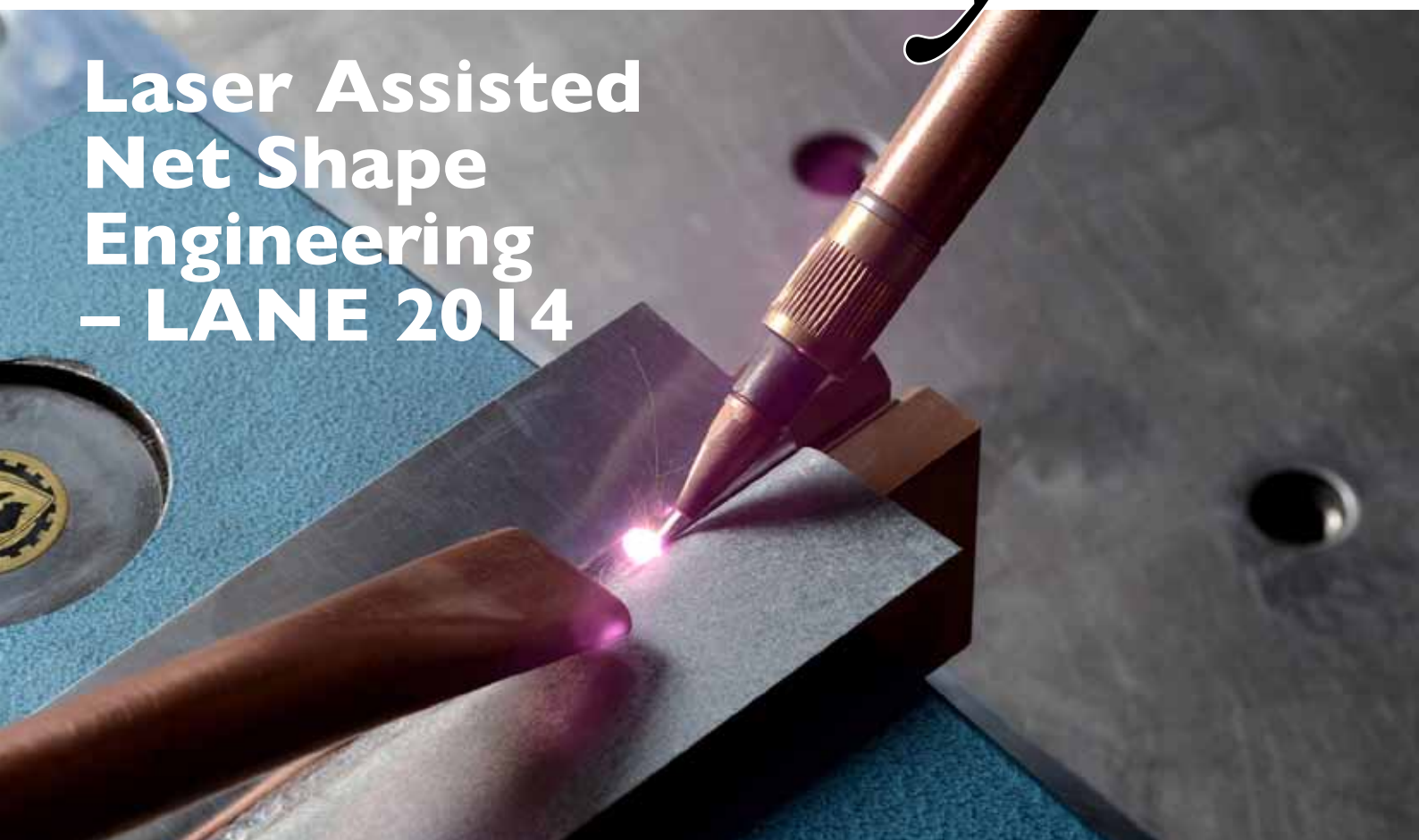


LASER *nytt*

3-2014

Lösnummerpris 85 kr

**Laser Assisted
Net Shape
Engineering
– LANE 2014**



**Del 2 International
Laser Symposium**



**EuroBlech mässan
i Hannover**



**Additiv tillverkning
och kortpuls-lasrar
vid AKL'14**



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

PERMAFLEX
samlad kunskap i en robotcell



Kvalitet. Produktivitet. Lönsamhet.
www.permanova.se

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

Redaktör

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

Redaktionellt arbete och kansli

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

Ansvarig utgivare

Per Westerhult

Laser nytt på Internet

www.lasergruppen.eu

Omslagsbild

Laser Assisted Net Shape Engineering
– LANE 2014

Produktion: Tagg, Stockholm

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

TANKAR FRÅN STYRELSEN

Vem är Björn Lekander?

1

IIW GENERAL ASSEMBLY

Konferens i Seoul, Sydkorea

2

Ljusåret 2015

7

RAPPORT – KONFERENS LASER ASSISTED NET SHAPE ENGINEERING

En laservetenskaplig konferens med inslag av industriella tillämpningar

8

MIKROBEARBETNING MED LASER

Optimerad lasermärkning av plastmaterial

19

KVALITET I MÄTNING OCH KONTROLL

Mätning av optisk effekt

RAPPORT – INTERNATIONAL LASER TECHNOLOGY CONGRESS

Additiv tillverkning och kortpuls-lasrar dominerade vid AKL'14

24

SAMTAL KRING LASERTRENDER

Laser Additiv Manufacturing-lösningar åt tillverkningsindustrin

31

FRÅGA LASERDOKTORN

Är gasgenerator något för laserskärning

34

DEL 2/2

Svetskvalitetens påverkan av inerta gaser och dess distribution vid lasersvetsning

35

NY LASERFORSKARE

Jonas Näsström vid LTU

37

EUROBLECH MÄSSA INOM TUNNPLÅT OCH METALLBEARBETNING

EuroBlech 2014 – större än tidigare

38

STUDIERESA

Se hur tyska företag använder laser

39

RAPPORT – INTERNATIONAL LASER SYMPOSIUM FIBER, DISC AND DIODE / DEL 2

Finns det behov för nuvarande typer av laserkällor vid industriell tillverkning?

40

TANKAR FRÅN STYRELSEN

Först och främst tänkte jag ta tillfället i akt att presentera mig. Jag heter Björn Lekander och har tagit över Tore Salmis tjänst som marknadschef på Permanova. Till detta har jag även tagit över Tores plats i styrelsen för Lasergruppen. Att sammanfatta Tores aktiviteter i styrelsen under alla de år han verkat här tänker jag inte ge mig på, då tidningen antagligen inte räcker till. Jag nöjer mig med att tacka Tore för det arbete han gjort för lasertekniken och önska honom ett rikt liv som pensionär!

Ja, då har det snart gått ännu ett år. Så vad har hänt under 2014? Är det möjligt att sammanfatta i denna korta spalt? Jag ska göra ett försök.

Vad gäller laserkällor så har vi under ett par år kunnat välja den effekt och strålkvalitet som vi önskat. Detta har öppnat för nya typer av verktyg vilket möjliggjort helt nya applikationer. För storföretagen är detta mycket positivt. Det kostar att göra specialanpassade verktyg men med höga volymer kan man snart räkna hem denna investering. För de mindre företagen är det svårare. Låga volymer och konkurrens från Asien gör att de måste vara innovativa. Att konkurrera med företag i Östeuropa eller Asien genom att erbjuda samma kvalitet till ett lägre pris är inte innovativt. Det brukar däremot vara en säker väg mot konkurs. Vad har då lasern att erbjuda som botemedel mot detta? Förädling av produkten. Jag har sagt det förr, och andra med mig, men det tål att upprepas. Jag tror att en väg för svenska småföretag att lyckas är att erbjuda ett större leveransomfång. Istället för att bara skära, bocka och fräsa måste vi börja sammanfoga, belägga eller varför inte bygga 3D-strukturer? Med ett större leveransomfång får företagen en

unik produkt som kunden inte kan jämföra med konkurrenterna som bara säljer lösa detaljer. Fördelen blir också att kunden får in färre artiklar i sin produktion alternativt färre leverantörer. Vad behövs då för att lyckas med detta?

Både Trumpf och Laserline levererar nu ypperliga direkt-diod-lasrar och med dess enkelhet och goda egenskaper för de ovan nämnda processerna tror jag att de kan vara en del i lösningen. ABB har lanserat nya robotar som de lovat skall ha bättre banföljning och ett lägre pris. Robotarna har tidigare varit en begränsning som vi till viss del kunnat avhjälpa med fogföljning men på pappret ser dessa nya robotar ut att öppna upp för nya applikationer till lägre pris.

Som avslutning vill jag ta upp den "råvara" som jag tror är viktigast att vi fortsätter att gräva fram här i Nordeuropa och det är kunskap om processerna. Jag har rest runt i Asien och Europa under året och även om företag i resten av världen kan köpa samma komponenter som vi kan, så får de inte med vårt know-how. Det kan vara svårt att se vår kompetens när vi är mitt i det men i jämförelse med företag i andra delar av världen ligger vi långt fram. Och det ska vi fortsätta med.

Med det vill jag önska er ett bra avslut på året!



MED VÄNLIG HÄLSNING BJÖRN LEKANDER

IIW General Assembly



Konferenshotellet i Seoul

PROFESSOR ALEXANDER KAPLAN
LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

I år blev det Seoul i Sydkorea där svetssamhället genom IIW, The International Institute of Welding, organiserade sin stora årlig kongress. Genom en hel del aktuellt forskningssamarbete med Sydkorea blev jag fascinerad av landet och sina människor. 48 millioner människor bor på bara 100 000 km² på den kring 30 mil breda halvön. Ändå finns det gott om fina gröna fjällar, med snö i vintertiden. Seoul själv är trots många "skyscrapers" en väldigt fin femmiljonerstad som har mycket att bjuda längs sin stor älv. Genom sin närhet med bara tre mil till den trista nordkoreanska grannen finns det även både en oro men även en viss lite ovanlig gränsturism. Ett antal institut och universitet forskar inom laserbearbetning på väldigt hög nivå för de många industriföretagen som har utvecklats över tiden. Bredvid mycket fordon, stål, vitvaror eller elektronikindustri kan särskilt den extrema världsledande rollen i skeppstillverkningen nämnas; de sju största skeppstillverkarna finns alla i Korea!

40 laserpresentationer

Vänder vi oss tillbaka till IIW konferensen, så blev det bland de massor av svetsrelevanta publikationer, sammanlagt 40 presentationer som handlade om laserbearbetning (21 i Commission C IV, 19 på konferensen). 18 presentationer handlade om laser-svetsning, 8 om laserhybridsvetsning, 6 om laserpåläggning, 4 om "laser additive manufacturing" (LAM) och de resterande om lödning eller ytbe-

handling (notera att laserskärning ingår i en annan kommission, C I, som jag inte kunde besöka). Dessutom fanns tre presentationer i C IV om elektronstråle. Commission C IV "Power beam processes" fortsätter att ledas av min österrikiske landsman från svetsföretaget Fronius, den alltid glada Herbert Staufer. C IV hade kring 50 deltagare, men många fler vid den traditionella gemen-

samma sessionen med C XII (Arc welding methods) och Subgroup SG 212 (Physics of welding), där särskilt laserhybridsvetsningen bjuder på utmärkta synergier. C IV är indelad i tre "Sub Working Units" (fast presentationerna hålls gemensamt): "Laser Beam Processes", "Electron Beam Processes", och "Laser Arc Hybrid Welding".

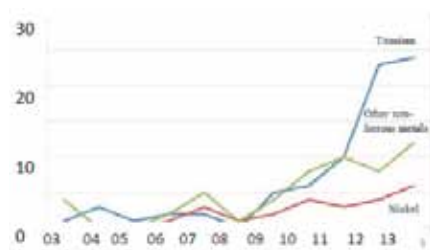


Fig. I a:
Mängd av förbrukad metall per år.

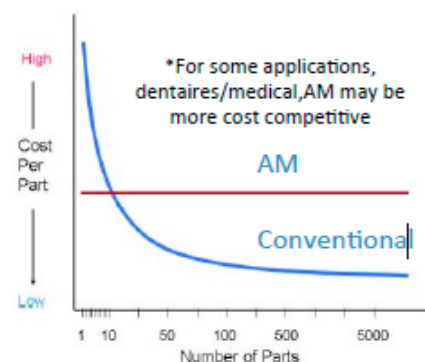


Fig. I b.
Kostnadsförhållande av Additive Manufacturing (AM) per del jämfört med traditionell tillverkning.

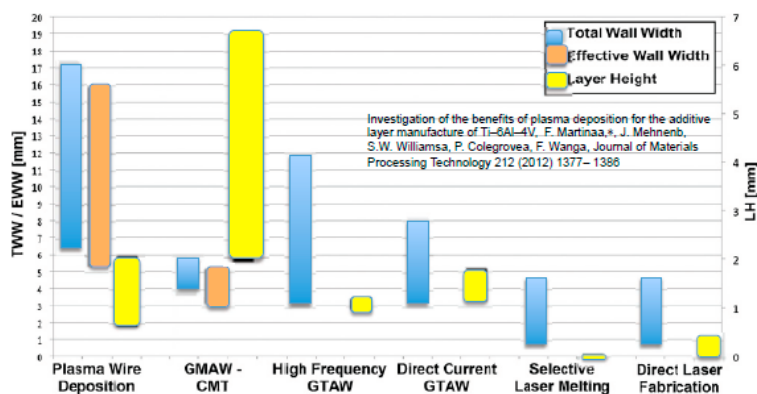


Fig. I c: jämförelse mellan olika AM-tekniker.

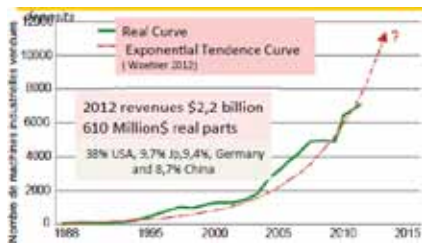


Fig. 1 d:
Antal sålda anläggningar inom AM per år



Fig. 1 e:
Typisk komponent (air vent, rostfritt stål,
1 mm vägg) tillverkad med LAM.

Trender för Laser Additive Manufacturing

Intressant med de fyra föredragen om "Laser Additive Manufacturing", LAM, var att två av dem hade en review-karaktär och dessutom jämförelse med plasmabåg-baserad "additive manufacturing", vilket skapade en bra överblick. Lasern får sitt område särskilt där dess precision behövs, för vägg tjocklekar av 0.5-1.5 mm. Är väggen tjockare så kan den billigare plasmatekniken användas. Idag används LAM mest för Ni- och Ti-baserade produkter, dvs. inom flygindustrin. **Figur 1** visar vissa trender som Herr Marya från EC Nantes, Frankrike presenterade. Han hänvisade förresten till en likhet mellan LAM och multilagersvetsning som vi nu undersöker på LTU som en lovande, relativt enkel teknik för att snabbt svetsa tjocka material med lasern fast utan nyckelhål. En typisk komponent som kan skapas med LAM ser vi i **Fig. 1(e)**.

Avancerade lasersvetsberäkningar

Intressant inom lasersvetsning och laserhybridsvetsning är de omfattande beräkningsresultat från Prof. Na,

RIST Daejeon, Sydkorea. Han visar numeriska strömningsberäkningar som är avgörande för bl.a. svetsgeometrin, porbildning, sprut eller blandning av tillsattematerial. Trots fortfarande en hel del osäkerheter i beräkningen, särskilt av nyckelhålet, leder det dock till betydligt bättre förståelse, t.ex. hur strömningarna verkar mot varandra. Prof. Na's lilla men utmärkta forskargrupp beräknar dessutom restspänningar och deformationen av produkter. Trots att det finns ett stort antal publicerade beräkningsresultat från Prof. Na så var jag förvånad hur många opublikerade resultat han utöver det presenterade till mig under ett av mina besök i Korea i april 2013. **Figur 2** visar exempel på Prof. Na's strömningsberäkningar inom lasersvetsning.

Höghastighetsfilmning av nyckelhålsfronten

Själv bidrog jag förresten med en experimentell och teoretisk överblick över defekter inom laserpåsvetsning, se **Fig. 3**, och hur kritisk de är för utmattningshållfastheten beroende på deras storlek, position och orientering, allt som avslutande överblick över det svensk-finska projekt FATLASE.

Dessutom presenterade jag nya utvärderingar av höghastighetsfilmning av nyckelhålsfronten inom (disk- eller fiber-) lasersvetsning, nämligen att vågorna inte bara flödar nedåt men att de pulserar, se **Fig. 4(a)**, som möjligen indikerar viktiga mekanismer hur lasersvetsningen funkar överhuvudtaget. Motsvarande

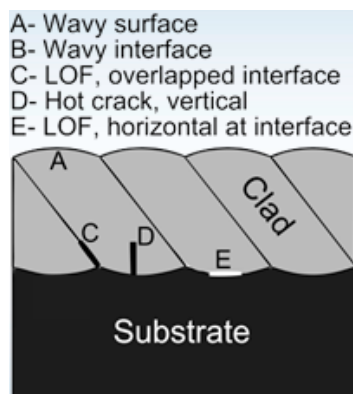


Fig. 3 a.
Olika defekter som kan uppträda i ett laserpåsvetsade skikt (LOF = Lack-of-Fusion).

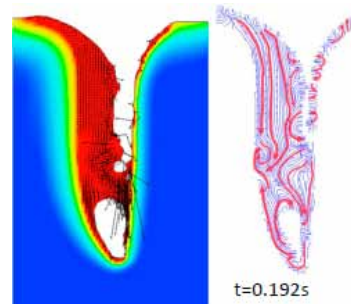


Fig. 2 a, b:
Exempel på strömnings- och temperaturfältet beräknat för lasersvetsning.

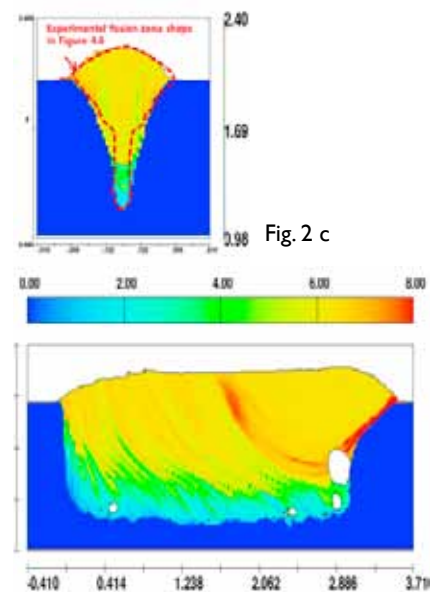


Fig. 2 c, d.
Den kemiska tillsatsträdblandning beräknad för laserhybridsvetsning.

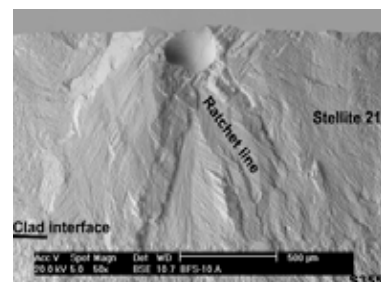


Fig. 3 b.
Por i skiktet precis under ytan som har initierad utmattningsprickning.

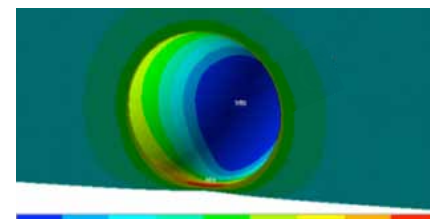


Fig. 3 c.
Motsvarande beräkning för spänningsökning kring poren.

beräkningar för absorptionen förklarar skillnaden mellan CO₂-lasern med sin våglängd av 10 µm och de två ovan nämnda lasrar med ungefär 1 µm våglängd. Beroende på om man svetsar (eller skär) tunt eller tjockt blir inte bara absorptionen pga. frontlutningen annorlunda men också beteendet om den förstärker en våg (som kan t.ex. skapa sprut) eller jämnar ut den, se Fig. 4(b).

Inga fördelar kvar för elektronstråle jämfört med laser

Intressant var en väldigt omfattande överblick som Prof. Böhm från Universitet Kassel i Tyskland presenterade om publikationer och applikationer inom elektronstrålbearbetning (kanske intressant i jämförelse med de nya lasergenerationerna). Genom statistisk analys av publikationer och dessutom intervjuer visade han forskningsbehovet inom strålformning, svetsning av tjockt material, spaltöverbrygning eller processövervakning, särskilt mot "spiking". De flesta publikationerna inom elektronstrålapplikationer kommer från Japan före Tyskland, USA och Ryssland. Ranking (publikationer) av applikationer är 1. kärnkraft, 2. flyg/rymd, 3. rör, 4. powertrain, 5. gasturbiner. Ranking av material: 1. stål, 2. aluminium, 3. högtemperaturlegeringar, 4. titan. 2-5 mm tunna applikationer överväger dock de 10-50 mm tjocka applikationerna och det klassiska området >50 mm är redan mer begränsat. Som största fördel av elektronstrålen nämns den låga värmetillförseln och deformationer, sedan ökad produktivitet, reproducerbar kvalitet och bättre svetsgenskaper. Däremot betraktas som största nackdel tydligt de höga investeringskostnaderna, följt av företagsinterna hinder som avsaknad av kunskap och fördomar, sedan behovet av vakuum. Prof. Böhm avslutade med att konstaterade dock att det finns idag inga egentliga fördelar kvar för elektronstrålen jämfört med lasern, särskilt om man tänker på "single mode" lasrar och den höga stråleffekten som man når med dessa.

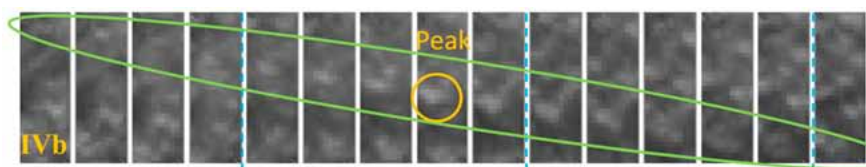


Fig. 4 a: Sekvens av bilder från höghastighetsfilmning av nyckelhålsfronten inom lasersvetsning som visar att en våg flödar ner och pulserar i ljusstyrka.

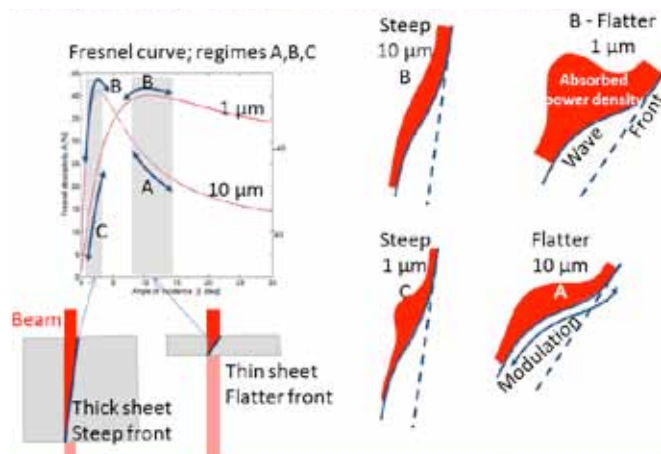
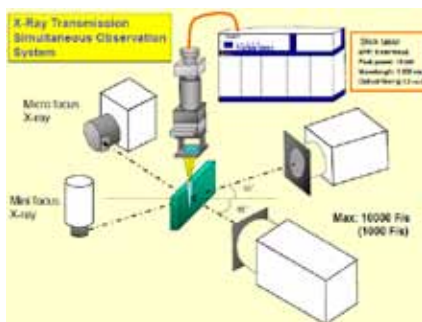


Fig. 4 b.

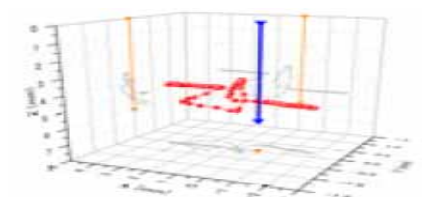
Illustration av modulering av absorptionen över en våg på nyckelhålsfronten, beroende på hur mycket fronten är lutad (motsvarande tunt eller tjockt material) och laser våglängden 1 µm vs 10 µm.



(a)



(b)



(c)

Svetsresultat med 100 kW fiberlaser

Pratar vi stråleffekt så kommer vi till det bidrag som helt och hållet sticker ut vid konferensen: Prof. Katayama från Osaka Universitet, Japan presenterade och publicerade de första svetsresultaten med Japan's 100 kW fiberlaser. I relation till de högsta effekter (cw, continuous wave) som vanligtvis nås med lasrar, CO₂-lasrar, tidigare 45-50 kW men vanligen 20-30 kW idag, så är det ett enormt språng. Lasern är tillverkad av IPG Laser i Tyskland, och består av 90 diodpumpade fiberlasermoduler (1.2 kW varje). Den har en strålparameterprodukt BPP = 25 mm·mrad, en total verkningsgrad av 35% och ett "footprint" av 4 m x 0,8 m. Genom

Fig. 5: Två röntgenkällor plus två kameror, positionerad med fyra robotrar, för att observera smältströmning i lasersvetsning i tre dimensioner: (a) laboratoriet, (b) schematisk, (c) resultat av att spåra 3D-smältflöde genom en tracer-partikel.

ett aktuellt samarbetet mellan LTU med Osaka Universitet hade jag redan i Januari 2014 varit i Japan, egentligen för att planera samarbetet och för att filma några lasersvetsexperiment med deras två röntgenkameror, som också presenterades på IIW, för att observera smältflödet i tre dimensioner, se Fig. 5.

Vid besöket i Japan fick jag plötsligt och spontant följa med till en stad som heter Tsuruga, två timmar norrut från Osaka, efter man passerar Kyoto. Svetsföretaget Radex har där "in the middle of nowhere" installerad ett relativt stort nytt laserlabb för den relativ "lilla" 100 kW-lasern. Jag kunde bl. a. med höghastighetsfilmning observera 50 mm djupa svetsningar och titta på ytterligare svetsresultat av överhuvudtaget bra kvalitet. Strålen levereras genom en 500 µm fiber som sedan kollimeras och fokuseras med två jättespeglar, till en stråldiameter av antingen 1 mm eller 500 µm. På IIW presenterades nu sådana svetsfogar upp till 55 mm djupt (svetshastighet 0.6 m/min, bara 2-3 mm breda) under normala förhållanden (atmosfärtryck) men under vakuum även upp till 125 mm djupt (70 kW, 0.3 m/min). Och jag misstänker att det finns en hel del potential som inte är utforskad eller presenterad ännu. Vissa svetsfogar ser ganska bra ut, se Fig. 6(a), medan andra visar ovanliga fenomen, t.ex. att de plötsligt blir mycket bredare efter halva djupet, se Fig. 6(b). Notera att Osaka's IIW-publikationer rapporterar om 100 kW svetsresultat men de visar i motsats till presentationerna inga tvärsnittsbilder tyvärr. För högre svetshastigheter observeras dessutom sprut och motsvarande underfill. Assoc. Prof. Kawahito, också Osaka Universitet, jämför resultaten med Prof. Arata's 100 kW elektronstrålsvetsresultat i 70-talet. En skillnad är att elektronstrålen behöver ett högre vakuum men för lasern räcker 0.01 eller 0.1 bar för att skapa väsentliga fördelar. För mig skapar denna imponerande laser och de rimliga resultat en viss trygghet (i) att vi idag kan i princip skala upp lasersvetsningen så mycket som vi behöver (och kan investera, förstås), (ii) att vi

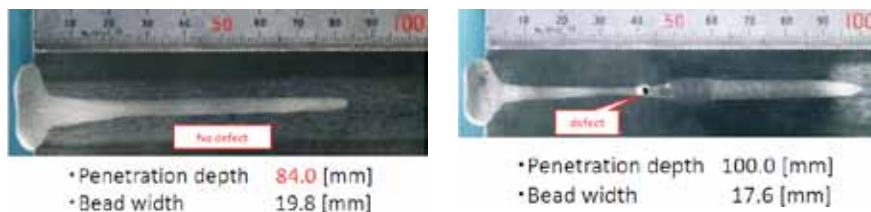


Fig. 6.

Svetsvärsnitt med 100 kW fiberlasern, genomfört med 50 kW och 0.3 m/min på stål i vakuum: (a) jämt svets i ett vakuumtryck av 5 kPa (0.05 bar), (b) svets för 1 kPa som blir djupare, bredare i botten och har ett felställe.

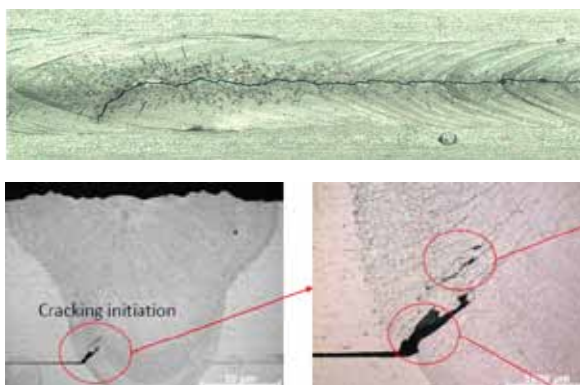


Fig. 7.

Varmsprickbildning i överlapps svetsning av AlMg (ovan) med AlMgSi (nedan) (a) vy ovanifrån, (b) svetsvärsnitt, (c) detalj i svetsvärsnittet.

kan nå väldigt bra strålkvalitet och fokusering även för hög effekt, (iii) att enormt djupa eller snabba svetsar kan skapas, med potential för rimlig kvalitet. Jag håller med Prof. Böhm ovan att det inte är mycket kvar där lasern inte kan nå elektronstrålens förmåga.

Många övriga intressanta resultat presenterades

Sedan fanns det på IIW i Seoul naturligtvis en hel del intressanta resultat i den mer vanliga skalan. Herr Schultz från BIAS, Bremen, Tyskland förklarade hur man kunde kompensera 'Zeppelin'-effekten som defor-

mationen skapar för en serie av parallella lasersvetsade-T-fogar genom motsvarande laserformning med böjning åt det andra hållet.

Fenggui Lu från Jiao Tong University i Shanghai visade tendenser till varmsprickor för laseröverlapps svetsning av AlMg- med AlMgSi-legeringar, som börjar i gränssnittet på sidan och fortsätter sedan i mitten, se Fig. 7. Genom att blanda en större del av 5XXX-legeringen (AlMg) i svetsen kunde risken för varmsprickorna minskas, genom att ta 6XXX på ovansidan och högre lasereffekt eller tvärtom.

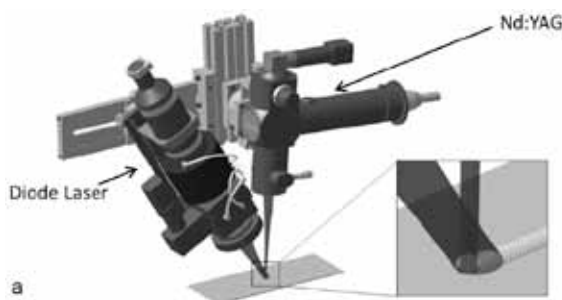
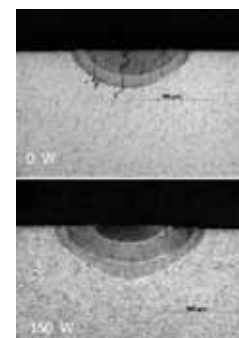


Fig. 8.

(a) kombination av en pulsad Nd:YAG-laser med en bredare cw-diodlaserstråle, (b) värmeledningssvetsning i Al utan (0 W, varmsprickor) och med diodlasern (150 W, sprickfritt)



Herr Bergmann från Tyskland lyckades för värmeledningssvetsning med en pulsad Nd:YAG-laser att undvika varmsprickor genom att positionera en till laserstråle, nämligen en bredare cw-diodlaserstråle, se Fig. 8.

I multilager lasersvetsning där det finns ett polymert gränsskikt mellan plåtarna kunde hål genom polymerförångning, se Fig. 9(a), undvikas, se Fig. 9(b), genom att pendla laserstrålen longitudinalt, se Fig. 9(c) som Herr Woizeschke från Prof. Vollertsen's forskningsinstitut BIAS visade. Höghastighetsfilmning hjälpte att observera och förklara processen och sina gränser.

De olika presentationerna om laserhybridsvetsning visade också en del intressanta riktlinjer och angreppssätt. Av särskilt intresse idag är laserhybridsvetsning av pipelinestål med högre hållfasthet, X80, X100 eller även högre. För 14 mm tjockt X80 presenterade Herr Shin (Hyundai Steel, Korea) svetsoptimeringen genom att svetsa en sida med ljusbågen och den andra med laserhybrid, och motsvarande lämplig fogberedning enl. Fig. 10(a),(b). Flera foggeometrier och andra parameter optimerades. Herr Prof. Bang och Fru Prof. Bang (inte släkt) från Chosun Universitet, Korea, som vi har forskarutbyte med, optimerade laserhybridsvetsparametrarna för galvaniserat bilstål genom Taguchi-metoden. Dr. Suder från Cranfield University, UK, visade hur en jämn blandning av tillsatstråd i roten av en djupare fog kunde nås vid laserhybridsvetsning, särskilt genom optimerad fogberedning, Fig. 10(c) och ökning av trådmatningen, Fig. 10(d),(e). Jämfört med ren ljusbågs-svetsning blir blandningen av grundmaterialet i alla fall mycket högre och en övre gräns för andelen av tillsatstråd i svetsgodsets var 30%. Herr Kim och Herr Lee från RIST i Pohang, Korea, (som har ett stort svetslaboratorium och är också del av vart forskningsnätverk i Korea) visade för X100 pipeline stål den stora påverkan som fokalpunktslägget kan ha på en laserhybridsvets, se Fig. 10(f). Samma forskargrupp visade förresten för ren lasersvetsning

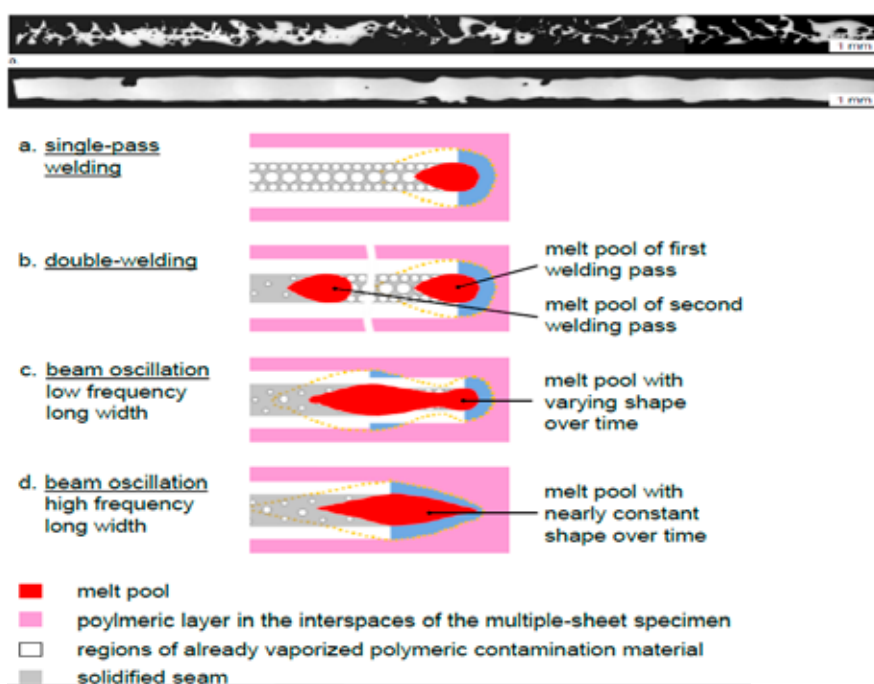


Fig. 9.

Laseröverlapps-svetsning av ett polymerskikt mellan plåtarna:

- (a) longitudinellt svetsnitt med många hål genom polymerförångning,
(b) undvikande av hål genom att pendla laserstrålen longitudinalt,
(c) schematisk mekanism från ovensidan, utan pendling och för olika inställningar.

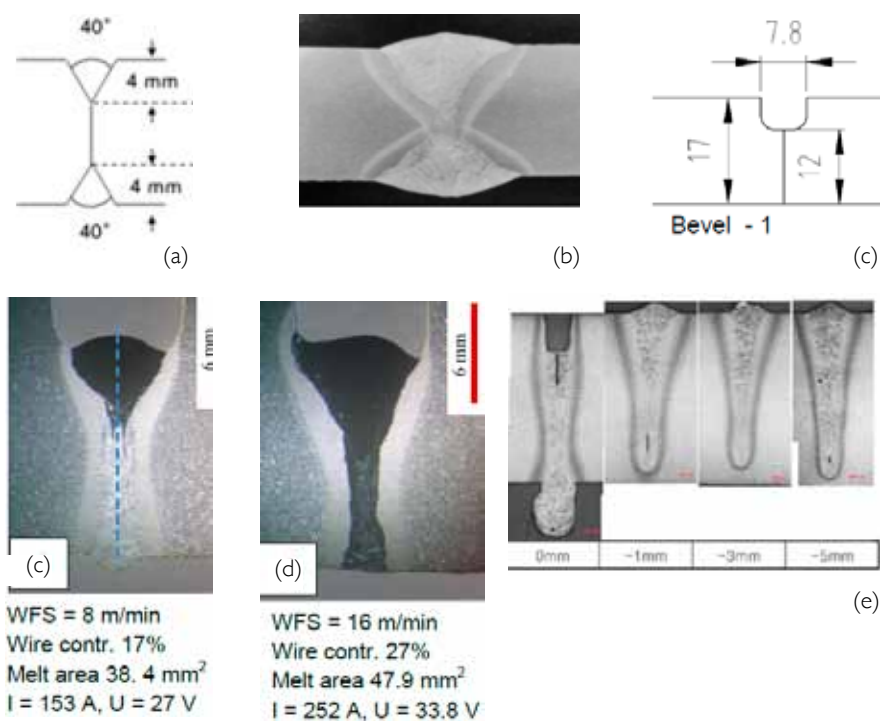


Fig. 10.

Laserhybridsvetsning:

- (a) fogberedning för 14 mm tjock pipeline-stål X80,
(b) undersidan sedan svetsad med ljusbåge, uppsidan hybrid,
(c) fogberedning för laserhybridsvetsning av roten,
(d) ojämnt blandning i rotsvetsningen genom låg trådmatning,
(e) homogen blandning genom hög trådmatning,
(f) tvärsnitt av en laserhybridsvets (16 mm X100, Bead-on-Plate) för olika fokalpunktlägen.

tydliga skillnader i fluktuationer av lasersvetsning när man jämför en disk- med en fiberlaser, trots jämförbara parametrar, som ett intressant fenomen.

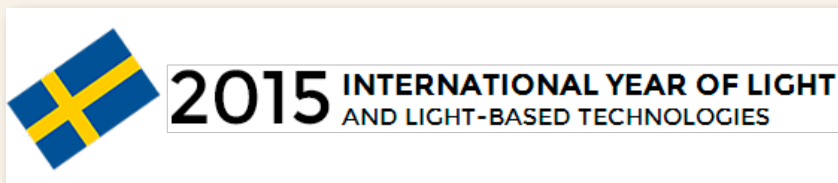
Dessutom kan nämnas att svetsning av en del olika metallegeringar presenterades, som Inconel (t.ex. Inconel 625), titan eller AlSi-belagd B-stål (22MnB5), dessutom polymerer, och ”dissimilar welds”, som Al med Cu. Sensorik och processreglering behandlades inom laserbearbet-

ning, och för laser ”shock peening” kunde bevisas att utmattningstiden kunde förlängas (för höga cykeltider).

IIW-konferensen stor succé

I sin helhet var IIW-konferens igen en stor succé, bredvid laserpresentationerna särskilt den tematiska, tvärdisciplinära bredden som den bjuder på och såklart nätverkandet. Jättetrevligt och viktigt som vanligt var att den svenska delegationen var

stor igen, med 18 deltagare från industrin (särskilt ESAB) och forskargrupper (särskilt SWEREA KIMAB), som gjorde den långa resan och möttes vid den traditionella svenska lunchen som igen arrangerades av Lars Johansson från Svetskommissionen, där LaserGruppen ju ingår. Nästa IIW blir i Helsingfors, Finland, 28 juni – 3 juli 2015. Ett bra tillfälle att passa på!



Ljusåret 2015

År 2015 har utsetts av UNESCO till ett Internationellt år för ljus och ljusbaserade teknologier. Det blir ett tillfälle att uppmärksamma alla de olika sätt ljus, synligt och osynligt, påverkar våra liv och ligger till grund för många olika områden inom vetenskap och teknik.

Om ljus

Ljuset från solen är en förutsättning för liv och ger oss möjligheter att se vår omvärld. Genom olika ljuskällor kan vi använda fler av dygnets timmar, och modern belysningsteknik kan minska energianvändningen och även den oönskade belysningen av natthimlen. Ljus är en budbärare från mikrokosmos och makrokosmos, och ger oss verktyg att förstå atomers och molekylers växelverkan och hur vår kroppar fungerar. En allt djupare förståelse ljusets egenskaper har öppnat vägen för optisk kommunikation och andra fotonik-tillämpningar som vi tar för givna. Många yrken i dagens samhälle arbetar med

ljus i olika former. Under ljusets år 2015 kommer vi att lyfta fram flera av dessa aspekter. Vi hoppas också att det ska inspirera till nya samarbeten och kanske också tillämpningar och upptäckter.

Ljusets år i Sverige

Ljusets år i Sverige firas i ett samarbete mellan många olika aktörer, både genom speciella evenemang och genom att återkommande evenemang under 2015 får ljus som inslag eller tema. Tipsa oss gärna om det som är

på gång så lägger vi in i kalendarier och även på Facebook-sidan www.facebook.com/ljus2015. Som stöd och inspiration har vi tagit fram ett antal månadsteman och hoppas kunna bilda arbetsgrupper. Förutom grupper om ljusårets många olika teman och aktiviteter ser vi gärna lokala eller regionala arbetsgrupper. Om du/din organisation vill bidra, kontakta oss gärna och hoppas kunna bilda arbetsgrupper, både tematiska och lokala/regionala.

Välkommen att fira Ljus2015 tillsammans med oss.

Petra Bindig, Photonics Sweden, petra@photonicsweden.org

Ann-Marie Pendrill, Nationellt resurscentrum för fysik och Svenska Fysikersamfundet, ann-marie.pendrill@fysik.lu.se

Nationella kontakter för Ljus2015 / Light2015

Mera information om Ljusåret 2015 finns via

www.ljus2015.se/ och även

www.eps.org/light2015 www.magic-of-light.org/iyl2015/.



LANE 2014

– en laservetenskaplig konferens med inslag av industriella tillämpningar

JOHNNY K LARSSON
VOLVO CARS



Kompetenta föredragshållare under LANE 2014:s Plenar-session.
Fr. v. Craig B. Arnold, Zeev Zalevsky, Eckhard Beyer, Minlin Zhong, Réal Vallée och Peter Loosen.

Den numera traditionsenliga LANE [Laser Assisted Net Shape Engineering] -konferensen lanserades i september i år för åttonde gången. Fr.o.m. det förra evenemanget 2012 har konferensen valt att flytta sina "bopålar" från Friedrich-Alexander Universität [FAU] i Erlangen till det mer spaciösa Stadthalle i Fürth. Detta visade sig vara väl befogat då deltagarantalet var rekordstora 280 delegater från inte mindre än 25 länder. Detta glädde inte minst professor Michael Schmidt från Institute of Photonics vid FAU och tidigare institutionsföreståndare vid BLZ [Bayerisches Laserzentrum GmbH] som hälsade oss välkomna i sitt inledningsanförande. Han kunde konstatera att konferensen fått en alltmer internationell prägel något som illustrerades av att hälften av delegaterna var "icke-tyskar". P.g.a. det stora antalet presentationer hade man nödgats dela in programmet i hela fem(!) parallellsessioner, något som alltid är av ondo då man som

deltagare tvingas välja mellan flera intressanta föredrag. Därför menade professor Schmidt att det kan vara värt att i framtiden överväga om man inte bör addera ytterligare en konferensdag. I min fortsatta rapportering kommer jag att fokusera på de ämnesområden som är av störst intresse för Lasergruppens medlemmar, men inleder här med ett referat kring den välbesökta Plenar-sessionen.

Denna inleddes med WLT:s [Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik e.V.] prisceremoni för berömvärd, ungdomlig laserforskning och tillföll denna gång Dr. Sebastian Dochow från Institut für Photonische Technologien i Jena där han forskat under Dr. Popp's ledning. Priset delas ut varje år och är avsett att gå till en kandidat yngre än 35 år. Prischecken på 2.000 euros överräcktes av pro-

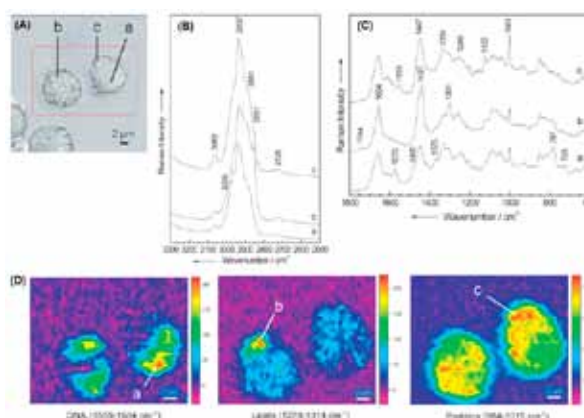


Fig. 1. Analys av blodceller med hjälp av s.k. Raman-spektroskopi gör det möjligt att upptäcka cancerceller i ett tidigt stadium. Vanligtvis används laserljus i form av IR-strålning som exciteringsmedium.

fessor Frank Vollertsen, institutionsföreståndare vid BIAS [Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik], dock inte till Dr. Dochow, som för tillfället befann sig vid UCLA [University of California, Los Angeles], utan till dennes kollega Dr. Christoph Kraft som också fick hålla den efterföljande Laureate-presentationen. Denna handlade om hur man med s.k. Raman-spektroskopi kan identifiera olika celler inom biomedicin. Tekniken fungerar som så att man belyser exempelvis ett blodprov med monokromt ljus från en laserkälla. Det återreflekterade ljuset ger sedan ett unikt Raman-spektra vilket kan sägas utgöra tumavtryck för enskilda celler. På så sätt skulle det bli möjligt att upptäcka förekomsten av cancerceller [Fig. 1].

Vanligtvis sker excitering med IR-strålning med 785 nm våglängd vilket visat sig ge mer tillförlitliga resultat än då grönt ljus med 515 nm används. I uppställningen ingår vidare ett s.k. Bragg-fibernet för att undvika större spridningar i respons-signalen, vilken tas upp via en samlingsfiber som i den prisbelönta uppfinningen utgörs av en SM [Single Mode] – fiber med inte mindre än 61 separata kärnor för bättre tolkning av Raman-spektrat.

En annan medicinteknisk användning av lasern redogjorde professor Zeev Zalevsky från Ingenjörshögskolan vid Bar-Ilan-universitetet i Tel Aviv för. Han hade valt att kalla den "Hearing by Light" där interferometri användes för att analysera reflekterade ljudvågor vilka hade alstrats med hjälp av en laser. Upptäckten hade gjorts då man ansatt en laserstråle mot en fönsterruta och där sedan de olika våglängderna från återreflekterade ljudvågor och laser-våglängden interfererade med varandra och gav upphov till ett klart och tydligt ljud, vilket var identifierbart på avstånd upp till 90 meter och i så pass bullriga miljöer som 125 dB(A). Denna form av laserbaserad sensorik menade professor Zalevsky att man skulle kunna använda inom biomedicin för att övervaka förändringar i blodtryck, blodcellers rörelser för att identifiera förekomst av malaria-



Fig. 2.

Ett urval av s.k. TAG-linser. Dessa kan vara en lösning till problemen med fokuspunktsförskjutning vid laserbearbetning då linsernas brytningsindex kan varieras med hjälp av en ultraljudssignal i frekvensbandet 50-1.000 kHz.



Fig. 3.

Parallellbearbetning med flera laserstrålar kan vara ett sätt att öka produktiviteten, som i fallet t.h. med ytstrukturering av kolvringar.

virus, eller för att upptäcka mutationer i DNA [DeoxyriboNucleic Acid].

En pratglad och engagerad föredragshållare var professor Craig B Arnold från Mechanical and Aerospace Engineering vid Princeton University. Han berättade om variabla optikelement med hög omställningshastighet och hade främst riktat in sig på variationer i z-riktning. Här används idag piezoelektrisk mekanisk rörelse vilken dock anses vara för långsam. Ett alternativ kan vara att modifiera fokuslinsens kurvatur, men en sådan lösning är begränsad i storlek. Rumslig ljusmodulering, digitala mikrospeglar eller deformerbare speglar är andra lösningar, och den som professor Arnold torgförde låg närmast den senare tekniken. I stället för att röra en massa för att flytta fokuspunkten kan man ändra brytningsindex hos linsen! Detta

kan man göra med ultraljud i frekvensbandet 50-1.000 kHz, och där fördröjningstiden mellan ljudgenerering och laserpulsen ligger inom 1 μ s varvid fokusläget ändras. Experiment med denna nya s.k. TAG [Tunable Acoustic Gradient index of refraction, Fig. 2] -lins hade utförts i form av ytmärkning av glas med en Nd:YAG-laser med 355 nm våglängd, 15 ns långa pulser och den numeriska aperturen [N.A.] 0,13. Vidare hade man använt ps-långa pulser med 532 nm våglängd för att jämnt avverka material från en yta samt att borrar djupa hål.

Optiksystem för lasrar med hög effekt adresserades även av professor Peter Loosen vid Fakulteten för Optiksystem vid RWTH [Rheinland-Westphälisches Technische Hochschule]. Han inledde med att beskriva det välbekanta fenomenet med fo-

kalpunktsförskjutning som uppstår då laserstrålningen absorberas i optiken, s.k. thermal lensing. Genom att använda en termo-mekanisk simuleringsmodell hade man kommit fram till att en lösning på problemet kan vara att integrera ett extra optiskt element som reagerar "negativt" på värme och därmed skulle kunna jämna ut effekten av thermal lensing.

Med en annan intressant lösning, vilken byggde på en deformierbar membranspegel med 50 mm diameter, kunde man skapa applikationsanpassade strålprofiler. Effektfördelningen övervakas med hjälp av en CMOS [Complementary Metal Oxide Semiconductor] -kamera. Idag klarar man effekter på mellan 10-20 W men målsättningen är att de använda speglarna i framtiden skall kunna klara lasereffekter på upp till 500 W, men för detta krävs speciella ytbeläggningar på speglarna. Den sista innovativa lösningen som Dr. Loosen presenterade handlade om höghastighetsbearbetning där de idag vanligast förekommande metoderna bygger på någon form av "scanning"-teknik, antingen i form av akustisk-optiska deflektorer, galvo- eller polygon-"scannrar". Ett alternativ till detta menade han vara parallellbearbetning med flera laserstrålar [Fig. 3], i vissa fall upp till 144 stycken, kombinerade med en förhållandevis långsam "scanner"-enhet. Det exempel som visades upp byggde på en diffraktiv optik från Jenoptik där separationsvinkeln mellan de olika laserstrålarna var mindre än 1°. Ett av problemen med all typ av fjärrlaserbearbetning är att punkt-till-punkt-avståndet på arbetsstycket följer ett sfäriskt plan och om detta skall kunna omsättas till ett plant sådant måste en kompensations ske, vilket man lämpligtvis åstadkommer med diffraktiv kvartsglasoptik.

En tidigare kollega till Dr. Loosen är professor Eckard Beyer, vilken sedan många år fungerar som institutionsföreståndare vid Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff und Strahlwerkzeuge] i Dresden. Han inledde med att berätta att det idag finns fraktionsbegränsade hög-

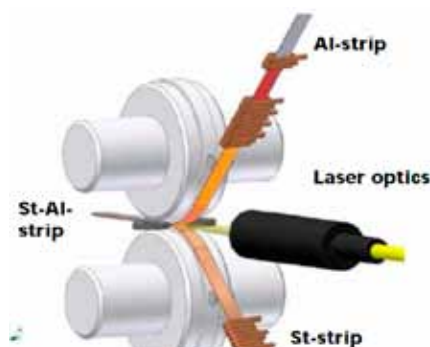


Fig. 4.

T.v. principen för induktionsunderstödd valsning med hjälp av laser där artolika material som aluminium/stål eller aluminium/koppar kan sammanfogas.

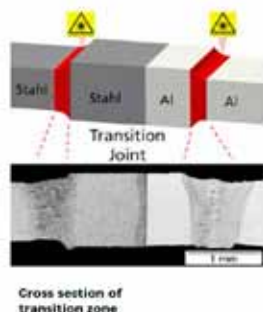


Fig. 5.

Genom att använda stumsvetsade "transition"-stavar av aluminium/stål med en initial tjocklek av 3 mm, vilka sedan kallvalsas ner till önskad tjocklek, blir det möjligt att tillverka lättviktskomponenter i mixade material.

effektlasrar med upp till 3 kW cw [continuous wave] effekt, vilket i klartext innebär en strålkvalitet på 0,34 mm*mrad och där distributionsfibern är blott 13 µm i diameter. I detta sammanhang nämnde han även de nya typer av diodlasrar med extremt god strålkvalitet vilka tillverkas av företag som Teradiode och Direct Photonics. Däremot var den gode Eckard föga imponerad av deras prestanda, och man hade tvingats återsända två dylika laserkällor som var avsedda att installeras i laboratoriet på Winterbergstraße. Ett av de mer uttalade problemen vid svetsning med fiber- eller disklasrar med hög strålkvalitet är den ibland alltför

smala svetszon som erhålles och som ofta genererar svets-sprut. Ett sätt att lösa detta kan vara att använda sig av en tvådimensionell oscillering av laserstrålen. Framgångsrika sådan experiment hade utförts på aluminiumkvalitén AA5754 med 1,8 kW lasereffekt och en 50 µm stor fokuspunkt, vilken pendrades med en frekvens på 4 kHz och en amplitud av 200 µm. Framföringshastigheten vid denna svetsoperation låg på cirka 1 m/min.

Lasersvetsning av aluminium till koppar har varit ett kärt ämnesområde hos kollegorna vid IWS med baktanken att kunna använda tekniken vid tillverkning av batterier.

Genom s.k. induktionsunderstödd valsning, där man ansätter en laserstråle mellan en aluminium- och en kopparplåt skapar en förbindning mellan materialen som uppvisar ett gynnsamt tunt intermetalliskt skikt på 10-15 nm [Fig. 4]. Man hade även tittat på att stumsvetsa aluminium till stål i form av små stavar med en initial tjocklek av 3 mm, vilka sedan kallvalsades ner till önskad tjocklek för att tjäna som "transition"-del i större konstruktioner där aluminium fogas till stål [Fig. 5]. Vidare berättade professor Beyer om hur man lokalt kan förstärka en komponent genom att med laser positionera blindsvetsar i högt påkända områden. Detta är en teknik som företaget Sitech använder sig av vid tillverkning av ramar för stolssäten och därmed har kunnat gå ner i plåttjocklek från 1,8 till 1,5 mm. Laserpåläggning med tråd i stället för pulver är en annan innovativ teknik som man studerat vid IWS. Med hjälp av tre oscillerande laserstrålar som simultant smälter ner den tillförda tråden hade man uppnått 18 kg/tim i deponeringshastighet vid beläggning med tungstenskarbid alternativt nickel. Tyvärr finns det en signifikant nackdel vid påläggning med tråd jämfört med pulver och det är att man inte har möjlighet att blanda olika legeringselement för att på så sätt öka produktprestandan.

Plenar-sessionen avslutades med utdelningen av det s.k. Erlangen Innovation Award, vilket är en utmärkelse som instiftades 2007 med avsikten att främja forskningen inom optiska teknologier. Prissumman är på 3.000 euros och gick denna gång till Dr. Sascha Frank från IPT [Institut für ProduktionsTechnologie] i Aachen. Tyvärr var denna herre förhindrad att delta p.g.a. tjänsteresa varför det var kollegan Dr. Andreas Janssen som fick ta emot prischecken ur Dr. Peter Hoffmanns hand, samt tillika hålla den tillhörande Laureate-presentationen. Innovationen bestod av att två laserstrålar används för att i det här fallet sammanfoga aluminium till stål [Fig. 6], något som kan ge åtskilliga miljöfördelar inom transportsektorn. Detta illus-



Fig. 6.

2014 års "Erlangen Innovation Award" gick till Dr. Sascha Frank från IPT för dennes idé att kombinera en pulsad 50 W fastkroppslaser med en 1 kW cw fiberlaser och därmed på ett kvalitetssäkrat sätt sammanfoga aluminium och stål.



trerades med ett exempel från Volkswagen där man i genomsnitt kan spara kring 8 kg genom att ersätta ett ståltak med ett aluminiumdito för en personbilskaross. Utslaget på en årlig produktionsvolym på 800.000 bilar skulle detta innebära en minskning av CO₂-utsläpp på inte mindre än 74.188 ton! Vi har ju tidigare hört talas om lösningar med två laserstrålar inom bilindustrin, t.ex. hos Audi AG som använder en pulsad laser för att förånga oxidskiktet på aluminiumkomponenter inför efterföljande lasersvetsning, men i det nu prisbelönta fallet arbetar de två laserstrålarna simultant och fokuseras till en gemensam brännfläck. Här använde man en 50 W diodpumpad fastkroppslaser från företaget Edgewave som med ns-korta pulser förstör aluminiumets oxidskikt varför inget flussmedel heller behövs vid fogningen som sker med 1 kW effekt från en IPG-fiberlaser. En omfattande försöksmatris, där foggeometrin utgjordes av en dubbelflänsad stumfog, låg till grund för de experimentella försöken där materialen utgjordes av stålkaliterna DX5D-ZX och DC04-ZE och aluminiumlegeringarna 5754 och 6082. De tillsatsstrådar som använts i studien var AlSi12, AlSi5, ZnAl2, ZnAl4 samt ZnAl15 samtliga med diametern 1,6 mm. Framföringshastigheten låg på 0,7 m/min med en trådmattningshastighet kring 2,3 m/min, och vid efterföljande dragprov skedde brottet alltid i aluminiummaterial, något som indikerar en till-

fredsställande fogkvalitet med denna metod. Dr. Janssen avslutade med att tacka för den kompetensmässiga och finansiella stöttning man fått inom ramen för det BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung]-finansierade projektet "Ferropuls".

Svetsning och lödning av tunna och tjocka plåtmaterial

Åtskilliga presentationer under LA-NE-konferensen adresserade lasersvetsning, och i en session som leddes av den tidigare nämnde Dr. Hoffmann beskrev välbekante Dr. Stefan Kaierle hybridsvetsning av vad han kallade XXL-strukturer. Sympatiska Stefan som numera är institutionsföreståndare vid LZH [LaserZentrum Hannover] beskrev hur man bl.a. svetsat 23 mm tjockt L485MB-material med dubbla MAG [Metal Active Gas]-pistoler och en oscillerande laserstråle. Den använda lasereffekten var 16 kW och MAG-strömkällorna levererade vardera 5,6 kA vilket resulterade i en framföringshastighet på 1,8 m/min. Det är värt att nämna att rotsvetsen hade utförts med pulverbåge. Motsvarande svetsförsök hade gjorts på 12 mm tjockt AA-6082-T6, också här med 16 kW lasereffekt men betydligt moderatare 2,7 + 1,8 kA för MAG-processen. Med dessa inställningar lyckades man uppnå svetshastigheter kring 6 m/min! Ett annat exempel handlade om induktionsunderstödd hybridsvetsning av stålmaterial S690QL1 i tjockleken 20 mm. Här hade man använt en 40 kW diodlaser från Laserline med 2

mm grov distributionsfiber för laserstrålen. Fokalkpunkten blev av förklarliga skäl så stor som 2,5 mm, något som emellertid gjorde det möjligt att överbrygga spalter i samma storleksordning för den aktuella stumfogen. Slutligen visade Dr. Kaierle några intressanta fall där hybridtekniken använts vid laserpåläggning. Här handlade det främst om moderata lasereffekter kring 1 kW där laserstrålens huvudsakliga syfte var att dels stabilisera ljusbågen och dels förvärma substratets yta.

Professor Gleb Andreevich Turichin från St. Petersburg State Polytechnical University redogjorde för ett mobilt hybridssystem avsett för pipeline-svetsning [Fig. 7]. Laserkällan var en 20 kW fiberlaser från IPG och orbitalsvetsningen utfördes med fogföljning i form av kameraövervakning. Denna återkopplade till två linjärmotorer vilka kunde justera fokalkpunkten i y- och z-riktning. Eftersom det visade sig bara vara möjligt att svetsa från pipeline-rörens ovansida till dess undersida krävdes två 23 kg tunga verktyg där laserstrålen delades upp så att den försörjde varterdera verktyget med 10 kW lasereffekt. Materialet utgjordes av 16 mm tjockt stål av X80-kvalitet och det krävdes blott en rotsträng plus en fyllnadssträng för att fullborda svetsfogen om man använde en framföringshastighet på 3 m/min, en trådmätning på 22 m/min och 7 kA från MAG-strömkällan.

Vid svetsning av extremt tunna plåtar med tjocklekar mellan 0,6-1,0 mm är det viktigt att begränsa värmetillförseln. Kring detta talade Florian Albert från Scansonic GmbH och redogjorde för försök utförda som överlappssvetsar av zinkbelagt H260LAD med 0,8 mm tjocklek. För att minimera värmepåverkan hade fokalkpunkten reducerats till en diameter av 300 µm, och de experimentella försöken gick ut på att studera spaltöverbyggnadsförmågan hos en så pass liten brännfläck. Spalten mellan plåtarna hade successivt ökats från 0,05 mm till 0,8 mm och för att överhuvudtaget kunna åstadkomma ett acceptabelt svetsresultat krävdes fogföljning kombinerat



Fig. 7.

Det mobila laserhybridverktyget avsett för pipeline-svetsning under utprovning vid St. Petersburgs Polytekniska Universitet.

med en oscillerande laserstråle med en amplitud på $1,5 \times$ fokalkpunktsdiametern [Fig. 8] samt med fokalkpunkten huvudsakligen positionerad på toppplåten. Tre åtgärder för att kompensera för en större spalt hade identifierats; ökad lasereffekt, ökad amplitud samt laserstrålen ytterligare positionerad in på toppplåten. För ett acceptabelt svetsresultat hade man vidare konstaterat att oscilleringsfrekvenser mellan 150-400 Hz bör undvikas då dessa resulterar i ett tilltagande svetsssprut.

Liksom under plenar-sessionen förekom en hel del föredrag som handlade om fokalkpunktsförskjutning vid laserbearbetning. Ett av dessa hölls av Benedikt Neumeier från A.L.L. Lasersysteme GmbH och handlade om förekomsten av detta fenomen vid laserskärning då optiken oftast smutsas och det därmed uppstår en förändring av fokalkpunktens läge. För att övervaka detta använde man sig av ultraljudssignaler eftersom ljudhastigheten är proportionell mot optikmaterialets temperatur vilken ökar med tilltagande nedsmutsningsgrad [Fig. 9]. Systemet var integrerat i Precitecs skärverktyg modell HP SSL och hade validerats vid skärförsök med en 2 kW cw fiberlaser från IPG kombinerad med en 50 µm grov distributionsfiber.

Ett annat angreppssätt för att lösa ovannämnda problem beskrevs av Christiane Thiel från IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] vid universitetet i Stuttgart. Hon hade tittat på att ersätta traditionella linser baserade

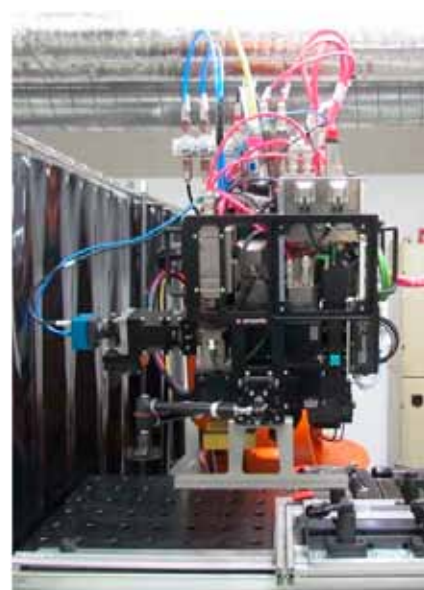


Fig. 8.

Den experimentella försökssupställningen med ett avancerat svetsverktyg för utvärdering av spaltöverbyggnadsförmågan vid lasersvetsning.

på kiseloxid med andra tillverkade av safirmaterial. De senare har en betydligt högre värmeledningsförmåga, 27,21 W/mK att jämföras med motsvarande 1,31 W/mK för kiseloxidsvarianten. Därmed får de safirbaserade linserna en helt annan möjlighet till "självkylning" vilket gör att effekten av fokalkpunktsförskjutning kan reduceras med en faktor 4! Svetsförsök hade utförts med en TruDisc 8002 från Trumpf med 1.030 nm våglängd och 200 µm grov optisk fiber. Materialet var 15 mm tjockt kolstål och svetshastig-

heten hade satts till 1,5 m/min [Fig. 10]. Frau Thiel kunde avslutningsvis konstatera att även med det exklusivare optikmaterialet förekom en viss oönskad defokusering av laserstrålen med tillhörande reduktion i penetrationsförmåga och försämrade strålkvalitet. För att fullt ut kunna lösa detta problem menade hon att det krävs någon form av zoom-optik för korrigering av fokuspunktsläget.

Villdas Schultz från BIAS i Bremen redogjorde för stumsvetsning av 1 mm tjockt aluminium AA6082 med stora luftspalter [Fig. 11]. För att lyckas med detta konststycke använde man tillsatstråd i form av AlSi5 med 1,2 mm diameter kombinerad med en strålpending på 1,4 mm amplitud och en frekvens av 200 Hz. Laserkällan var en YLR-1000SM från IPG, "scanner"-verktyget hade beteckningen ILV-DC och trådmattningen skedde via Dinses WDE 100. Framföringshastigheten låg på 3 m/min och trådmattningen hade satts till 1,5 × svets hastigheten. Huvudsyftet med undersökningen var som nämnts att undersöka svetskvalitetens robusthet med tanke på olika positioneringstoleranser. Här hade man kunnat konstatera att i de fall Mg-innehållet i aluminiumet överskrider mängden Si så har detta en negativ inverkan på spaltöverbrygnadsförmågan p.g.a. att smältans ytspänning förändras [Fig. 12]. Under gynnsamma förhållanden hade man emellertid lyckats överbrygga spalter som var 315% större än plåttjockleken!

Att svetsa grovt Titan-material hade studerats av André Schneider från BAM [Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung] i Berlin. Här var det viktigt att undertrycka plasmaformering varför man hade utvecklat ett unikt svetsverktyg som också kunde skydda svetssmältan [Fig. 13]. Ett högt skyddsgasflöde, i det här fallet 50 l Ar/min [Fig. 14], var fördelaktigt för att trycka bort plasmat samtidigt som det gav upphov till ett stabilare beteende hos smältan i jämförelse med då endast 10 l/min användes. I försöken var lasereffekten 17,6 kW, framföringshastigheten 1,8 m/min och den 560 µm stora fokuspunkten placerad 8

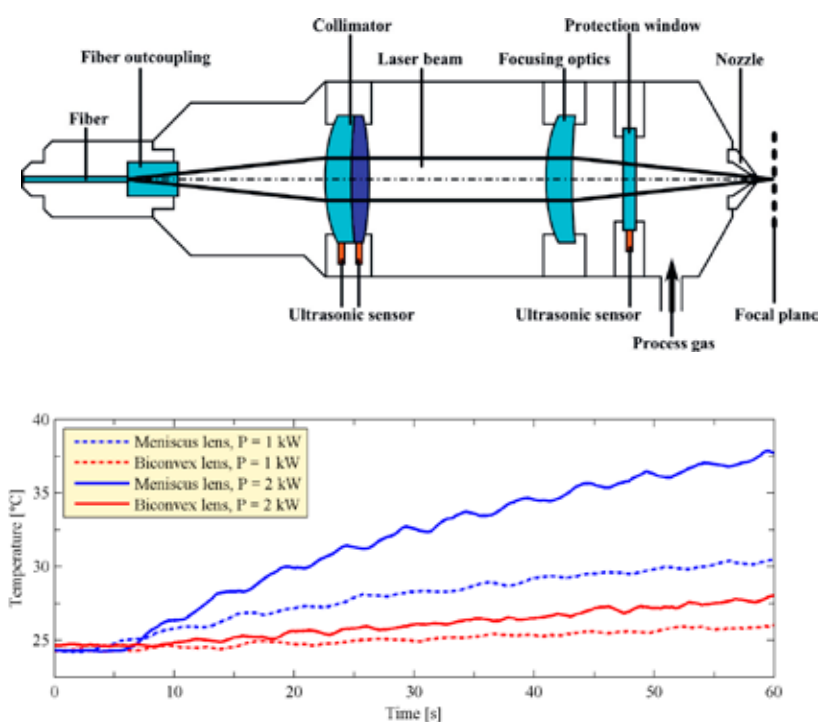


Fig. 9. Överst ett schematiskt tvärsnitt av ett skärverktyg försett med temperaturövervakning av kollimeringslins och skyddsglas med hjälp av ultraljudsteknik, och därunder faktiska uppmätningar utförda under laserskärningsförsök.

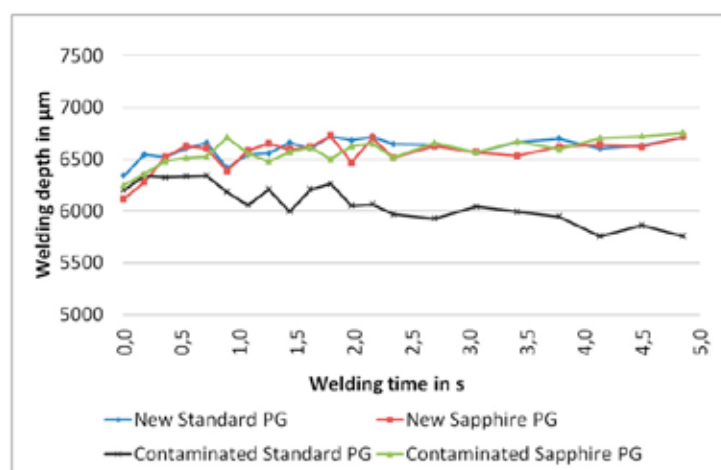


Fig. 10. Diagrammet visar att safirbaserade linser är betydligt okänsligare för nedsmutsning och tillhörande värmepåverkan jämfört med konventionella kiseloxidlinser, vilket återspeglar sig i olika penetrationsdjup vid lasersvetsning i 15 mm tjockt stål.

mm ner i materialet. Med dessa parametrar uppfyllde samtliga svetsar kvalitetsnivån B i ISO 13919-1 och hårdheten i svetsgodset låg kring 300 Hv.

Velten Behm [Volkswagen AG] och Dr. Matthias Höfemann [Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH] höll ett gemensamt föredrag rörande lasersvetsning av s.k. TWIP [TWining Induced Plasticity] -stål. Dessa material går även under benämningen HSD [High Strength Ductility] och är upplegerade med cirka 15% Mangan, vilket gör att specifika vikten, 7,4-7,6 g/cm³, ligger något under den för "vanligt" stål [~7,8 g/cm³]. Förutom den lägre vikten är materialet extremt formbart och kan närmast liknas vid rostfritt stål, men på minussidan ligger en hög kolhalt på cirka 0,7% vilket är en utmaning för de flesta svetsmetoder.

Det i det här fallet undersökta materialet hade en brottgräns kring 900 MPa, och en tillränt applikation är gavlarna till bilsätesstommar varför även det VW-ägda dotterbolaget Sit-tech hade ingått i projektgruppen. Lasersvetsningen hade genomförts med en diskaser från Trumpf [Tru-Disc 16002] med 1.030 nm våglängd och en fokallängd på 560 mm vilket gav en brännfläcksdiameter på 560 µm. Svetsade provkroppar i form av s.k. KS-2-prover, vilket är i princip två små motställda U-profiler hopfogade med 25 mm lång svetsar, hade sedan provats i såväl statisk som utmattningsbelastning [Fig. 15]. Då TWIP-stålet svetsades till ett S420MC-material med full penetration resulterade detta i ett svetsgodset med en 50/50-fördelning mellan austenit- och ferritfas. Om man däremot svetsade med partiell penetration och en framföringshastighet på 8 m/min blev svetsgodset helaustenitiskt [Fig. 16]. Någon direkt förklaring till detta fenomen kunde inte ges av materialexperten Dr. Höfemann, varför en ganska lång och intressant diskussion utspann sig i salen. Den naturliga förklaringsmodellen torde stå att finna i de olika avsvagningsförlopp som blir resultatet vid full respektive partiell penetration – en teori som stöddes av bl.a. undertecknad och

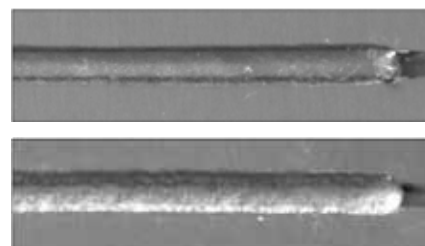
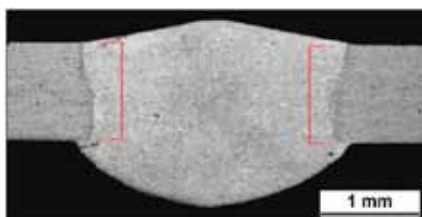


Fig. 11. Stumsvets av 1,0 mm tjockt AA6082 med 1,9 mm luftspalt. Detta åstadkoms med följande parametrar; lasereffekt 1 kW, svets hastighet 3 m/min, trådmätning 5 m/min, pendlingsvidd 1,4 mm med 200 Hz frekvens.

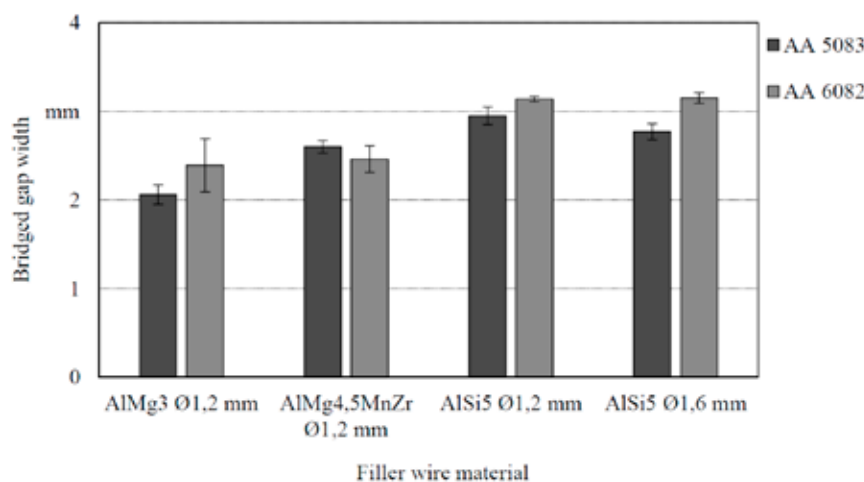


Fig. 12. Kisellegerat tillsatsmaterial har en större spaltöverbrygningsförmåga jämfört med magnesiumdito eftersom legerings-elementen påverkar svetsmältans ytspänning.

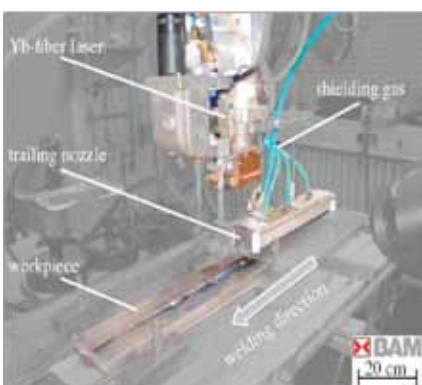


Fig. 13. Vid svetsförsöken användes ett unikt svetsverktyg försett med ett "släpande" skyddsgasarrangemang.

Dr. Dirk Petring från Institut für Lasertechnik [ILT], Aachen. Resultaten från de statiska belastningsproven var intressanta såtillvida att lastriktningen tycks vara ytterst kritisk då TWIP-materialet svetsas till en annan stålqualität som i det här fallet S420MC. Vid en rak belastning [0°]

av fogen syntes ingen skillnad mellan den mixade materialkombinationen och en motsvarande uniform sådan bestående av två TWIP-komponenter. Men då svetsen snedbelastades i 45° respektive 90° gav blandskarvarna en betydligt lägre brotthållfasthet.

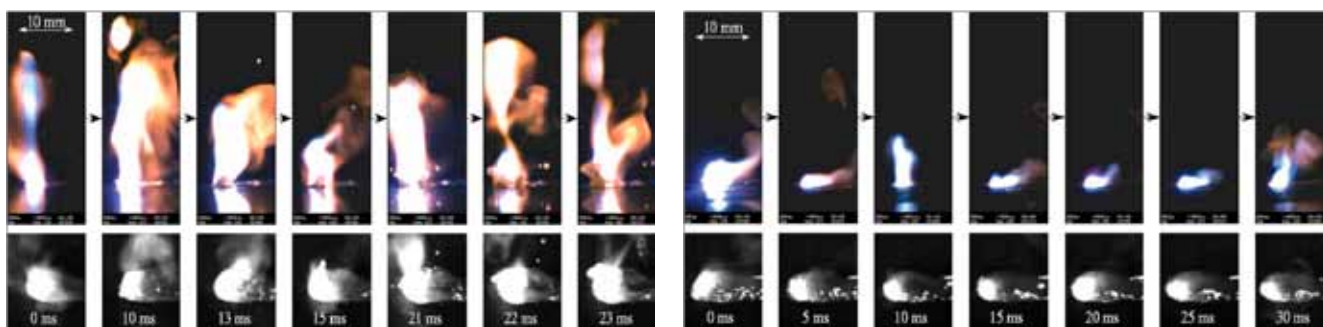


Fig. 14.

Höghastighetsfilmning av svetsförloppet indikerar effekten av olika skyddsgasflöden med Argon. T.v. 10 l/min och t.h. 50 l/min, där det senare har en positiv inverkan då det gäller att undertrycka plasmaformering (överst), liksom att stabilisera svetssmältan (underst).

Laserlödning med strålscillering var temat för Marco Heitmaneks [Audi AG] presentation. I försöken hade man använt en diodlaser från Laserline med beteckningen LDF 400-5000 speciellt avsedd för lödoperationer, och denna hade kombinerats med IWS' numera klassiska LASSY-scanner. Oscilleringen hade utförts i framföringsriktningen, och Herrn Heitmanek menade att detta gav en bättre värmefördelning i den ovala smälta som uppstår och bättre förutsättningar att förånga plåt detaljernas zinkyttskikt.

En pendlingsvidd på 4,4 mm gav ett optimalt resultat, medan större pendlingsrörelser riskerade att smälta stålsubstratet samtidigt som det uppstod såväl porer som hål i lödgodset [Fig. 17]. Vidare hade inverkan av olika fokallängder studerats och här gav brännvidden 200 mm ett avsevärt stabilare processbeteende jämfört med en kort fokallängd på 20 mm. Den längre brännvidden resulterar i en bättre förvärmning med tillhörande positiv inverkan på plåtens vätningsförmåga, vilket i sin tur ökar lödfogens bredd och därmed dess lastöverförande förmåga. Som avslutning redovisades en egenutvecklad simuleringsmodell av laserlödningssprocessen.

Även Christoph Mittelstädt från BIAS adresserade ämnesområdet laserlödning. Här hade man undersökt lödbarheten av såväl mjukt DC04-presstål som presshärdat 22MnB5 med den välbekanta ytbeläggningen AlSi150. Ett flertal tillsatstrådar hade utvärderats såsom CuSi3Mn, CuSn och den höghållfasta varian-

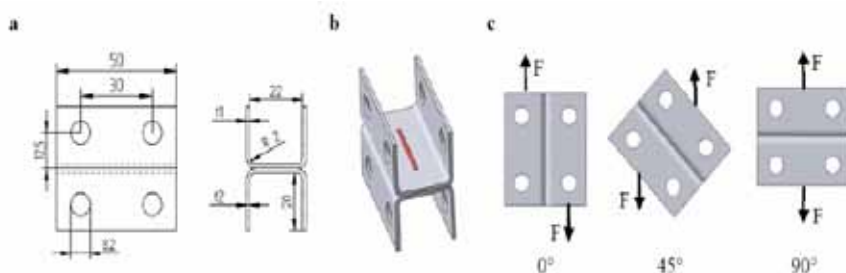


Fig. 15.

a) KS-2-provets geometri, b) lasersvetsens orientering, samt (c) de olika lastriktningarna vid statisk och utmattningsprovning.

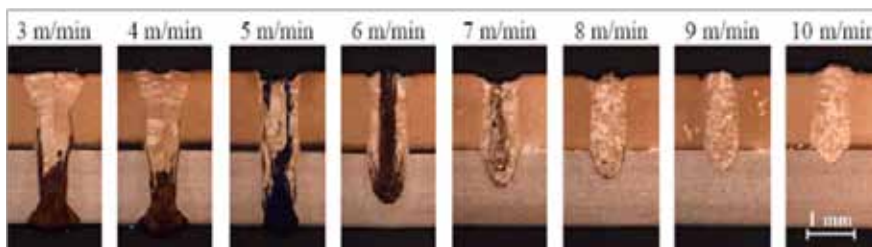


Fig. 16.

Penetrationsdjup vid olika hastigheter vid svetsning av TWIP-stål (överst) mot ett S420MC-material. Lasereffekt 4 kW, fokallängd 560 mm och fokalpunktsdiameter 560 μ m. Observera att man vid partiell penetration får ett helaustenitiskt svetsgods medan man vid full genombränning erhåller en blandning av austenit- och ferritfas (svart).

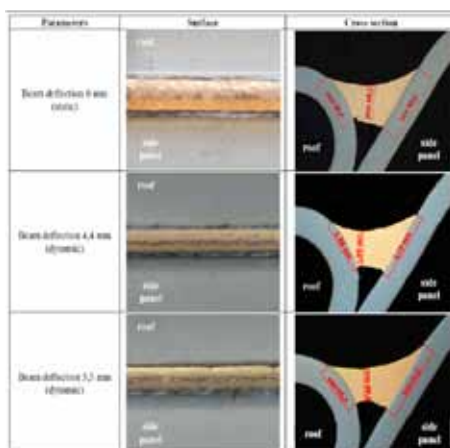


Fig.17.

En pendlingsvidd på 4,4 mm i lödriktningen visade sig ge det bästa resultatet både vad beträffar fogbredd som frihet från ytporer.

ten CuMn13Al8. Innovationen låg i att man använt sig av två separata laserstrålar; en från en HL4006D stavlaser med defokuserad stråle som gav en brännfläck med 4,2 mm diameter och där man blott använde 0,5 kW för att förvärma DC04-materialet, samt en andra stråle från en TruDisc 8002 som smälte löttråden [Fig. 18]. Den senare matades in i en brant vinkel i förhållande till fogen och med en hastighet av 7,5 m/min. I detta fall var framföringshastigheten satt till 5 m/min. När 22MnB5-materialet laserlödades använde man en högre effekt, 1,2 kW, till förvärmningen något som också tenderade att mjuka upp plåtmaterialet, men då man använde den nyutvecklade tillsatsstråden CuMn13Al8 räckte det med 0,6 kW för förvärmning följt av 4,7 kW från disklasern vid själva lödoperationen. Här var framföringshastigheten satt till 4 m/min och trådmatningen till 9 m/min. Vid dragprov presterade en 45 mm lång lödfog, utförd med den höghållfasta tillsatsstråden, 35 kN och brottet skedde genomgående i lödfogen vid en omräknad spänning på 550 MPa.

En annan BIAS-medarbetare, Marius Gatzen, spann vidare på lödningstemat, men i hans fall handlade det om laserlödning av aluminiumlegeringarna AA6016 och AA6082-T6 till mjuk, zinkbelagd stålplåt. Beläggningarna utgjordes av såväl el- som varmförzinkning, båda med vardera två olika zinksiktstjocklekar [50 resp. 75 g/m² och sida]. Laserkällan var en TruDisc 8002 från Trumpf med 1.030 nm våglängd, och två olika typer av försök hade genomförts; dels BOP [Bead-on-Plate] med 2 kW lasereffekt och klassisk AlSi12-tillsatsstråd med 1,0 mm diameter, dels som överlappssvetsning där laserstrålen ansattes mot stålsidan med 3 kW effekt och där inget tillsatsmaterial användes. Bindningen skapas genom att nedsmält aluminium väter mot den zinkbelagda stålytan. Just zinkbeläggning har en gynnsam inverkan på tillsatsmaterialets vätningsförmåga, vilket hade kunnat konstateras vid försöken utförda på BOP. I de fall då stålsubstratet var obelagt bara studsar de 110 mg tunga drop-

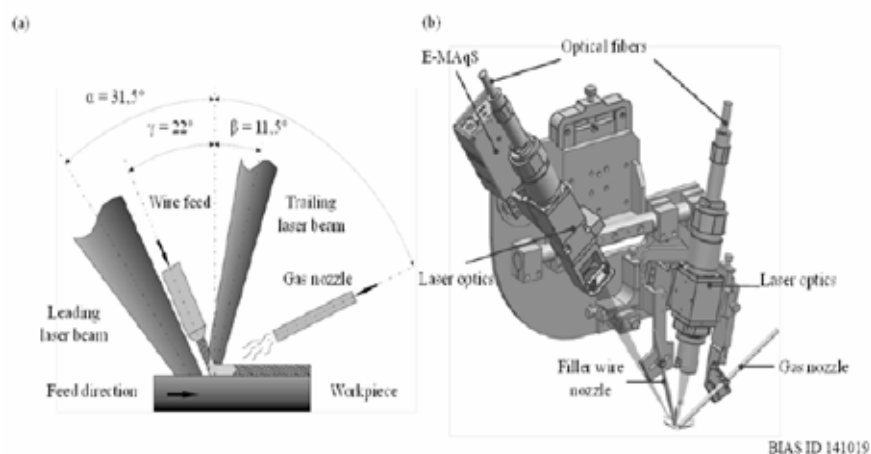


Fig. 18.

Principuppställning för laserlödning med två strålar; t.v. detaljutsnitt kring lödområdet och t.h. själva process-verktyget med en E-MaqS-enhet för kvalitetsövervakning on-line.

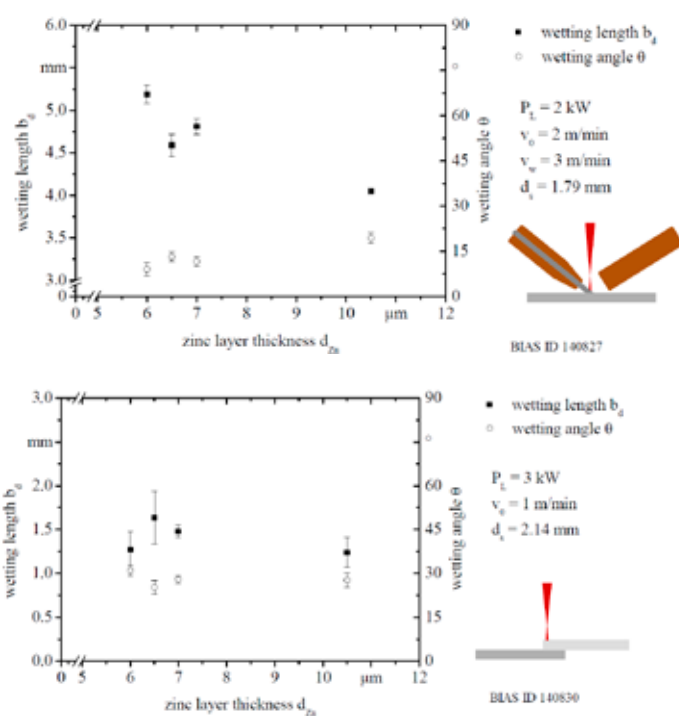


Fig. 19.

Vid Bead-on-Plate-lödning visade sig ett tunnare zinksikt ge en större vätningslängd (överst), en effekt som inte förekom vid motsvarande kälfogsexperiment.

parna tillbaka från plåtytan, medan man vid belagt material får en kombination där en del av det tillförda materialet smälter mot ytan medan en del repelleras i form av sprut. Det senare fenomenet kan till viss del motverkas om substratet förvärms till 400 °C, en åtgärd som inte hade någon effekt vid obelagt material. Den s.k. vätningslängden ökar med minskande zinksiktstjocklek, något som Herrn Gatzen förklarade med

att ett tjockare zinksikt reducerar smältans flödes hastighet och därmed hindrar dess utbredning [Fig. 19]. Denna effekt kunde däremot inte skönjas i kälfogsexperimenten, utan här upptäckte man en ackumulering av zink i lödtån, något som kan leda till bindfel vid laserlödning av överlappsfogar utförda med denna mixade materialkombination.

Laserhybridsvetsning var självklart på tapeten vid LANE 2014 och

här väljer jag att uppmärksamma tre presentationer. Den första genomfördes av Rabi Lahdo från LaserZentrum Hannover. Han hade studerat inverkan av att kombinera hybridprocessen men induktionsvärmning [Fig. 20] vid svetsning av 15 och 20 mm tjockt konstruktionsstål S690QL. Lasereffekten var 6 kW medan MAG-processen använde en strömstyrka på 550 A. Vid svetsning av det tunnare materialet sattes framföringshastigheten till 1,5 m/min och trådmattningen till 10 m/min. Till-satsmaterialet utgjordes av en CrNi-Mo-legering och vid en sträckenergi på 610 kJ/m kunde hårdheten i svetsgodset reduceras från 430 till 350 Hv0.2 genom att använda 40 kW effekt från induktionsslingan. Däremot åstadkom man ingen hårdhetsminskning i den värmepåverkade zonen. Vid en högre sträckenergi på 800 kJ/m blev inverkan av induktionsvärmningen mindre och hårdheten i svetsgodset stannade vid omkring 400 Hv0.2, ett värde som även var representativt för den värmepåverkade zonen [Fig. 21].

Projektet LUPuS [Anwendbarkeit und Modellbildung des Laser-Unterpulver Hybridverfahrens] är ett DFG [Deutsche Forschungsgemeinschaft] -finansierat projekt där en laserälla integreras i en pulverbågsvetsprocess avsedd för svetsning av materialtjocklekar över 30 mm. Vid dylika tjocklekar uppstår problem med porbildning vid konventionell lasersvetsning då man får gasinneslutningar i svetsmältan. Nu beskrev Dr. Simon Olschok från if [Institut für Schweiß- und Fügetechnik] i Aachen denna något udda hybridprocess och redogjorde för några av de uppnådda resultaten. Man hade jämfört en 20 kW CO₂-laser med en 16 kW disk laser, och pulversvetsaggregatet var av märket ESAB LAE 1250 med ett 25-30 mm stort interavstånd mellan processerna. Ett av problemen vid försökupställningen var att det pulver som används för SAW [Submerged Arc Welding] -processen har en tendens att ta sig in i laserstrålgången varför man måste använda sig av en "separationsplatta" [Fig. 22]. Trots denna

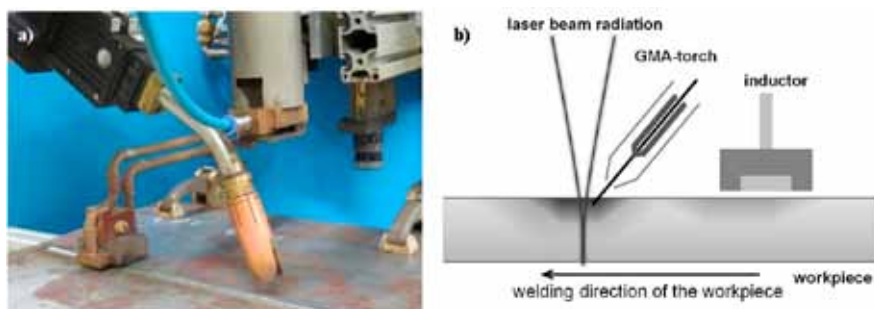


Fig. 20. Försökupställning vid laserhybridsvetsning kombinerad med induktionsvärmning.

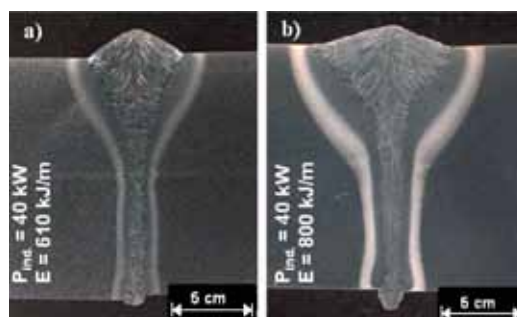


Fig. 21. Svetsprofiler vid olika sträckenergi, där effekten av induktionsvärmningen fick störst inflytande vid den lägre (610 kJ/m) då hårdheten i svetsgodset gick att reducera från 430 till 350 Hv0.2.



Fig. 22. Principskiss (t.v.) och försökupställning vid kombinerad laser- och pulverbågsvetsning, där den s.k. separationsplattan är en viktig ingrediens för att förhindra pulver att interferera med laserstrålen.

kommer en mindre del av pulvret att interferera med laserstrålen, vilket leder till en kraftig plasmaformering och minskad penetration då en CO₂-laser används. Betydligt gynnsammare visade det sig vara att använda en fastkroppslaser [Fig. 23]. Försöken hade utförts på 35 mm tjockt konstruktionsstål [S355 och S460] och "pipeline"-kvaliteten X65-L460MB. En intressant observation var att om SAW-munstyckets

elektrod ändrades från positiv till negativ polaritet krävdes betydligt lägre strömstyrkor. Slutligen nämnde Dr. Olschok vad man avsåg undersöka i ett fortsättningsprojekt. Detta innefattade matchade elektrod/pulver-kombinationer, oscillering av laserstrålen samt inverkan av mindre distributionsfibrer [200-300 µm] och därmed energitätare fokuspunkter.

Nästa presentation i hybrid-sessionen hölls av nypromoverade

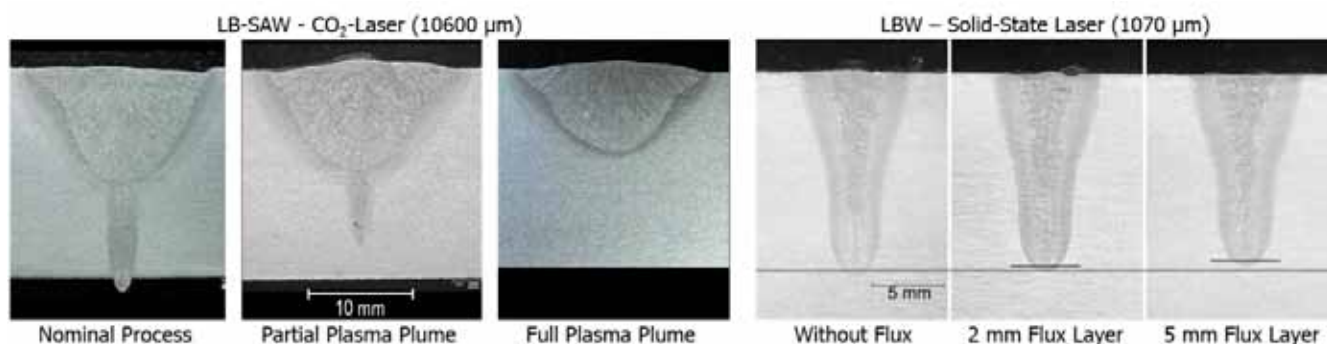


Fig. 23.

Kraftig plasmaformering uppstår då en CO₂-laserkälla kombineras med SAW-processen, vilket avsevärt reducerar laserstrålens penetrationsförmåga, en effekt som mer eller mindre kan undanröjas om man istället använder en fastkroppslaser med kortare våglängd.

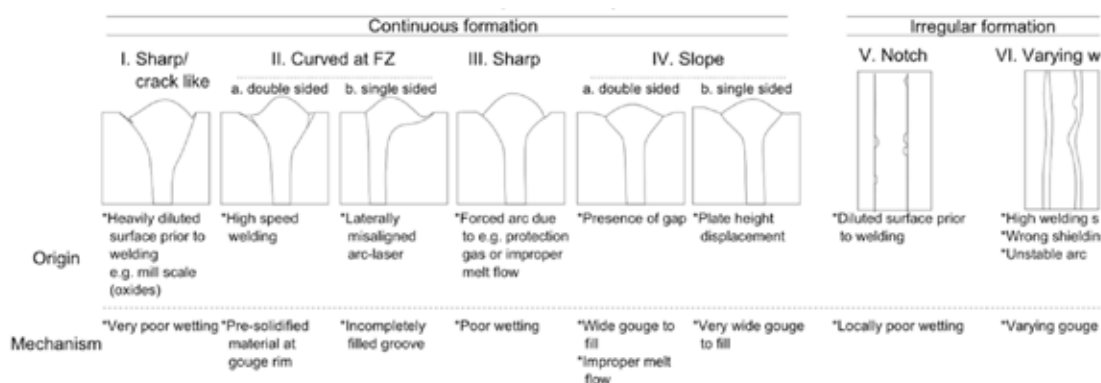


Fig. 24.

Vid Luleå Tekniska Universitet har man gjort ett försök att skapa en nomenklatur för olika typer av svetsdiken vilka kan uppstå vid laserhybridsvetsning.

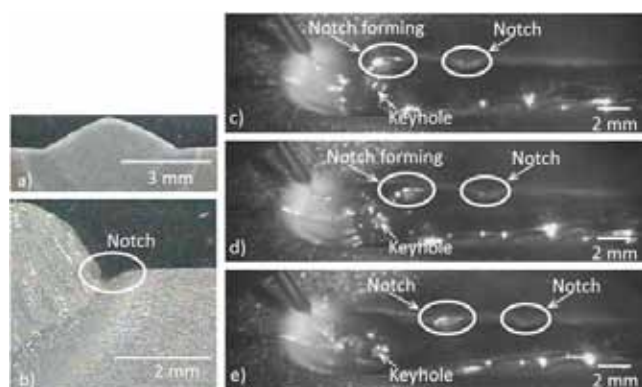


Fig. 25.

Höghastighetsfilmning av svetsmäktan har ju blivit något av ett signum för LTU, och hade också använts för att identifiera vilka process-fenomen som kan resultera i svetsdiken.

doktorn och numera lektorn vid LTU [Luleå Technical University], Jan Frostevarg. Denne hade studerat uppkomsten av svetsdiken vid laserhybridsvetsning och försökt att skapa en nomenklatur för dessa [Fig. 24]. Det finns en mängd orsaker till varför svetsdiken uppstår. Dessa kan bl.a. vara alltför hög svets hastighet, olinjär positionering av laserstråle

och MAG-ljusbåge, dålig passning mellan plåtar, föroreningar på fogytorna vilket leder till en minskad ytspänning av smältan samt dålig bågstabilitet i MAG-processen. Presentationen kompletterades med vad man numera kan kalla en LTU-specialitet, nämligen höghastighetsfilmning av svetsförloppet [Fig. 25].

Här avslutar jag första delen av min rapportering från LANE-konferensen 2014. Dock återkommer jag i nästa nummer av LaserNytt med ytterligare intressant information, bl.a. från avslutningssessionen som handlade om olika former av laserunderstödd bearbetning!

Optimerad lasermärkning av plastmaterial

JOHNNY K LARSSON
VOLVO CARS

Även om märkning av plaster är ett vanligt användningsområde för CO₂-lasrar kan kvalitén på märkningen variera kraftigt beroende på vilken typ av plast det är frågan om. De två huvudsakliga familjerna av plaster är termoplaster och hårdplaster. Termoplaster, till vilka räknas akrylplaster, polypropylen och polyetylen, ger en låg kontrastverkan vid lasermärkning medan däremot gravyrdjuper är tillfredsställande. Hårdplaster, som polyuretan och FR4 [graderingsbenämning för glasfiberförstärkt epoxiplast], uppvisar däremot en mörk och tydlig ytmärkning med tyvärr med svag penetration i materialet. Dessa generella problem går inte att påverka genom att justera olika laserparametrar eftersom beteendena är materialberoende. Emellertid kan andra kvalitetsproblem, som exempelvis omfattande uppsmältning eller dålig läsbarhet, kraftigt reduceras genom justering av ett flertal kritiska laserparametrar.

Betydelsen av optimerade parametrar vid lasermärkning demonstreras av exemplet på lasermärkt akrylplast i **Figur 1**. Kravet var att uppnå en djup gravering men samtidigt få en klar och läsbar text i akrylsten. Att minimera värmeförloppet i det omgivande materialet är en kritisk faktor för att få fram en distinkt och tydligt läsbar märkning i denna speciella plast. En Synrad 10 W laser användes vid försöken tillsammans med ett Flyer märkverktyg försett med en lins med 125 mm brännvidd samt mjukvaruprogrammet Win-

Mark Pro. Denna utrustning skapar en fokuspunkt med 180 µm diameter på plasten. Märkfilen som användes i WinMark Pro bestod av en kliché med 3,6 mm höga "Arial TrueType"-textsnitt som anger ett serienummer omgivet av en rektangel.

Vid det första märkningsförsöket var framföringshastigheten satt till 25,4 mm/sek [1 inch/sek = IPS]. Märkningen [det övre exemplet i **Fig. 1**] har ett bra graveringsdjup, men det omgivande materialet har smält upp för mycket vilket resulterar i en dålig textkvalitet. I det andra försöket hade hastigheten ökat med en faktor tio till 254 mm/sek [10 IPS] och antalet passager vid varje märkning hade ökat från en enda till 10! Detta försök resulterade i en text som var mycket klarare och bättre läsbar, vilket framgår av det under exemplet i **Figur 1**. Den snabbare märkningshastigheten tillåter plastmaterialet att kortvarigt kylas ner mellan varje passage ["scanning"] så att värmeledningen i det omgivande materialet minimeras, men också att denna "multi-pass"-teknik kan skapa det eftersträvade märkningsdjupet.

I båda försöken exponerades plastmaterialet för samma totala laserenergi och samtidigt var cykeltiden likvärdig; 10,25 respektive 10,58 sekunder, men laserenergin kom att utnyttjas på ett effektivare sätt i det andra experimentet då den främst förångade plasten och i mindre omfattning smälte densamma. För stora märkfiler med många objekt kan tekniken optimeras ytterli-

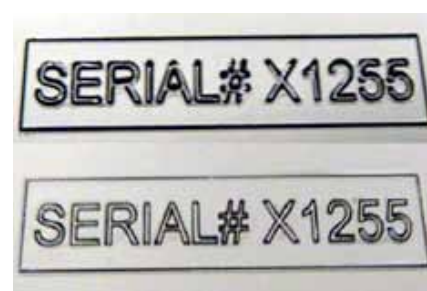


Fig. 1.
Överst det första märkningsförsöket av en akrylplast gjort med en passage och låg hastighet vilket resulterade i kraftig uppsmältning av polymeren. I det andra försöket (underst) gjordes märkningen med tio repetitioner och motsvarande ökad "scanning"-hastighet varvid smältningen av materialet minimerades samtidigt som läsbarheten av märkningen ökade och kravet för det specificerade gravyrdjupet bibehölls.

gare genom att objekten grupperas och att märkningen av varje grupp sedan sker med "multi-pass"-teknik. Laserstrålen rör sig då över varje enskilt objekt i gruppen, innan den återkommer och påbörjar en andra märkningsomgång, vilket gör att varje enskilt objekt har hunnit av svalna inför nästa märkning.

Laserskärning av svampmaterial i cellulosa

Cellulosasvampar är kända för sin förmåga att kunna absorbera stora mängder vätska. Den här refererade applikationen innefattar laserskärning av komprimerade, naturliga cellulosasvampar avsedda för användning vid mjuklödningsopera-

tioner. För ändamålet placeras en liten mängd vatten inuti skärspåret för att fukta svampen. Under själva lödningsprocessen dras tillsatstråden över den fuktiga svampen för att rengöra trådspetsen från överskottsmaterial, flussmedel och andra föroreningar, och på så sätt erhålla en ren lödfog.

Försökupställningen bestod av en Firestar t-series laser med 100 W effekt, ett märkverktyg ur FH-serien försett med en HP [High Power] -lins med 125 mm brännvidd samt WinMark Pro:s mjukvara för lasermärkning. Fokallängden ger en 180 µm stor brännfläck med 3 mm skärpedjup över hela märkningsområdet. Den komprimerade cellulosasvampen är 1,6 mm tjock vid skäroperationen, men expanderar sedan till 25,4 mm [1,0"] i tjocklek då den fuktas.

För att svamparna skall passa i lödningsstationen trimmas deras rektangulära form till den kontur som framgår av **Figur 2**. Cirkclar med 64 mm diameter skapades genom den speciella "Circle"-funktionen i WinMark Pro-programmet med en hastighet av 127 mm/sek [5 IPS] och en lasereffekt på 100 W. Med dessa inställningar hamnade cykeltiden på 1,55 sekunder per detalj, och den komprimerade cellulosasvampen blir snyggt skuren med bara en lätt missfärgning av snittkanten.

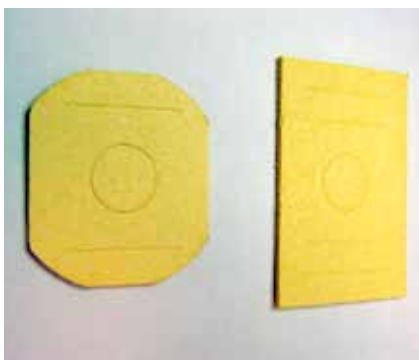


Fig. 2.

Rektangulära cellulosasvampar skurna till önskad form och slitsade för bättre fukthållning med 100 W lasereffekt och en processhastighet på 5 IPS eller 127 mm/sek, vilket ger en cykeltid på 1,55 sekunder per svamp.



Fig. 3.

Detta foto visar två 1,14 mm tjocka PMMA-skivor som sammansvetsats längs sin omkrets genom att ansätta laserstrålen mellan de två skivorna. På detta sätt skapas en tjockare skiva genom att använda 60 W effekt och en svets hastighet på strax under 40 m/min.

Svetsning av akrylskivor

Polymetylmetakrylat [PMMA], vanligtvis förkortat till akryl, är en exceptionellt transparent termoplast som marknadsförs under många olika varumärken som exempelvis Plexiglas® och Lucite®. Sammanfogning av PMMA-komponenter kan göras antingen på kemisk väg, med metylenklorider eller cyanoakrylat, eller genom ultraljuds- eller CO₂-laser-svetsning. Av dessa tre angreppssätt ger lasersvetsning störst flexibilitet beträffande fogbredd, fogdjup och fogutbredning.

För att genomföra denna svetsprocess sattes en roterande fixtur upp, vilken kan klämma samman två stycken 1,14 mm [0,045"] tjocka PMMA-skivor vars mötesytor positioneras under laserstrålen [**Fig. 3**].

Då traditionell lasersvetsning sker utan tillsatsmaterial, för att fylla ut eventuella spalter mellan fogytorna, är en korrekt passning mellan de detaljer som skall sammansvetsas en kritisk parameter när det gäller att åstadkomma en stark lastöverförande svets.

Stråldistributionen skedde via en lins med 2,5" [= 63,5 mm] brännvidd vilken positionerats direkt ovanför den roterande fixturen som rörde sig med 100 varv i minuten [rpm = revolutions per minute]. Den konkavkonvexa linsen åstadkommer en 100 µm stor fokuspunkt med ett skärpedjup på 1,8 mm. Emellertid valde man i det här specifika fallet att defokusera strålen så att man kunde uppfylla den av kunden specificerade svets-

bredden på 0,5 mm. Som skyddsgas användes ren luft med ett tryck på 0,7 bar [10 PSI (pounds per square inch)]. Fixturens rotationshastighet ställd i förhållande till diametern på akrylskivorna resulterade i en svets hastighet på 37,7 m/min! För att nå den önskade penetrationen, med en begränsad lasereffekt på 60 W, måste komponenterna roteras fem varv innan svetsprovessen kunde avslutas. Den totala cykeltiden för varje skivpar låg på 3,0 sekunder.

Kvalitet i mätning och kontroll

BJÖRN LEKANDER,
PERMANOVA LASERSYSTEM AB
SVEN-OLOF ROOS

Mätning av optisk effekt

...och så ger inte lasern full effekt. Inte?

Nej jag mätte i går eftermiddag, och den gav inte mer än 1950 W, och den är ju specad för 2000. Jag tar med mitt instrument i morgon, så kollar vi.

Dagen därpå står man så med två instrument och mäter på samma laser. Det ena instrumentet visar 1950 W och det andra visar 2020 W.

Ovanstående exempel tror jag det är många som känner igen. Båda hävdar att deras instrument är nykalibrerat, och därför visar rätt, men hur rätt visar ett nykalibrerat instrument. Vid närmare granskning av instrumentens tekniska prestanda upptäcker vi att instrumentens noggrannhet är satt till +/- 4%! Fyra procent på 2000 W är 80W. Så stor variation måste vi alltså räkna med. Tillfredsställande? Nja, det kan väl tyckas vara ganska stora fel, och borde väl i rimlighetens namn gå att

göra bättre. Nu är det nog många som har lagt pannan i djupa vecka för att komma fram med något bättre, och ännu ser vi inget sådant på marknaden.

Rotar man lite i kalibreringens underbara värld, så upptäcker man ganska snart ett grundproblem. Vad gäller våra vanligaste enheter i vårt SI-system så ligger de bästa instrumenten och mäter med en noggrannhet på 1 på 109. När det gäller de optiska storheterna är noggrannheten i stället 1 på 104. Då skall vi ändå veta att dessa instrument är så långt ifrån industriella mätinstrument man kan komma. Heliumkyllda till en temperatur på 4K, avsedda för att mäta på några få mW, med en prislapp vi inte ens vågar tänka på. Utgående från ett instrument kalibrerat mot denna standard, blir det ganska många steg innan man är framme vid våra välkända instrument som vi köper från Primes, Ophir, Coherent, för att bara nämna några. Instrument som är relativt dyra, men med noggrannheter avse-

värt sämre än ett enkelt universalinstrument för ström och spänning.

Primes PMM är ett bra steg mot industriell kontrollmätning av effekt, men vi saknar en övervakning av skyddsglasets status, samt en viss försiktighet i tolkning av resultatet beroende på vilken laser man använder sig av. Mätningen görs med en relativt kort exponering, och frågan är om lasern under denna tid uppträder likadant som under en längre process.

Mätning av Strålvidd

Om det är problematiskt med att mäta lasereffekt med hög noggrannhet, så blir det än värre då vi ska mäta strålvidd. Här kan vi inte ens luta oss mot något enhetligt beskrivningssätt utan det florerar ett antal mätmetoder och principer. Grundproblemet är att en ljusstråle inte har några skarpa kanter. Frågan är då var strålen egentligen börjar, en fråga vi ju måste besvara innan vi över huvud taget kan börja prata om hur bred den är. Vi tänkte beskriva



Labinstrument från Ophir.
Noggrannhet +/- 4%



Mätpuckar från Primes.
Noggrannhet +/- 4% (Absolut)
Noggrannhet +/- 2% (Relativ)



Industriellt instrument
Noggrannhet +/- 3% (absolut)
Noggrannhet +/- 1% (relativ)

några metoder som används, och ge några exempel på hur deras värden påverkas av olika störningar.

1/e²-bredd

Detta mått härrör från lasrar som arbetar enbart i grundmod. Deras strålprofil är gaussisk, och bredden anges till den diameter där irradian- sen (effekt per ytenhet) gått ner till 13,5% av toppvärdet i centrum av strålen.

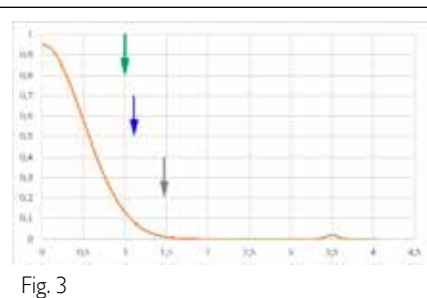
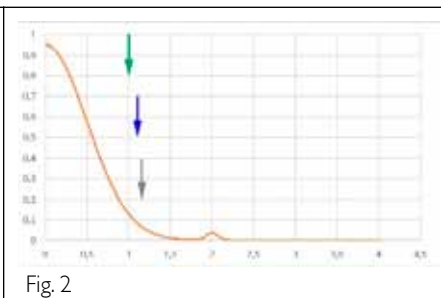
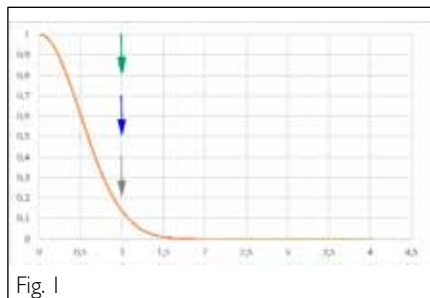
86,5% av effektinnehåll

Även detta mått härrör från den gaussiska strålen. Inom 1/e²-bredden kommer 86,5% av strålens effekt att ligga. Dessa mått är således identiska, men observera att detta endast gäller för den gaussiska strålen.

Second Moment

Kort sammanfattat kan man säga att detta mått är en analogi till mekanikens tröghetsmoment. Ljus som befinner sig långt ifrån strålens centrala delar värderas högre och drar upp strålvidden mer än någon av de övriga metoderna. Eftersom den "straffar" strålning långt ifrån strålens centrala delar, ställer det stora krav på mätutrustningen. Ströljus, eller detektorbrus kan få ett stort genomslag på mätvärdet, och de flesta instrument har därför metoder för att justera nollnivån vid mätningen. Det förtjänar att höja ett varningens finger – här är det lätt att kompensera bort även verkliga fel. I fallet med en Gaussisk stråle ger även denna mätmetod samma bredd som de ovan nämnda.

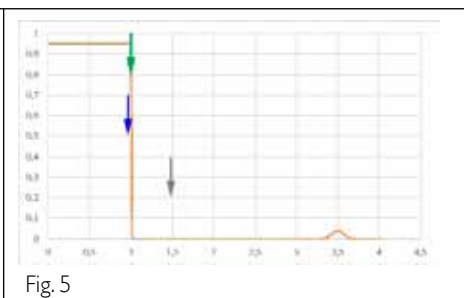
I nedanstående exempel belyser vi vad som händer med de olika strålvidderna. I det första exemplet i **figur 1**, har vi en rent Gaussisk effektfördelning. Dessa tre metoder ger då samma värde på strålvidden. I figuren har vi markerat 1/e²-bredden med en grön pil, 86%- bredden med en blå pil, och "second moment"-bredden markeras med en grå pil. I nästa figur, **figur 2**, illustrerar vi ett fall där 5% av effekten, ligger i en ring utanför Gaussklockan. 1/e²-bredden påverkas inte alls medan de två andra mätprinciperna ger förhöjda värden. I **figur 3** illustrerar vi vad som händer om ringen med ströljus flyttas ut från huvudstrålen. 1/e²- bredden och 86%-bredden förblir orörda, medan "second moment"-bredden ger ett större värde.



I följande exempel utgår vi i stället från en "Top-hat" -fördelad effektfördelning; i **figur 4** illustreras en ren

"top-hat", medan vi i **figur 5** infört en ring med 5% av effekten utanför huvudstrålen. Även i detta fall kan vi se

att "second moment"-bredden påverkas kraftigast av strålning som hamnat utanför strålens centrala delar.



Andra mått som är FWHM (Full Width at Half Maximum), som anger vid vilken diameter som effekten per ytenhet sjunkit till hälften av värdet i strålens centrala delar.

Mätning av strålkvalité

Då vi karakteriserar en laserstråles optiska kvalitet, mäter vi strålens vidd i några olika plan för att dels

mätta upp strålens minsta vidd, samt med vilken vinkel strålen konvergerar mot denna minsta punkt. Vid båda dessa storheter (minsta diameter och vinkel) är vi beroende av att mäta strålens diameter, vilket vi sett är beroende av vilken mätmetod man använder sig av. Produkten av vinkeln (Halva vinkeln) och strålens radie kallar vi BPP (Beam Param-

eter Product) och den anges i enheten mm*mrad. Om vi använder oss av exemplet i figur tre, kommer värdet på strålkvaliteten att variera upp till en faktor två beroende på vilken definition av strålvidden vi använder. Här kan vi dock lugnt konstatera att lasertillverkarna alltid vill visa så bra resultat som möjligt, och därför använder sig av den metod som ger

bäst värde, vilket ofta är 86%-vidden, som därmed blivit mer av en de facto-standard.

Vid mätningar på lasrar med god strålkvalité, t.ex. CO₂-lasrar, fiberlasrar och disclarar, ger de olika mätmetoderna likartade värden, och det är lätt att förledas till att tro att man har grepp på situationen. Dock skall man vara medveten om att då man mäter på en stråle som passerat ett antal speglar och linser, är det lätt att få in lite spökreflexer i strålgången, som snabbt leder till försämrade värden främst då man mäter "second moment"-vidden. Än värre blir det då vi kommer till lasrar, där strålkvaliteten redan från början är mer eller mindre risig.

Diodlasern gör nu snabbt intåg på marknaden. Den industriella högeffektdiodlasern är inte en laser utan många lasrar som man med olika metoder sammanför till en stråle. Toleransproblem, termiska effekter,

samt det faktum att man opererar med flera olika våglängder, leder till att strålen blir ganska risig. Dess naturliga form är inte heller rund, utan kvadratisk eller rektangulär. Genom att länka in strålen i en optisk fiber, får man tillbaka den runda formen, och därmed borde man väl vara tillbaka på mammas gata. Hur man hanterar strålning från optiska fibrer är ju numera välkänt, men ack nej. Vi har kvar en skillnad, som vi måste ta hänsyn till. Då vi kopplar in strålningen från en diodlaser i en optisk fiber kommer en relativt stor del att kopplas in i fiberns yttre delar, vilket leder till antingen förlust av effekt (om den strålningen plockas bort i den kylda fiberkontakten) eller till förlust av strålkvalitet (om man låter strålningen ledas vidare i fiberns cladding). I dag väljer man oftast det senare alternativet, vilket osökt leder till frågan hur man definierar sin strålkvalité.

Om strålkvaliteten utgör ett bekymmer för diodlasern har den flera andra fördelar, som energieffektivitet och kompaktitet, som gör att nästan alla tror på en kraftigt ökad marknadsandel för denna lasertyp.

Om det är så svårt att mäta, lönar det sig att göra mätningar då?

Absolut! Det vi har beskrivit ovan gäller absolutmätningar, och där finns stora begränsningar. Det vi oftast gör i industriella sammanhang är relativa mätningar. Hur mycket effekt har lasern i dag jämfört med i går? Hur är strålvidden efter min fokuseringsoptik nu jämfört med förra veckan? Var ligger mitt fokus efter den här processcykeln jämfört med förra gången etc. Hur ofta man genomför mätningar, och hur detaljerade mätningar man gör bestäms av tiden det tar att mäta (kostnad) samt vilka kvalitetskrav man ställer (också kostnad). I tabellen nedan listas några instrument som används industriellt för kontroll av utrustningens status.

Vad vi förväntar oss av framtiden är fler och bättre utrustningar för kvalitetskontroll avsedda för mätning i industriell miljö. Snabba metoder att mäta upp strålens karaktäristik saknas i dag.

Utrustning	Vad mäts	Automatisk/manuell	Tid för mätning
Primes Pocket Monitor	Effekt	Manuell	60 sek
Primes PMM	Effekt	Automatisk	1 sek
Primes BCS	Effekt och strålkvalité	Automatisk	300 sek
Permanova FPS	Fokusdiameter och läge	Automatisk	10 sek

EWF – SPECIALKURS

LASERSVETSNING

Ny kurs genomförs 2015 den 4-5 mars, 24-26 mars och 28-29 april

Kursen ger dig ingående teoretiska och praktiska kunskaper om lasersvetsning så att du kan analysera och utvärdera potentialen för lasersvetsning av dina applikationer och genomföra lasersvetsprojekt. Ett internationellt diplom, EWF-diplomet, garanterar en utbildning av hög internationell kvalitet som ökar dina karriärmöjligheter inom svetsområdet.

Kursen ges av Luleå tekniska universitet i samarbete med Svetskommissionen och European Welding Federation, EWF.

KONTAKTA Hans Engström, Luleå tekniska universitet för kursinformation
hans.engstrom@ltu.se, 0920-49 12 69

**Nu med 15 kW
fiberlaser!**

SISTA CHANSEN!



Additiv tillverkning och kortpuls-lasrar dominerade vid AKL'14

DEL 1

JOHNNY K LARSSON
VOLVO CARS

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

Upplägget för årets konferens var snarlikt tidigare års, men några smärre justeringar hade arrangörsteamet under ledning av Frau Silke Boehr och Herrn Axel Bauer gjort. Sålunda träffades vi nu redan första konferenskvällen till den traditionella banketten i "Krönungssaal Karl der Große" i "Rathaus Aachen" [Fig. 1], där bl.a. det prestigefylla

"Innovation Award Laser Technology" denna gång delades ut till Dr. Ralf Preu [Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg] och hans team [Fig. 2]. Vinnarna hade utvecklat en laserbaserad kontaktteringsprocess vid tillverkning av solceller, s.k. "Laser Fired Contact" [LFC], vilken möjliggör en högre verkningsgrad hos solcellerna jämfört med traditionell tillverkning. Vidare brukar konferensen normalt avslutas med ett besök på ILT [Institut für Lasertechnik] där institutets medarbetare redogör för sina forskningsresultat med mer än 70 s.k. "Live Presentations". Detta inslag förekom även i år, men var förlagt till andra dagens eftermiddag, varefter vi transporterades till Schloß Rahe för lite socialt umgänge med förtäring och musikunderhållning.

Annars var det mesta i programmet sig likt, där man under den första dagen kunde välja mellan att förbättra sina basala laserkunskaper genom att delta i "Laser Technology ABC", lyssna till de senaste rönen inom additiv lasertillverkning vid "EU Innovation Forum 'Laser Additive Manufacturing [LAM] in Aeronautics'", eller få en uppdatering av lasersituationen i skilda delar av världen, vilken beskrevs av välrenommerade laserprofiler under "Technology Business Day".

Vid den senare var det Dr. Peter Loosen från ILT som höll i taktpin-



Fig. 1. Festligt värre vid AKLs traditionella bankett i Aachens rådhus.

nen, och förste talare här var min gamle vän Klaus Löffler från Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH med ett tidigare förflutet hos Volkswagen AG i Wolfsburg, där han under några år ansvarade för laserutvecklingen inom VW-koncernen. Nu berättade sympatiske Klaus att den totala världsmarknaden för laserutrustningar under 2013 låg på 8,8 miljarder euros. 25% av laserinvesteringarna gjordes inom tillverkningsindustrin, och om man enbart räknar s.k. "makro-bearbetning" hamnar siffran på 17%. Övriga stora användningsområden hittar vi inom medicinteknik, bildbearbetning och mätteknik, samt tillverkning av diverse optiska komponenter. Investeringsfördelningen i världen är ganska jämn mellan de fyra dominerande marknaderna; Europa 25,2%, USA 21,4%, Kina 21,3% samt Japan/Korea 21,2% [Fig. 3]. Fyra länder dominerar helt marknaden då det gäller tillverkning av laserkällor, nämligen USA, Tyskland, Kina och Japan, och störst marknadsandelar har Trumpf 10,9%, Coherent 9,4%, IPG 7,4%, RofinSinar 5,6%, ASML 4,5% och Newport 2,9%. Generellt skedde en dramatisk nedgång i försäljningen av laserkällor i samband med den ekonomiska krisen 2009. Det året noterade man en totalförsäljning i Tyskland på 335 miljoner euros, men redan 2012 hade marknaden återhämtat sig med en försäljningsvolym på 650 miljoner euros, en siffra som Herrn Löffler prognostiserade skulle fortsätta att stadigt öka under 2014/2015.

Beträffande utvecklingen av laserkällor kunde naturligtvis den gode Klaus inte avhålla sig från att prata kring Trumpfs produkter. "TruDisc 6002" lyfte han fram som särskilt lämplig för laserskärning, samtidigt som vi fick veta att disklasrarna i "TruDisc"-serien numera kan erbjudas med hela 6 kW effekt ur en enda disk. Ur diodlasersortimentet erbjuder man "TruDiode 6006", alltså 6 kW uteffekt, med en BPP [Beam Parameter Product] på 50 mm*mrad, och man har även en 4,5 kW-enhet med 30 mm*mrad i strålkvalitet [Fig. 4]. "TruMicro"-serien är ju



Fig. 2.

Närmast segrarna i kampen om "Innovation Award Laser Technology"; Dr. Ralf Preu (t.h.) med kollegorna Dr. Jan Nekarda och Dr. Martin Graf, och t.h. de inledande preludierna vid prisceremonin med Paul Hilton, Reinhart Poprawe och Ulrich Berners.

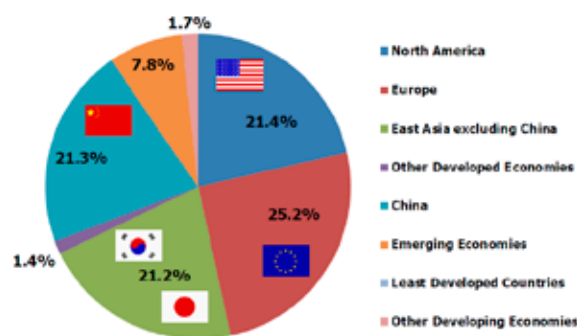


Fig. 3.

Klaus Löffler beskrev på ett initierat sätt lasermarknaden i världen, där fördelningen gällande investeringar i laserutrustningar framgår av diagrammet.

Trumpfs produktserie då det gäller s.k. "kortpuls-lasrar" och här nämndes "TruMicro 5070" med pulslängder i fs [femtosecond = 10⁻¹⁵ sekunder] – regim. En sådan laserkälla hade använts i samarbete med Bosch GmbH för laserborrning av insprutningsmunstycken, något som renderat i att man tilldelats "German Future Award" för år 2013 [Fig. 5]. Herrn Löffler avslutade sin intressanta presentation med att nämna att Trumpf även inom EUV [Extreme Ultra-Violet] -området idag kan erbjuda ett antal kraftfulla produkter.

Näste talare var välkände "laserprofilen" David Belforte, chefredaktör för publikationen Industrial Laser Systems [ILS], vilken brukar



Fig. 4.

"Inkråmet" i en av Trumpfs direktverkande diodlasrar där hög effekt skapas genom våglängdsmultiplexing. Enheten är försedd med två fiberutgångar och en "closed loop"-kontroll av lasereffekten. Genom att använda sig av passiv kylning utan kylkanaler minimeras risken för elektrisk korrosion.

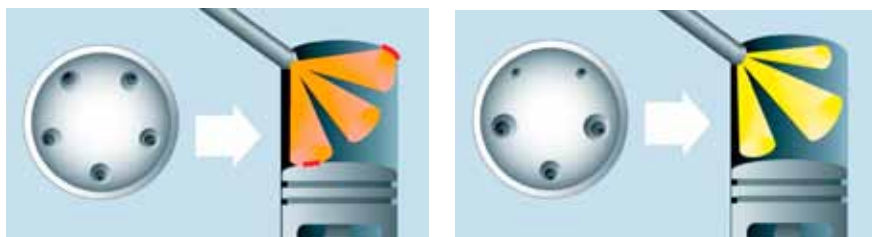


Fig. 5.

Med ultrakorta laserpulser kan man borra insprutningshål med olika diametrar och på så sätt optimera bränsledistributionen i en förbränningskammare, vilket leder till minskad bränsleförbrukning och lägre emissioner.



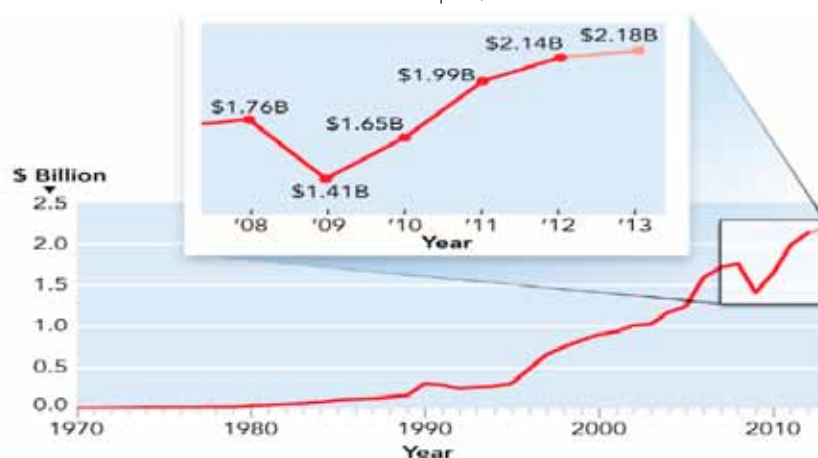
dyka upp vid laserkonferenser över hela världen för att delge åhörarna om lasersituationen i USA och Nordamerika. För första gången hade David valt att utvidga sin redogörelse till att nu även innefatta Latinamerika. Här för laserverksamheten en betydligt mer undanskymd tillvaro jämfört med industrinationerna i Europa, USA och Japan. Förväntningarna på en stabil tillväxt i dessa länder har kommit på skam [Fig. 6] med undantag av Mexico där biltillverkningen tjänat som ett "draglok" för laserinvesteringar. Laserskärning är som vi vet "instegsnivån" då det gäller industriella lasertillämpningar och detta axiom avspeglar sig också i de flesta sydamerikanska länder där laserskärningen är helt dominerande. Därför utgörs merparten av laserkällorna av CO₂-lasrar och i Brasilien hittar vi cirka 400 sådana, där Bystronic enligt David tycks vara den stora aktören. För andra länder, såsom Argentina, Colombia och Peru är antalet betydligt mindre, och Davids inventering hade gett vid handen mellan 10-20 CO₂-installationer per land.

I en mer världsomspännande analys kunde Mr. Belforte konstatera att den globala försäljningen av lasersystem visar på en genomsnittlig årlig tillväxt på 9,65% alltsedan den ekonomiska nedgången 2009 [Fig. 6]. Den prognostiserade globala försäljningen av laserkällor för 2014, uttryckt i miljoner \$, fördelar sig enligt följande; CO₂-lasrar 869, fastkroppslasrar 442, fiberlasrar 947 samt övriga typer 304 – sålunda en indikation på fiberlasrarnas fortsatta "segertåg" över världen. Merparten



Fig. 6.

Den förväntat höga tillväxten av bruttonationalprodukten i Latinamerika har uteblivit (t.v.), något som står i bjärt kontrast till försäljningen av laserkällor "world wide", vilken uppvisat en genomsnittlig årlig tillväxt på 9,65% sedan 2009.



av 2013 års installationer, eller 32%, gjordes i Europa, följt av Kina 23%, USA 16% och Japan 15%. Beträffande USA menade David att utvecklingen är positiv med en stark tillväxt inom de flesta industrinäringar, inte minst då inom bilindustrin där försäljningssiffrorna förra året var de bästa sedan 2007. Prognosen är att tillväxten kommer att fortsätta, inte minst med tanke på att USA, enligt Davids utsago, numera är att betrakta som ett lågkostnadsland vid tillverk-

ning [Fig. 7], och där man redan kan skönja en viss "hemtagning" av produktionen från länder som Mexico och Kina.

Just Kina är ett land i stark industriell utveckling och detta gäller förstås också på laserområdet. Nu fick vi en fyllig "State-of-the-Art"-rapport framförd av f.d. IPG-medarbetaren Dr. Bo Gu [Bos Photonics, North Andover, MA], som redogjorde för lasermarknaden i Kina. Han uppskattade att cirka 60.000 personer är

involverade i laserforskning och tillverkning av laserkällor och -verktyg. Det finns över 300 lasertillverkande företag, exempelvis Wuhan Huagong och Han's Laser, samt 180 job-shops. Lägg därtill att någon form av laserforskning bedrivs vid 45 olika universitet och 20 forskningscentra så är det lätt att förstå den utmanande konkurrens som inte minst de europeiska lasertillverkarna kommer att stöta på i framtiden. Tyngdpunkten för den inhemska tillverkningen av laserkällor ligger än så länge inom lågeffektområdet, och då främst fiberlasrar, där försäljningen i Kina uppgick till mer än 20.000 laserkällor under 2013. Beträffande lasrar med hög effekt [> 1 kW] finns idag cirka 17.000 enheter som används för produktion, men av dessa importerades inte mindre än 95% [Fig. 8]. Anledningen till den kraftiga fokuseringen på fiberlasrar påstås vara tillgången till extremt billiga dioder som pumpelement, och det finns hela 30 kinesiska företag som enbart satsar på fiberlasertillverkning. 2013 sålde dessa fler än 19.000 enheter vilket innebär 50% av marknadsandelarna för denna lasertyp. I produktsortimentet hittar vi en bred flora såsom pulsade MOPA [Master Oscillator Power Amplifier] -lasrar, pulsade Q-switchade lasrar, kortpulsasrar som ps [picosecond = 10-12 sekunder] och fs [Fig. 9], cw [continuous wave] -lasrar med effekter upp till 500 W, men också högeffektsvarianter med 4 kW cw och i laboratoriemiljö även 10 kW cw. En Kina-fabricserad ps-fiberlaser påstods betinga ett pris motsvarande en fjärdedel av motsvarande Europa-producerade variant.

Siffran för sålda CO₂-lasrar med hög effekt låg 2013 på över 1.000 enheter varav 40% var tillverkade i Kina. CO₂-lasrar med lägre effekt används företrädesvis för märkning där de utgjorde 26% av de totalt 25.000 försålda märklasarna. Inom detta område dominerar fiberlasrarna med en marknadsandel på 57%. Beträffande laserskärning så såldes 1.600 enheter under 2013 och i Kina hittar vi över 50 företag som tillverkar laserskärningsmaskiner med minst 1 kW uteffekt.

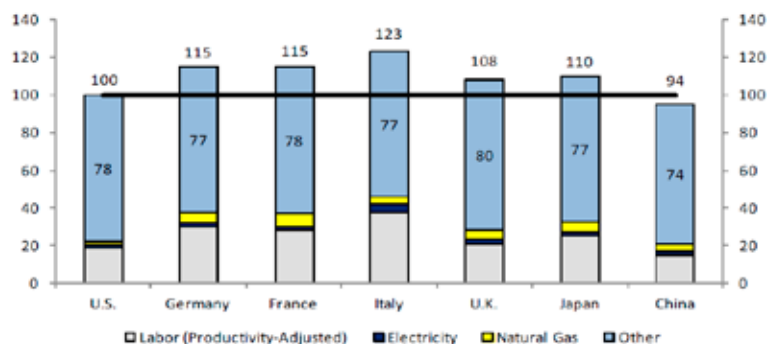


Fig. 7.

Tro det eller ej, men idag måste USA betraktas som ett lågkostnadsland för verkstadsproduktion – i varje fall om man får tro denna utredning genomförd av Boston Consulting Group, Longbow Research.

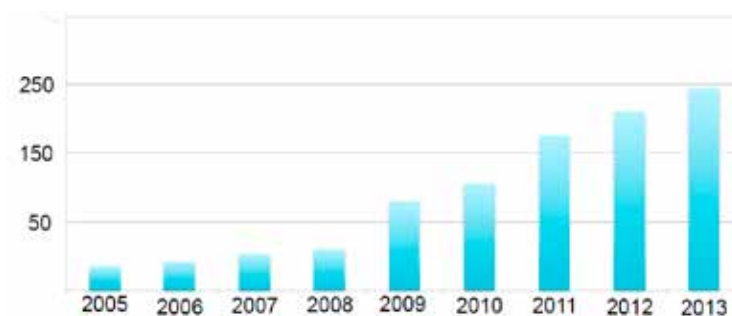


Fig. 8.

Senare års explosionsartade utveckling av den kinesiska lasermarknaden. Värden på y-axeln uttryckta i 100 miljoner Yuan, en valuta med ungefär samma värde som svenska kronan.



Fig. 9.

En intressant flora av laserprodukter från Kina; Överst t.v. pulsad MOPA, pulsad q-switchad, ps- och fs-fiber.



Fig. 10.

Ett utmärkt exempel på lättviktslösning där man med en flänslös design och lasersvetsning lyckats reducera komponentvikten med 30%

Lasersvetsningen har inte kommit lika långt, men dock såldes förra året mer än 280 enheter med effekter över 2 kW för detta ändamål. 60% av dessa finner sin avsättning inom bilindustrin och utgörs främst av importerade fiber- och disklasrar. Bland forskningsområden och innovationer nämnde Dr. Gu skärning av glas och safirdiamanter med kortpulsade UV-lasrar, samt den vingkonstruktion som byggts upp med LAM för passagerarflygplanet C919 med en 15 kW IPG-laser, något som jag har beskrivit mer detaljerat i nummer 1-2014 av LaserNytt. Dr. Gu menade att lasertechniken går en ljus (!) framtid till mötes i Kina, där han trodde att utvecklingen kommer att gå mot mer kortpulsasrar och lasrar med kortare våglängder. För att fortsätta hålla priserna nere för fiberlasrar kommer kinesiska tillverkare att i allt högre grad satsa på egentillverkade pumpdioder, varför den inhemska delen av producerade lågeffektlasrar förväntas komma att öka. Vad gäller användningsområden menade han att den största tillväxten kommer att ske inom additiv tillverkning och lasersvetsning. Dr. Gu avslutade med att ge oss en liten tankeställare; Idag säljs inte mindre än 240.000 mekaniska skärmaskiner om året till kinesisk verkstadsindustri! Tänk vilken markandspotential det därmed finns för laserskärning!

Under den andra delen av denna "Technology Business Day" adresserades trenderna inom tre för laserbearbetning viktiga branscher, nämligen bilindustri, mikrobearbetning och elektronikområdet. För att redogöra för det förstnämnda återkom Klaus Löffler från Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH i Ditzingen. Han pekade på att transportsektorn står för 25% av jordens energiförbrukning varför lättviktskonstruktion och viktsbesparingar utgör fokuserade områden inom bilsindustrin, och här kan lasern vara behjälplig då det t.ex. gäller att reducera flänsbredder. Detta bevisade han genom att jämföra en komponent utformad för punktsvetsning med en som var konstruerad för lasersvetsning, och som visade att komponent-

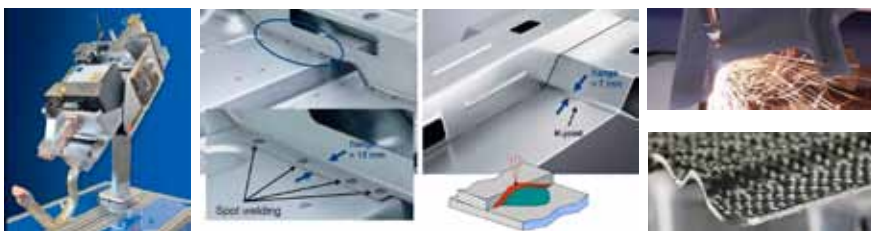


Fig. 11.

Smarta laserlösningar och användningsområden hos Trumpf; fr.v. lasertång utvecklad i samarbete med firman Düring, företagets patenterade K-fog samt laserskärning av presshårdade karossdetaljer och fiberförstärkta polymerer.

vikten kunnat reduceras från 1,4 till 0,9 kg [Fig. 10]. Annars menade han på att laseranvändning inom karosstillverkning har passerat sin kulmen, något som stärker mitt tidigare nämnda antagande att lasersvetsning inom denna bransch är att beteckna som en fullvärdig och mogen samsättnings teknik. I fortsättningen kommer vi att se laserapplikationer på andra ställen i våra personbilar, och redan nu har såväl BMW som Audi lanserat produkter där strålkastarna bygger på laserdiodteknik. Bland andra användningsexempel och nyheter som den gode Klaus lyfte fram kan jag nämna [Fig. 11]:

- Trumpf har i samarbete med företaget Düring utvecklat en s.k. "laser gun", alltså något i stil med IPGs "Laser Seam Stepper"
- Trumpf håller vidare på att patentsöka sin "K-joint" lösning, vilken innebär att man med hjälp av präglingar i en plåt detalj skapar såväl fixering som en för lasersvetsning gynnsam fogberedning
- Laserskärning av plåtmånen och presshårdade karossdetaljer
- Lokal uppmjukning av svetsflänsar och deformationszoner med hjälp av diodlaser
- Trumpf "TruMicro 7000"-serie är lämplig för lokal avverkning av AlSi-skiktet på USIBOR®-material om detta används för ämnesskarvning innan varmformning
- Laserlödning av aluminium/stål-kombinationer med hjälp av en aluminium/brons-baserad tillsatsstråd

- Fjärrlasersvetsning av aluminiummaterialet "Fusion 8840" där "skalen" tjänstgör som tillsatsmaterial
- Kortpulsasrar för laserborrning av insprutningsmunstycken för högprestandamotorer
- Laserskärning av fiberförstärkta polymerer, s.k. "CFRP" [Carbon Fibre Reinforced Plastics] med Trumpf s "TruFiber"-serie
- Ytstrukturering av metallytor för att skapa bättre hållfasthet då metallen senare fogas till en polymer
- Svetsning av aluminium/kopparförbindningar i battericeller med hjälp av Trumpfs "TruDisc"-serie

Näste talare var Dr. Roland Mayerhofer från Rofin-Basel Lasertech GmbH & Co. KG i Starnberg, som berättade om den senaste utvecklingen vad gäller mikrobearbetning. Kortpulsasrar är vad som gäller för denna bearbetningsform och här har RofinSinar ett antal fiberlaserbaserade produkter som exempelvis Rofin "Starfiber" och Corelase "X-Lase" [Fig. 12]. Marknaden för dessa har ökat från 21 miljoner euros 2008 till 72 miljoner euros under 2012. IR-lasrar är den typ som bäst lämpar sig vid skärning av polymerer och då med mellan 20-80 μ J i pulsen energi. Då det gäller skärning av grövre metaller rekommenderade Dr. Mayerhofer "gröna lasrar", s.k. SHG [Second Harmonic Generation] – lasrar med en våglängd på 532 nm och pulsen energi mellan 5-50 μ J, medan man lämpligtvis väljer en THG [Third Harmonic Generation; $\lambda = 355$ nm] – laser för skärning i tunnare metall

och då med en pulsenergi på 3-25 μJ . En speciell produkt lämpad för glaskärning som presenterades var Rofins "SmartCleave™".

Sessionens siste talare var Dr. Roman Ostholt från LPKF Laser & Electronics AG. Företaget tillverkar egna lasermaskiner varav 39% levereras just till elektronikbranschen, och där det då rör sig om användningsområden som skärning, märkning och härdning. En vanlig applikation är utskärning av kretskort, s.k. PCB [Printed Circuit Board], ur en större panel [Fig. 13]. Med laser-skärning inför man inga mekaniska spänningar i materialet, skärspalten blir minimal, och LPKF:s maskiner är utformade på ett sådant sätt att avverkat material sugas upp direkt i maskinen. Metallisering av strukturerade ytor är ett annat ganska stort användningsområde för kortpuls-lasrar [Fig. 14], och Dr. Ostholt avslutade sin presentation med att konkludera att inom elektronikbranschen rättfärdigar laserteknikens större precision den högre investeringskostnaden jämfört med andra konkurrerande metoder.

Additiv tillverkning

Det kanske allra "hetaste" användningsområdet för laserteknik just nu är s.k. LAM [Laser Additive Manufacturing], vilken i sin tur kan delas upp i tillverkningsprocesserna LMD [Laser Metal Deposition], alltså vad vi i Sverige skulle kalla laserpåläggning, och SLM [Selected Laser Melting] där man skiktvis bygger upp strukturer genom att med en styrd laserstråle lokalt sammansmälta ett pulver. Lasersintring eller laserformning är svenska begrepp för den sistnämnda processen. Vid AKL'14 handlade följdriktigt åtskilliga presentationer om dessa båda teman, och invigningsdagens "EU Innovation Forum" hade som titel "Additiv tillverkning inom flyg- och rymdindustri". Förste talare var här tänkt att vara Michael Kyriakopoulos från EU-kommissionens speciella program för produktionsteknologi, men i god kommissionärsanda hade denne gentleman meddelat förhinder i "sista minuten". Nu kunde emel-

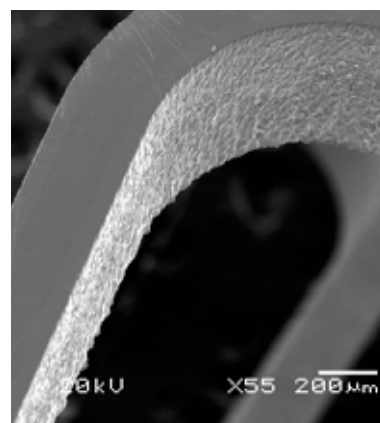


Fig. 12.

Vid mikrobearbetning är kortpuls-lasrar som "Starfiber" t.v. och "X-Lase" att rekommendera. Övan ett skärnsnitt i 700 μm tjockt Nitinol utfört med den förstnämnda där man kan säga sig använda en kall skärprocess då laserpulserna understiger 1 ps.



Fig. 13.

LPKF's "MicroLine 2000 Si" används med fördel vid spänningsfri laserskärning av kretskort.

lertid ordförande Dr. Ingomar Kelbassa [Fig. 15] från Fraunhofer ILT lösa den uppkomna situationen på ett snyggt sätt då han sedan tidigare hade bjudit in sin gamle vän och kollega Dr. Milan Brandt [Fig. 15] från RMIT [Royal Melbourne Institute of Technology] till AKL-konferensen. Nu fick den senare spendera en del

av sin första fritid i Aachen med att med kort varsel "snickra ihop" en presentation kring LAM inom australiensisk flygindustri, något som han klarade med briljans. Sympatiska Milan kommer ni f.ö. att träffa på annat ställe i detta nummer av LaserNytt, nämligen i artikelserien "Samtal kring lasertrender"!

RMIT öppnade ett "Precinct for Advanced Manufacturing" 2011 där man bedriver forskning kring LAM [Fig. 16]. Dock startade forskningen kring laserpåläggning redan år 2000 och följdes av SLM 2006. Den andra stora forskningsinstansen för detta ämne är Monash University och dess "Centre for Laser Additive Manufacturing". Tillsammans förfogar man över 10 utrustningar för additiv tillverkning, medan Australien kan uppvisa 11 anläggningar för industriell produktion med LAM. I Milans laboratorium hittar vi två stycken "250HL"-maskiner för SLM, varav en har en arbetsvolym på 250×250×350 mm och betjänas av en 400 W fiberlaser. Här finns också möjlighet att förvärma arbetsstycke och arbetsplattform upp till 200 °C. Den andra maskinen har större arbetsvolym, 1.500×1.800×750 mm, och är kombinerad med en 3 kW diskaser från Trumpf. Man arbetar med såväl metalliska som polymera pulver, vilka läggs på i skiktjocklekar kring 100 µm, men den gode Milan menade att pulverkvaliteten fortfarande är undermålig då de metalliska pulvren idag oftast är utvecklade för andra processer som t.ex. HVOF [High Velocity Oxygen Fuel]. Den huvudsakliga forskning som idag bedrivs inriktar sig på att kombinera SLM-metoden med s.k. topologioptimering, samt att kunna bygga upp självbärande strukturer. Man har också tittat på att tillverka detaljer av Titan-pulver, vilka kunde uppvisa samma hållfasthet som maskinbearbetade Titan-detalljer. Dock var förlängningsvärdena låga; 8% att jämföra med de 21% som uppnås vid maskinbearbetning. Vidare menade Milan på att anisotropi kan vara ett problem vid SLM-tillverkning, något som däremot är av försumbar betydelse beträffande LMD.

Boeing bedriver en omfattande tillverknings- och reparationsverksamhet i Australien där 31% av reparationskostnaderna går att hänföra till korrosions- och förslitningsskador, vilka med fördel kan lagas med laserpåläggning. Några exempel på detta var landningshjul tillverkade i aluminiumserierna 2- och 7000,



Fig. 14. Strukturering och metallisering av komplexa ytor kan utföras med en "Fusion 3D 1500", vilken arbetar med pulsfrekvenser mellan 10-200 kHz. Maskinen mäter 1740×1880×1680 mm och den maximala processhastigheten vid strukturering ligger på svindlande 4000 mm/s.



Fig. 15. "Laserdoktorena" Ingomar Kelbassa (t.v.) och Milan Brandt gjorde framträdande insatser under det s.k. "Innovation Forum", som var tillägnat "Laser Additive Manufacturing".



Fig. 16. År 2011 öppnade RMIT sitt forskningscenter för additiv tillverkning, en investering på 25 miljoner dollar. Bl.a. finns tillgång till en "TruLaser 7020" för LMD, vilken betjänas av en 3 kW diskaser.

motorfästen i Ti6Al4V och en anti-rotationskonsol för vingroder. Däremot hade reparationer i ultrahög-hållfasta stålkalititeter som AISI4340 och Aermet, med en brottgräns > 1900 MPa, uppvisat dåliga utmattningsegenskaper vid laserpåläggning [Fig. 17]. Sammalunda hade observerats vid aluminiumreparationer, men detta kunde man motverka med en T6-efterbehandling vilket gjorde att det pålagda pulvret matchade grundmaterialets egenskaper.

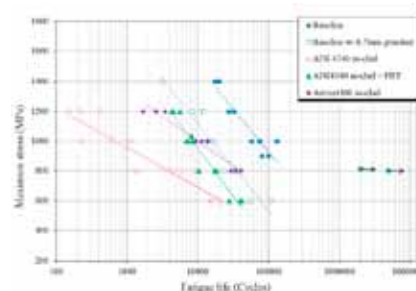


Fig. 17. Reparation medelst laserpåläggning av höghållfasta stålkalititeter som AISI4340 och Aermet lämnar fortfarande en del kvar att önska. P.g.a. bristfällig pulverkvalitet uppvisar de reparerade provobjekten en betydligt sämre utmattningshållfasthet i jämförelse med "originalet".

LAM

(Laser Additiv Manufacturing)

behövs för att kunna leverera prismässigt konkurrenskraftiga lösningar åt tillverkningsindustrin



Milan Brandt (närmast) med några av sina gamla laserbekanta; fr.v. Mo Naeem (GSI Lumonics), underteknad, Tony Holt (IPG) och Reinhart Poprawe (ILT, Aachen).

En av laserbranschens största föreläsare för additiv tillverkning just nu är professor Milan Brandt vid RMIT [Royal Melbourne Institute of Technology]. Jag lärde känna denne sympatiska herre för cirka 10 år sedan, då han var verksam vid IRIS [Industrial Research Institute Swinburne] och sedan dess har vi träffats regelbundet vid olika laserevenemang på skilda platser i världen. Förutom rent tekniska laserfrågor har vi även fört mer filosofiska diskussioner i akt och mening att lösa diverse världsproblem, något som också gällde vid vårt senaste möte vid AKL [Aachen Kolloquium für Lasertechnik] -konferensen i Aachen tidigare i år. Där beskrev den gode Milan laserverksamheten i Australien i allmänhet och additiv tillverkning med laser i synnerhet.

Tillverkningsindustrin i Australien bidrar avsevärt till landets ekonomi genom att sysselsätta 10% av arbetskraften. Dess industrier bidrar också med kompetensöverföring till andra branscher och skapar därmed större marknader för service och underhåll. Staten Victoria är centrum för tillverkningsindustrin i Australien och innefattar näringsgrenar som livsmedel, aerospace, biltillverkning, textil-, klädes- och skoindustri samt informations- och kommunikationsteknologi, vilka alla bidrar till ökad sysselsättning och export.

Tillverkande industrier i australiensiska samväldet, och i staten Victoria i synnerhet, har ställts inför ett antal utmaningar under de senaste åren p.g.a. en ökande global konkurrens och import av relativt billiga varor från främst Kina. Detta ledde till att många företag tvingades stänga eller flytta sin produktion utomlands. Därför har styrande politiker i samväldet och Victoria sökt efter initiativ som skulle stödja nya arbetstillfällen och framtida industriella etableringar i Australien. Spetsteknik och forskning anses vara kritiska element då det gäller att möta ovanstående utmaningar med vars hjälp man kan presentera konkurrenskraftiga, alternativa tillverkningsmetoder för de inhemska företagen så att dessa förblir lönsamma och därmed kan överleva. Additiv tillverkning anses vara en sådan spetsteknik som skulle kunna ge ett uppsving åt den lokala tillverkningen p.g.a. de många fördelar som tekniken erbjuder i förhållande till mer traditionell tillverkning. Med additiva metoder kan både polymera och metalliska produkter byggas upp direkt från en datormodell eller från mätdata av en existerande komponent, vilken på så sätt kan återskapas. Därmed kringgår man traditionella tillverkningssteg som skärning, svarvning och slipning. De huvudsakliga fördelarna med additiv tillverkning är

att man kan skapa former som inte skulle vara möjliga att åstadkomma med konventionell "subtraktiv" teknik. Vidare åstadkommer man dramatiska besparingar i tidsåtgång, material, skrotandel och energiförbrukning, vilket innebär billigare slutprodukter samtidigt som man avsevärt minskar miljöpåverkan vid tillverkningen. Allt sammantaget leder till en kortare "time-to-market".

Additiv tillverkning har uppmärksamats stort i Australien under senare år genom utställningar, workshops och marknadsföring via organisationer som Australian Manufacturing Technology Institute Ltd. [AMTIL] i Wantirna, Victoria, RMIT University's Advanced Manufacturing Precinct [AMP] i Melbourne, Victoria, University of Wollongong's Intelligent Polymer Research Institute i Wollongong, New South Wales, Monash University's Monash Center for Additive Manufacturing i Melbourne och Scientific and Industrial Research Organization [CSIRO] i Clayton, Victoria.

Australiensisk industri har varit välbekant med laserpåläggning [LMD = Laser Metal Deposition] sedan tidigt 2000-tal, då företag som Hardchrome Engineering och Brenco i Melbourne, Jarvie Engineering i Newcastle och LaserBond i Sydney började utföra påläggningsarbeten åt gruv-, tillverknings- och

kraftindustrin. Emellertid har den andra tekniken för additiv tillverkning, s.k. SLM [Selective Laser Melting], rönt mindre uppmärksamhet och därmed inte använts i någon större omfattning. Förklaringen till detta torde vara att det har saknats en infrastruktur för forskning inom området och därmed har landet inte haft tillgång till den senaste additiva tekniken med därtill hörande expertiskunskap. Denna brist har till viss del åtgärdats genom etableringen av ett flertal nya forskningscentra för additiv tillverkning, främst då i delstaten Victoria.

De nya faciliteterna innefattar lasersystem från Trumpf, EOS och Concept Laser vid Monashuniversitetets "Centre for Additive Manufacturing" och utrustningar från Trumpf och SLM Solutions Systems vid RMITs "AMP". Dessa system kommer med säkerhet att spela en avgörande roll i framtiden och hjälpa lokala industrier att bättre förstå såväl de möjligheter som "fallgropar", vilka är förbundna med metallbaserad additiv tillverkning. Av tabell 1 och figur 1 framgår de institut och företag, med deras geografiska hemvist, som idag är verksamma inom området.

2013 startade en diskussion mellan flera industriföretag och forskningsorganisationer med syfte att försöka etablera ett nationellt center fokuserat på additiv tillverkning. Detta arbete koordineras av "Advanced Manufacturing Cooperative Research Centre" [AMCRC], som nu avser att i en andra omgång söka statlig finansiering för fortsatt utvecklingsarbete. Initiativet till denna form av forskningskluster har tagits av australiensiska staten och administreras av landets Industridepartement i akt och mening att stödja slutanvändardrivna forskningssamarbeten. Om ett särskilt forskningscenter för additiv tillverkning lyckas etableras i en nära framtid kommer den samlade tillgången av laserutrustningar och -kompetens att kunna hjälpa tillverkande företag i Australien att implementera laser- och andra additiva metoder, och därmed göra dessa till en naturlig del i företagens produktionsfilosofi.

Forskningsinstitut	LaserSystem	Ant
Monash University, Melbourne, Victoria	Trumpf system	1
	Concept Laser X line 1000R	1
	EOS [280]	1
RMIT University, Melbourne, Victoria	SLM 250HL	1
	Trumpf system	1
Deakin University, Geelong, Victoria	SLM 125	1
Swinburne University, Melbourne, Victoria	Trumpf POM DMD	1
CSIRO, Melbourne, Victoria	Laserline	1
University of Western Australia (UWA), Perth, W. Australia	ReaLizer 100	1
University of Wollongong, New South Wales	ReaLizer 50	1
Statliga institutioner		
Department of Defense, Canberra, Aus. Capital Territory	SLM 250	1
Industriföretag		
Race Dental, Sydney, New South Wales	EOS 250	1
Breasight, Sydney, New South Wales	EOS 250	2
Amaero, Melbourne, Victoria	EOS 280	1
Hardchrome Engineering, Melbourne, Victoria	IPG and Laserline	2
Brenco, Melbourne, Victoria	Laserline	1
Jarvie, Newcastle, New South Wales	Laserline and Roфин	2
LaserBond, Sydney, New South Wales	Laserline and Roфин	2

Tabell 1.

Laserkällor och -system för additiv tillverkning i Australien.



Fig. 1.

Hemvisten för laserbaserad additiv teknik i olika delar av Australien år 2013.

RMITs AMP och Monash Center for Additive Manufacturing är de grupperingar som på heltid ägnar sig åt forskning och utveckling av såväl additiva applikationer som laserbearbetning i allmänhet. Grupperna kompletterar varandra och har olika former för informellt samarbete. RMIT AMP utgör en 25 miljoner pounds investering och är skapat för att supportera tillverkningsindustrin så att denna blir konkurrenskraftig på en global marknad.

AMPs övergripande målsättning är att förbättra och utveckla nya hållbara produkter och färdigheter genom att använda "state-of-the-art"-utrustningar och -tillverknings-tekniker. Organisationen sammanför forsknings-, konstruktions- och avancerad tillverkningskompetens till ett och samma ställe, och öppnar därmed dörrarna till nya möjligheter beträffande innovationer, produktutveckling, prototypstillverkning och additiv tillverkning. AMP utgör ock-

så ett viktigt namn i RMITs industrigemenskap, vilket kretsar kring flera olika sektorer och styrkeområden.

De utrustningar för additiv tillverkning som finns att tillgå vid AMP innefattar det absolut senaste för såväl polymer- som laserbaserade additiva teknologier och utgör därmed ett intressant utvecklingsalternativ för de företag som är intresserade av att undersöka och utveckla nya produkter baserade på additiva teknologier. De viktigaste forskningsområdena vid detta "Advanced Manufacturing Precinct" är topologioptimering samt material- och processutveckling. Målgrupperna finner vi inom verksamhetsområden som aerospace och biomedicin. Ett exempel från det förstnämnda branschområdet är en komponent tillverkad i Ti6Al4V, vilken har topologioptimerats för additiv tillverkning [Fig. 2]. Den var ett resultat av ett forskningsprojekt med stöd från Australiens "Defense Materials Technology Centre", dess "Defense Science and Technology Organization" samt Lockheed Martin.

Monash Centre for Additive Manufacturing bedriver basforskning inom områden som legeringssammansättning, materialvetenskap och materialbearbetning och tillämpar resultaten vid LAM-tillverkning av detaljer och komponenter. Fokus ligger mycket mot flyg- och rymdindustri och centralt har dragit till sig lokala samarbetspartners, men också internationella sådana. Dylka samarbeten har nyligen resulterat i avknoppningsföretaget Amaero Engineering som specialiserat sig på tillverkning av metallbaserade komponenter tillverkade med såväl SLM som LMD. Några av dessa, tillverkade i en nickelbaserad legering, visas i figur 3.



Fig. 2.

T.v. en aerospace-komponent maskinbearbetad från en Ti6Al4V-metallstång, och t.h. samma komponent framställd via topologioptimering och tillverkad genom SLM.



Fig. 3.

SLM-tillverkade aerospace-komponenter; närmast en kapsel med integrerade, inre spridarblad och t.h. en ospecificerad motor-komponent.

Milan avslutar vårt samtal med att konstatera att användningen av LAM i Australien växer och diversifieras, och denna trend kommer att hålla i sig då det finns ett behov hos lokala företag att bredda sin verksamhet och undvika höga tillverkningskostnader och arbetsintensiva operationer. En bättre industriell förståelse för de möjligheter som additiva metoder erbjuder samt en ökande trend bland konkurrerande

utländska företag att använda sig av sådana tekniker kommer att ytterligare driva på användningen av LAM i Australien. Forskningen inom området har också vuxit, och grundandet av ett nationellt center 2014 i form av AMCRC, med ett klart fokus på additiv tillverkning, kommer att accelerera tillväxten när industripartners blir mer familjära med dylka metoder och därmed kan implementera LAM i sina fabriker.



FRÅGA laserdoktorn

Bo Williamsson



Hej, jag har hört talas om att det finns något som kallas gasgeneratorer på marknaden. Är detta något som man kan använda för laserskärning? Hur fungerar det? Vad är för- och nackdelarna?

Med vänlig hälsning Anders Strålberg

SVAR

Hej Anders, tack för din fråga.

Det är helt korrekt att det finns gasgeneratorer, på fackspråk även kallade OSS-anläggningar. För laserändamål handlar det om utrustning för produktion av nitrogen för skärning. OSS är en förkortning för On Site Supply, vilket betyder att gasen tillverkas på platsen för förbrukningen.

Att producera gas på plats är ingen nyhet. Gasgeneratorerna har numera anpassats till de krav som ställs vid bl.a. laserbearbetning. Tidigare har gaskvalitet och prestanda varit otillräcklig för försörjning till de flesta laserskärmaskiner. Buffertsystem i kombination med förbättrade prestanda hos gasgeneratorerna har dock förändrat bilden en smula.

Det finns några olika sätt att producera nitrogen på plats. En metod är att använda så kallade PSA-utrustningar, se **figur 1**. PSA betyder Pressure Adsorption Swing och består av enheter som arbetar med omväxlande tryckstegring och tryckavlastning. Torkad och filtrerad luft strömmar under tryck genom en adsorbent varvid syre och andra oönskade komponenter i gasen tas bort, återstoden är nitrogen med renhet som beror av PSA-enhetens kapacitet. En OSS-anläggning enligt denna

princip arbetar med två parallella kanaler. På så sätt kan den sidan regenereras samtidigt som den andra sidan är i drift. På detta sätt fås en kontinuerlig drift. En variant av PSA är utrustningar som arbetar med vakuum i regenereringsfasen.

Oavsett vilken typ av utrustning som används för nitrogentillverkning så är storleken på enheten proportionell mot kraven på flöde och renhet. Ju högre renhet och/eller flöde, desto större enhet.

Ett sätt att hålla nere storleken på enheten är att utnyttja det faktum att ingen laser är i drift till 100% dygnet runt. Ofta används lasern runt 50-60% av tiden (ibland mer, men ofta mindre) vilket betyder att, om ett korrekt dimensionerat buffertsystem används, kan generatoren utnyttja "icke-lasertid" till att producera och lagra nitrogen. Detta, kombinerat med en väl fungerande produktionsplanering kan skapa förutsättningar för en OSS-enhet även för laserapplikationer. Om fler lasrar används ställs ännu större krav på framförhållning och planering.

Vad är då för- och nackdelarna? Jag har listat några egenskaper i **figur 3**.

Fig. 1.

Ytterligare ett alternativ är att arbeta med membran teknik, se **figur 2**. Ingångsluften får här passera ett membran som avskiljer de oönskade komponenterna. Metoden lämpar sig främst för applikationer där kraven på nitrogenskvalitet är moderata. Membran-enheter är i regel betydligt billigare än PSA-enheter.

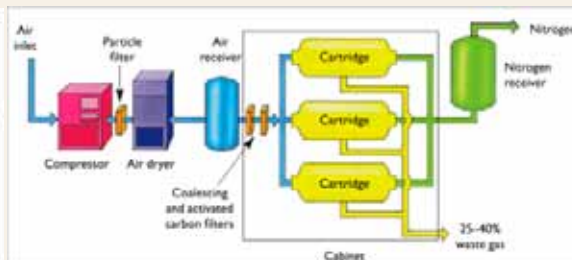
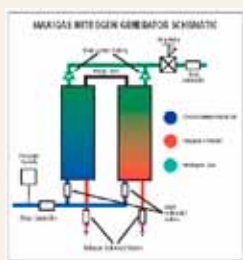


Fig. 2.
Membranenhet

EGENSKAP	NITROGENGENERATOR	GAS I PAKET/TANK
Gaskvalitet	Tillräcklig (med rätt dimensionerad utrustning). Garanti på gaskvaliteten?	Tillräcklig. Garanti på gaskvaliteten ges.
Driftskostnader	Måttliga. El, service och underhåll	Beror på förbrukningen
Investeringskostnad	Relativt hög (beror på storleken på utrustningen)	Måttlig, i huvudsak rörinstallation+ ev gascentral
Komplexitet	PSA-enheter; ingångskompressor; filter/tork-anläggning, utgångskompressor samt buffertsystem ingår i de flesta fall.	Låg.
Flexibilitet	Utrustningen dimensioneras för ett specifikt driftsfall. Utr. måste ges tid att ladda bufferten. Generatorn klarar inte att producera gas "on line" för skärning.	Hög. Paket eller tank beroende på förbrukning.
Installation	Enkel. Ofta färdiga enheter monterade på ram. Anslutning av el och gasledning samt intrimning tillkommer	Enkel. Rörsystem samt gascentral för paket eller tank och förångare. Installationen görs av leverantören. Betongplatta för tankinstallationen måste förberedas.

Fig. 3.

För och nackdelar med gasgeneratorer kontra konventionell gasförsörjning.

Som synes är det svårt att ge en generell rekommendation när det gäller val av gasförsörjning. Jag skulle vilja säga att varje fall måste utredas för sig, dels vad gäller de faktiska produktionsförhållandena, men även den ekonomiska biten. I de allra flesta fall är dock konventionell gasförsörjning den bästa lösningen, men det kan finnas fall där en gasgenerator ger rätt

förutsättningar för kvalitet och ekonomi vid laserskärning. Detta var en kort beskrivning av gasgeneratorer för laserskärning. Givetvis finns mycket mer information att hämta i ämnet, men utrymmet i denna spalt räcker inte till för detta.

Laserdoktorn

Svetskvalitetens påverkan av inerta gaser och dess distribution vid lasersvetsning

BEARBETAD AV STEPHAN BOËTHIUS,
AIR LIQUIDE GAS AB

CO₂-lasersvetsförsök med olika gasblandningar

I praktiken används CO₂-laser, fastkroppslaser (disk eller fiber) eller diodlaser beroende på komponentens design, material och de krav som ställs på den färdiga komponenten.

Air Liquide har analyserat effekten av olika skyddsgaser för de material som följer nedan. Man har testat och utvärderat olika processgaser och gasblandningar tillsammans med olika lasrar vid varierande effekt och resultaten har i flera fall

Lasersvetsning försök 1: Svetsning med CO₂-laser Effekt: 6 kW

Grundmaterial CrNi-stål 1.4301
Stumsvets godstjocklek 1mm / 0,7mm
Svets hastighet 8,5m/min

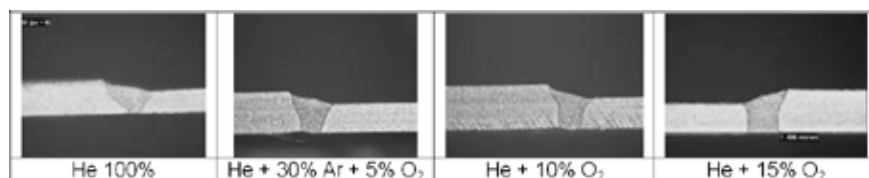


Bild 2.
Makroseksection av svetsförsök 1.

Lasersvetsning försök 2: Svetsning med fiberlaser Effekt: 4kW

Grundmaterial CrNi-steel 1.4301
Bead on plate, godstjocklek 10mm
Svets hastighet 1,0m/min

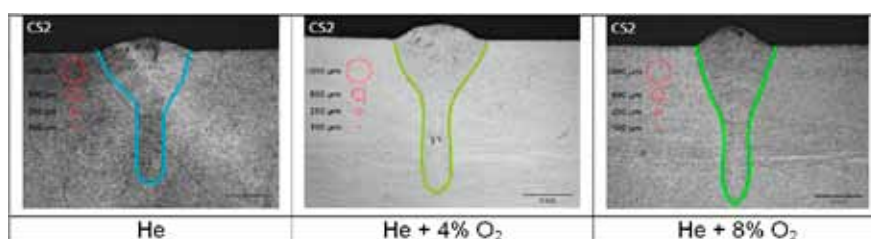


Bild 3.
Makroseksection av svetsförsök 2.

Författare
Dipl.-Ing. Cerkez Kaya EWE
ALTEC GmbH
Air Liquide Technology Center North and Central Europe
D-47805 Krefeld, Füttingsweg 34
Tel: +49 (0) 2151 / 379 - 9182
cerkez.kaya@airliquide.com

implementerats i industriella applikationer. För CrNi-stål (1.4301) har oxygen som tillsats/komponent i processgasen testats och utvärderats för flera olika laserkällor.

Alla tre försöken visar oberoende av laserkälla, effekt och vilken grundgas som har använts att en tillsats av oxygen förbättrar energiöverföringen till komponenten och även inträngningens och svetsens form.

En lagom inblandning av oxygen säkerställer högre temperatur i smältbadet och reducerar viskositeten vilket ger följande effekt:

- Bättre urgasning från smältan, minskad porbildning
- Bättre vätning och mindre insjunkningar
- Högre svets hastighet
- Mindre risk för mikrosprickbildning

Andelen oxygen som tillsats i den inerta gasen avgörs av materialet som skall svetsas. En konstruktion av austenitiskt gjutet stål som normalt sett inte kan svetsas utan sprickor med standard gas/blandning kan svetsas med en inert gasblandning som innehåller cirka 50 procent oxygen.

Lasersvetsning försök 3:
Svetsning med diodlaser
Effekt: 2,5kW

Grundmaterial CrNi-steel 1.4301
Bead on plate, godstjocklek 1mm
Svets hastighet 2,0m/min

Gasblandning		Makro	Vinkel
%Ar	%O ₂		
100	0		82°
98	2		105°
97	3		42°
96	4		-11°
95	5		-14°

Bild 4.
Makrosektion av
svetsförsök 3.

Distribution och munstycke för inert gasskydd

Hur gasförsörjningssystemet är uppbyggt och hur gasen distribueras ända fram till där den används är av yttersta vikt och har stor påverkan på processens robusthet och kvalitetsutfall. Effektiviteten av skyddsgasen avgörs framförallt av hur effektivt man lyckas få den ända fram till svetsprocessen. Med LASAL™-munstycket utvecklat av Air Liquide kan både de fysikaliska och de kemiska egenskaperna hos processgaserna nyttjas fullt ut med hänsyn till energiöverföring, processtabilitet och svetskvalitet.

Industriella problem och den undervärderade effekten av munstycket har resulterat i att Air Liquide Technology Centre har utvecklat en mängd olika munstycken för ett optimalt gasskydd.

LASAL™ munstycke för skyddsgas

Munstycket består av en vattenkyld kropp och ett utbytbart munstycke. Munstycket ger genom sin speciella form ett optimalt gasskydd, förbättrad energiöverföring förbättrad processtabilitet och bättre svetskvalitet. Den vattenkylda kroppen ger mun-

stycket en mycket lång livslängd och bidrar till långa arbetscykler vilket är önskvärt vid högt arbetstempo och stora serier.

Massflödesmodellen överst i bild 5 visar skyddsgasflödet med ett konventionellt munstycke med helium som skyddsgas. Här ser man att helium (rött) som strömmar ut genom munstycket inte når fram till smältan/svetsprocessen utan att förörensas av den omgivande luften. Svetsprocessen får ett felaktigt gasskydd på grund av det turbulenta flödet som bildats. LASAL-munstycket har en speciell design som ger gasen ett laminärt flöde vilket gör att gasen (rött) når svetsprocessen och skapar en önskvärd atmosfär som omger

smältan/svetsprocessen. Processen blir mer stabil och den färdiga svetsen får en bättre yta. Slitsen i munstycket möjliggör stor flexibilitet vid användande. Den här speciella utvecklingen gör det möjligt att sänka skyddsgasflödet och istället för ren helium använda en blandning av argon-helium med riktigt bra processtabilitet.

LASAL™-JET-nozzle

När det gäller lasersvetsning med högeffektlaser har det tidigare varit nödvändigt att använda en skyddsgas av helium eller gasblandningar med hög andel helium för att uppnå en stabil svetsprocess.

Air Liquide har utvecklat en ny typ av munstycke som kallas LASAL™-JET-nozzle (bild 6) vilket gör det möjligt att svetsa med samma hastighet och bibehållen svetsgeometri med ren argon som skyddsgas.

LASAL™-JET-nozzle monterat på en 6kW CO₂-laser ger här likvärdiga resultat med argon som ett standardmunstycke ger med helium. Försök med 17 kW CO₂-laser och argon har testats med positivt resultat, samma inträngning som med helium men med 5 procent lägre hastighet.

Summering

De flesta av våra kunder använder en inert skyddsgas vid laserlödning eller lasersvetsning. Omfattande praktisk erfarenhet samt grundläggande forskning och utveckling visar att valet av skyddsgas för högeffekts laserbearbetning inte bara är begränsat till helium.

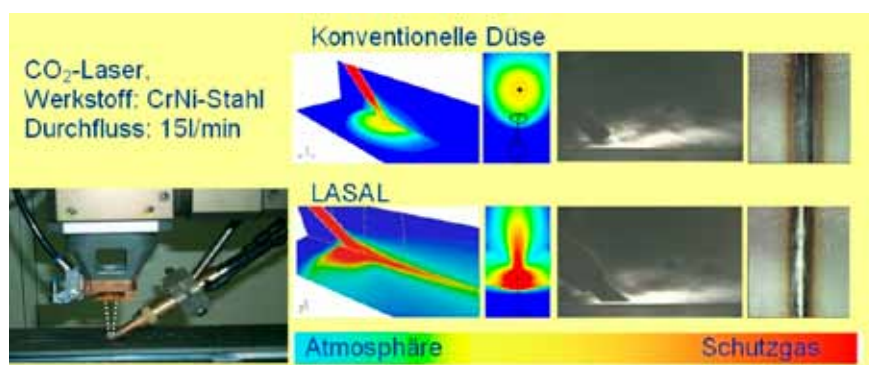


Bild 5.
Montage/installation och effekten av LASAL™-munstycke.

Optimering av skyddsgasens distribution till svetsprocessen möjliggör blandningar med låg halt helium. För vissa applikationer som till exempel tailored blanks är det möjligt att skifta ut ren helium till ren argon med oförändrade parametrar genom att använda LASAL™-JET-nozzle.

Rätt val av den skyddande atmosfären kombinerad med optimerad gastillförsel ger en riktigt bra möjlighet att förbättra kvaliteten, öka processens stabilitet och effektivitet.

Skyddsgasens effekt avgörs nästan uteslutande av hur effektivt den når svetsprocessen. Tillsammans med de olika LASAL™ munstyckena kan skyddsgasens kemiska och fysiska egenskaper nyttjas fullt ut, dessa egenskaper är helt avgörande för optimal energiupptagning, processtabilitet och svetskvalitet.



Bild 6.
LASAL™ -JET-nozzle.

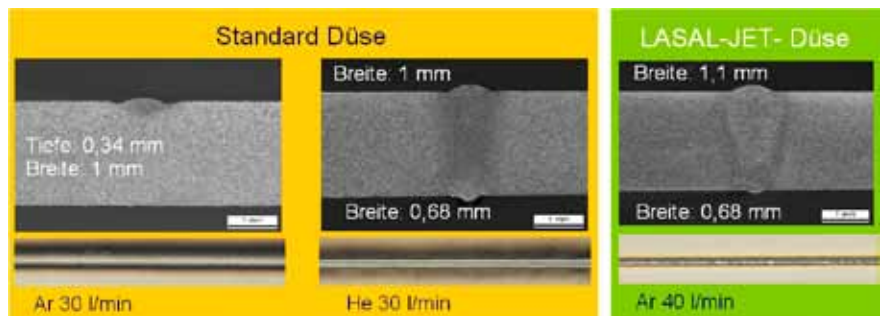


Bild 7.
Svetsresultat, konventionellt munstycke och LASAL™-JET-nozzle.

Jonas Näsström – ny laserforskare vid LTU

Jonas Näsström arbetar sedan en tid vid Avdelningen för Produkt- och produktionsutveckling som doktorand inom laserbearbetning. Temat för hans forskningsområde är lasersvetsning med tillsatstråd, där han bl.a. kommer att arbeta med teknik för att lasersvetsa med varmtråd. Just nu deltar han i projektet "HYBRO" -Safe Laser Hybrid Welding of Structural Steel by Robust System".

Jonas kommer från Örnsköldsvik och har tagit sin civ. ing. examen vid Luleå tekniska universitet inom Teknisk Design med inriktning mot Produktdesign.

– Det var en rolig utbildning, säger Jonas, som inte känns lika teknisk som t.ex. maskinteknik, och som kan leda till yrken som industridesigner/formgivare/produktutvecklare.

Men Jonas valde doktorandstudier istället, efter ett examensarbete inom CAD/CAM hos en underleverantör till fordonsindustrin i Luleå.



– Jag tycker om att undervisa och forska och sedan är det också lite praktiskt att arbeta i Luleå, säger Jonas. Jag kan nog tänka mig en framtida karriär inom universitetsvärlden med forskning och undervisning. Hittills har arbetet varit nästan för

roligt med mycket arbete i laserlaboratoriet och med undervisning.

– Teknik är ett stort fritidsintresse och just nu testar jag en 3D-skrivare som jag har byggt, och den fungerar, avslutar Jonas Näsström.

EuroBlech 2014

– större än tidigare

PETER NORMAN,
SVETSKOMMISSIONEN

Den 23:e oktober besöktes Euroblech 2014 i Laatzen, Hannover, Tyskland. Det är världens största mässa inom tunnplåts/metallbearbetning. Mässan hölls mellan den 21:a till den 25:e oktober och hade 1573 utställare på ca 86 000 kvadratmeter. Antalet besökare var något lägre än 2012, 59 600 istället för 60 185, men både antalet utställare och ytan var större denna gång, men verkar ligga någorlunda stabilt på dessa siffror sedan flera år.

Utställarna var samlade i 8 stora hallar, **Figur 1**, med en något förvirrad indelning där bara mekaniska fogningstekniker var samlade i en hall, de övriga var utspridda i flera hallar och det krävdes därför ordentlig planering för att hitta intressanta utställare under detta endagsbesök.

Även om mässan är stor och de flesta tillverkare finns representerade är detta inte den mässa där de presenterar sina nyheter utan det görs på Laser Photonics som går vartannat år i München.

Trots detta faktum hittades en del intressanta saker, till exempel en 4kW diodlaser med en strålkvalitet på 8mm mrad som Mr Mark Daichandt från Laserline presenterade, **Figur 2**.

I Coherent's monter presenterades en mycket kompakt enhet "Meta 10C" som skär upp till 6 mm i stål med en 1 kW CO₂-laser. Hela enheten tar upp en yta på 2x2,5 meter och kan skära 1,25x1,25 meter. **Figur 3**.

Från Laservision visades deras nya laserskyddsfönster som testats för upp till 16 kW direkt laserljus från en fiberlaser, skyddet uppnås genom att kombinera ett passivt filterfönster och en aktiv sensor som stänger av laserkällan inom 40ms. Fönsterenheterna kan fås i storlek upp till 840x500mm.



Fig. 1.

EuroBlech 2014 - Hall nummer 13



Fig. 2.

Laserline 4kW diodlaser.



Fig. 3.

Coherent M10C



Fig. 4.

ByAutonom 4020



Fig. 5.
Ermaksan – Fibermak med 2 kW fiberlaser

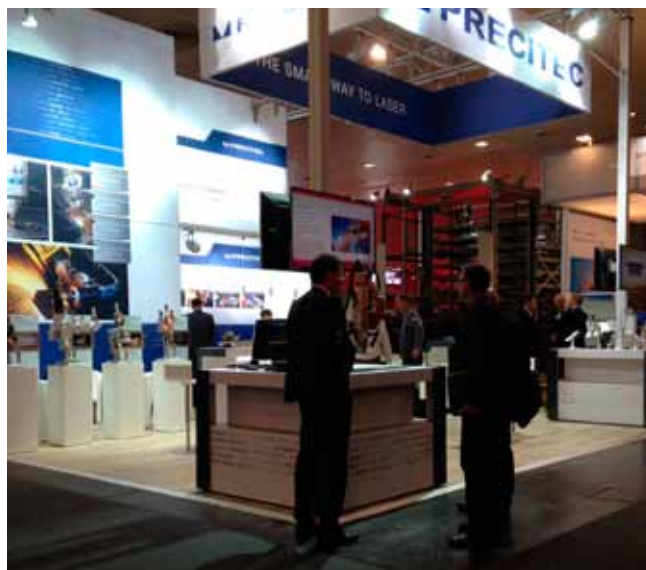


Fig. 6.
Precitec visade sitt delar ur sitt produktsortiment av skär- svetshuvuden och system för processövervakning.

Bystronic var naturligtvis också på plats och presenterade flera maskiner, bland annat ByAutonom 4020, Figur 4.

Från Turkiet kom Ermaksan och visade upp den maskin som såg ut att gå snabbast, Figur 5. En laserskärmaskin baserad på en Fiberlaser med i standardutförande 2 kW effekt och som kan utrustas med linjärmotorer, som ger hög prestanda vid förflyttningar.

Det sista besöket under denna dag var hos Precitec som visade ett brett spektrum av optik för laserskärning med både fastkroppslaser och CO₂-laser. Kompakta huvuden med integrerade övervakningssystem med till exempel en kamera eller andra sensorer för processljus eller avståndsmätning, Figur 6.

Se hur tyska företag använder laser

**FÖLJ MED PÅ STUDIERESA
DEN 15-16 APRIL 2015 TILL TYSKLAND**

LaserGruppen planerar en studieresa till Aachen-området i västra Tyskland den 15-16 april 2015.

Där finns en mängd verkstadsföretag och tunga forskningscentra som använder laser. Vi besöker bl.a. Fraunhofer Institut für Lasertechnik, ILT, som är ett av världens absolut största forskningscentra för laserbearbetning med ca 450 medarbetare.

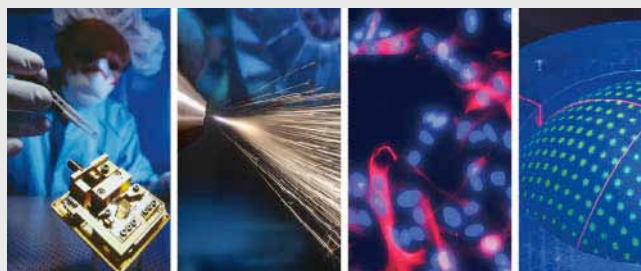
Under resan planerar vi också att träffa spännande företag som framgångsrikt har installerat laser i sin produktion.

Så lämna redan nu plats i kalendern för två dagar i april i ett vårvarmt Tyskland för att se och lära mera hur andra företag har lyckats med lönsam produktion med laser.

Mera information kommer i via utskick och på LaserGruppens hemsida.
Kontakta också gärna



ILT, Aachen



Per Westerhult, per.westerhult@svets.se



Finns det behov för alla nuvarande typer av laserkällor vid industriell tillverkning eller kommer någon av dem att bli helt dominerande i framtiden?

Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff und Strahltechnik] i Dresden har sedan några år tillbaka arrangerat en diodlaserkonferens på "bi-annual"-basis. Att tyngdpunkten lagts på diodlasrar är förståeligt då IWS' kompetens främst ligger i laserhårdning och -påläggning, forskningsområden som också prioriteras hos systerorganisationen Fraunhofer CCLA [Center for Coatings and Laser Applications] i Plymouth, MI. I år hade man emellertid valt att bredda utbudet och lanserade därför ett internationellt symposium för fiber- disk- och diodlasrar, vilket kombinerades med ett specialprogram som behandlade andra fogningstekniker som MPW [Magnetic Pulse Welding], FSW [Friction Stir Welding] och mer klassiska processer som motståndssvetsning och lödning. Dock kommer jag här att inrikta min rapportering på lasertekniken. Här är del 2.

JOHNNY K LARSSON
 VOLVO CARS

Lasersvetsning

Jag har ju tidigare rapporterat från laserverksamheten hos ERLAS [Erlanger Lasercentrum] i Erlangen där företagets CEO [Chief Executive Officer] Peter Hoffmann redogjort för olika processupplägg vid högproduktiv laserbearbetning. Denna gång var det hans kollega Roland Dierken som berättade om erfarenheter från tillverkning av bilkomponenter som växelgafflar och växelväljare. Dessa tillverkas i årsvolymer kring 800.000 stycken varför tiden i lasercellen måste minimeras, och stationstiden ha en hög "beam-on-time". Dessa komponenter består typiskt av 6-7 olika detaljer vilka sammanfogas med 12-13 svetsar. ERLAS har utvecklat ett eget "scanner"-verktyg [Fig. 16] med ett arbetsområde på 190x320 mm och med en positionering av fokuspunkten i z-led på ± 70 mm. "Scanner"-verktyget kan typiskt manipuleras av en industrirobot, men hos ERLAS finns det integrerat i en portalrobot med rörliga X- och Y-axlar på 400 respektive 500 mm, vilket sammantaget gör att man kan tala om svets-hastigheter upp till 70 m/min. Detaljerna placeras i en fixtur [Fig. 17]



Fig. 16.

Erlas' egenutvecklade "scanner"-verktyg kan både hanteras av en industrirobot eller sitta integrerat i en portal-dito.

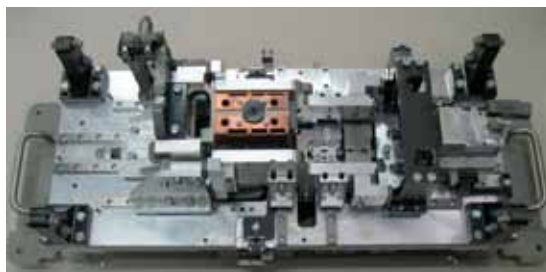


Fig. 17.

Typisk fixturutformning (toppvy t.v. och undersida nederst.) för fjärrlasersvetsning av växelväljare. De passiva fixerelementen är monterade i fjäderlagrade muttrar för att möjliggöra tolerant positionering i transportsystem och svetsceller.

vilken i sin tur kan manipuleras via en lägesställare något som hjälper till att ytterligare öka produktionskapaciteten. Den senaste produkten av liknande växellådsdetaljer består av 8 metall- och 5 plastdetaljer och sammanfogas med 22 lasersvetsar under en cykeltid på 6,5 sekunder!

Ett välbekant föredrag var det som hölls av Dirk Dittrich från Fraunhofer IWS och som handlade om stumsvetsning av 50 mm tjockt aluminium i kvalitén AA6082. Jag har ju haft förmånen att tidigare lyssna till såväl Dirk som hans kollega Renald Schedewy då de redovisat resultaten från dessa experiment. Man hade använt en 5 kW SM [Single Mode] -fiberlaser och oscillerat strålen i stumfogen, vilken fogberetts med vinklar under 3°, samtidigt som en tillsatsstråd matades in för denna flersträngssvetsning [MPNG = Multi-Pass Narrow Gap, Fig. 18]. Samma s.k. "Pentapod"-robot hade använts för såväl fogberedning som lasersvetsning. Man hade konstaterat att Si-andelen i svetsroten blev låg något som ökar risken för varmsprickor, men detta kan motverkas med rätt val av pendlingsfrekvens där 200 Hz tycktes ge en bättre Si-inblandning jämfört med 700 Hz. Den stora vinsten med att använda laser vid denna tjockplåtssvetsning är den minimala åtgången av tillsatsmaterial jämfört med exempelvis alternativet SAW [Submerged Arc Welding] – 1 respektive 8 kg deponering per timme! Annars var svetstid och svetsdjup jämförbara mellan de två metoderna. Värmeförvidningen vid lasersvetsning var av förklarliga skäl också mindre, men här hade man gjort den intressanta observationen att om man svetsade i tunnare material ökade distorsionerna [Fig. 19].

Velten Behm från Sitech Sitztechnik, ett helägt dotterbolag till VW och tillverkare av detaljer till stolssäten för personbilar, pratade kring deras erfarenheter från lasersvetsning av s.k. TWIP- [TWinning Induced Plasticity] eller kol-mangan-stål. Dessa är ytterst formbara med förlängningsvärden upp till 60%, samtidigt som de uppvisar en

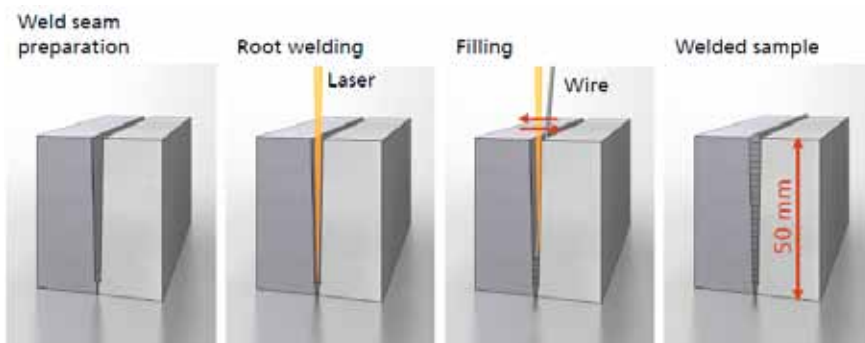


Fig. 18. Principen för MPNG [Multi-Pass Narrow Gap] -svetsning med oscillerad laserstråle.

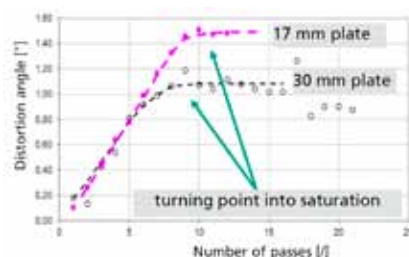


Fig. 19. Även vid förhållandevis kraftiga godstjocklekar hos aluminiumplåtar går det att identifiera skillnader i deformationsbeteende kopplat till tjocklekskillnader. T.h. syns MPNG-metoden applicerad på kylkanalprofiler avsedda för ett motorpaket till höghastighetståg.



brotthållfasthet som ligger över 900 MPa. Kolhalten är hög [0,3-0,7%] och andra viktiga legeringselement är Mn [15-19%], Al [<2,5%] och Si [<2,5%]. Denna legeringssammansättning är självklart en utmaning för all typ av svetsning, men drivkraften för att använda det i viktsbesparingssyfte är stor hos Sitech där man ser framtida applikationer i form av sätesryggstöd och -gavlar. Svetsförsöken hade genomförts med en TruDisc 16002 från Trumpf ur vilken man använde 4 kW och då nådde en svetshastighet på 3 m/min för en överlappsfog bestående av två stycken 1,5 mm tjocka TWIP-plåtar. Laserstrålen fokuserades till en 560 µm stor brännfläck och svetsningen utfördes med en oscilleringsfrekvens kring 1.000 Hz. I den efterföljande analysen kunde man se en viss hårdhetsminskning i svetsgodset. Genom att öka svetshastigheten kunde man få en bättre uppblandning mellan martensit och austenit, men samtidigt minskade då penetrationen. I materialkombinationer mellan

TWIP och andra stålqualiteter som HCT980X, S420MC och S700MC fick man högre hållfasthet vid dragprov då laserstrålen ansattes från TWIP-sidan [Fig. 20]. Likaledes fick man en bättre hållfasthet i stumsvetsar om strålen positionerades en bit in på TWIP-plåten.

Kurvlinjär ämnesskarvning med laser var temat för Jim Evangelistas [Shiloh Industries Inc.] presentation. Han redogjorde för några praktiska fall där man använt denna teknik i viktsbesparingssyfte. Ett exempel var en inre sidodörr där man nådde en viktsbesparing på 0,47 kg jämfört med en traditionellt tillverkad referensdörr. Med den ämnesskarvade lösningen kunde tre pressdetaljer och 23 punktsvetsar elimineras [Fig. 21], vilket gjorde att man fick en kostnadsbesparing på 5,2% trots att den nya lösningen kräver två stycken unika precisionsklippverktyg. En intressant guideline för konstruktion med ämnesskarvning är att man kan lägga lite tjockare material i områden där man genom

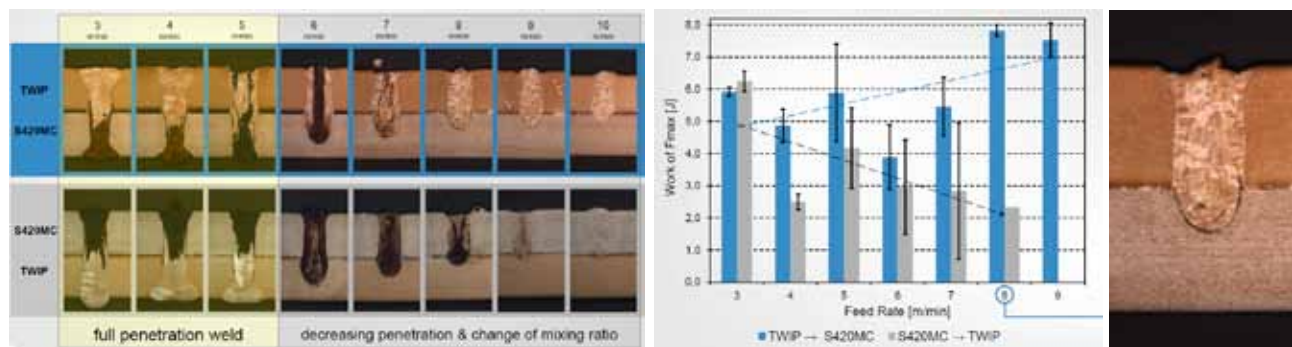


Fig. 20. Vid överlappssvetsning av materialkombinationen TWIP/S420MC kan man se en positiv effekt av att placera TWIP-materialet på toppsidan om en hög skjuvdraghållfasthet eftersträvas.



Fig. 21. T.v. referensdörren med tre separata gångjärnsförstärkningar och därtill den viktoptimerade lösningen med kurvlinjär ämnesskarvning.

formningsoperationen introducerar höga spänningskoncentrationer och kan på så vis undvika uppkomsten av lokal plåtförtunning med tillhörande sprickinitiering.

Lars Ebert från ThyssenKrupp System Engineering [TKSE] GmbH beskrev det "scanner"-verktyg med beteckningen LSK05-08 som man utvecklat. Detta hade använts vid svetsning av treplåtsförband med en total tjocklek på 4 mm och där man skapat z-formiga svetsmönster med en pendlingsamplitud på 2 mm [Fig. 22]. Denna "scanning"-metodik visade sig också vara fördelaktig då det gällde att undvika uppkomsten av värmesprickor vid lasersvetsning av aluminium i kvalitet AlMgSi1 [Fig. 23].

En annan intressant lösning är den motorhuvslödning som man presenterade redan vid EALA [European Automotive Laser Applications]-konferensen 2010. Motorhuvens yterplåt består av ett "sandwich"-material som är uppbyggt av två stycken 0,25 mm tjocka stålplåtar med en 0,40 mm polymerkärna däremellan.



Fig. 22. Med TKSE:s nya "scanner"-verktyg kan man skapa z-formiga svetsmönster vid svetsning av karossdetaljer som nedre B-stolpe t.h.

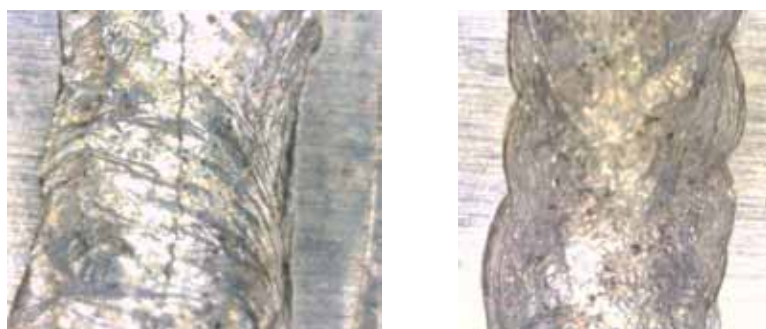


Fig. 23. "Scanning"-tekniken kan också användas för att undvika uppkomsten av varmsprickor vid lasersvetsning av sprickkänsliga aluminiumlegeringar ur AA6000-serien. T.v. utan och närmast med oscillerad laserstråle.

Innovationen ligger i att motorhuvens innerplåt, som är tillverkad i ett konventionellt BH [Bake-Hardening] -material, blindfalsas 180° för att därigenom lokalt skapa ett tjockare material att applicera lod-materialet mot. Skälet till att välja laserlödning för sammansättningen av motorhuvens är att man inte kan rullfalsa laminatplåten, då man riskerar att falsrullarna kommer att skjuta det tunna plåtmaterialet framför sig och därmed åstadkomma en delaminering. Viktsbesparingen för denna lösning jämförd med en mer traditionella sådan ligger på icke föraktliga 11%. Vid lödoperationerna hade en HLD 3006D-laser från Trumpf använts ur vilken man nyttjade ungefär 1 kW fokuserad till en brännfläck med 2,4 mm diameter. Framföringshastigheten låg på 2,1 m/min och motsvarande trådmattningshastighet var 2,5 m/min. Andra förutvecklingsaktiviteter som nämndes var höghastighetsskärning av tunna kopparfolier, tätsvetsning av batterihöljen, fjärrlasersvetsning av koppar till aluminium för kontaktdon till batterier [Fig. 24] samt laserstimulerad termografi som kvalitetsövervakningsmetod.

Laserskärning

Sessionen som behandlade laserskärning innehöll fyra föredrag och inleddes av Andreas Furst från Fraunhofer IWS. Han redogjorde för ämnesområdet RLC [Remote Laser Cutting] av FRPC [Fibre Reinforced Plastic Composites] där han lyfte fram de olika förångningstemperaturer som gäller för de ingående delarna i en fiberförstärkt epoximatris, och som måste beaktas för att erhålla acceptabla skärnitt. För GFRP [Glass Fibre Reinforced Plastic] förångas fibern vid 2.300 °C, medan kolfibern i en CFRP [Carbon Fibre Reinforced Plastic] förångas först vid 3.600°C. I båda fallen har epoximatrisen en mycket lägre förångningstemperatur som normalt ligger kring 400°C. Jämfört med traditionell laserskärning av dylika fiberförstärkta plastkompositer ger "fjärrtekniken" en smalare HAZ [Heat Affected Zone, Fig. 25] och

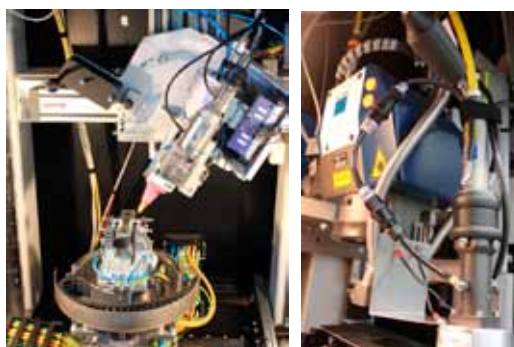


Fig. 24.

Några exempel på laserrelaterade förutvecklingsaktiviteter hos ThyssenKrupp System Engineering: tätsvetsning av batterihöljen med strålomformning närmast och t.h. "scanner"-svetsning av koppar till aluminium avsett för kontaktdon till batterier.

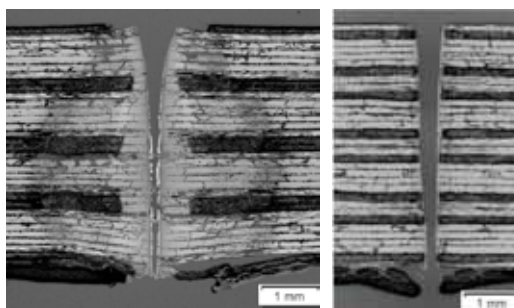


Fig. 25.

Med RLC (t.h.) får man en minimal påverkan på den fiberförstärkta plastkompositen jämfört med traditionell laserskärning.

förstör ej heller fiberändarna vilket garanterar en högre hållfasthet. I en jämförelse mellan CO₂- och Yb-fiberlaser hade man kunnat konstatera att den längre våglängden [10,6 µm] från CO₂-lasern har högre absorption i polymermaterialet vilket i dessa laserskärningssammanhang får en negativ effekt i form av bredare HAZ och därtill hörande lägre hållfasthet [Fig. 26].

Laserskärning av varmformade, presshårdade detaljer är mer eller mindre State-of-the-Art inom branschen idag då hårda klippverktyg snabbt slits ut vid bearbetning av dessa höghållfasta Bor-legerade stål, vilka har en brottgräns på 1.500-2.000 MPa och hårdhet kring 500-550 Hv0.1. Ramón Kallenbach från Benteler Automobiltechnik GmbH berättade att årsvolymen av presshårdade komponenter som levereras från hans företag ligger på drygt 41 miljoner varav 25 miljoner behöver laserskärnas [Fig. 27]. Typiska skärhastigheter enligt Bentelers erfarenhet ligger på 18 m/min för raka konturer, 13 m/min för mer komplexa sådana medan håltagning sker med mellan 2-5 m/min i skärhastighet.

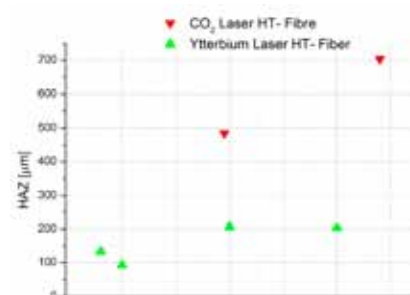


Fig. 26.

Då 1 µm-våglängden har en lägre absorption i polymera material resulterar detta i en smalare HAZ vid laserskärning.

Bekante Koji Hirano [Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation] berättade om de räfflingsmönster som kan uppstå vid laserskärning och hur man undviker dessa. Han jämförde resultaten från laserskärning med CO₂- respektive fiberlaser och kunde konstatera att den förstnämnda ger en slätare skärkant framförallt vid lägre skärhastigheter. Uppkomsten av räfflorna kan kopplas till laserstrålens absorptionsförmåga i materialet vilken i sin tur är beroende av lutningen på nyckelhålets framkant. Genomförda expe-

riment pekade på att en lutning på $1,4^\circ$ gav optimal absorption för $10,6\text{ }\mu\text{m}$ -våglängden medan den kortare fiberlaservåglängden kräver en betydligt större $[5,2^\circ]$ lutning för att maximera absorptionen och därigenom få mer eller mindre räfflingsfria snittkanter [Fig. 28]. Alltså blir ett enkelt sätt att lösa absorptionsproblemet vid kortare laservåglängder helt enkelt att öka framföringshastigheten, men även att använda en laserstråle med radiell polarisation har visat sig vara gynnsam för ökad absorptionsförmåga [Fig. 29].

Symposiets enda kvinnliga talare var Henrike Harstick från Volkswagen AG som redogjorde för hur laserskärning av elektriskt ledande stål påverkar de magnetiska egenskaperna. Laserskärningen hade jämförts med dagens normala produktionsprocess, nämligen stansning, men också med gnistbearbetning [EDM = Electrical Discharge Machining], vilket resulterade i en omfattande provningsmatris med hela 54 separata laserförsök. Tyvärr visade lasermetoden sig vara sämst med ett litet processfönster för elektriska parametrar som flödestäthet och frekvens. Endast vid höga T [Tesla]-värden och dito frekvens var de laserskurna objekten jämbördiga med de stansade.

Laserpåläggning

Precis som de flesta andra laserkonferenser med självaktning hade också detta symposium en dedikerad session för laserpåläggning, vilken omfattade fyra föredrag. Först ut var Edward Chlebus från Wrocław University of Technology. I deras laboratorium har man två SLM [Selective Laser Melting]-maskiner av märket Realizer [SLM50 och SLM250, Fig. 30]. Denna form av s.k. 3D-printning har utvecklats från att från början mest handla om prototyp tillverkning till att numera även omfatta tillverkning av riktiga slutprodukter under begrepp som "rapid tooling" och "rapid manufacturing". Några sådana exempel som nämndes var höftimplantat av Ti6Al7Nb, radiatorer med integrerade kylkanaler och turbinblad i Inconel718 för flyg-



Fig. 27.

I Benteler Automobiltechnikns fabrik i Rumburg/Tjeckien, tillverkas årligen miljontals presshårdade komponenter till bilindustrin. För konturskärning och håltagning av dessa dominerar laserskärnmaskiner från Trumpfs sortiment som exempelvis TruCell 8030 och TruCell 7040.

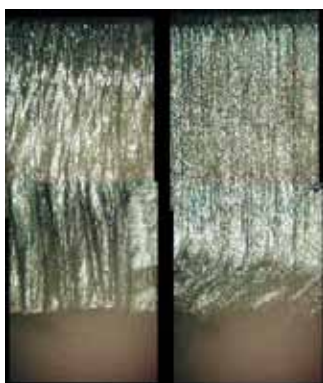


Fig. 28.

Då det blir fråga om att laserskära grövre gods, som i det här fallet 8 mm tjockt SUS304 ger CO_2 -lasern (t.h.) ett överlägset skärnsnitt jämfört med en $1\text{ }\mu\text{m}$ -laser. Detta går att härleda till våglängdernas olika absorptionsförmåga i förhållande till lutningsvinkeln på nyckelhålets framkant.

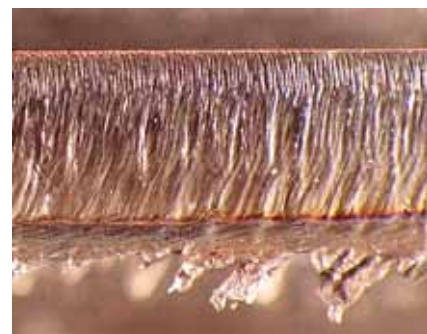
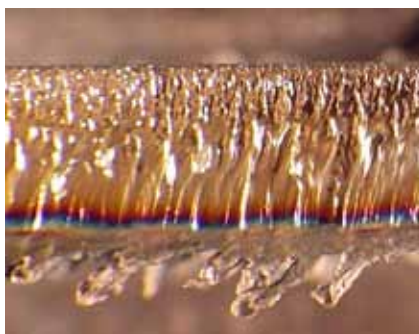
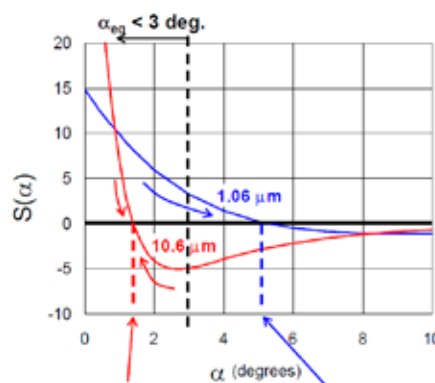


Fig. 29.

Ett sätt att förbättra snittkvaliteten vid skärning med exempelvis en fiberlaser är att använda sig av en radiell polarisation (ovan t.h.) av laserstrålen, hellre än en randomiserad sådan.



Fig. 30.

Vid CAMT (Centre for Advanced Manufacturing Technology) i Wrocław har man tillgång till Realizer-maskinerna SLM50 och SLM250, men också en EB-maskin (EBM A1) från Arcam för forskning kring additiv tillverkning.

plansmotorer. För att validera kvalitet och densitet hos de framställda produkterna använder man lämpligtvis datorbaserad tomografi som är en form av röntgenanalys [Fig. 31]. Avslutningsvis nämnde professor Chlebus att lasertekniken ingalunda har ensamrätt vad gäller denna form av tillverkning. En stark konkurrent är 3D-printning med elektronstråle [EB = Electron Beam] och här lyfte han fram "börsraketen" Arcam.

Frank Brückner från Fraunhofer IWS intog därefter talarstolen och beskrev den andra huvudformen för additiv tillverkning, nämligen DMD [Direct Metal Deposition]. Det finns tre huvudsakliga användningsområden för tekniken; påläggning av ytor för ökat slit- och/eller korrosionsmotstånd, reparation av förslitna detaljer samt nyproduktion av olika komponenter. Den minsta pulverstorlek som används idag ligger under 50 μm och bland de vanligaste påläggningmaterialen kan nämnas titan- eller nickelbaserade superlegeringar.

Ett exempel som den gode Frank redogjorde för redan under fjolårets ICALEO [International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics] -konferens handlade om reparation av framkanten av ett turbinblad i Titan för en jetmotor, där komponenten i övrigt tillverkas i ett kompositmaterial. Experimenten var en del i det s.k. IMPALA [Intelligent Manufacture from Powder by Advanced Laser Assimilation] -projektet, och reparationen hade utförts genom additiv lasertillverkning med Ti6Al4V i kombination med förvärmning genom induktion för att motverka uppkomsten av sprickor [Fig. 32]. En erfarenhet man vunnit vid tillverkning med DMD av en sådan öppen profil var att bygga upp

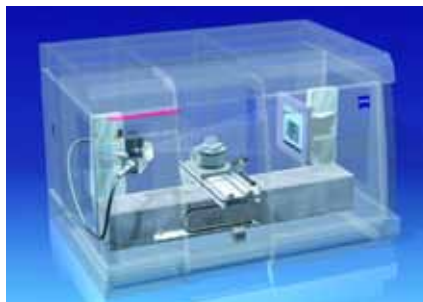


Fig. 31.

Med iCT (Industrial Computed Tomography) och detta Metrotom 1500-instrument (t.v.) från Carl Zeiss är det möjligt att med oförstörande provning detektera porförekomsten i en SLM-tillverkad aluminiumkomponent.



Fig. 32.

T.v. Provuppställningen vid tillverkning av ett turbinblad med LMD och induktiv förvärmning. Det senare tas till för att undvika sprickbildning i det/de pålagda skikten, vilket illustreras ovan med tvärsnitt genom ett Ti6Al4V-substrat belagt med Ti-43Al-4Nb-1Mo-0.1B; t.v. utan förvärmning och t.h. med.

den som sluten och därefter kapa den till rätt geometri. Induktiv förvärmning hade också använts vid reparation av s.k. "blisks" [bladed discs] tillverkade av Nickellegeringen Udimet720 [Fig. 33]. Förutom reparation med pulver kan man använda trådmaterial, något som illustrerades med ett turbinblad reparerat med Inconel718 i trådform. Avslutningsvis berättade Herrn Brückner om ett sexårigt BMBF [BundesMinisterium für Bildung und Forschung] –projekt för additiv tillverkning med hjälp av laser kallat Zwanzig20. Projektet består av 40 olika partners som tillsammans investerar 45 miljoner euros, vilket motfinansieras av BMBF med ett lika stort belopp.

Att belägga stora ytor var ämnet för Bernd Baufelds presentation. Han arbetar vid Nuclear AMRC [Advanced Manufacturing Research Centre], som sorterar under University of Sheffield och där man bedriver avancerad forskning främst på uppdrag av Boeing. Man har en särskild arbetscell för laserpåläggning som mäter 10×10×5 m och som levererats av företaget GTV. Laserkällan som används är en 15 kW diodlaser från Laserline och den robotiserade påläggningen utförs med hjälp av en gantry-robot kombinerad med en lägesställare. Ett antal påläggningsverktyg utvecklade av IWS har provats under årens lopp, och nu redogjorde Dr. Baufeld för påläggning av pulvermaterialen IN82 och SS308L båda tillhandhållna från två olika företag, nämligen Höganäs AB och Carpenter Powders. Tre olika IWS-verktyg hade använts i försöken; Coax8 som ger en rund fokalpunkt, Coax11 som har en rektangulär brännfläck, samt Coax12 vilket är speciellt lämpat vid vertikal deposition [Fig. 34]. För att jämna till det pålagda skiktet kan man använda sig av en efterföljande omsmältning med samma laser, och här visade sig varianten med rektangulär fokalpunkt ge det bästa resultatet i ytjämnhet [Fig. 35]. Dr. Baufeld avslutade med att konstatera att det rostfria pulvret från Höganäs gav problem vid påläggningen, vilket han tolkade som att dess legeringskoncept inte var optimerat för DMD.



Fig. 33.

Ytterligare experiment kring LMD-reparation av uttjänta s.k. "blisks" lär vi komma att få se i det nyss startade sexåriga forskningsprogrammet Zwanzig20.



Fig. 34.

Coax12 för vertikal deposition var ett av de påläggningsverktyg från Fraunhofer IWS som användes i studien, tillsammans med Coax8 och Coax11.



Fig. 35.

Med hjälp av Coax11-verktygets rektangulära fokalpunkt kan man med en lätt ytomsmältning skapa jämnare yta vilket ovan illustreras med pulvermaterialen 308L t.v. och IN82 t.h.

Min gamle vän Craig Bratt [Fraunhofer CCLA (Center for Coatings and Laser Applications)], som ni fick stifta bekantskap med i LaserNytt 2-13 under rubriken "Samtal kring lasertrender", avslutade denna högtintressanta session där han pratade om hybridiserad laserpåläggning. I klartext menas med detta begrepp att man kombinerar påläggningsprocessen med en induktiv förvärm-

ning, bl.a. som tidigare nämnts för att undvika uppkomsten av sprickor, men också för att öka deponeringseffektiviteten. Med en 6 kW diodlaser kommer man typiskt upp i deponeringstal som 4,5 kg/tim, men om man kombinerar påläggningen med en induktionsspole som levererar 12 kW är det möjligt att öka depositionen till 6 kg/tim. Fraunhofer IWS har idag utvecklat mer än 20(!) olika

verktyg för laserpåläggning och nu redogjorde Craig för två av dem, Coaxpowerline och Coax11V3, som hade använts för att utvärdera effekten av olika fokalpunktsgeometrier. Laserkällan var här Laserlines LDF-20000-200 och man hade jämfört en cirkulär brännfläck med en rektangulär dito [Fig. 36]. Deponeringseffektiviteten var ungefär densamma, med 14,25 kg/tim för den rektangulära fokalpunkten och 14,75 kg/tim för den cirkulära, men för att klara detta måste man ha en mer än dubbelt så hög framföringshastighet då man använder den senare; 3.900 mm/min mot 1.540 mm/min då den rektangulära varianten används. Invändig beläggning av rör har ju blivit något av en specialitet vid Fraunhofer CCLA och idag har man verktyg som klarar rördiametrar ned till 75 mm och ett instick på 1 meter [Fig. 37]. När man kommer ner till så här trånga utrymmen begränsas den lasereffekt som kan användas. I det här relaterade fallet kan man idag som mest använda 3 kW, men målsättningen är att snart klara av att hantera upp till 6 kW.

Laserhårdning

Min bevakning av det här lasersymposiet avslutas med två presentationer som handlade om laserhårdning. Den första hölls av Sebastian Müller från BPW Bergische Achsen KG [Kommanditgesellschaft] i Ohlherhammer. Där satsar man på innovativ produktionsteknik, vilket exemplifierades med ett praktikfall kring hårdning av komponenter till trailerbromsskivor i materialet 42CrMoS4 [Fig. 38]. En 6 kW diodlaser från Laserline hade använts för ändamålet, och då det rörde sig om hårdning av konkava ytor hade man valt att oscillera strålen över denna kalottyta. Detta skedde med hjälp av ett egenutvecklat mjukvaruprogram där processen styrdes med hjälp av en kamerabaserad temperaturövervakning. På så sätt kunde man genom strålscillering erhålla en jämn hårdhetsfördelning över den tredimensionella ytan. Galvospeglarna som används för att omlänka laserstrålen behövde bytas efter 45.000 härdade komponenter. Under 2013

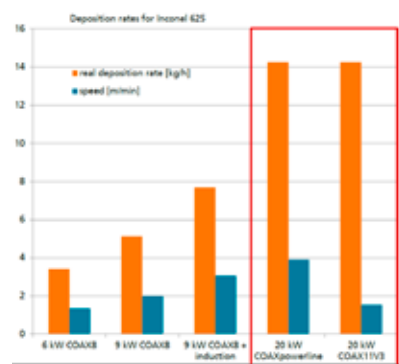


Fig. 36.

Laserpåläggning med rund respektive rektangulär fokalpunkt och samma lasereffekt ger ungefär samma deponeringseffektivitet (kg/t). Däremot krävs endast halva framföringshastigheten när Coax11V3 används.



Fig. 37.

Laserpåläggning inuti trånga rör har blivit något av en specialitet vid Fraunhofer CCLA, där man idag klarar rördiametrar ner till 75 mm, 1 meters instick och en maximal lasereffekt på 3 kW.



Fig. 38.

Produktionsutrustning för laserhårdning av bromsskivkomponenter hos BPW Bergische Achsen KG i Ohlherhammer. Den oscillerade laserstrålen styrs via en kamerabaserad temperaturövervakning.

hade man producerat inte mindre än 260.000 sådana detaljer där cykeltiden för hårdningsprocessen, som påstods ha en tillgänglighet > 99%, låg på under 20 sekunder!

Siste talare var Volkswagen AG:s Olaf Ruprecht som beskrev den kombinerade tillverkningscell för laserhårdning och -påläggning som är i drift i Wolfsburg sedan några år tillbaka [Fig. 39]. Denna används

bl.a. för att härda press- och klippverktyg för tillverkning av karosserikomponenter. Ett exempel var segmenthårdning av ett formverktyg för en inre sidodörr tillverkat i GGG70L-gjutjärn, och de klippverktyg som huvudsakligen laserhårdas är i materialen 1.2333, 1.2320 eller 1.2358.

Att VW valt lasertekniken för att härda dessa verktyg motiveras av

att alternativen flammhårdning eller induktionshårdning inte ger ett lika stabilt utfall. Den beskrivna arbetscellen mäter 7×3×2 meter och betjänas av två robotar, en med påläggningsmunstycke och en med det av IWS utvecklade hårdningsverktyget "LASSY" där hårdspårets bredd kan varieras tack vare en axiell justering av optiken kombinerat med anpassning av lasereffekten. För en optimal processtyrning använder man sig av E-Maqs-systemet för temperaturkontroll och effektövervakningen sker med "LompocPro" [Fig. 40]. Med 6 kW från en diodlaser och 60 mm spårbredd vid hårdningen ligger processhastigheten mellan 60-120 mm/min.

Detta var första gången som jag hade möjlighet att närvara vid detta evenemang som arrangeras vartannat år, varför nästa tillfälle blir 2016, närmare bestämt 23-24 februari. Även om det inte redogjordes för några exceptionella nyheter fick man en bra insikt i den avancerade laserforskning som vi vet förekommer vid ett flertal tyska institut men också bland många intressanta industriföretag. Genom att förslagvis kombinera konferensen med ett besök i Fraunhofer IWS:s välutrustade laboratorielokaler och varför inte också med lite "kultur-sightseeing" i barocksköna Dresden, kan jag garantera att ni kommer att uppleva några väl använda dagar i dessa gamla DDR-trakter.



Fig. 39. VW:s kombinerade tillverkningscell för laserhårdning och -påläggning i Wolfsburg med en detaljbild på det robotburna hårdningsverktyget t.h.

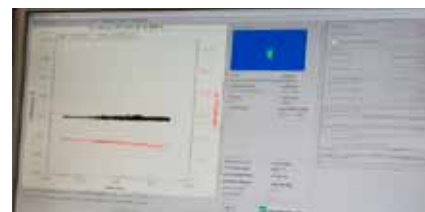
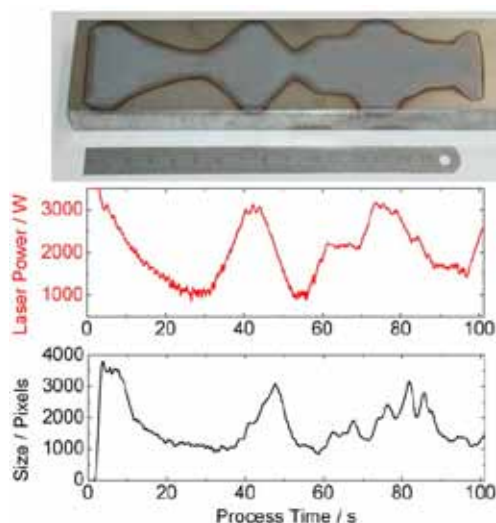
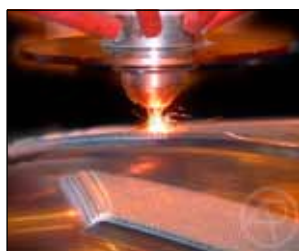


Fig. 40. Med Fraunhofers "LASSY"-verktyg kan hårdspårets bredd varieras (t.v.) och kvalitén säkerställs med temperatur- och effektövervakning via E-Maqs och LompocPro (ovan).



Ett revolutionerande evolutionssteg
inom plåtbearbetning



AUTOMATION 2D LASER



I industrialiseringens början gjordes allt manuellt. Så var fallet även med all materialhantering när de första stans- och laserskärmaskinerna såg dagens ljus. Efter hand insåg man nödvändigheten av att automatisera hanteringen av material in och ut ur bearbetningsmaskinerna. Fram till idag har ett av de största problemen vid automatisering av 2D laserskärmaskiner varit att plundra och stapla de färdigskurna detaljerna på ett driftsäkert sätt. Nu finns lösningen!

Lösningen heter RALC (Robot Assisted Last Cut).

Detta innebär att detaljerna hålls fast av plockroboten precis innan sista snittet och plockas därför med 100 procents säkerhet ur skelettet utan någon möjlighet att fastna. Denna lösning eliminerar manuell separation, ökar kvalitén och ger högsta processäkerhet vid obemannad drift.

Ring oss och boka in ett besök för demokörning
i vårt teknikcenter. Telefon 0370-69 34 00.

2015

KALENDARIUM

MARS

3-4	EWF Specialkurs Lasersvetsning, del 1 Luleå tekniska universitet	Hans Engström
19	Laserdag Lasergruppens årsmöte Volvo Cars, Olofström	Per Westerhult
24-26	EWF Specialkurs Lasersvetsning, del 2 Luleå tekniska universitet	Hans Engström

APRIL

15-16	Studieresa till Aachenområdet i Tyskland med LaserGruppen. Preliminärt program: besök vid ILT, Aachen och några företag som arbetar med laserskärning och lasersvetsning.	Per Westerhult
28-29	EWF Specialkurs Lasersvetsning, del 3 Luleå tekniska universitet	Hans Engström

MAJ

7	Konstruera för laser: Seminarium hos Permanova Lasersystem AB, Mölndal	Per Westerhult
15	LaserNytt I	Per Westerhult

OKTOBER

I	Laserdag II	Per Westerhult
I	LaserNytt 2-2015	

NOVEMBER

19	Workshop Lasersvetsning	Per Westerhult
----	-------------------------	----------------

DECEMBER

15	LaserNytt 3-2015	Per Westerhult
----	------------------	----------------

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

LASER
nytt