polymerbaserade material. Emellertid är även produkter tillverkade av trä ideella kandidater för bearbetning med CO₂-laser. Några applikationer värda att nämna är exempelvis utskärning av komplexa bitar för sällskapspuzzles, mönsterskärning av trämallar i björk och lönn, samt skärning av invecklade balsaträdelar för modellbyggsatser.

Eftersom laserskärning av trä är en kemisk degraderingsprocess, där träfibrer bränns bort och avlägsnas från skärnsnittet med hjälp av en trycksatt tillsatsgas blir skärkanterna vanligtvis förkolnade, medan däremot en ringa kulörförändring syns på anslutande ytor.

Det största problemet vid skärning av trä, oavsett



Figur 1. Denna minnessten har lasermärkts med 100 W effekt och en processhastighet på cirka 200 mm/sek. Till höger syns graveringen med dess lätt glänsande bokstäver mer i detalj.



Figur 2. Detta intrikata kuggmönster har skurits ut i cirka 13 mm tjockt valnötsträ med hjälp av en 400 W CO₂-laser och en skärhastighet på över 2 m/min.

vilken metod som används, är förekomsten av fukt samt trämaterialens densitet. Torrt trä med låg vikt är lättskuret medan fuktmättade trämaterial fordrar lägre skärhastigheter. Om man därför har laserskärning i åtanke är konstanta lagringsförhållanden och kontroll av fuktigheten hos trämaterialiet avgörande för lyckade och repeterbara skärresultat.

För att illustrera kapabiliteten hos en 400 W CO₂-laser skars den i figur 2 återgivna kuggghjulslika detaljen ut ur en 12,7 mm tjock bräda av valnöt. Ett x-y-baserat skärhuvud med 63,5 mm brännvidd resulterar i en fokalpunkt med 100 µm diameter och ett skärpedjup på 1,8 mm. Den trycksatta tillsatsgasen med ungefär 2 bars tryck tillförs koaxiellt genom skärmunstycket.

Med 400 W lasereffekt skars det aktuella mönstret ut med en hastighet på 2,16 m/min och cykeltiden för tillverkning av en detalj låg på 29 sekunder. Trots att de laserskurna tandytorna uppvisar en viss förkolning är såväl ovan som undersidan ren och fri från missfärgning.

Lasermärkning av streckkoder i miniatyrstorlek

Trots att tvådimensionella kodformat som "Data Matrix" eller "QR Code" blir alltmer populär på grund av sin stora datalagringskapacitet och kompakta storlek, används fortfarande streckkoder i stor utsträckning. Detta är främst beroende på den omfattande förekomsten av handhållna streckkodsläsare och den investeringskostnad som dessa tillsammans med sina dataprogram representerar.

Det huvudsakliga problemet vid märkning av



Figur 3. Denna typ (Code 128) av streckkod, som täcker en ytan av 12,5 × 2 mm, lasermärktes tillsammans med 9 alfanumeriska tecken på inalles 0,27 sekunder med 10 W lasereffekt och en processhastighet på cirka 1.450 mm/sek.

streckkoder är utrymmesbristen på små komponenter. Om man reducerar storleken på streckkoden leder detta ofta till att man förlorar det smala området mellan tunna och tjocka streck i koden på grund av kokning och återsmältning av det märkta materialet. Lösningen för den här aktuella kunden bestod i två åtgärder. Dels att använda sig av lasermärkta etiketter som har bättre förutsättningar för finare märkning och eliminerar de problem som uppstår vid direktmärkning i komponenten, dels att använda en fokuseroptik med blott 80 mm brännvidd för att kunna skapa en mindre fokalpunkt.

Kravet blev att streckkoden, som är i storleksordningen "Code 128" skulle kompletteras med alfanumeriska tecken för manuell avläsning samt att etiketten inte fick vara större än 16 × 5 mm [figur 3]. För att åstadkomma detta utrustades märkverktyget med den ovan nämnda 80 mm linsen som ger en 116 µm stor brännfläck på arbetsstycket. Nio alfanumeriska tecken märktes tillsammans med en streckkod som är 1,9 mm hög. Minsta avstånd mellan strecken i koden är 0,14 mm och förhållandet mellan tjockaste och tunnaste streck är 3:1. Märkningshastigheten ligger på cirka 1.450 mm/sekund vid en medeleffekt på 10 W. De för ögat läsbara tecknen har en höjd på 0,635 mm och samma värde gäller för avståndet mellan tecknen. För de senare tecknen har man använt samma värden för parameterinställning som gällde vid skapandet av streckkoden. Med dessa parametrar tog det 0,27 sekunder att märka den kompletta etiketten. Även för denna extremt lilla etikettstorlek avläses streckkoden med lätthet med hjälp av en handhållen läsare. ☺



Rapport från AKL'10, Eurogress, Aachen, GER, 5-7/5 2010

Högtidligt i Europas lasercentrum Aachen då "Innovation Award Laser Technology 2010" delades ut



Av Johnny K Larsson, Volvo Cars

Att just Aachen blivit något av ett "Laserteknikens Mekka" i Europa är kanske inte så förvånande då man betraktar de förutsättningar för högteknologisk forskning som finns i regionen.

Detta framgick med all önskvärd tydlighet under Dr. Michael Stückradts [figur 1] inledningsanförande vid AKL'10 [Aachener Kolloquium für Lasertechnik]. Dr. Stückradt är minister för utvecklings- vetenskaps- och forskningsfrågor i delstaten Nordrhein-Westfalen, ett "Bundesland" med omkring 17,9 miljoner invånare. Av dessa utgör ungefär 500 000 studenter, vilket är 20% av det totala antalet universitetsstudenter i Tyskland. Antalet utländ-

ska studenter uppgår till 60 000 eller 12% av samtliga besöksstudenter i landet. Regionen kan stoltsera med hela 68 universitet och 48 så kallade teknologicentra. Inte mindre än 24 av Tysklands 50, i omsättnings-siffror räknat, största företag finns i Nordrhein-Westfalen. Om vi tittar närmare på just laserbranschen finns här 560 företag som på något sätt sysslar med utveckling och/eller tillverkning av optiska komponenter! Centralt i denna verksamhet hittar vi just ILT [Institute für Laser-Technik] i Aachen med cirka 600 anställda inklusive alla gästforskare. De imponerande lokalerna omfattar en sammanlagd yta på över 10 000 m², och man lär sedan 1990 ha beviljats inte mindre än 356 laserrelaterade patent.

Vid den förra AKL-konferensen 2008 berättade ju ILTs institutions-



Figur 1. Forskningsministern, Dr. Michael Stückradt, i delstaten Nordrhein-Westfalen gav konferensdeltagarna en god inblick i de förutsättningar för teknikinnovationer som råder i regionen, inte minst då med tanke på den laserforskning som bedrivs men även vad det gäller etablering av nya företag inom laserbranschen.

föreståndare professor Reinhart Poprawe [figur 2] om de ambitiösa planer som finns på att etablera ett RWTH [Rheinland Westfalen Tech-



Figur 2. Mr Dynexity? Professor Reinhart Poprawe, institutionsföreståndare vid ILT och tillika en av initiativtagarna till AKL-konferenserna har ju myntat begreppet Dynexity. Med detta vill han ha sagt att vi som arbetar inom laserområdet befinner oss i en dynamisk men samtidigt komplex tillvaro.



Figur 3. Sanningens ögonblick närmar sig då Paul Hilton står i begrepp att tillkännage vem som är vinnare av Innovation Award Laser Technology 2010.



Figur 4. Hans-Jörg Bullinger presenterar priset för en värdig vinnare, nämligen Dr. Keming Du och hans team från Edgewave GmbH.

nische Hochschule] Campus där ett av två landområden på sammanlagt 2,5 km² kommer att ligga i anslutning till ILT. Projektet har nu gått in i en projekteringsfas och kommer att omfatta 19 stycken så kallade "forskningskluster" varav ett är det laseranknutna "Photonics". Detta kommer att vara ett av de första åtta "kluster" som kommer att invigas under de närmaste åren. Den totala "prisappen" för RWTH Campus påstår Dr. Poprawe kommer att ligga kring 2 000 000 000 euros!

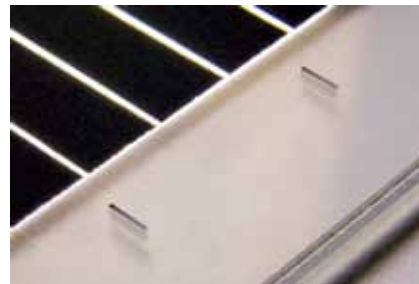
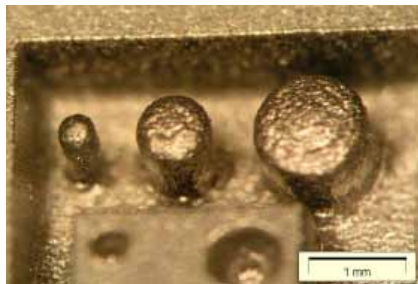
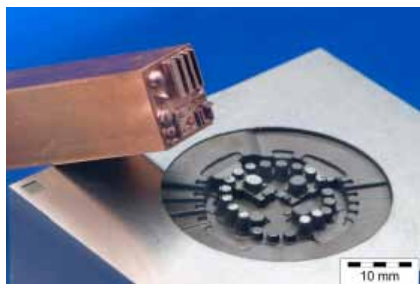
Professor Poprawe är tillika vice ordförande i organisationen Arbeit-

skreis Lasertechnik e.V., vilken tagit initiativet till det så kallade "Innovation Award Laser Technology", som traditionsenligt delas ut vid varje AKL-konferens. Priset kan ges till en enskilda forskare eller till en hel projektgrupp, vars specifika färdigheter och engagerade arbete lett till väsentliga framsteg inom laserforskningen. Forskningsprojekten i fråga måste fokusera på användningen av laserljus vid materialbearbetning och/eller metoder för att åstadkomma dylikt ljus, men måste också på ett klart sätt kunna visa på en kommersiell användbarhet för industrin.

I år hälsade Dr. Poprawe oss välkomna i Aachens anrika rådhus, och riktade sig speciellt till de tre finalistlagen och de tio medlemmarna i den internationella juryn där bland annat vår nordiska kollega professor Veli Kujanpää från Lappeenranta University of Technology ingår. En annan medlem är sympatiske Dr. Paul Hilton från The Welding Institute [TWI] i Abington, Cambridge, vilken i sitt tal framhöll det hängivna arbete som alla tre finalistlagen visat upp [figur 3], liksom de enastående uppfinningar projektteamen hade åstadkommit inom laserteknikens område. Professor Hans-Jörg Bullinger, verkställande direktör för Fraunhofer-Gesellschaft och tillika middagstalare överräckte därpå förstapriset till Dr. Keming Du och hans forskarkollegor från Edgewave GmbH i Würselen [figur 4]. Teamet, som förutom Dr. Du består av Dr. Claus-Rüdiger Haas, Dipl.-Ing. Alexander Schell och Dr. Dailjun Li, har utvecklat en Q-switchad Innoslab-laser för högkvalitativ mikrobearbetning. Förutom en vacker pristrofé erhöll vinnarna en check på 10 000 euros samt personliga diplom, de senare delades ut av Dipl.-Ing. Ulrich Berners, ordförande i Arbeitskreis Lasertechnik e.V. och Dr. Stefan Kaierle, ordförande för European Laser Institute [ELI].

Enligt juryns åsikt representerar Innoslab-lasern en förhållandevis ny lasertyp vilken är lämplig för en stor mängd applikationer [figur 5] inom olika industrisektorer och för forskning. Bland annat kan den användas för mikrobearbetning av glas, gravering, kantförsegling, ytstrukturering av tunna folier samt som pumpkälla för andra lasertyper. Den tekniska påverkan som uppfinningen medför inkluderar:

- * En förbättring av existerande tillverkningsprocesser
- * Möjliggör nya produktionsprocesser och nya typer av produkter



Figur 5. Olika användningsområden för Innoslab-lasern; från vänster "rapid prototyping" av verktygsinsatser, strukturering av verkstygssytor och längst till höger borrar, fräsning, ritsning och ablation av tunna filmer för solcellspaneler.

- * Precisionsbearbetning med smal värmepåverkad zon och hög reproducerbarhet
- * Förhöjd produktivitet vid mikrobearbetning
- * Nya designer vid hålbörning genom att det blir möjligt att förändra hålens tvärsnitt över dess djup
- * Bearbetning inom det gröna våglängdsområdet med hög verkningegrad
- * Effektiv pumpning av OPO- och OPA-lasrar vid höga frekvenser

Baserat på de inledningsvis nämnda bedömningskriterier valde den internationella juryn ut ytterligare två pristagare som fick ta del av den festiva som rådde i rådhusets "Krönungssaal" denna kväll. Priset för andra plats gick till Dipl.-Ing. Jürgen Dupré [figur 6] och hans team från Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG i Dahlewitz och Oberursel för utvecklingen av en ny reparationsteknik för komponenter till flygplansmotorer där man använder sig av så kallad LMD [Laser Metal Deposition].

Tredjepriset lade Dipl.-Ing. Hermann Lembeck [figur 7] och hans team från Meyer Werft Laserzentrum GmbH i Papenburg beslag på. Varvet har ju en lång tradition från laserhybridsvetsning, och innovationen nu låg i att man har implementerat denna typ av laserbearbetning baserad på disklasrar.

För den som vill veta mer om prisutdelningen och de olika pristagarna rekommenderas ett besök på www.innovation.award.laser.org.



Figur 6. Andrapriset i Innovation Award Laser Technology 2010 gick till Rolls-Royce Deutschland Ltd., medan.....



Figur 7. Hermann Lembeck (närmast Poprawe) och hans team från Meyer Werft Laserzentrum GmbH lade beslag på tredjepriset.

A Short History of the Laser

– a Trip Through the Light Fantastic

Källa Photonics Spectra

April 26, 1951: Charles Hard Townes of Columbia University conceives his maser (microwave amplification by stimulated emission of radiation) idea while sitting on a park bench in Washington.

1955: At P.N. Lebedev Physical Institute in Moscow, Nikolai G. Basov and Alexander M. Prokhorov attempt to design and build oscillators. They propose a method for the production of a negative absorption that was called the pumping method.

1956: Nicolaas Bloembergen of Harvard University develops the microwave solid-state maser.

Sept. 14, 1957: Townes sketches an early optical maser in his lab notebook.

Nov. 13, 1957: Columbia University graduate student Gordon Gould jots his ideas for building a laser in his notebook and has it notarized by Jack Gould (no relation) at a candy store in the Bronx. It is considered the first use of the acronym LASER, light amplification by stimulated emission of radiation. Gould leaves the university a few months later to join private research company TRG (Technical Research Group).

1958: In a joint paper published in Physical Review Letters, Townes, a consultant for Bell Labs, and his brother-in-law, Bell Labs researcher Ar-



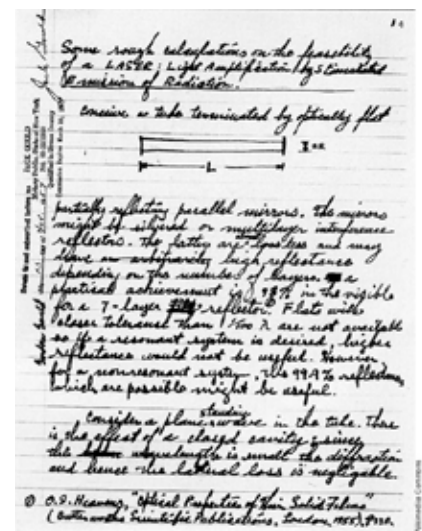
Charles Hard Townes of Columbia University.

thur L. Schawlow, theoretically show that masers could be made to operate in the optical and infrared region and propose how this could be accomplished. At Lebedev Institute in Moscow, Nikolai Basov and Alexander Prokhorov are also exploring the possibilities of applying maser principles in the optical region.

April 1959: Gould and TRG apply for laser-related patents stemming from Gould's ideas.



Nikolai G. Basov.



Gordon Goulds anteckningar där order LASER troligen nämns första gången.



Arthur L. Schawlow.



Alexander M. Prokhorov.



Laser patent till Jones och Schawlow.



Kumar Patel uppfinnar CO₂-lasern 1964. Bilden är från 1967.

March 22, 1960: Townes and Schawlow, under Bell Labs, are granted US patent 2,929,922 for the optical maser, now called a laser. With their application denied, Gould and TRG launch what would become a 30-year patent dispute related to laser invention.

May 16, 1960: Theodore H. Maiman, a physicist at Hughes Research Laboratories in Malibu, Calif., constructs the first laser using a cylinder of synthetic ruby 1 cm in diameter and 2 cm long, with the ends silver-coated to make them reflective and able to serve as a Fabry-Perot resonator. Maiman uses photographic flashtlamps as the laser's pump source.

July 7, 1960: Hughes holds a press conference to announce Maiman's achievement.



Theodore H. Maiman demonstrerar laserljus för första gången.

December 1960: Ali Javan, William Bennett Jr., and Donald Herriott of Bell Labs develop the helium-neon (HeNe) laser, the first to generate a continuous beam of light at 1.15 μm

October 1961: American Optical Co.'s Elias Snitzer reports the first operation of a neodymium glass (Nd: glass) laser.

1961: Lasers begin appearing on the commercial market through companies such as Trion Instruments, Perkin-Elmer and Spectra-Physics

December 1961: The first medical treatment using a laser on a human patient is performed by Dr. Charles J. Campbell of the Institute of Ophthalmology at Columbia- Presbyterian Medical Center and Charles J. Koester of the American Optical Co. at Columbia-Presbyterian Hospital in Manhattan. An American Optical ruby laser is used to destroy a retinal tumor.

1962: With Fred J. McClung, Hellwarth proves his laser theory, generating peak powers 100 times that of ordinary ruby lasers by using electrically switched Kerr cell shutters. The giant pulse formation technique is dubbed Q-switching. Important first applications include the welding of springs for watches.



HeNe laser.

June 1962: Bell Labs reports the first yttrium aluminum garnet (YAG) laser.

1963: Herbert Kroemer of the University of California, Santa Barbara, and the team of Rudolf Kazarinov and Zhores Alferov of the A.F. Ioffe Physico-Technical Institute in St. Petersburg, Russia, independently propose ideas to build semiconductor lasers from heterostructure devices. The work leads to Kroemer and Alferov winning the 2000 Nobel Prize in physics.

1964: The carbon-dioxide (CO₂) laser is invented by Kumar Patel at Bell Labs. The most powerful continuously operating laser of its time, it is now used worldwide as a cutting tool in surgery and industry.

1964: Nd:YAG (neodymium-doped YAG) laser invented by Joseph E. Geusic and Richard G. Smith at Bell Labs. The laser later proves ideal for cosmetic applications, such as LASIK vision correction and skin resurfacing.

1964: Townes, Basov and Prokhorov are awarded the Nobel Prize in physics for their "fundamental work in the field of quantum electronics, which has led to the construction of oscillators and amplifiers based on the maser-laser-principle.



Gordon Gould.



Steven Cu.

1965: Jerome V.V. Kasper and George C. Pimentel demonstrate the first chemical laser, a 3.7- μm hydrogen chloride instrument, at the University of California, Berkeley.

1966: Charles K. Kao, working with George Hockham at Standard Telecommunication Laboratories in Harlow, England, makes a discovery that leads to a breakthrough in fiber optics. He calculates how to transmit light over long distances via optical glass fibers, deciding that, with a fiber of purest glass, it would be possible to transmit light signals over a distance of 100 km, compared with only 20 m for the fibers available in the 1960s. Kao receives a 2009 Nobel Prize in physics for his work.



Philips announces the compact disc (CD) project.

1970: Nikolai Basov, V. A. Danilychev, and Yu. M. Popov develop the excimer laser at P.N. Lebedev Physical Institute in Moscow.

Spring 1970: Zhores Alferov's group at the Ioffe Physico-Technical Institute in Russia and Mort Panish and Izuo Hayashi at Bell Labs produce the first continuous-wave room-temperature semiconductor lasers, paving the way toward commercialization of fiber optics communications.

1970: Gordon Gould buys back his patent rights for \$1 plus 10 percent of future profits when TRG is sold.

1970: At Corning Glass Works (now Corning Inc.), Drs. Robert D. Maurer, Peter C. Schultz and Donald B. Keck report the first optical fiber with loss below 20 dB/km, demonstrating the feasibility of fiber optics for telecommunications

1970: Arthur Ashkin of Bell Labs invents optical trapping, the process by which atoms are trapped by laser light. His work pioneers the field of optical tweezing and trapping and leads to significant advances in physics and biology.

June 26, 1974: A pack of Wrigley's chewing gum is the first product read by a bar-code scanner in a grocery store.

1975: Engineers at Laser Diode Labs Inc. develop the first commercial continuous-wave semiconductor laser operating at room temperature. Continuous-wave operation enables the transmission of telephone conversations.

1977: The first commercial installation of Bell Labs fiber optic lightwave communications system is completed under the streets of Chicago.

Oct. 11, 1977: Gordon Gould is issued a patent for optical pumping, then used in about 80 percent of lasers.

1978: Following the failure of its videodisc technology, Philips announces the compact disc (CD) project.

1979: Gordon Gould receives a patent covering a broad range of laser applications.

1981: Arthur Schawlow and Nicolaas Bloembergen receive the Nobel Prize in physics for their contributions to the development of laser spectroscopy.

October 1982: The audio CD, a spinoff of LaserDisc video technology, debuts. While ABBA's new album, "The Visitors," is the first to be manufactured on CD, the first CD to be released commercially



Intel's Light Peak.

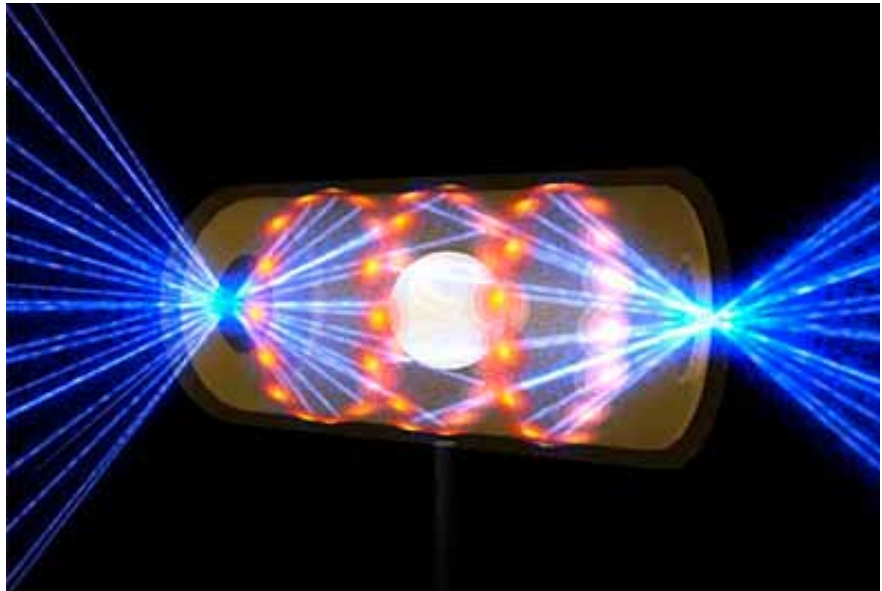
is Billy Joel's 1978 album "52nd Street."

1985: Bell Labs' Steven Chu (now US Secretary of Energy) and his colleagues use laser light to slow and manipulate atoms. Their laser cooling technique, also called "optical molasses," is used to investigate the behavior of atoms, providing an insight into quantum mechanics. Chu, Claude N. Cohen-Tannoudji, and William D. Phillips win a Nobel Prize for this work in 1997.

1987: David Payne at the University of Southampton in England and his team introduce erbium-doped fiber amplifiers. These new optical amplifiers boost light signals without first having to convert them into electrical signals and then back into light, reducing the cost of long distance fiber optic systems.

1988: Nearly 30 years after his laser-building brainstorm, Gordon Gould begins receiving royalties from his patents.

1994: The single atom laser, a fundamental system in which a two-level atom is coupled to a single mode of the optical field, is demonstrated



National Ignition Facility (artists concept).

by Michael S. Feld, Ramachandra R. Dasari, James J. Childs and Kyungwon An at MIT's George R. Harrison Spectroscopy Laboratory in Cambridge, Mass.

Sept. 2003: A team of researchers from NASA's Marshall Space Flight Center in Huntsville, Ala., from NASA's Dryden Flight Research Center at Edwards, Calif., and from the University of Alabama in Huntsville successfully flies the first laser-powered aircraft. The plane, its frame made of balsa wood, has a 1.5-m wingspan and weighs only 311 g. Its power is delivered by an invisible, ground-based laser that tracks the aircraft in flight, directing its energy beam at specially designed photovoltaic cells carried onboard to power the plane's propeller.

May 29, 2009: The largest and highest-energy laser in the world, the National Ignition Facility (NIF) at Lawrence Livermore National Laboratory in Livermore, Calif., is dedicated. In a few weeks, the system begins firing all 192 of its laser beams onto targets.

September 2009: Lasers get ready to

enter household PCs with Intel's announcement of its Light Peak optical fiber technology at the Intel Developer Forum. Light Peak contains VCSELs (vertical-cavity surface-emitting lasers) and can send and receive 10 billion bits of data per second, meaning it could transfer the entire Library of Congress in 17 minutes. The product is expected to ship to manufacturers in 2010.

December 2009: Industry analysts predict the laser market globally for 2010 will grow about 11 percent, with total revenue hitting \$5.9 billion

January 2010: The National Nuclear Security Administration announces that NIF has successfully delivered a historic level of laser energy — more than 1 MJ — to a target in a few billionths of a second and demonstrated the target drive conditions required to achieve fusion ignition, a project scheduled for the summer of 2010. The peak power of the laser light is about 500 times that used by the US at any given time.

More information is available at: www.photonics.com/linearcharts/default.aspx?ChartID=2 ☺

IIW-C IV annual assembly och konferens i Istanbul, 12-16 juli 2010

Av Alexander Kaplan, Luleå tekniska universitet

I Istanbul, högt över havet med fantastiska vyer över Bosporen i synfältet, träffades igen ett stort antal svetsexperter från hela världen – varav 35 från Sverige!

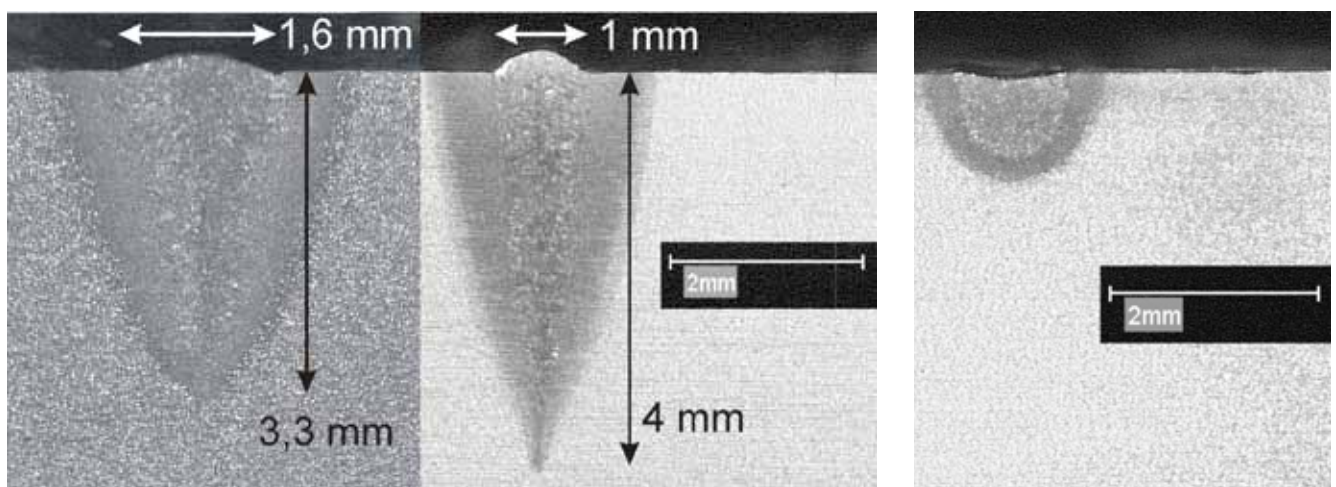
Anledningen till denna samling var att "63rd Annual Assembly & International Conference of the International Institute of Welding (IIW)" inkl konferens (AWST-2010)¹ och workshops med ett 20tal kommissioner och arbetsgrupper, gick av stapeln. Som den svenska representanten i "Commission C IV – Power Beam Processes" rapporterar jag nedan om de mest intressanta föredragen inom denna arbetsgrupp, men också om laserrelevanta presentationer under konferensen. Utöver de 14 presentationerna i C IV (59 deltagare från 29 länder; chairman: Ernest Levert, Lockheed Martin, USA) hölls ytterligare 16 före-

drag i en gemensam workshop mellan C IV, C XII (Bågsvetsmetoder och produktionssystem) och SG 212 (Studiegrupp – Svetsningens fysik). 18 av de totalt 30 föredragen handlade om lasersvetsning, åtta om laserhybridsvetsning, två om ljusbågsvetsning, en om elektronstrålsvetsning (plus en gemensamt med laser) och en om laserskärning – dessutom presenterades omkring 30 laserrelevanta föredrag på konferensen (och även i andra kommissioner).

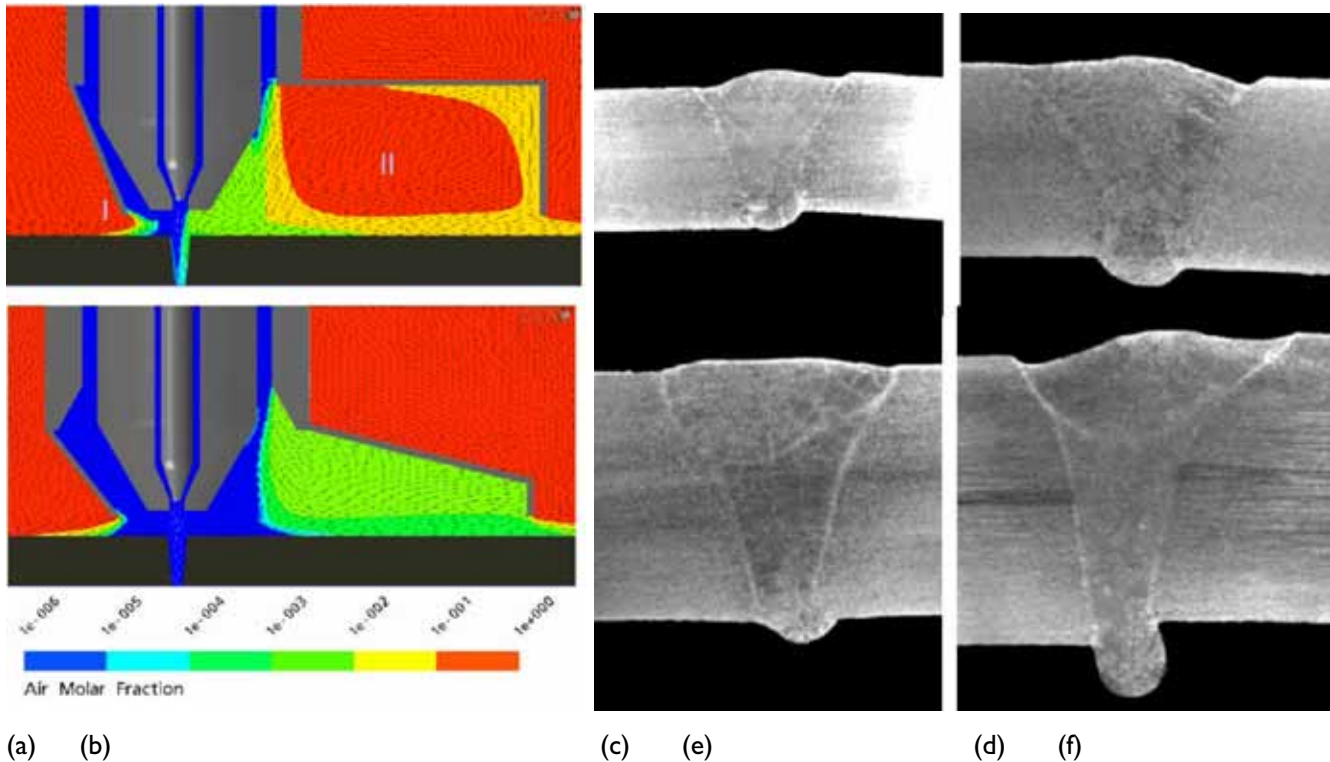
Väldigt intressant var jämförelsen (RWTH Aachen) mellan elektron- och laserstrålsvetsning i vakuum. En single mode fiberlaser med en effekt på 600 W, fokallängd på 800 mm och diameter 60 μm jämfördes med en 600 W elektronstråle med 300 μm diameter - som gör dem svåra att jämföra. Det visade sig tydligt, som förväntad, att det låga trycket leder till en djupare, smalare lasersvets, se figur 1(b) än under atmosfärstryck där det inte skapas ngt nyckelhål, se figur 1(c). Lasersvetsen i vakuum, här kallad LaVa, blev till och med smalare än e-strålesvetsen, figur 1(a),

men det beror också på fokalpunktsdiametern. När det diskuterades för- och nackdelar så uttryckte Herr Reisgen att särskilda fördelar hos elektronstrålen kommer nog alltid att finnas; elektron-"absorptionen" är alltid väldigt hög och strålens rörelse, fokus och uppdelning kan lätt manipuleras elektromagnetisk. För elektronstrålesvetsning av titanlegeringar visade kinesiska kollegor hur restspänningsspetsen kan minskas med 20% om man efterbehandlar svetsen med 30-minuters lokal anlöpning (igen med elektronstråle).

Från försök med elektronstrålesvetsning av de hårdbara aluminium 6XXX-legeringarna (AlMgSi) kunde vi lära oss att varmsprickor kunde undvikas (med lämpligt tillsatsmaterial) genom stråldelning till tre elektronstrålar, som funkar på ett elegant sätt på grund av den elektromagnetiska strålstyrningen. Bredvid en huvudstråle med 70% av effekten arrangerades två ytterligare strålar (bakom huvudstrålen, på gränsen smältan-HAZ) med 15% effekt vardera. På så sätt förändrades



(a) (b) (c)
Figur 1: Jämförelse av svetsvävsnitt (liknande parametrar) från (a) elektronstråle i vakuum (103 Pa), (b) laserstråle i vakuum (LaVa, 103 Pa), (c) laserstråle under atmosfärstryck (105 Pa).

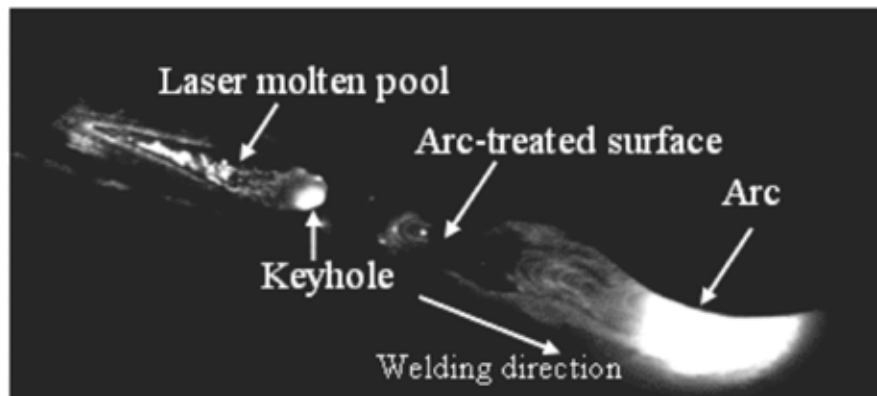


Figur 2: Nyckelhålssvetsning med plasmateknik: beräkning av gasflöde (a) utan och (b) med munstycksoptimering; svetsvärnsnitt för olegerad stål av tjocklek (c) 6 mm, (d) 8 mm, (e) 10 mm, (f) 12 mm.

temperaturfältet och det mekaniska spänningsfältet på ett gynnsamt sätt vilket gjorde att man kunde undvika varmsprickor.

Utöver de mer kända nyckelhåls-svetssteknikerna laser och elektronstråle har plasmavetsningen utvecklats vidare i Dresden och Hannover, Tyskland. Medan det fungerar för tjockare rostfria stålplåtar upp till 15 mm kan olegerade stål bara svetsas upp till 6 mm tjocklek på grund av sin låga viskositet som leder till en för bred svets som gör att det skapas droppar i svetsroten. Nu har man med hjälp av FEA optimerat plasmatekniken, se figur 2(a),(b), så att den kan nyckelhålssvetsas i upp till 6 mm tjocklek utan rotstöd och 12-15 mm med rotstöd, se figur 2(c)-(f).

Joakim Hedegård från SWEREA-KIMAB presenterade ett forskningsresultat som skapades gemensamt med Johan Löthman och oss på LTU om lasersvetsning av Zn-belagd stål med olika dubbelfokus-inställningar. Effektfördelning, avstånd och arrangemang (tandem, vinkel,

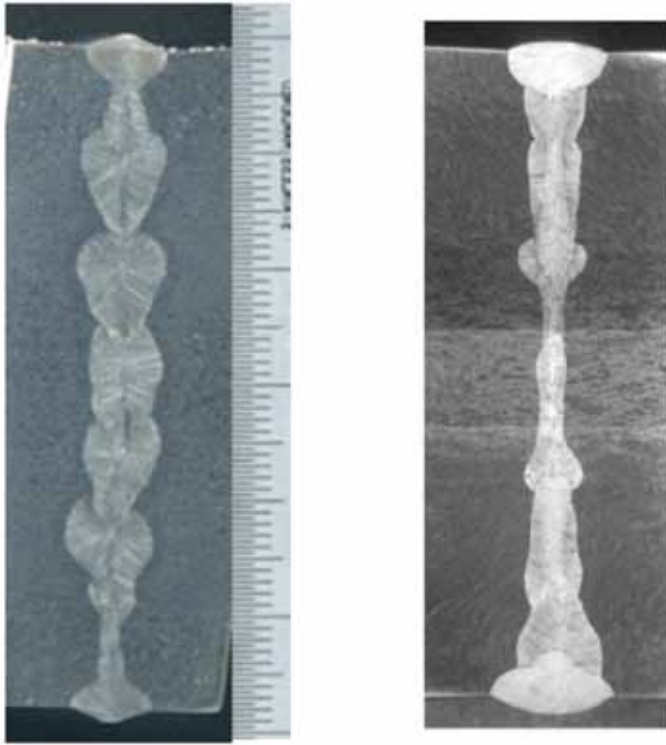


Figur 3: Höghastighetsfilmning av en ljusbåge som förvärmer och oxiderar Zn-belagt stål framför nyckelhålet och smältpölen.

transversalt) varierades systematiskt med hänsyn till svetsgeometrin, som överhuvudtaget blev sprutfri och av bra kvalitet (svetsklass B, men särskilt optimering behövs för att nå högre). En frihet som dubbelfokus bjuder på är ökad spaltöverbrygning genom transversalförskjutning och ännu bättre med tandem arrangemang, fast på bekostnad av lägre svets hastighet. En annan lösning för Zn-belagd överlappsvets skapades (i ett samarbete mellan USA och Kina) med en ledande TIG-ljusbåge

(fast med distans istället av koppeling med laserprocessen, se figur 3, dvs inte som i hybridsvetsning) som genom förvärmning oxiderar Zn-skiktet som sen inte förångar och därigenom undviker sprutbildning i laserprocessen.

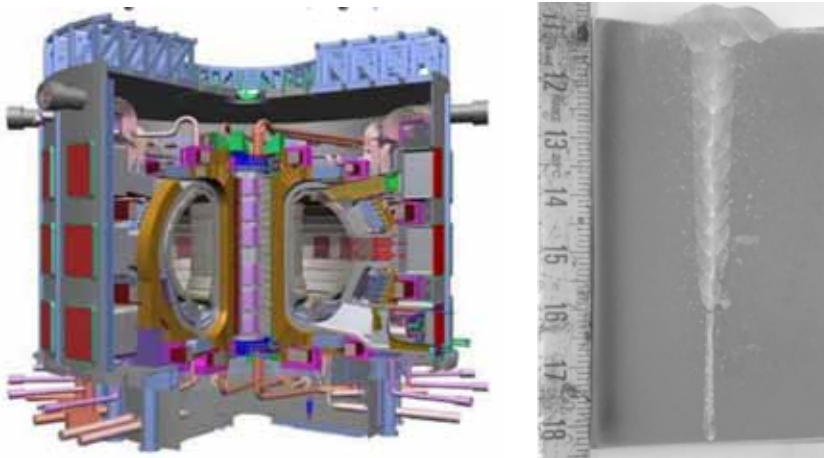
Lite tjockare gods, 50-60 mm, se figur 4, svetsades av Hitachi för kärnkraftskomponenter, fast med multi-pass teknik, för en Y- eller dubbel-Y-fog där roten som lasersvetsar är till exempel 10 mm. Sedan läggs till exempel 8 lager av MAG-



(a)

(b)

Figur 4: Multi-pass MAG-svetsning med lasersvetsning av roten hos en dubbel-Y-fog med en tjocklek av (a) 60 mm, (b) 50 mm.



(a)

(b)

Figur 5: (a) ITER torus för kärnfusion med en diameter av 42 m som delvis lasersvetsas, (b) 75 mm tjock rostfritt stål varav 20 mm på rotsidan lasersvetsades och sedan fylldes spalten på med ett flertal MAG-svetsningar

svetsar ovanpå. Det lyftes fram att lasersvetsningen av roten reducerar restspänningar med 35% jämfört med endast MAG-svetsning. Risken för defekter som bindfel eller varmsprickor är hög. Svetsen själv ser inte lika smidig ut som en lasersvets, fast tjockleken är imponerande.

Lasersvetsning av 75-200 mm rostfritt stål undersöks av den italienska

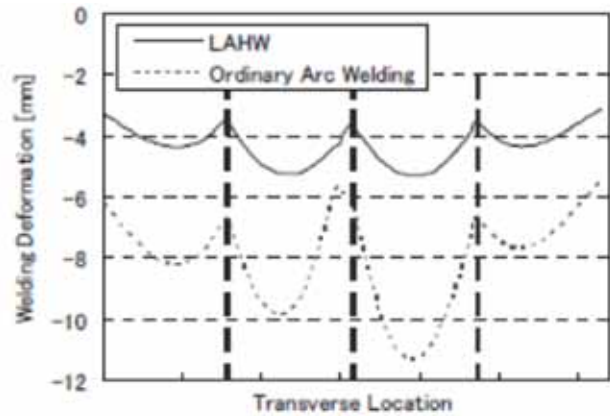
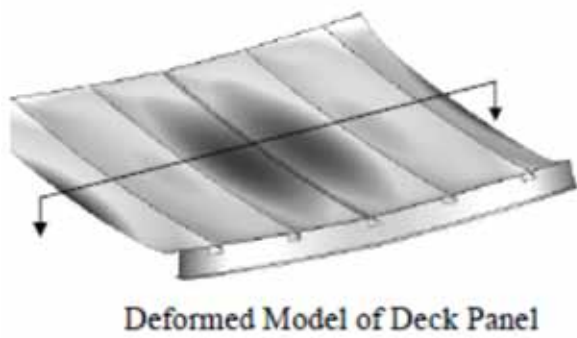
laserexperten Maurizio Fersini för den stora magnetiska kärnfusionsanläggningen ITER, se figur 5(a) med IPGs 30 kW fiberlaser med en 400 µm fokuspunktdiameter. Olika multipassvarianter som jämfördes var laser- eller laserhybrid-svetsade rotsidor, 20 mm eller 7.5 mm tjocka. Sedan fylls spalten på med ett flertal MAG-svetsningar, se figur 5(b).

Problemet med den termiska fokalpunktsförskjutningen för fiberlasersvetsning presenterade av den sympatiska Prof. Frank Vollertsen från BIAS Bremen. Fokalpunkten vandrade i deras fall typiskt inom 60 sekunder efter shutter-öppningen tills den stabiliserades. Den slutliga förskjutningen är linjär, beroende på lasereffekt, till exempel upp till 3 mm för 8 kW, dessutom fokallängdberoende. Inverkan av skyddsglasets lyftes fram, särskilt att det räcker med ett knappt synligt fingeravtryck för att förskjuta fokalpunkten och även öka dess storlek. En beräkning av skyddsglasinflytandet (förändring av brytningsindex och glastjocklek) levererades.

Ett speciellt munstycke för laser-skärning utvecklades på Chiba Universitet, Japan, där man arrangerade och varierade ett koncentrisk yttre munstycke runt ett vanligt munstycke för att undvika att luft (kväve) blandar in sig vid syrgasskärning.

Själv berättade jag på C IV om projektet DATLAS (processövervakning och höghastighetsfilmning av lasersvetsdefekter) och på konferensen om projektet HYBRIGHT (utmattningsbeteende för laserhybridsvetsar), som vi redan tidigare i Lasernytt rapporterade om.

Professor Na från Korea demonstrerade igen imponerande beräkningsresultat av hela smältströmningen vid laserhybridsvetsning, som möjliggör detaljanalys, till exempel hur trådtillförsel blandar sig med basmaterialet. Bredvid den koreanska forskargruppens skicklighet möjliggör datorprestanda och -kapacitet idag många beräkningar som på 90-talet var otänkbara. Prof. Na erkände ändå att det fortfarande finns många antaganden i beräkningarna och i sina villkor som han visade genom olika inställningar för absorptionen i nyckelhålet. Den positiva påverkan, även från en lågeffekt laser (500-1500 W), på svetsens

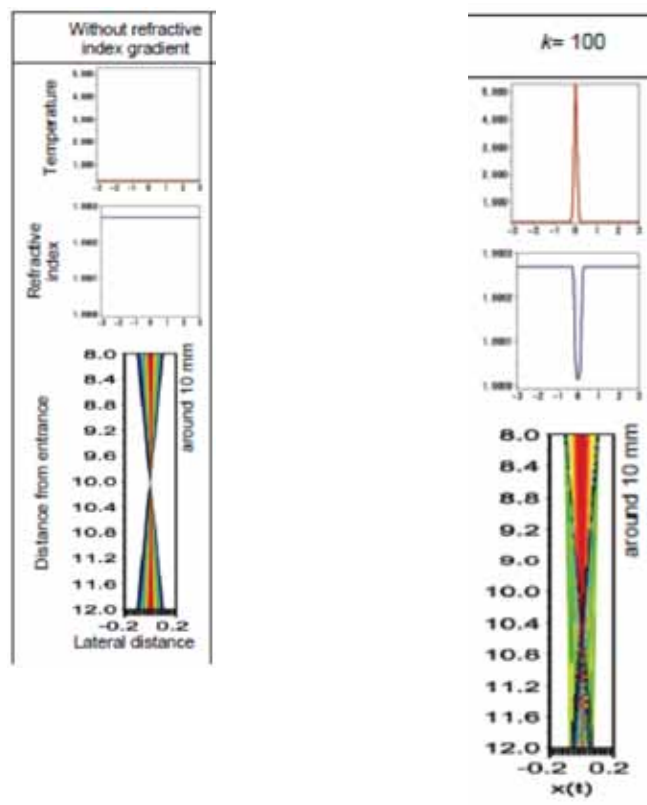


(a) (b)
 Figur 6: Simulering av den vertikala deformationen av en laserhybridsvetsad skeppspanel (deck): (a) 3D-beteende, (b) kvantitativ deformationsfördelning tvärs en panel i jämförelse med ljusbågsvetsning.

stabilitet visades av amerikanska forskare. Dessutom analyserade de, stödd genom höghastighetsfilmning och analys av ljusbågens elektriska ström, hur svetsvärsnittens area förändras genom olika parametrar. En väldig omfattande parameterundersökning av laserhybridsvetsning visade Herr Neubert från Halle, igen med relativt låg effekt (1500-3500 W, dvs inget utpräglat "laserfinger"), fast var det svårt att få fram tydliga trender pga låg parametervariation.

Alltid intressanta är de teoretiskt stödda presentationerna av Claus Thomy från BIAS Bremen, som pratade om deformation av tunn aluminiumfolie under svetsning med en single mode fiberlaser (300 W, 30 µm fokuspunktdiameter). Både den absoluta deformationen och relativ till plattjockleken ökade när folien blir tunnare (från 200 µm ner till 15 µm).

Efter de europeiska skeppsvarv som Meyer och Fincantieri (Odense läggs ju tyvärr ner) har nu också det japanska skeppsvarvet Mitsubishi Heavy Industries börjad använda laserhybridsvetsning - en 6-14 mm tjock stumfog med en 10 kW fiberlaser. Den utförliga studien visade till exempel att laserskärning leder till en tillfredställande fogberedning liknande fräsning, dock måste oxidskiktet tas bort. Minskningen av vertikala deformationen till 4-5 mm jämfört

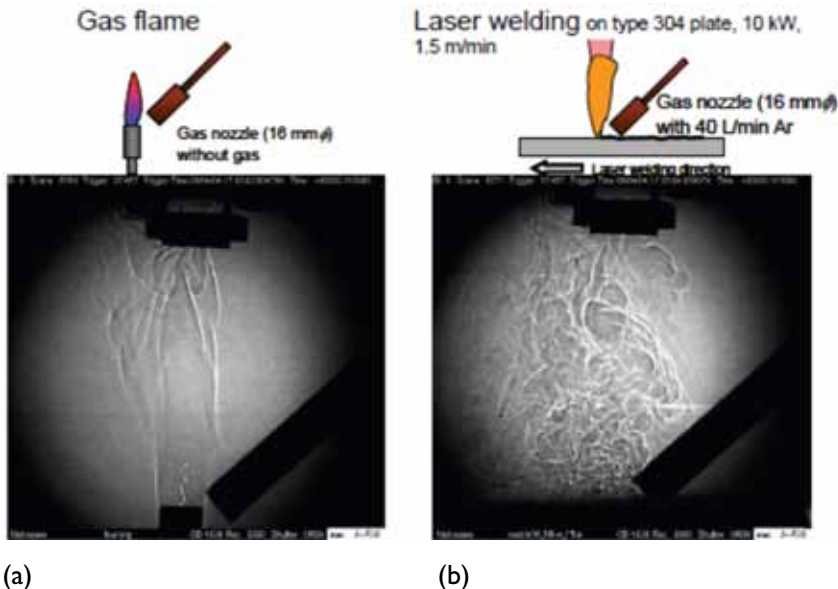


(a) (b)
 Figur 7: Laserstrålens utbredning i fokusområdet: (a) ursprungligt, (b) när temperatur och brytningsindex förändras.

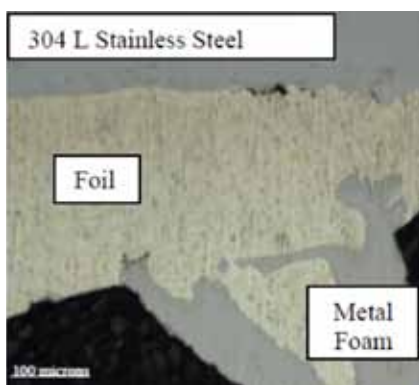
med 8-11 mm för MAG-svetsning visades genom simulering, se figur 6.

Laserhybridsvetsning med två eller även tre (den andra pistolen blir av tandem-typ) ljusbågar visades av min landsman (och tidigare kollega på Wiens tekniska universitet) Herbert Staufer, Fronius, Österrike. Jag tycker den trenden är viktigt

(liknand HYDRA metoden från ISF Aachen) för att hinna med en stabil trådmatning för de höga svetshastigheter som oftast nås, särskilt för tjockare gods som pipelines. Svetspistolerna följer efter laserstrålen och kan operera separat från varann, dvs inte nödvändigtvis kopplat genom plasma (om termisk koppling sker



(a) (b)
 Figur 8: Shadowgraph filmning av gas ovanför material från sidan: (a) endast gaslåga, (b) lasersvetsning med skyddsgas



Figur 9: Tvärsnitt från laserlödning av rostfritt stål mot metallskum.

genom materialet kunde inte besvaras).

Prof. Katayama från Osaka universitet visade bland annat resultat med deras 10 kW fiberlaser (100 mm fiberdiameter) och deras ny 16 kW skivlaser (strålparameterprodukt $BPP=8 \text{ mm}\cdot\text{mrad}$ – single mode ned till $0.34 \text{ mm}\cdot\text{mrad}$) där det jämfördes ren lasersvetsning av höghållfast stål (590 MPa och 780 MPa) med kall- och varmråd som tillval. Varmtråd visade på olika fördelar, till exempel ett större hastighetsfönster. En annan intressant studie från Prof. Katayamas forskargrupp genomfördes av Herr Mizutani (en alldeles fantastisk labbtekniker som jag hade glädje att dela kontoret med under 8 månader). Det handlade om att

beräkna (med raytracing) avlänkning av laserstrålen (särskilt kärnan) när den utbreder sig genom metallångan ovanför processen och nyckelhålet, se figur 7. Det demonstrerades också experimentellt med höghastighetsfilmning (shadowgraph teknik) hur stort inflytande metallångan och heta gaser (som demonstration med gasbrännare) kan ha, se figur 8, till exempel under remote welding. Slutsatsen är att en högfokuserad laserstråle kan, till stor grad, tappa sin effektäthet, särskilt i mitten av strålen, det vill säga den degenererar till en stråle av lägre och mindre kontrollerad kvalitet, även om man försöker blåsa bort metallångan. En annan intressant, för att experimentellt och teoretiskt illustrera, studie från Osaka universitet förklarade deformation och restspänningsbildning under lasersvetsning av höghållfast stål, med särskilt fokus på inverkan av fasomvandlingar.

Från Lappeenranta tekniska universitet har vi lärt oss hur och varför olika austenitiska rostfria stålsorter stelnar delvis austenitisk och delvis ferritisk, särskilt i samspel med tillsatstråd. Lasernyckelhållssvetsning jämfördes med laservärmeledningsvetsning och med TIG-svetsning. Fiberlasersvetsning möjliggör så

høga svets hastigheter att det istället för primärferrit delvis bildas, eller för högre hastighet endast, primäraustenit, dessutom fås mindre mikro-segregering av Mo. För aluminiumlegeringen AlCuMgAg (2XXX-grupp) minskades genom lasersvetsning utmattningstidslängden med 52% på grund av korrosion i roten. Skillnader mellan olika temperaturbehandlingar (T3, T8) förklarades.

Laservärmeledningsvetsning med en 8 kW fiberlaser demonstrerades att vara fördelaktig för olika metoder. Metallskum kunde på så sätt lödas ihop med en rostfri folie, se figur 9. Hybridsvetsning med TIG kunde undvika metallånga och sprut och ge till en stabil process med hög kvalitet.

För att fördröja sprickutbredning under utmattning av lasersvetsade plåtar skapades istället profiler parallella med svetsen där övergången från tunn till tjock ökade livslängden betydligt. Det nästa steget av hybridsvetsning hos skeppsvarv (här: Fincantieri i Italien) efter att ha introducerat CO_2 -lasersvetsning av plana svetsar (position PA) är att med en robotstyrd fiber- eller disk laser även svetsa i andra lägen. Imponerande i presentationen är skalan; 16m x 36m stora plåtar (60 ton panel) och att de behålls helt plana efter laserhybridsvetsning med en 10 kW fiberlaser på grund av den låga värmepåverkan med 1-3 m/min för 6-20 mm tjock plåt.

Bland de många fler relevanta presentationerna på konferensen varierade dock kvaliteten mycket. Och mycket inom lasersvetsning kände man igen från tidigare. I alla fall har man, särskilt tack vare de nya lasertyperna och effekt hos dessa, kommit ett steg vidare inom lasersvetsning, speciellt angående tjockare material.

¹ International Conference on Advances in Welding Society & Technology for Construction, Energy & Transportation Systems

Kalendarium 2011

Mars

10 Laserseminarium – Konstruera för laser
Volvo Construction Equipment AB, Eskilstuna
Per Westerhult

Maj

12 Lasernytt nr 1
12 Laserdag I
Årsmöte Lasergruppen
Duroc Engineering AB, Luleå
Per Westerhult

Juni

27–29 NOLAMP 13,
Nordisk laserkonferens, Trondheim
Hans Engström, LTU

Oktober

6 LaserNytt 2
6 Laserdag
Volvo Cars, Olofsström
Per Westerhult

November

17 Workshop Lasersvetsning
Luleå tekniska universitet
Per Westerhult

December

15 LaserNytt 3
Per Westerhult

**God Jul
och
Gott Nytt År**
**önskar
Lasergruppen**

