

Lasernytt



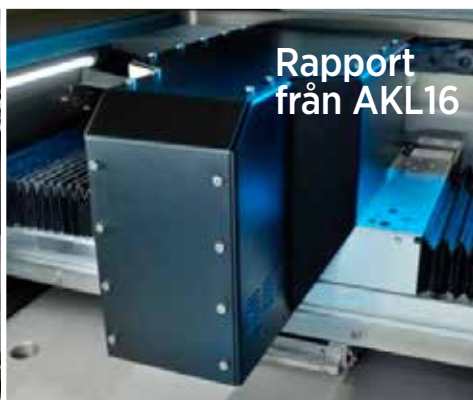
3-2016



Additiv tillverkning



Högklassig tysk
laserkonferens



Rapport
från AKL16



Royal Melbourne
Institute of Technology

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

Redaktör
Hans Engström
Telefon: 070-626 90 96
E-post: hans.engstrom@levitronics.se

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

Ansvarig utgivare
Per Westerhult

Lasernytt på Internet
www.lasergruppen.eu

Omslagsbild
Additiv tillverkning av brännarmunstycke till gasturbin.

Produktion: Ineko Creative, Stockholm

Tryck: Ineko Production, Stockholm
www.ineko.se



INNEHÅLL

LASERDAGEN

Massiv satsning på additiv tillverkning 2

RAPPORT FRÅN INTERNATIONAL LASER SYMPOSIUM - DEL 2

Högklassig tysk laserkonferens med flera internationella inslag 8

RAPPORT FRÅN 69TH IIW ANNUAL ASSEMBLY OCH SVETSKONFERENS

En blandad sammankomst av svetsexpertis från hela världen 17

Rättelse Pressrelease från LaserNytt nr 2 20

RAPPORT FRÅN AKL'16 EUROGRESS - DEL 1

Gerd Herzinger Session illustrerade laserteknikens många användningsområden 21

Med gas i tankarna 28

Mikrobearbetning med laser - del 20 30

Lasertemer definierade för en ny ordbok 31

LASER PROCESSING AROUND THE WORLD - DEL 3

Reparation av komponenter till gasturbinmotorer med hjälp av laserteknik 32

PRESSRELEASE

Hallströms verkstäder fortsätter investera för breddad produktion 35

SAMTAL KRING LASERTRENDER DEL 25

Fiberlasrar är "framtidens melodi" menar Berthold Kessler 36

STUDIERESA

Se Jaguar tillverkas och möt Zlatan på Emirates Stadium 40

Drömfabriken - vision eller verklighet? 41

RAPPORT FRÅN 9TH LASER ASSISTED NET SHAPE ENGINEERING [LANE] - DEL 1

En blandad kompott av användningsområden för lasertekniken 43



TANKAR FRÅN STYRELSEN

MIKAEL OLSSON, TRUMPF MASKIN AB

Laser för hållbar utveckling

Det är sedan länge känt att företag i Sverige och andra högkostnadsländer behöver satsa på automatisering och resurseffektiv produktion för att kunna stå sig starkt i en allt hårdare global konkurrens. Endast genom en ökad effektivitet, nytänkande och hållbar användning av sinande råvaror kan företagen skapa en stabil plattform för att kunna stå starkt på marknaden.

Dessutom blir flexibilitet och möjlighet till snabb omställning allt viktigare. Omstrukturering av branscher sker idag allt oftare och i snabbare takt. Nuvarande förändring av t.ex. bilindustrin ställer höga krav på nytänkande hos underleverantörer för att hitta nya ingångar och applikationer till sina kunder.

Laser är ett perfekt verktyg för att ta sig an utmaningen, och laser är det verktyg som symboliserar innovationskraft och resurshushållning på bästa sätt. Den fotoniska industrins forskning går hand i hand med nuvarande globala processer som involverar en social och teknisk revolution.

Lasersystem är en drivande kraft för att bevara resurser genom att uppmuntra till maximal precision, optimerade processer och hållbara konstruktioner. Lasern spelar en viktig roll i framtagningen av komponenter till elbilar och bearbetning av lättviktsmaterial vilket ger ett viktigt bidrag till målet om minskade globala utsläpp. Ultrakorta pulslasrar driver utvecklingen av mobilkommunikation och tekniken är också mångas val vid tillverkning av solceller.

Lasern är idag etablerad som produktionsmetod inom många branscher men det skulle vara ett misstag att luta sig tillbaka och säga att tekniken är på väg att nå sin gräns när det gäller applikationer och användningsområde. Tvärtom finns det mycket kvar att upptäcka. Detta förklarar varför vi måste uppmuntra, vägleda och aktivt stödja kreativitet ifrån marknaden och inom forskning och utveckling för att driva utvecklingen vidare. Allt för att ligga steget före inför framtiden.

Jag önskar er alla en bra avslutning på året och en utmärkt start på 2017!

Laserdag hos Siemens Industrial Turbomachinery AB

Massiv satsning på additiv tillverkning

Av Hans Engström,
Levitronics Lasersystem AB

Additiv tillverkning växer nu snabbt inom svensk och internationell industri efter att tekniken har mognat och accepterats. Den erbjuder helt nya möjligheter att konstruera och tillverka detaljer som optimerats för materialval, vikt och funktion. Siemens Industrial Turbomachinery AB i Finspång var värd för höstens LaserDag vars tema helt naturligt var additiv tillverkning. Dagen gav de 25 deltagarna en intressant inblick i tekniken och hur ett världsföretag som Siemens satsar på tekniken. Värd för dagen var Andreas Graichen, som driver tekniken inom Siemens i Finspång.

Laserpåsvetsning ökar livslängd och prestanda

Laserpåsvetsning är en etablerad teknik sedan lång tid och det var den teknik som undertecknad arbetade med på 1980-talet vid Tekniska Högskolan i Luleå (nu Luleå tekniska universitet, LTU). Tekniken kan ses som en föregångare till additiv tillverkning och räknas emellanåt in i den tekno-

login. Min medarbetare från 1990-talet vid LTU, Conny Lampa, arbetar nu med laserpåsvetsning vid Höganäs AB, som är en världsledande tillverkare av metallpulver och som också marknadsför en egen teknik för additiv tillverkning, som kallas "Digital Metal".

– Laserpåsvetsning används vid nytillverkning, reparation och 3D-printing, berättar Conny Lampa. Vid nytillverkning så kan man förbättra korrosionsmotstånd och/eller slitage- och tribologiska egenskaper lokalt eller på hela detaljen. Rätt utförd kan tekniken ge en produkt med högre kvalitet till lägre kostnad. Vid nytillverkning så kan en sliten yta återskapas med arteget material eller ett material med bättre egenskaper. 3D-printing (eller additiv tillverkning) ger möjlighet till skräddarsydda produkter med komplexa geometrier.

Höganäs AB arbetar med pulver och det kan tillföras med pulvermatare och någon typ av koaxiellt- eller sidomunstycke. Man

har i sitt lab en LaserLine diodlaser på 7 kW som via en robot hanterar påsvetsoptiken.

– Höganäs AB tillverkar järn-, kobolt och nickel- samt legeringar med karbider, berättar Conny. Sfäriska partiklar är bäst. Man kan i vissa fall beroende på pulvertyp och applikation återanvända pulver. Typisk använder man argon eller nitrogen som skyddsgas, men i Kina är det inte ovanligt med att nyttja tryckluft !!

Conny Lampa berättar vidare om några applikationsexempel för laserpåsvetsning



Bild 2.
Två typer av koaxiella pulvermunstycken (t.v.) som ger minsta uppblandning samt sidomunstycke. Laserpåsvetsprocessen kan ge stängbredder på 0.5-32 mm i tjocklekar 0.5-4mm med en pulvereffektivitet på 80-98%.

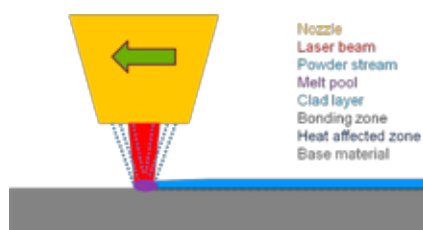


Bild 1.
Laserpåsvetsning princip, samt tvärsnitt och mikrostruktur för Alloy 625 (Höganäs) påsvetsad på AISI 1018. Tekniken ger bl.a. metallurgisk bindning, låg uppblandning, täta skikt, liten värmepåverkan, fin mikrostruktur och kräver liten eller ingen efterbearbetning.

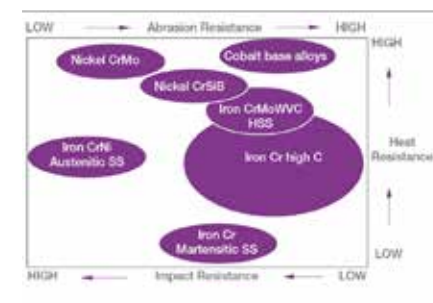


Bild 3.
Typiska påsvetsmaterial och materialegenskaper.

High Speed Laser Cladding

Nu utvecklas en ny teknik för laserpåsvetsning – High Speed Laser Cladding (HSLC) fortsätter Conny. Medan vanlig laserpåsvetsning sker i typiska hastigheter på cirka 1 m/min så kör man HSLC i 20-200 m/min. De påsvetsade skikten blir 25-250 mikrometer med mindre än 1% uppblandning. Man tänker att HSLC kan ersätta hårdförkromning i vissa applikationer avslutar Conny Lampa.

CoaxCladder – additiv tillverkning med koaxiell trådmatning

Även tråd kan användas som tillsatsmaterial för additiv tillverkning. Högskolan Väst har gjort detta sedan 2006 och då tillfört tråden från sidan i processen.

– Nu kommer en annan lösning för trådmatningen. Precitec GmbH & Co KG i Gaggenau, Tyskland, presenterar ett processhuvud, CoaxCladder, där tråden matas koaxiellt, inne i laserstrålen, fram till processtället, berättar Hans Engström, Levitronics Lasersystem AB, som är representant för Precitec i Sverige, Norge och Danmark.

I CoaxCladder skapas först en ringformad laserstråle som sedan delas upp i två delar med en spalt emellan. Tråden förs in i strålen genom spalten och sedan fokuseras strålen och kommer att omsluta tråden och successivt värma och smälta denna fram mot processtället.

Precitec noterar flera fördelar med CoaxCladder:

- Hög processhastighet på upp till 5 m/min
- Hög materialutnyttjande
- Hög produktivitet pga. hög hastighet och högt materialutnyttjande
- Riktningsoberoende
- Stor tolerans i z-position
- Hög processtabilitet och låg miljöbelastning



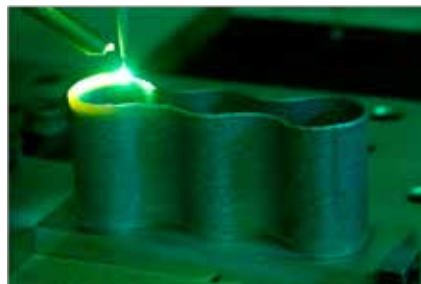
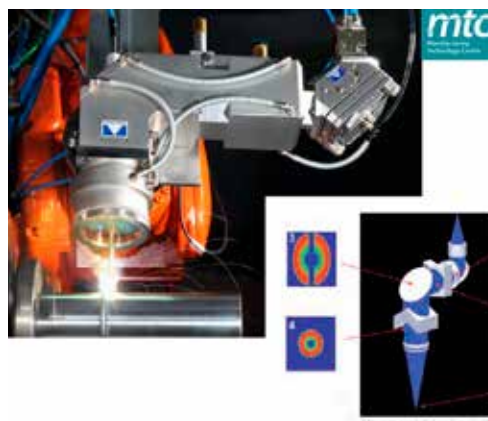
Bild 4.
Reparation av propelleraxel med laserpåsvetsning.

CoaxCladder klarar i dagläget 5 kW lasereffekt och använder tråddiametrar på 1–1.6 mm. Utrustningen är just nu under sluttestning och ska lanseras på marknaden under första kvartalet 2017, avslutar Hans Engström.

Laser Metal Deposition

– Trumpf arbetar också med additiv tillverkning med pulver, berättar Mikael Olsson, Trumpf Maskin AB i Alingsås. Vi kallar tekniken Laser Metal Deposition (LMD) och använder den för att bygga på 3D-ytor och reparationer. LMD kan också användas för att sammanfoga material.

Applikationer för LMD är bl.a. reparation av s.k. "blinks" (Blade Integrated Disc) som ger en kostnadsbesparing på 92%.



Man reparerar också ventiler, motorblock och glasformar. Andra applikationer är påsvetsning av eggar till knivar och knivblad för jordbruksindustrin. En vevaxel förstärks på delar som kräver högre hållfasthet. Tekniken gör det också möjligt att kombinera olika påsvetsmaterial för optimala prestanda.

Exempel på pulvermaterial är stål, rostfritt stål, titan, nickel- och kopparlegeringar. I många applikationer förstärks slitageegenskaperna genom att blanda in olika typer av karbider i metallpulvret.

Även fordonsindustrin har tillägnat sig tekniken med LMD. Några exempel på tillämpningar är påsvetsning av ventiler och kamaxlar.

Bild 5.
Precitec presenterar en ny lösning för trådmatning vid additiv tillverkning, CoaxCladder, där tråden matas koaxiellt inne i laserstrålen. Skyddsgas tillförs nu från sidan.



Bild 6.
Exempel på strukturer som tillverkats med CoaxCladder.

Flygmotorindustrin är en drivande kraft för att introducera LMD och här är möjligheterna goda till stora kostnadsbesparingar.

Additiv tillverkning kan också innebära att man utnyttjar en traditionellt tillverkad baskropp och på denna så skapar man 3D-strukturer som kan vara unika för en speciell detalj. Baskroppen kan dock vara densamma för många olika detaljer. Detta ger stor flexibilitet och stora möjligheter att tillverka skräddarsydda produkter i ett flertal kundanpassade varianter.

Man kan också kombinera olika processer som Laser Metal Fusion (LMF) svetsning och LMD. Gestamp kombinerar presshårdning och LMD för att öka styrkan i vissa detaljer. Bromsskivor kan tillverkas i två delar som sammanfogas med LMD.

– Trumpf har en robotcell TruLaserCell på upp till 4x2 m för LMD och där kan vi tillverka fina strukturer på 0.4 mm och grövre strukturer med bygghastigheter upp till 600 cm³/ min. I Sverige håller Lasertech LSH AB i Karlskoga på att ta i drift ett LMD-system, avslutar Mikael Olsson.

Additivt tillverkade produkter flyger

Högskolan Väst i Trollhättan är en av pionjärerna för additiv tillverkning.

– Vi började redan 2006, säger Kjell Hurtig, som arbetar i svetsgruppen vid Högskolan Väst, (HV) men vi använde då tråd som tillsatsmaterial. Den tekniken har vi utvecklat tillsammans med GKN Aerospace Engine Systems Sweden AB (f.d. Volvo Aero).



Bild 8.

En tillämpning av LMD är påsvetsning av funktionsytor. Här är eggen på knivbladet t.v. påsvetsad med ett nötningstål material vilket ökar livslängden 5 gånger. T.h. påsvetsad knivtallrik.



Bild 9.

Wolframkarbid (WC) i en NiCrBSi-matris är en vanlig kombination för att öka nötningstål hos detaljer som utsätts för slitage.



Bild 10.

Laserpåsvetsning av kamaxlar och laserpåsvetsad ventil.



Bild 7.

Reparation av Blisks och enstaka turbinblad. Kostnadsbesparingen vid reparation med LMD kan vara så stor som 92%.

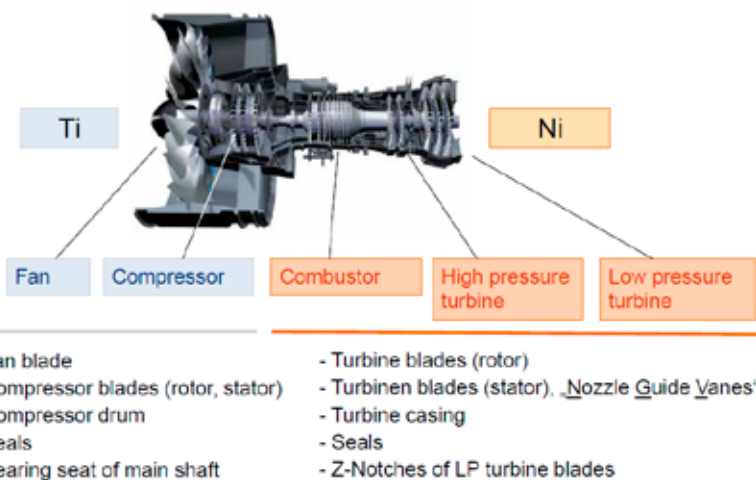


Bild 11.

Inom flygmotorindustrin finns det många tillämpningar för LMD.

Tråd som tillsatsmaterial ger hög depositions-hastighet, rent material och inget spill. Men värmeförlusten blir högre och det är svårare att kontrollera processen. Vi kan inte heller få riktigt tunna väggar, berättar Kjell vidare.

Arbetet med GKN har nu resulterat i flera applikationer som flyger. Ett stort forskningsarbete har genomförts vid HV för att få en automatisk kontroll av processen. Det innebär att efter varje lager så mäts produkten med scanning som sedan analyseras och som styr processen vid nästa lager som påsvetsas. Den processen används nu i ett robotsystem hos GKN som har vidareutvecklat och industrialiserat tekniken.

Högskolan Väst arbetar nu med att utveckla en metod för resistansmätning som ger korrelationer till geometrin.

– Inom svetsgruppen vid Högskolan Väst arbetar vi också mycket med forskning inom konventionell svetsning och svetsmetallografi, fortsätter Kjell. Vi forskar inom metallurgi, processutveckling (laser, TIG, CMT, MIG/MAG, plasma) och processsimulering och vi mycket bra utrustning. Vi håller nu på att installera en ny högfrekvens TIG och vi har också en ny maskin för svets-simulering och materialtestning (Gleeble 3800D). Vi utför också materialkaraktisering och annan svets-simulering, avslutar Kjell Hurtig.

Från industrialisering till digitalisering

Detta var rubriken för Andreas Graichens föredrag där han berättade om Siemens satsning på additiv tillverkning i Finspång. Han realiterade utvecklingen till den bekanta "hype-kurvan" som visar intresset över tid för ny teknik. Första fasen kännetecknas av snabbt ökande intresse för den nya tekniken. Här finns nya konstruktionslösningar att hämta och kan ge en snabbare utvecklingstakt mot högre produktivitet och större förtjänster. Kort sagt en ny megatrend har sett dagens ljus. Sedan följer fas två med en tid av "besvikelser" när man börja inse teknikens begränsningar och svårigheter och intresset dalar. Men sedan kan fas tre komma när intresset stadigt ökar igen och man tar tag i problemen och fortsätter att metodiskt utveckla tekniken.

Denna fas kallar Andreas Graichen för "digitalisering" och för additiv tillverkning hos Siemens så uppskattar han tidsramen för digitaliseringsfasen till ca tre år. För den additiva tillverkningen så inser man att man inte har tillräcklig kunskap om materialegenskaperna för additivt tillver-

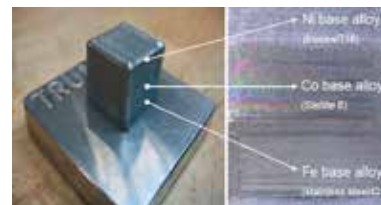


Bild 12.

Additiv tillverkning av impellerblad på en baskropp (t.v.). Tekniken gör det enkelt att variera läge, form, dimensioner för de strukturer man skapar. Även materialet i de skapade strukturerna kan varieras om det finns behov för detta. Dessutom är det möjligt att optimera den enskilda strukturen genom att skapa lager med olika material (t.h.)

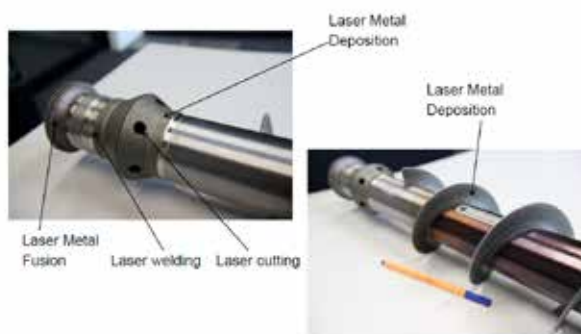


Bild 13.

Lasertekniken gör det möjligt att kombinera olika processer på en komponent.

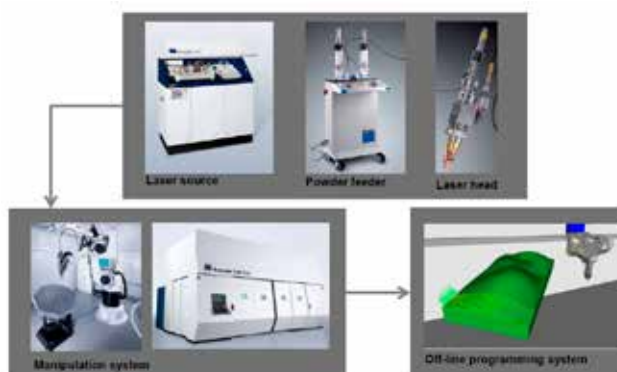


Bild 14.

Huvudkomponenter i ett system för additiv tillverkning med laser består av laserkälla, pulver- eller trådmatare, processoptik, manipulator samt off-line programmering.

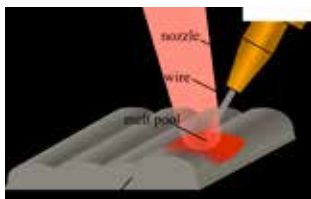


Bild 15.

Högskolan Väst har i samarbete med GKN Aerospace Engines Systems Sweden (f.d. Volvo Aero) utvecklat teknik för additiv tillverkning med tråd som tillsatsmaterial.



Bild 16

Ett exempel på additiv tillverkning av sk. "bosses" (överst) för komponenter inom flygindustrin. Tekniken gör det möjligt att använda mindre storlek på de högkvalitativa smidda ämnena som används till många komponenter i en flygmotor och på så sätt kan man göra stora kostnadsbesparingar. Närmast en detalj som tillverkats i samarbete med GKN som ett exempel på en state-of-the-art detalj.

kade komponenter. Det kan ta två år och kosta 2 M€ att ta fram den kunskapen för en materialkvalitet, enligt Andreas. Sen ser man att man inte heller har adekvata beräkningsmodeller att tillgå, som beskriver egenskaperna hos isotropt material och det måste man jobba med. Man inser att det måste till mera forskning om arbetsmiljön med att använda pulver i tillverkningen för att vara säkra på att personalen inte drabbas av arbetsskador. Man ser också att det saknas utbildning och att det finns en stark konservativ inställning hos konstruktörer och andra som bromsar utvecklingen.

Det fungerar inte heller med att göra 1:1 kopior av de detaljer man vill tillverka för att visa teknikens möjligheter. Det blir dyrt. Omkonstruktion som visar teknikens möjligheter är ett krav. Och här kommer då digitaliseringen in, enligt Andreas.

Men innan vi fortsätter på det spåret så berättar Andreas att Siemens i Finspång nu har 9 EOS-maskiner för additiv tillverkning. Det senast tillskottet är en modell M400 Quattro med fyra lasrar. Planerna är att i februari 2017 ska man ha 12 maskiner med totalt 24 lasrar. Man arbetar hittills med Ni-bas legeringar men även i rostfritt stål.

Vad är då digitalisering?

Andreas Graichen delar in utvecklingen i fem faser:

1. Prototyp tillverkning,
2. Kommersiell produktion,
3. Integrerad tillverkning,
4. Uppkopplade containerfabriker
5. "Skynet"

Siemens befinner sig nu mellan fas 2 och 3 och går alltså mot integrerad produktion.

Andreas beskriver också utvecklingen i flera nivåer:

- **Nivå 0:** Fysiska processer
- **Nivå 1 och 2:** Kontroll och styrning av tillverkning, t.ex. CNC-styrning
- **Nivå 3:** Operation Manufacturing Management. Till exempel affärssystemet SAP och Manufacturing Execution System (MES)

Siemens utvecklar nu nivå 3. Här ger Andreas flera exempel vilka problem brottas man med på denna nivå:

- Svårt att använda rätt och aktuell filtyp
- Ingen feedback från tillverkningen – automatisk återkoppling måste utvecklas
- Många olika IT-system som samverkar dåligt: Siemens har 5-6 olika programvaror.

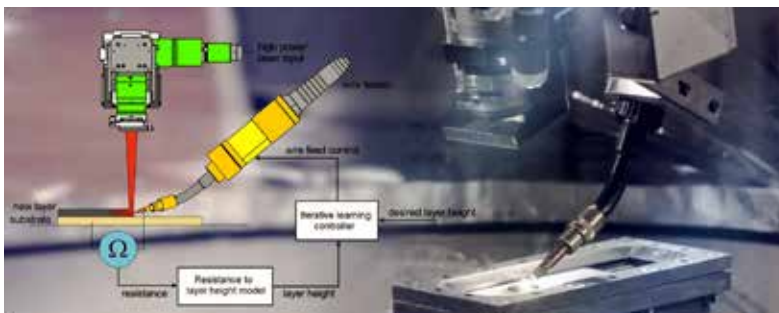


Bild 17.

Högskolan Väst arbetar med att utveckla resistansmätning vid LMD-processen som en metod för att kontrollera den svetsade komponentens geometri under tillverkningen. Med den tekniken vill man kunna identifiera var problem kan uppstå och kompensera för detta i förväg så att fel undviks.



Bild 18.

Brännare till gasturbin i centrum av bilden. Vid reparationen av brännaren tar man bort den främre delen och tillverkar en ny front direkt på brännarkroppen med additiv tillverkning.

- En tekniker, helst specialist måste övervaka processerna
- Mycket pappershantering
- Långsam beställningsprocess
- SAP känns svårarbetat – det pratar inte med Teamcenter (Siemens programvara)

Så sammanfattningsvis är dagens process ostrukturerad med dålig kommunikation och bristfällig återföring av information.

Men här finns nu Siemens oerhörda resurser i bl.a. programvaruutveckling att tillgå och Andreas känner så stor förtrostan att problemen och begränsningarna ska lösas att han är beredd att slå vad om detta. Han jobbar nu med att definiera problemen som datateknikerna ska lösa.

Andreas ser framför sig att tillverkningen ska styras via att s.k. QR-koder skannas in och att dessa matas in i MES. Processen ska också bli "självläkande", dvs. provning ska ske under tillverkningen och eventuella felaktigheter ska rättas till direkt så att inga defekta produkter tillverkas. Arbetsmiljön ska säkras genom automatisk rengöring av det tillverkade produkterna med robot.

Andreas ser additiv tillverkning som ett hopp för högkostnadsländerna när digitaliseringen är fullbordad. Då kan lönekostnaden hållas låg. Ett exempel kan vara att det bara behövs 2+2 timmars arbetstid för 160 timmars produktion.

Visionen för Andreas arbete är klar:

Att tillverka en produkt ska vara lika lätt som att skriva ut ett papper, säger Andreas Graichen.

Idag arbetar man bl.a. med reparation och nytillverkning med additiv tillverkning av brännare till gasturbiner

– Med den additiva tillverkningstekniken strävar man att minska vikten från 3,6 till 2,2 kg. Vid reparationen av brännarfronten svarar man bort den främre delen och den byggs sedan upp igen direkt på brännarkroppen med additiv tillverkning i några av EOS-maskinerna, fortsätter Andreas under vår rundvandring i den nya fabriken för additiv tillverkning. På en vecka kan vi tillverka 30 brännare (8 st/vecka och maskin) med nya brännarfronter, som också kan vara specialanpassade för olika kunder. Med den tidigare tillverkningstekniken tog det ca 30 veckor att tillverka 30 brännare. Den additiva tillverkningen minskar material- och energiförbrukning med upp till 50%.

– Den framtida brännarkonstruktionen ser man tunnare väggar förstärkta med fackverk säger Andreas Graichen.

Vi bjöds också på en rundvandring till den nya verkstaden för additiv tillverkning och den lasercell, Trumpf 10005 som

installerades 2009, guidad av Andreas och kollegan Jonas Eriksson. I lasercellen skär man hålen för turbinskovlar i kompressorsegmentringar med toleranser 0,02–0,08 mm. Funktionsytan är lite vinklad så att lodet som används för vakuumlödningen av bladen kan tränga in från undersidan. Skärtiden är ca 20 minuter per ring. I cellen så kör man också additiv tillverkning vid reparation av turbinskovlar. Man svetsar här på 2.5 mm material på kanten av turbinskovlarna med ett egenutvecklad legering. På vägen såg vi också den elektronsvets som används för att svetsa ihop rotor, skiva för skiva, till gasturbinerna.

Lite historia

Från Finspång har man under årens lopp, eller närmare bestämt sedan 1913 levererat 800 gas- och 2300 ångturbiner samt 50 kraftverk. Av dagens tillverkning går 90% på export och 90% av leveranserna har serviceavtal. Man är ISO 14001 certifierade och betraktar sig själva som ett miljöföretag.

Företagets historia sträcker sig tillbaka i tiden till 1496 då ett järnbruk startades i Finspång. Verksamheten övergick till att tillverka kanoner och kanonkulor och drevs av under 200 år av släkten de Geer. Den sista kanonen tillverkades 1912. År 1913 startade bröderna Birger och Fredrik Ljungström företaget Svenska Turbinfabriksaktiebolaget Ljungström (STAL) och började tillverka ångturbiner. Företaget förvärvades 1916 av ASEA. Gasturbinerna kom till under 1940-50 talet. År 1959 slogs företaget samman med AB de Laval's Ångturbin i Stockholm och bildade Turbin AB de Laval Ljungström, som 1962 bytte namn till STAL-LAVAL Turbin AB. Efter att Asea gått samman med Brown Boveri till ABB 1988 ändrades namnet till ABB STAL AB. Detta bolag kom senare att gå samman med Alstom och idag är verksamheten uppdelad mellan Alstom (Alstom Power Sweden AB) och Siemens, (Siemens Industrial Turbomachinery AB).

I Finspång började man med laserpåsvetsning 2003/2005 och med additiv tillverkning 2006.

Sedan 2009 arbetar man med SLM-tekniken (Selective Laser Melting) och 2016 invigdes den nya verkstaden för Additiv tillverkning.

LaserNytt tackar för ett synnerligen intressant besök där vi fick en försmak av den nya tillverkningsteknologi som förväntas få ett stort genomslag inom tillverkningsindustrin.

Vi önskar Andreas Greichen och



Bild 19. Deltagare vid Laserdagen hos Siemens Industrial Turbo Machinery AB i Finspång. I mitten (i blå skjorta), vår värd Andreas Graichen och snett bakom honom t.h. kollegan Jonas Eriksson samt längst till höger (i röd jacka) kollegan Dr. Pajazit Avdovic.



Bild 20. Gasturbin SGT 800 levereras med effekt upp till 54MW. Överst. en komplett gasturbin installation.



Bild 21. Turbinrotor till 50 MW Ljungströmturbin. Radialturbinhjul i centrum kombinerat med axialturbiner ytterst.

Siemens Industrial Turbo Machinery AB

Siemens Industrial Turbomachinery AB i Finspång tillverkar idag gasturbiner i effekt-klass 5–60 MW. Man har 2700 anställda i Finspång och 100 i Trollhättan. Omsättningen 2015 var 11 miljarder kronor. Sedan 2003 tillhör man Siemens, ett världsledande företag med 340 000 anställda och med huvudkontor i München. Man förser industrin med kraft och kan leverera kompletta energilösningar. Olje- och gasindustrin är stora kunder.

Högskolan Väst

Omkring 70 forskare vid Högskolan Väst bedriver sin forskning inom den vitala forskningsmiljön Produktionsteknik Väst. Utmärkande för Produktionsteknik Väst är forskarnas nära samarbete med industrin. Gruppen finns på Produktionstekniskt Centrum, PTC, som drivs gemensamt av Innovatum Teknikpark, ett tekniskt utvecklingscentrum, Högskolan Väst och regionens verkstadsindustri. I Produktionstekniskt Centrums lokaler finns ett mycket välutrustat verkstadstekniskt laboratorium som forskarna och deras samarbetspartners använder. Produktionsteknik Väst har också ett livligt internationellt samarbete och många utländska medarbetare.

hans team lycka till i utvecklingsarbetet och vi ser fram emot förnyade besök i framtiden. ■

Högklassig tysk laserkonferens med flera internationella inslag

Johnny K Larsson,
 Autokropolis Engineering

Sedan ett antal år tillbaka arrangerar Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff- und Strahltechnik] ett internationellt lasersymposium i Dresden. Arrangemanget går av stapeln vartannat år, och i februari i år var det dags för över 420 laserintressenter att träffas för att få oss till livs de senaste innovationerna i branschen. Detta tvådagarssymposium föregås av några kurser för "lasernybjörjare" samt ett kvällsarrangemang i IWS' lokaler med handgripliga presentationer av de forskningsprojekt som för tillfället genomförs vid institutets applikationslaboratorium. Själva symposiet är sedan förlagt till ICC [International Congress Center], vilket ligger i anslutning till hotell Maritim där merparten av delegaterna var inkvarterade. Detta är del 2.

Additiv tillverkning

Cristoph Leyens fortsatte sitt ordförandeskap under den efterföljande sessionen kring additiv tillverkning vilket är dennes speciella kompetensområde. Förste talare var här Dr. Kai Schimanski från Premium Aerotech som redogjorde för ett antal additivt tillverkade komponenter åt Airbus, såsom en bioniskt designad konsol för A350, hydrauliska komponenter för A320 där SLM-tekniken möjliggjorde viktsbesparingar, samt komponenter i bränslesystemet för A400 där drivkraften för AM [Additive Manufacturing] var kostnadsfördelar och ledtidförkortning. Några SLM-tillverkade konsoler till Ariane 5-raketen togs också vilka var konstruerade enligt principen med "bionic design".



struerade enligt principen med "bionic design".

På sikt hoppas man vid Premium Aerotech kunna effektivisera pulverbäddsteknologin, vilken fortfarande är en alltför långsam process. Första steget i denna riktning togs i och med invigningen av den "AM-fabrik" som invigdes i januari i år och har en årlig produktionskapacitet på 100.000 timmar. Nästa år räknar man med att kunna öka denna till 200.000 timmar för att slutligen hamna på 2 miljoner tillgängliga SLM-timmar år 2020! Alla stationerna styrs i god "Industry 4.0"-anda med "smart-phones". En av de första applikationerna från denna "AM-fabrik" var en Titanium-ram till A350 vilken tog 10 dagar att tillverka i pulverbädd, vilket Dr. Schimanski ansåg vara en alldeles för lång tid. Olika lösningar med HDR [High Deposition Rate], alternativt kombinerad maskinbearbetning och additiv tillverkning, kan vara lösningar på detta problem.

Dr. Leyens kollega från IWS, Dr. Frank Brückner, gav något av en förkortad grundkurs då det gäller additiv tillverkning, vilken han hade delat upp i huvudtemana konstruktionsriktlinjer, processplanering och efterbearbetning. Då det gäller uppbyggnaden "lager-för-lager" är det oundvikligt att man får en trappliknande form, vilken blir alltmer accentuerad ju

Dr. Leyens kollega från IWS, Dr. Frank Brückner, gav något av en förkortad grundkurs då det gäller additiv tillverkning, vilken han hade delat upp i huvudtemana konstruktionsriktlinjer, processplanering och efterbearbetning. Då det gäller uppbyggnaden "lager-för-lager" är det oundvikligt att man får en trappliknande form, vilken blir alltmer accentuerad ju



Figur 28.
 Ett exempel på "bionic design" där laserparametrarna vid SLM valts på ett sådant sätt att man erhåller ett hårt ytskikt men en mer porös kärna.

tjockare varje lager är. Därför bör man arbeta med så tunna lager och fint pulver som möjligt i områden av komponenten som kräver hög noggrannhet. Vidare bör den stödstruktur som oftast krävs vid SLM-tillverkning avlägsnas på ett varsamt sätt för att inte påverka komponentens geometri. Andra konstruktionstips adresserade cellstrukturer, topologioptimering och "bionic design". Den senare kan t.ex. vara i form av ett hårt ytskikt men med en mer porös kärna [Fig. 28]. Pulvrets renhet kan ha en påverkan på SLM-processen, och likaledes kan användandet av s.k. graded materials (olika pulvereigenschaften i olika lager) kräva varierande processparametrar.

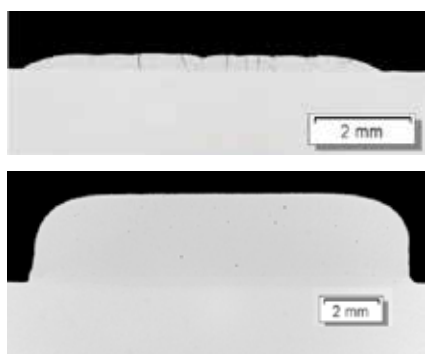
För att undvika uppkomsten av sprickor då man arbetar med sprickkänsliga material kan SLM-processen kombineras med någon form av induktiv uppvärmning [Fig. 29]. Processkontroll och -övervakning är andra hjälpmedel för att säkerställa en korrekt formuppbbyggnad och komponenternas egenskaper kan förbättras genom olika former av efterbearbetning som exempelvis värmebehandling. För att slutligen erhålla en acceptabel ytkvalitet nämnde Dr. Brückner olika former av polering såsom laserpolering, elektrolytisk dito, eller vibrationspolering. Här är det viktigt att välja en kostnadseffektiv metod så att de ekonomiska fördelarna med additiv tillverkning inte "äts upp" av en kostsam efterbearbetning. På senare tid har vi även fått se olika former av "kombi-maskiner" där LMD [Laser Metal Deposition] kombineras med fräsning och skärning i en och samma maskin. Ett sådant exempel visades upp i

form av en DMG-Mori-maskin sammanbyggd med en Lasertec 65 3D. Avslutningsvis illustrerade Dr. Brückner olika NDT [Non-Destructive Testing]-metoder för att fastlägga egenskaper som densitet, ytfinitet, hållfasthet, restspänningar, geometri och hårdhet. På en fråga från auditoriet om huruvida pulvret från använda stödstrukturer kunde återanvändas ville Dr. Brückner inte rekommendera detta, då materialet redan har påverkats genom den tidigare SLM-processen.

En mer applikationsinriktad presentation hölls av Dr. Harald Kissel från General Electrics Schweiz-avdelning och handlade om SLM-tillverkade gasturbinsdetaljer. Metodens huvudsakliga fördelar ligger i en kortare produktutvecklingsprocess och ett smart sätt att tillverka reservdelar och undvika stor lagerhållning av komponenter. Dessa kan indelas i två grupper; brännkammardetaljer och turbindetaljer. Bland de förstnämnda hittar vi brännare, virvelhjul, foder, paneler och dämpare. Den andra gruppen innefattar värmesköldar och turbinblad. Exempel på de senare var en SLM-tillverkad värmesköld med integrerade kylkanaler i materialet SHS-A, vilket skall kunna klara 1000 °C under 4-5 års kontinuerlig drift, samt reparation av förslitna toppytor på HPT [High Pressure Turbine]-blad [Fig. 30]. Dyliga gasturbiner kan långtidsprovas i GE:s anläggning i Birr. För oförstörande provning använder man sig företrädesvis av digital röntgen alternativt värmetomografi. På önskelistan för framtiden såg Dr. Kissel en utökad användning av skräddarsydda pulvermaterial och olika verktyg för optimering av konstruktionen givet

de speciella förutsättningar som föreligger vid additiv tillverkning. På maskinsidan efterlyste han en mer optimerad avkylning under uppbyggnaden av SLM-objektet, något som dagens maskinpark inte tar hänsyn till. Slutligen saknas också någon form av "closed loop"-system vid pulverbäddstillverkning.

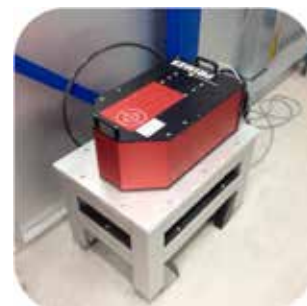
Nästa session handlade om laserpåläggning och inleddes av Bernd Baufeld från University of Sheffield och dess institution Nuclear AMRC [Advanced Manufacturing Research Centre] där man har en storskalig anläggning för LMD med assistans av en diodlaser. Säkerhetscellen mäter 10x10x5 meter och är försedd med en femaxlig KUKA-robot kombinerad med en 8 meter lång åkbana, en rullande lägesomställare med vridbord som kan hantera objekt med 3 m radie och en vikt på ett ton [Fig. 31]. Laserkällan är en 15 kW diodlaser från Laserline med en strålkvalitet på 100 mm*mrad. Man använder tre olika diametrar för distributionsfibern; 1,0, 1,5 och 2,0 mm, och fokallängden kan



Figur 29. Genom att kombinera SLM-processen med induktiv uppvärmning kan uppkomsten av sprickor elimineras. Överst t.v. Ti6Al4V belagts med Ti-43Al-4Nb-1Mo-0.1B utan någon extra uppvärmning, och därunder en fullständigt sprickfri påläggning av samma material men nu understödd av en induktiv uppvärmning.



Figur 30. Några gasturbindetaljer tillverkade alt. reparerade med SLM-teknik; en värmesköld i materialet SHS-A med integrerade kylkanaler samt en försliten toppyta på ett HPT-blad.



Figur 31. Den storskaliga laserzellen vid Nuclear AMRC mäter 10x10x5 meter och är försedd med robot, åkbana, lägesomställare och en 15 kW diodlaser. Man har tillgång till olika laserverktyg såsom COAX11 med rektangulär fokalpunkt och Primes' FocusMonitor® för kontroll av lasereffekten.

varieras mellan 129-500 mm. Detta gör att fokalpunktens diameter på arbetsstycket kan väljas från 1,2 mm ända upp till 14 mm! Man bedriver en hel del experimentell laserpåläggning på uppdrag av Rolls-Royce, och för detta ändamål har man tillgång till tre olika IWS-verktyg; COAX8 med en konisk pulvertillförsel, COAX12 med fyra separata utlopp för pulvret samt COAX11 som erbjuder en rektangulär fokalpunkt med upp till 45 mm sida! Man använder Primes' FocusMonitor® för att mäta lasereffekten, men även för att kontrollera TCP [Tool Center Point], något som är av avgörande betydelse för ett framgångsrikt påläggningsresultat. Laserkällans råstråle har en diameter på 8,6 mm och skärpedjupet uppgår till hela 118,5 mm!

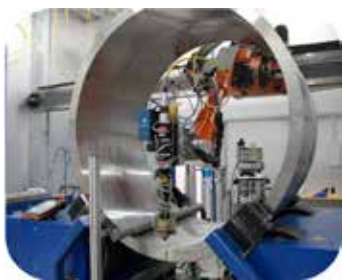
Som praktikfall visade Dr. Baufeld hur cylindrar med 2 meters diameter i materialet SA508 hade belagts med rostfritt 316L [Fig. 32]. Den tilltänkta applikationen är att förbättra korrosionsmotståndet hos tryckkärl. Pulvermatningen uppgick till 2 kg/tim och påläggningsspåren utfördes med 50%-igt överlapp. Tjockleken i de pålagda skikten var 1,4-1,7 mm och den värmepåverkade zonen hade ett djup kring 1,5 mm, medan diffusionen in i substratet kunde begränsas till blott 10 µm. Då man belägger cylinderytor är risken stor för återreflexion av laserstrålen varför orienteringen av laserstrålen i förhållande

till ytans rotationsriktning är viktig. Vidare hade man genomfört ett långtidsprov där två cylindrar vardera belagts kontinuerligt under 21 timmar. Här var deponeringshastigheten 0,20 m²/tim eller 2,9 kg/tim med en utnyttjandegrad av pulvret på 93%! Andra uppdrag från RollsRoyce var att belägga valsar och ventilsäten med slit-skydd, samt att öka korrosionsskyddet på stora ytor genom laserpåläggningen med lämpliga pulvermaterial. Fortsatt forskning kommer att handla om att effektivisera påläggningen genom att exempelvis använda större munstycken där man tror sig kunna nå prestanda omkring 1 m²/tim eller 11 kg/tim. Kärnkraftsindustrin bedöms kunna bli en stor avnämare av laserpåläggning i framtiden, och vid AMRC kommer man därför att undersöka relevant pulvermaterial, beläggning av komplexa geometrier och dito inuti rör med liten invändig diameter.

En bekant herre i dessa sammanhang är Dr. Florian Wagner från Gall & Seitz Systems GmbH i Hamburg, som gjorde en "bejublad" presentation vid LAF [Laser AnwenderForum] 2014. Detta företag ägnar sig främst åt rekonditionering och reparation av komponenter till fartygsmotorer som t.ex. drivaxlar, kamaxlar, kolvar, styrklaffar på turbiner etc. Man utvecklar egna verktyg och maskiner för detta, som exempelvis deras ALF [Automated Laser Factory], och har välutrustade applika-

tionslaboratorium i såväl Tyskland som Japan och Singapore. I Hamburg har man tillgång till en sexaxlig KUKA-robot med lägesomställare, en nd:YAG-laser samt en pulvermatningsenhet, och man arbetar med såväl nickel- som kobolt- och kopparbaserade pulvermaterial. I en ALF-maskin hade man reparerat tätningsringskanalen på kolvar tillverkade i gjutjärn [Fig. 33]. Den skadade kanalen hade belagts med GGG60-material och därefter maskinbearbetats till färdig storlek, där bredden låg mellan 4,5-8 mm och djupet mellan 8,5-12 mm beroende på kolvtyp. Kolvarna hade därefter långtidsprovats under 17.000 timmars drift varefter de uppvisade en försumbar förslitning på 0,01 mm!

Företaget har även lanserat en mobil enhet namnet MoRU [Mobiler Roboter Unit] för att kunna utföra laserpåläggning på stora komponenter som är svåra att förflytta. Ett exempel på en sådan applikation utgjordes av en drivaxel till ett tankfartyg. Denna axel, som väger cirka 25 ton och var tillverkad i C45-stål, mätte 9 meter i längd, hade en diameter på 550 mm och ändflänsar med 1.260 mm diameter. Det var just dessa ändflänsar som behövde rekonditioneras varför ytorna slipades ner 4 mm och belades med Inconel625 [Fig. 34]. Här använde man 1,5 kW från en IPG fiberlaser och processhastigheten var 1,5 m/min. Varje pålagt skikt hade en tjocklek



Figur 32. Cylindrar i SA508-material och en diameter på 2 m belades med rostfritt 316L. Skiktjockleken låg mellan 1,4-1,7 mm och påläggningsspåren lades med 50% överlapp.



Figur 33. Övan principen vid rekonditionering av tätningskanaler, och längst t.h. en reparerad kolv efter 17.000 timmars drift med blott 0,01 mm förslitning.



Figur 34. De förslitna ändflänsarna på en 9 meter lång drivaxel till ett tankfartyg rekonditionerades medelst laserpåläggning. Då axeln väger 25 ton använde Gall & Seitz Systems sin mobila enhet MoRU, vilken även kom till användning vid reparationen av drivaxeln till en kabeltrumma men då fick lov att hissas upp via en rörlig plattform då distributionsfibern från laserkällan visade sig vara 7 meter för kort.

på 0,8 mm och totala påläggningen uppgick till cirka 6 mm i tjocklek. Den mobila enheten hade också kommit till användning då drivaxeln till en kabeltrumma på en bro skulle lagas. Då bron var 47 meter hög och distributionsfibern inte mer än 40 m fick MoRU-fordonet hissas upp via en rörlig plattform varpå beläggning med Inconel kunde genomföras till en total-tjocklek på 1,2 mm.

En annan välkänd profil i lasersammanhang är sympatiske Dr. Stefan Kaierle, som numera är institutionsföreståndare vid LZH [LaserZentrum Hannover]. Han berättade om ett praktikfall där turbinblad hade reparerats med enkelkristallinskt pulver och inte med polykristallinskt vilket är det vanligast förekommande. Det senare har emellertid sina begränsningar i form av sämre materialegenskaper, vilket i sin tur begränsar de reparerade komponenternas livslängd. Att laserbelägga med enkelkristallinskt pulver är idag fortfarande i sin linda och den enda industriella applikationen utgörs av René N4/N5 lagt på den nickelbaserade superlegeringen CMSX-4, medan forskning pågår för att kunna belägga med ett pulvermaterial som är liksint med substratets material. Laserkällan utgjordes av en LDF-650 från Laserline vilken kombinerar våglängder mellan 840-980 nm. Vidare användes en pulvermatare från GTV, ett vid LZH egenutvecklat påläggningsverktyg och en 3 kW

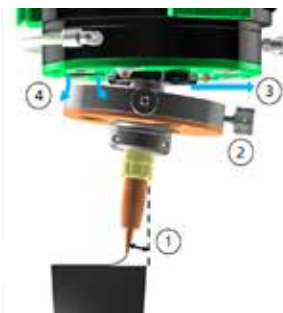
induktionsenhet från IEW för att skapa en förvärmning på 650 °C, vilket tillsammans med en aktiv kylning begränsar inverkan från de temperaturgradienter som genereras vid LMD-processen. Därmed undviker man uppkomsten av sprickor i de pålagda skikten. Temperaturen kontrollerades med pyrometrar av modellerna MQ22 och HQ22 från företaget Sensortherm. Fokalpunktsdiametern var 860 µm, processhastigheten 100 mm/min och pulvermatningen låg kring 3 g/min. För att få en homogen orientering av påläggningens dendritstruktur är det nödvändigt att optimera såväl processparametrar som förvärmning. På så sätt visade det sig i experiment vara möjligt att belägga ett CMSX-4-substrat med ett pulver av samma kvalitet. Genom att omsmälta det tidigare pålagda skiktet kan dendritorienteringen ytterligare förbättras [Fig. 35], och här nådde man de bästa resultaten med 300 W lasereffekt, 200 mm/min i processhastighet med en 45°-ig infallsvinkel på laserstrålen.

Sebastian Thieme från IWS redogjorde för det speciella verktyget COAXwire, vilket som namnet antyder är avsett för påläggning och additiv tillverkning med trådmaterial. Detta verktyg är mycket kompakt i sin uppbyggnad, väger cirka 13 kg och kan hantera lasereffekter upp t.o.m. 4 kW. Laserstrålen delas i tre, vilka har en infallsvinkel på 40° till en gemen-

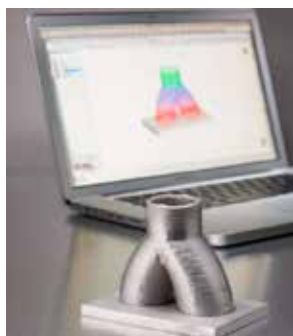
sam fokalpunkt. Med en Laserline LDF-4000-30-källa får då denna en diameter på 2 mm projicerad på arbetsstyckets toppyta, och avståndet mellan optik och trådens utstick ligger på 85 mm. Denna kan på ett användarvänligt sätt justeras i samtliga tre koordinatriktningar. Andra finesser hos verktyget är att det är utrustat med kollisionsskydd som automatiskt stänger av lasern. Vidare används en "cross-jet" för att skydda optiken från metallsprut och en "down-jet" som håller borta sotpartiklar från strålgången [Fig. 36]. För att övervaka påläggningsprocessen används temperaturkontroll med det vid IWS utvecklade verktyget E-MaqS, en extern kameraövervakning samt effektkontroll. Vid påläggning med sprickkänsliga material kan verktyget kombineras med en induktionsspole. Dr. Thieme avslutade sin redogörelse med två praktikfall. I det första hade man lagt Inconel 625 på en stålstav och här nyttjades 3,5 kW lasereffekt vilket gjorde att processhastigheten kunde hållas så hög som 3 m/min. Tråddiametern var 1,0 mm och påläggningsspåren överlappade varandra med 50%. Med dessa förutsättningar kunde man deponera 2 kg/tim eller 230 cm³/tim, och skiktjockleken låg kring 1 mm med 9% inlösning i substratmaterialet [Fig. 37]. Det andra exemplet handlade om att bygga en grenrörsstruktur i AlMg5. De två första skikten byggdes med 4 kW



Figur 35. Genom att omsmälta det tidigare lagda CMSX-4-skiktet kan man få en mer homogen orientering av materialets dendritstruktur, vilket framgår av den undre bilden.



Figur 36. Verktöget COAXwire är avsett för laserpåläggning med tråd. Laserstrålen delas upp i tre strålar med 40° infallsvinkel och trådutsticket är 85 mm. Längst t.h. ses kollisionsskydd (1), injusterings av trådens läge (2), "cross-jet" (3) och "down-jet" (4).



Figur 37. Övan laserbeläggning med en 1,0 mm grov Inconel625-tråd gav cirka 1 mm skiktjocklek och 9% inlösning i substratmaterialet. T.h. en grenrörsstruktur uppbyggd av 120 lager i materialet AlMg5.

effekt medan man endast använde 2,5 kW för de efterföljande då man kunde nyttja värmetransmissionen från de tidigare lagda skikten. Även här använde man en 1,0 mm grov tillsatstråd som smältes ner till skikt om 0,7 mm tjocklek. Processhastigheten var 1,6 m/min och totalt krävdes 120 skikt för att fullborda komponenten [Fig. 37]. Detta innebar en total tillverkningstid på 50 minuter, där lasern var påslagen under ungefär halva den tiden, och uppbyggnadseffektiviteten blev 0,2 kg/tim eller 80 cm³/tim.

Siste talare i denna session var Jürgen Silvanus från Airbus som spann vidare på temat om trådbaserad LAM. Inledningsvis visade han upp en mellanvägg till ett besättningssäte för "take off" och "landing", vilket innehöll en stomme tillverkad med SLM-teknik enligt principen "bionic design", och därpå visade han den klassiska gångjärnskonsolen till Airbus A350 tillverkad med Ti6Al4V-pulver och resulterande i en viktsbesparing på 30% [Fig. 38].

Därefter gick han vidare med att jämföra SLM med laser alternativt elektronstråle med tråduppbyggda LMD-strukturer. De senare har egentligen ingen storleksbegränsning, medan de SLM-baserade processerna kräver en vakuum-

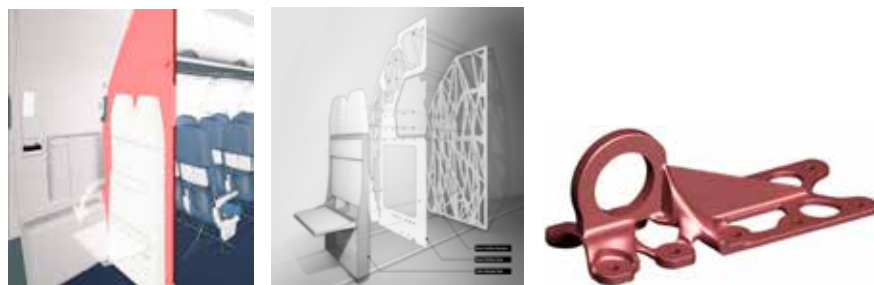
eller Argonkammare som sätter gränsen för objektens storlek. Å andra sidan möjliggör pulverbäddsvarianten mer komplexa strukturer eller "near-net-shape". Man hade tillverkat provobjekt med tre olika utrustningar, Arcam A2 [elektronstråle], EOSINT M250 [laser + pulver] och en egenutvecklad AIRBUS-variant [laser + tråd], för att undersöka egenkapsskillnader. Vid utmattningsprovning kunde en brytpunkt kring 10.000 lastcykler identifieras. Vid längre livslängder var den trådbaserade laservarianten överlägsen [Fig. 39], följt av elektronstråle och laserbaserad pulverbäddsteknik, medan metoderna rankades i omvänd ordning vid korta livslängder och höga laster! Livslängden hos de pulverbaserade varianterna kunde emellertid avsevärt förbättras genom en efterföljande HIP [High Isostatic Pressure]-process vid 1.000 bar. Laserkällan i de experimentella försöken var en disk laser från Trumpf och här gick det att konstatera att lasereffekten har ett avgörande inflytande på kvalitén vid trådbaserad påläggning. Vid för hög effekt bildas stelnade droppar, medan en för låg effekt inte smälter ner tråden fullständigt. Ett lämpligt effektområde fanns ligga mellan 1,3 och 1,8 kW. Vid flersträngs-

uppbyggnad bör lasereffekten succesivt minskas då man annars får variationer i hårdheten p.g.a. olika avsvlningsförhållanden. Till sist informerade Dr. Silvanus om det BMBF [BundesMinisterium für Bildung und Forschung]-finansierade projektet PROGEN. Inom ramen för detta avser man att utveckla fluxfyllda trådar för LMD i materialen AlMgSc, AlSi, INVAR och Inconel718, och ett annat arbetspaket handlar om robotiserad maskinbearbetning av LMD-strukturen till "färdig form".

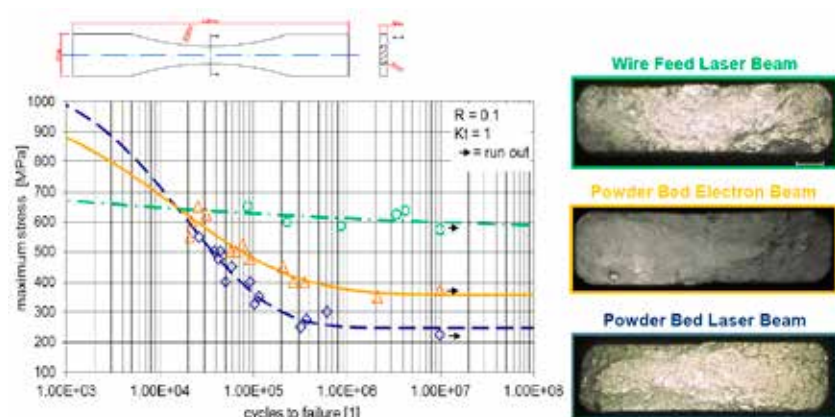
Lasersystem och komponenter

En av mina gamla "trätoberöder" då det gäller att bedöma fiberlasrarnas förträfflighet är Berthold Kessler från IPG Laser i Burbach, och denna gång hade han valt att berätta om hur man med statisk alternativt dynamisk strålformering kan förbättra resultatet vid svetsning av lättviktslegeringar som aluminium och koppar. Han visade ett exempel där man med spegeloptik oscillerade laserstrålen i olika mönster tvärs framföringsriktningen för att på så sätt skapa en cirkulär smälta i stället för en avlång sådan, vilket är fallet vid konventionell svetsning. Amplituden var 15 mm, "scanning"-frekvensen 300 Hz och fokallängden 500 mm. Med denna uppställning gick det att svetsa aluminium porfritt även vid en så hög effekt som 8 kW [Fig. 40].

Däremot har fiberlasrar hittills varit mindre lämpade för kopparsvetsning p.g.a. att de arbetar med våglängder som har låg absorption i detta material. Här visade sig ett cirkulärt oscilleringsförfarande med 0,4 mm amplitud och 300 Hz frekvens, i kombination med hög energitäthet i fokuspunkten, ge goda resultat [Fig. 41]. I dessa försök låg framföringshastigheten



Figur 38.
T.v. en SLM-tillverkad mellanvägg till ett besättningssäte för ett flygplan, och ovan en klassisk Airbus' gångjärnskonsol.



Figur 39.
Vid utmattningsprovning av provkroppar tillverkade genom additiv tillverkning är den trådbaserade varianten i grönt överlägsen vid längre livslängder, medan rangordningen mellan metoderna blir den omvända vid "höga engångslaster":



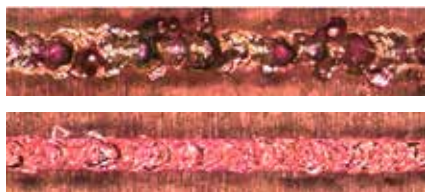
Figur 40.
IPG har tagit fram ett verktyg där man med spegeloptik kan oscillera laserstrålen med hela 15 mm amplitud. Detta bidrar till att man kan svetsa aluminium porfritt även då höga lasereffekter används.

kring 1 m/min vid 1 kW effekt. Mängden svetssprut, som är en konsekvens av koppars låga ytspänning, kunde minimeras samtidigt som man observerade att svetsprocessen var tämligen opåverkad då olika förbehandlingsmetoder av kopparytan provades. Det sista exemplet på dynamisk strålformering handlade om elektrostål som svetsades med ett s.k. Infinity-mönster [= 8-form] med 200 Hz frekvens och 2,5 mm amplitud. Här använde man 1,2 kW och en framföringshastighet på 1 m/min. Resultaten blev extremt homogena svetsar utan några gap mellan de tunna elektrostål-membranen [Fig. 41]. Därefter gick Herr Kessler vidare med att beskriva IPGs TriFocal-koncept som är en form av statisk strålformering. Lösningen beskrev jag detaljerat i min rapportering från årets EALA-konferens, men principen är att distributionsfibern består av tre fiberkärnor vilka sammanförs i ett kvartsblock vid bearbetningsverktyget. De två sidofokier har som uppgift att rengöra/förbehandla substratytan varpå den bakomliggande huvudfokalpunkten utför själva processen, vilken kan vara såväl laserlödning av varmförzinkad stålplåt som svetsning av olika aluminiumlegeringar. Avslutningsvis slog Berthold ett slag för IPGs nya, miljövänliga ECO-serie med > 50% WPE [Wall Plug Efficiency]. Dessa kan fås med en BPP [Beam Parameter Product] på 2 mm*mmrad upp till 6 kW effekt, och med 4 mm*mmrad i BPP upp till 30 kW!

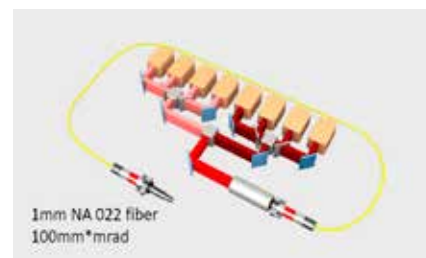
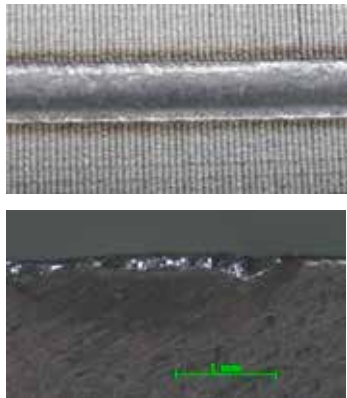
Wolfram Rath från Rofin-Sinar Laser i Hamburg beskrev hur man tillgodogjort sig förvärvet av det diod-tillverkande företaget DILAS. Sålunda kan man idag erbjuda direktverkande diodlasrar med upp till 6 kW effekt, men dioderna används

även som pumpmoduler i Rofin-Sinars fiberlasrar. De senare kan fås som SM [Single Mode]-lasrar med strålkvaliteten 0,4 mm*mmrad upp till 2 kW effekt, eller som multi-mode varianter upp till 8 kW lasereffekt och då med strålkvaliteter mellan 1,8-44 mm*mmrad. Emellertid låg tyngdpunkten i presentationen på företagets DF-serie av direktverkande diodlasrar. Dessa byggs upp i moduler om 1 kW [Fig. 42], vilket gör att dessa blir lätta att byta ut vid eventuella haverier, och den kraftfullaste versionen levererar 8 kW. Denna bygger, liksom 6 kW-enheten, på våglängdskoppling av de två våglängderna 940 och 980 nm. Strålkvaliteten ligger kring 100 mm*mmrad med en N.A. [Numerisk Apertur] på 0,22. Två kylvattensystem finns i kontrollenheten; ett på 22 °C för dioderna och ett på 34 °C för optiken, och huvudsakliga användningsområden är påläggning, lödning och härdning. Den senaste produkten i denna familj är DF 040 HQ där man multiplexar fem olika våglängder till en "standard"-strålkvalitet på 25 mm*mmrad, och där distributionsfibern är 600 µm i diameter [Fig. 43]. Man siktar även mot högre effekter på 6 och 8 kW och då med avsikt att skapa stora fokalpunkter [> 1mm] lämpliga för härdning, lödning och påläggning. Här antas strålkvaliteten ligga på 100 mm*mmrad med cirka 1 mm tjocka distributionsfibrer. Dr. Rath avslutade med att ge oss en WPE-siffra för denna nya serie av diodlasrar – 30%.

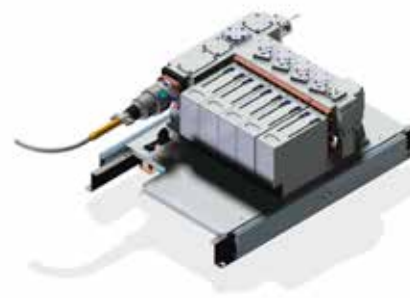
Matthias Koitzsch [Trumpf Laser und Systemtechnik GmbH] lärde jag känna vid fjolårets ICALEO-konferens, och därför kände jag igen en hel del av hans presentation rörande svetsning med "grön våglängd". När det gäller svetsning av



Figur 41.
Ovan t.v. lasersvetsning av koppar med 1 kW effekt och därunder ett betydligt mer tilltalande utseende då s.k. dynamisk strålformering. Denna teknik är också användbar vid lasersvetsning av tunna elektrostål.



Figur 42.
Rofin-Sinars diodlasrar byggs upp i moduler om 1 kW, och där man använder sig av koppling av de två våglängderna 940 och 980 nm.

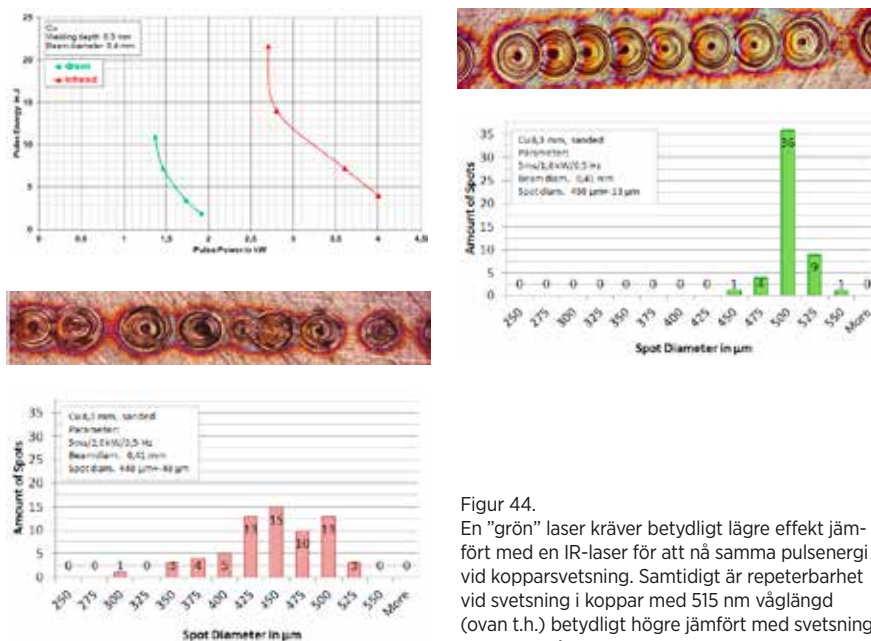


Figur 43.
DF 040 HQ är den senaste produkten i Rofin-Sinars diod-laserserie där man multiplexar fem olika våglängder för att få en resulterande strålkvalitet på 25 mm*mmrad.

högreflektiva material såsom koppar har våglängden 515 nm många fördelar jämfört med den mer traditionella 1 µm-våglängden. Sålunda är inkopplingen vid rumstemperatur sex gånger högre, vilket medför en produktivitet vid värmeledningssvetsning som är mellan 2-3 gånger större jämfört med IR [InfraRed]-våglängder. Även processhastigheten vid pulsad och kontinuerlig nyckelhålssvetsning ligger 100 respektive 30% högre, samtidigt som sprutbenägenheten är betydligt lägre. I försök hade 0,3 mm tunna kopparfolier svetsats med dels en infraröd TruPulse 62-laser, dels med en "grön" TruDisc Pulse421. För båda lasertyperna hade fokuspunkten satts till 0,4 mm diameter, penetrationsdjupet 0,3 mm samt pulslängden 5 ms, men medan 1µm-lasern krävde en medeleffekt på 2,6 kW för att klara uppgiften behövde den gröna lasern blott motsvarande 1,6 kW [Fig. 44]. Den sistnämnda har även visat sig klara sprutfria penetrationsdjup ner till 1,3 mm. P.g.a. den höga reflexionen vid IR-svetsning kan man ej använda skyddsgas, men då det är frågan om "grön våglängd" visade Dr. Koitzsch på framgångsrika resultat där såväl Argon som Nitrogen använts som skyddsgas vilket naturligtvis minskar porformering och ytterligare höjer svetskvaliteten.

Siste talare i denna session var Dr. Uwe Megerle från Scanlab som berättade om oscillering med hög frekvens vid materialbearbetning. Scanlab har idag cirka 200 medarbetare med sin huvudsakliga verksamhet förlagd till Puchheim utanför München. Nu presenterade Dr. Megerle företagets två storsäljande "scanner"-verktyg; intelliSCAN FT, ett 2D-verktyg med kollimeringsmodul, samt intelliWELD, ett 3D-verktyg med "zoom"-optik. Den senare möjliggör att fokuspunktens diameter kan varieras medan fokusläget bibehålls i samma plan, vilket innebär att svetsbredden i en överlappsfog blir större än om man försöker åstadkomma detta genom defokusering av laserstrålen. Typiska arbetsavstånd ligger på över 300 mm med ett arbetsområde på 150x150 mm vid en munstycksöppning kring 30 mm. Det senaste tillskottet i floran av laserverktyg är welDYNA utvecklat för att klara såväl höga lasereffekter som dito oscilleringsfrekvenser. Därför används både vatten och luft för kylning av verktyget, vilket är utrustat med lättviktsspeglar av SiC och optimerade galvo-motorer [Fig. 45].

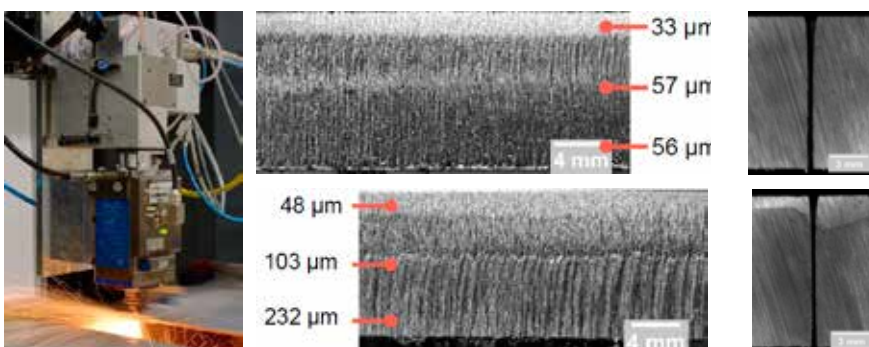
Med oscilleringsfrekvenser mellan 2.000-4.000 Hz har man kunnat visa på sprutfri svetsning av såväl koppar



Figur 44. En "grön" laser kräver betydligt lägre effekt jämfört med en IR-laser för att nå samma pulsenergi vid kopparsvetsning. Samtidigt är repeterbarhet vid svetsning i koppar med 515 nm våglängd (ovan t.h.) betydligt högre jämfört med svetsning med 1 µm våglängd (ovan t.v.).



Figur 45. Gamla (ovan) och nya (under) laserverktyg i Scanlabs produktportfölj; intelliSCAN FT, intelliWELD, welDYNA, powerSCAN II och varioSCAN FLEX.



Figur 46. Genom att oscillera strålen vid laserskäring får man såväl en slätare snittyta som en rakare skärkant (överst) jämfört med konventionell teknik (ovan).

[CW008A] som aluminium [AlMgSi0.5]. Dessa erfarenheter hade sedan omsatts vid svetsning av aluminiumtryckkärl samt en bilkomponent åt företaget Finow där en smidd aluminiumdetalj sammanfogats med ett aluminiumgjutgods. Ett annat intressant exempel var laserskärning av 12-15 mm tjock stålplåt med 3 kW effekt och olika oscilleringsmönster vid 2,5 kHz frekvens. Bästa skärnitt med lägsta Ra-värde erhöles man då laserstrålen fick beskriva en 8-formig rörelse [Fig. 46]. Slutligen fick vi en inblick i kommande produkter där verktyg, som powerSCAN II och varioSCAN FLEX, avsedda att användas i tuffa miljöer var ett tema. Ett annat handlade om förhöjd precision genom galvospeglar med minimal avdrift och kodomvandlare, och slutligen nämnde Dr. Megerle integrerade system med galvobaserad, dynamisk z-axel.

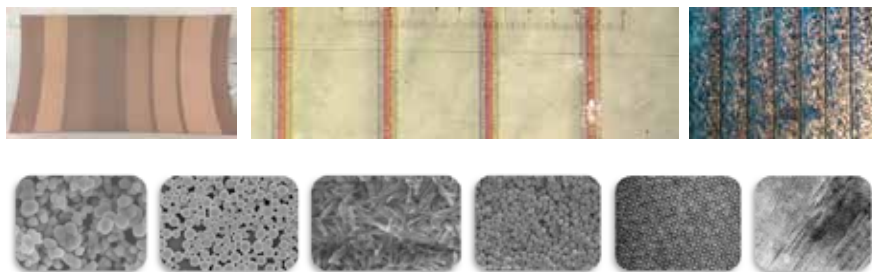
Lasersystem och komponenter

Konferensens sista session leddes av Dr. Friedemann Lell från Sauer DMG Mori, och förste talare var Dr. Jens Meinschien från LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH, ett företag som har specialiserat sig på omformning av laserstrålen. Den här gången handlade föredraget om selektiv värmning av tunna folier baserade på nano-partiklar med hjälp av en linjeformig strålprofil som sades vara 20 gånger så effektiv som en ”scannad”, punktförmig fokuspunkt [Fig. 47]. Lasern har beteckningen L3 LIMO Line Laser® vilken opererar i cw [continuous wave]-mode och där den linjära fokuspunktens bredd kan varieras mellan 0,01-30,0 mm med en energitäthet upp till 600 W/cm². Produktportföljen består av ”linjelaserar” med mellan 450 W och 18 kW effekt med möjlighet till fiberdistribution för effekterna 2 och 4,2 kW. Ett intressant applikations-exempel var en UV-baserad laser med ett linjefokus på 650 mm x 35 µm som användes för kristallisering av ett absorberande glasskikt vid solcellstillverkning. Inom den branschen används ”linjelaserar” också för sintring av kontaktstrimor i koppar på silikonbaserade solceller. Ett annat användningsområde hittar vi då det gäller energilagring, där man genom att modifiera ytor genom härdning, sintring eller kristallisering kan öka dess elektriska ledningsförmåga. ”Linjelaserarna” kan också komma till nytta då det är fråga om att belägga polymera folier, glas eller metaller för att på så sätt skapa funktionella ytor.

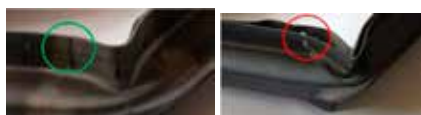
Laura Galceran från Gestamp berättade om hur man med laserteknik kan mjukgöra lokala områden i en presshårdad detalj

tillverkad i USIBOR® 1500-material för att förbättra dess energiupptagningsförmåga alternativt skapa bättre förutsättningar för efterföljande sammanfogning. Det snabba avsvlningsförloppet vid presshärdning överstiger 30 °K/sek vilket innebär att materialet blir 100%-igt martensitiskt med hög hållfasthet men uppvisar samtidigt låg duktilitet. Man kan emellertid skräddarsy hållfastheten i artikeln genom att positionera kylkanalerna i presshärdnings-verktyget på ett sådant sätt att man i vissa områden får en långsammare avsvlning och därmed en bättre duktilitet. Samma effekt får man om man låter en laserstråle värma specifika områden på artikeln efter varmförmningen. Detta hade man kunnat påvisa genom experiment utförda med Gestamps ”Flex Laser” som består av en diodlaser från Laserline [LDF 3000-100] och där verktyget manipulerades av en ABB IRB6640-robot. För att kontrollera temperaturen använde man en höghastighetspyrometer från företaget Dr. Mergenthaler. Genom denna metod var det möjligt att lokalt sänka hårdheten ner till mellan 170-350 Hv beroende på hur lång tid

laservärmningen pågick [Fig. 48]. En av de stora fördelarna med lasermjukgörning är att övergångszonen mellan mjukt och hårt område blir väldigt smal, mellan 5-8 mm, att jämföras med 50-100 mm, vilket blir fallet vid olika kylningshastigheter i form-verktyget. Oftast är dessa presshårdade detaljer belagda med ett AlSi-skikt för att förhindra korrosion och försöken visade att laserbearbetningen inte påverkade detta ytskikt negativt utan snarare bidrog till ett förbättrat korrosionsskydd genom att mikrosprickor i ytbeläggningen fylls igen med aluminiumoxid. Man hade jämfört 490 mm långa punktsvetsade balkar, där svetsflänsarna var mjukgjorda, mot fullhårdade balkar i 3-punkts böjprov och kunnat konstatera att inga av de laserbearbetade balkarna uppvisa brott kring punktsvetsarna då man får en kraftig reduktion av hårdheten i den värmepåverkade zonen runt svetsarna. Metoden visade sig också vara positiv då aluminium stansnitsades till USIBOR® 1500 under förutsättning att det senare materialet lokalt mjukats upp till cirka 270 Hv.



Figur 47. Företaget LIMO Lissotschenko har specialiserat sig på optiker som ger linjeförmiga fokuspunkter. Dessa kan användas vid selektiv värmning av tunna folier baserade på nano-partiklar, men också för att skapa funktionella ytor vid energilagring eller förbättra ledningsförmågan hos elkomponenter.



Figur 48. Genom lokal mjukgörning av presshårdade hattprofiler i Gestamps ”Flex Laser”-cell får man ett duktilt beteende vid 3-punkts böjprov och inga sprickor kring punktsvetsarna (inringat i grönt).

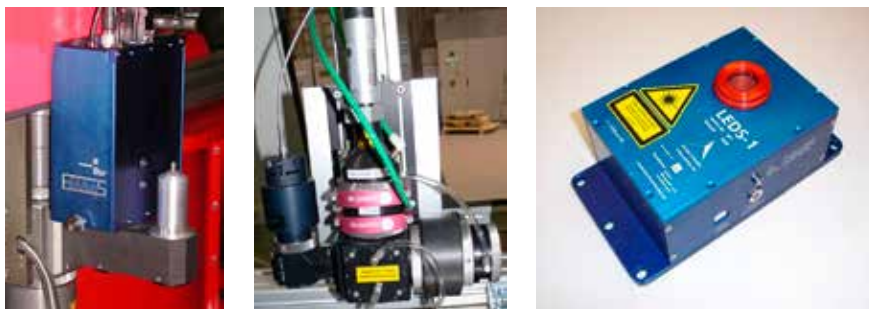
Sessionens, och konferensens, sista föreläsning hölls av Dr. Anja Techel från IWS där hon beskrev några av de olika ytbehandlingsprocesser som studerats vid institutionen. Laserprocesser som härdning, påläggning och lödning uppvisar vanligtvis snäva "processfönster" vilket gör dem mindre robusta vid volymtillverkning. De parametrar man främst har att variera är fokuspunktens storlek och form samt energidistributionen i densamma, lasereffekt och framföringshastighet. Vid laserhärdning är det materialets s.k. austenitiserings temperatur som är avgörande för hårdhet och slittegenskaper. Därför är det viktigt att använda sig av en temperatursensor, och Dr. Techel visade på en "closed loop"-uppställning där temperaturen kunde hållas inom givna gränsvärden genom justering av lasereffekt och energifördelning i fokuspunkten. Den sensor som hade använts var det kamera-baserade temperaturmätinstrumentet "E-MaQs" [Fig. 49], som utvecklats vid IWS. Det arbetar med 300 Hz frekvens, mäter temperaturer från 600 °C och uppåt samt är mest känsligt för våglängder kring 740 nm. Ett annat egenutvecklat mätverktyg är "E-FaQs" [Fig. 49] som är en snabb analog pyrometer med en responstid på 50 µs. Den mäter temperaturer ner till 160 °C och mest känslig i våglängdsområdet 1,2-1,5 µm. För kalibrering av dessa mätverktyg använder man antingen det LED [Light Emitting Diode]-baserade "LEDS-1" [Fig. 49] eller det i ett EU-projekt framtagna "HiTeMS" med en mät noggrannhet inom 1 °K.

För laserhärdning känner vi ju sedan tidigare till det s.k. "LASSY"-verktyget som via en "scanner"-funktion kan variera härdspårets bredd. Detta klarar lasereffekter upp till 10 kW, har en maximal pendlingsvidd på 100 mm, och arbetar med frekvenser upp till 200 Hz [Fig. 50]. Dessutom finns möjlighet att skräddarsy energifördelningen i den stora fokuspunkten. Dr. Techel visade två praktikfall på laserhärdning där det första handlade om hydrauliska ventiler i materialet C45. Anläggningen som är igång 24/7 har två arbetsstationer som servas av en 3 kW

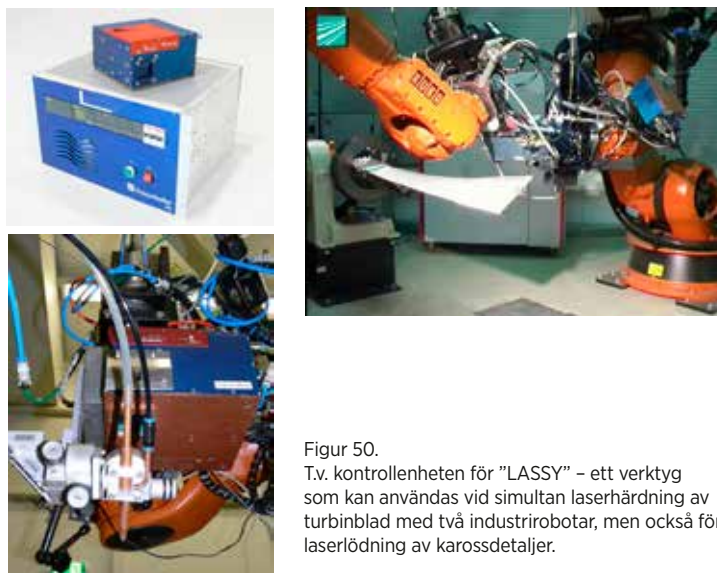
fiberkopplad diodlaser. Laserstrålen är stationär medan ventilerna roteras och processen övervakas via mjukvaruprogrammet "LompocPro" och det tidigare nämnda "E-MaQs". Det andra exemplet handlade om härdning av turbinblad för ångturbiner och kompressorer och där två diodlasrar kopplade till två robotar arbetade simultant för att undvika distorsioner. Här hade två "LASSY"-verktyg använts och processen kontrollerats via "LompocPro" och "E-MaQs". Två andra praktikfall handlade om laserpåläggning av rör för oljeborrningsverktyg med en

kontrollerad temperatur genom att lasereffekten reglerades, samt laserlödning av karossdetaljer med hjälp av ett "LASSY"-verktyg.

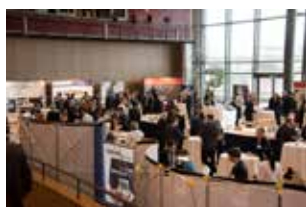
Sammanfattningsvis kan jag konstatera att denna laserkonferens som arrangeras av IWS håller en mycket hög teknisk klass med internationella mått sett och, som det kom att visa sig senare under året, övertrumfar den välansedda AKL [Aachener Kolloquium Lasertechnik] i Aachen. Nästa evenemang kommer att gå av stapeln 27-28 februari 2018, och jag kan varmt rekommendera er läsare att delta. ■



Figur 49. Några av de verktyg som utvecklats vid IWS för temperaturövervakning vid olika former av laserbearbetning; fr.v. E-MaQs, E-FaQs och LEDS-1.



Figur 50. T.v. kontrollenheten för "LASSY" – ett verktyg som kan användas vid simultan laserhärdning av turbinblad med två industrirobotar, men också för laserlödning av karossdetaljer.



En blandad sammankomst av svetsexpertis från hela världen

Jan Frostevarg,
Luleå tekniska universitet

Årets Annual Assembly och svetskonferens inom International Institute of Welding (IIW) ägde rum från den 10:e juni till 15:e juli i centrala Melbourne. I år räknade arrangörerna in över 700 deltagare från 55 länder. Under de första dagarna hålls Annual Assembly, där jag deltagit i Commission IV och där även agerat som svensk delegat. I år fick jag dessutom äran att vara chairman under en session. Under en av dagarna hålls gemensamma föredrag tillsammans med Commission I, XII och SG212 för att täcka mer teori och de blandningar av processer som finns, exempelvis Additive Manufacturing (AM) och Laser-Arc hybrid Welding (LAHW). Därefter hålls den internationella svetskonferensen under två hel-dagar, som i år fokuserade på svetsens livscykel.

Inledning

I år var det tredje gången som jag deltagit vid denna sammankomst av svetsexpertis. IIW General Assembly organiseras i sexton kommissioner, fyra kommittéer och två studiegrupper för att täcka in alla aspekter av svetsning. Commission IV är uppdelad i tre undergrupper; Elektronstrålesvetsning-(EBW), Lasersvetsning (LBW) och Laserhybridsvetsning (LAHW). Ordförande sedan fyra år tillbaka är Herbert Staufer (Fronius, Österrike) som jag även tidigare haft samarbete med. Dag 1 handlade om EBW och LBW, medan dag 2 var väldigt blandat då den hålls tillsammans med ljusbågssvets-



Figur 1.
Vy över konferenshotellet t.v. i bilden och
Yarra river i centrala Melbourne

ning (C-XII), Additive Manufacturing (AM) (C-I) och arbetsgruppen physics of welding (SG-212), med alltifrån kontrollsystem, jämförelser mellan metoder, LAHW och AM. Tredje och sista dagen för Commission IV var mestadels LBW, men även EBW, Laser Peening och AM.

Förutom att resan till Australien är lång och det blev en omställning från svensk högsommar och att solen står i norr snarare än söder, så är värdstaden Melbourne är en väldigt fin stad jag gärna åker tillbaka till. Konferenshotellet var en imponerande byggnad och fint belägen i centrala staden invid floden, **Fig. 1**. De inplanerade sociala evenemangen med "Australian Evening" och "Closing Celebration" trevliga tillställningar, med lokal australiensisk musik med både irländskt och ursprungsaustraliensiskt påbrå.

Presentationerna

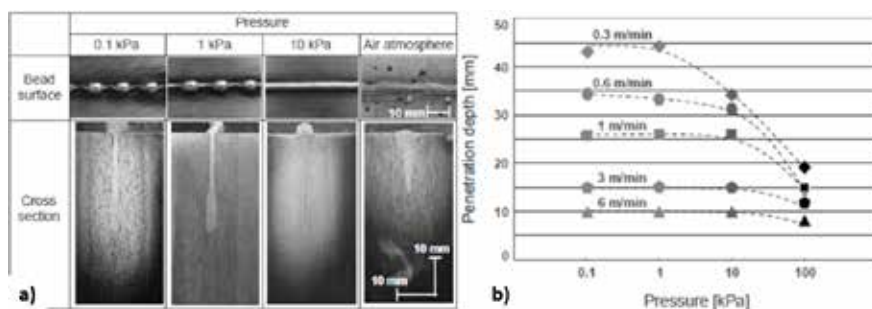
Det var många intressanta presentationer i år (som vanligt) och här är ett litet urval av dessa;

Professor Na från KAIST i Sydkorea, har med sin grupp utvecklat en mycket avancerad modell av lasersvetsning, som börjar närma sig verkliga förhållanden allt mer. Han presenterade en studie om svetsning vid lågt tryck. Det är känt sedan tidigare att svetsning i lågt omgivande tryck ofta ger mycket djupare penetrationsdjup fram till en viss gräns där det inte längre ger någon effekt att sänka trycket ytterligare, **Fig. 2**. Vilket omgivande tryck som minst behövs för att optimera penetrationsen varierar beroende på övriga parametrar, såsom lasereffekt och svetshastighet. Även plymen ovanför processen minskar och processen blir stabilare. Varför då?

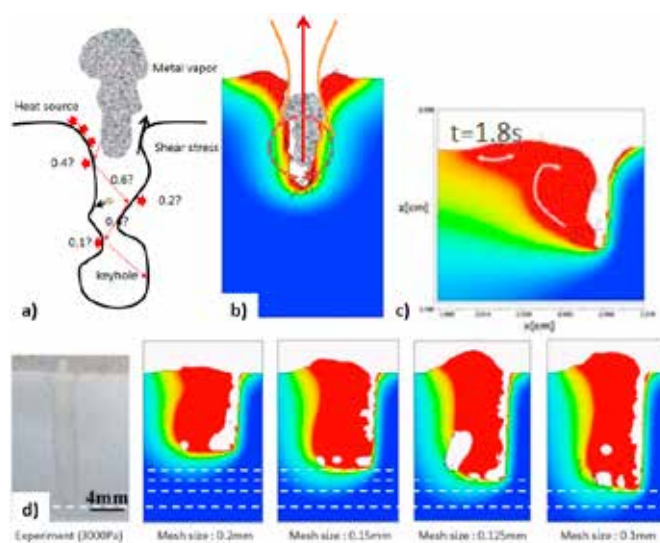
Modellen tar i beaktande både plym och multipel spridning av laserljuset, **Fig. 3a-c**. Modellen ger resultat som stämmer överens med experimentella data. För lägre tryck fungerar först inte simuleringen förrän de upptäcker att upplösningen av simuleringen påverkar resultatet mycket, **Fig. 3d**, vilket är synd då det kräver mycket större datorkapacitet. Avslutningsvis diskuteras att modellen vid grövre upplösning stämmer bra med experimentella resultat vid atmosfärstryck på grund av att det då (av spekulativa anledningar, kopplat till gastrycket/plymen i nyckelhålet) förekommer mycket mer interna reflektioner och att det är detta som är grunden till att svetsdjupet ökar vid lägre tryck.

En annan presentation innehållande simuleringar gjordes av Louisa Coutinho, som berättade om projektet Tailor Weld, ett EU-projekt där även vi varit inblandade. Tanken är att med hjälp av diffraktiv optik anpassa fördelningen av laserstrålen så att värme sprids på ett fördelaktigt sätt beroende på applikation. Fördelar med detta är både för mikrostrukturbildande och deformationsaspekter. För mikrostruktur kan för- och eftervärmning med en del av laserstrålen vardera vara en lösning, **Fig. 4a**. För deformationsaspekter kan det istället för en gaussisk strålprofil hjälpa att använda cirkel- eller C-profil. **Figur 4b-c** visar att halvcirkelprofilen får mindre porbildning som orsakas av instängda luftbubblor. Att använda diffraktiv optik istället för galvanometer för att få viss strålform (på ytan) reducerar verktygskostnad drastiskt, vilket en av dom primära fördelarna med metoden.

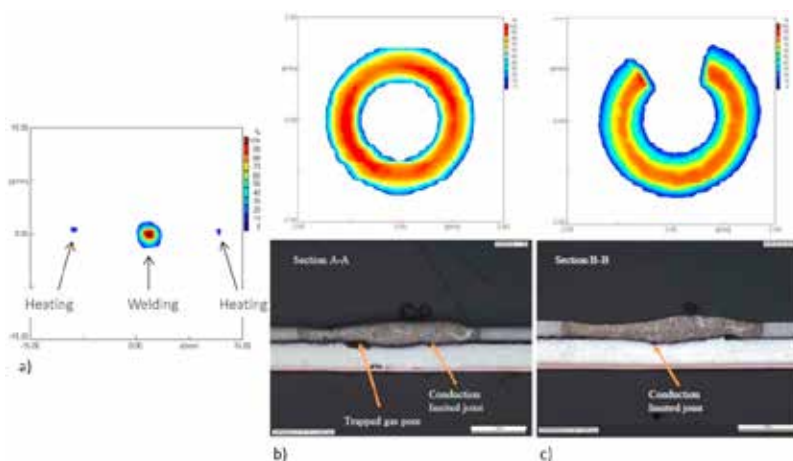
Forskargruppen i Osaka har under ett antal års tid studerat den rökpym som uppstår vid lasersvetsning. Det är vanligtvis rekommenderat att använda någon form av fläkt för att blåsa bort plymen, då också utan att störa processen. Den här gången har de använt emissionsmätare genom plymen en bit ovanför processområdet, **Fig. 5a-b**, och även filmat processen från olika vinklar, samt med färgkamera. Lite förvånande så blir den procentuella förlusten i plymen lägre ju högre lasereffekt som används, även om den totala förlusten fortfarande ökar vid ökad effekt. Genom att härleda observationerna till partikelstorleksfördelning, **Fig. 5c** har de kommit fram till att plymen i stort sett är tom invändigt, utan att det är den termiska linsningen av den uppvärmda luften som står för den största delen av effektförlust på arbetsstycket.



Figur 2
a) Tvärsnitt för svets med samma parametrar men under olika atmosfärstryck och
b) motsvarande tabell för svetsdjup vid olika tryck och svets hastigheter



Figur 3
Simulering av lasersvetsning med
a) illustration av reflektion och ånga i nyckelhål,
b-c) simuleringar vid atmosfärstryck och
d) simulering vid reducerat tryck och effekt av högre simuleringupplösning



Figur 4
Skräddarsydd strålprofil för att optimera
a) mikrostruktur och
b-c) deformationsförlopp för att inte stänga inne luftbubblor med respektive O- och C-strålprofil

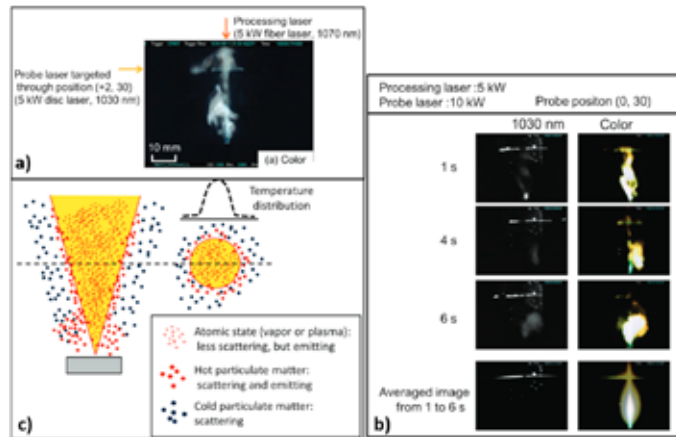
Kommisionsledaren Herbert Staufer presenterade ett projekt de jobbat med på Fronius inom LAHW, något de kalllar för Laser-MAG Tandem Hybrid Welding (LHTW), **Fig. 6a**, där Tandemmunstycket kan arbeta med två olika trådstorlekar. De två trådarna har då egna parametrar och är synkade för att turas om med varannan pulsning av ljusbågen. Denna process visar att det är möjligt att öka svetshastighet med nästan tre gånger jämfört med konventionell MAG-Tandem, samtidigt som relativt stora spalter kan överbryggas, **Fig. 6b-c**. Det underliggande materialet har också blivit lagom genomträngt. Tjocklekar av material som demonstrerades var 1+1 samt 3+3 mm i överlappskonfiguration, samt med varierande spalt från 0-1 mm.

Även denna gång hade jag en presentation av min egen forskning, där jag studerat med höghastighetskamera hur och när det bildas rottdroppar på svetsens undersida vid laser/laserhybridsvetsning med full genomträngning, **Fig. 7a-c**. Rottdropparna är ett problem som blir mer påtagligt ju tjockare svetsgodset är. Över 12 mm rekommenderas ofta att göra två spår i svetsen för att ha kvalitetssvetsar och en robust process. Utan att gå in på för mycket detaljer så har det identifierats att dropparna bildas av material som kommer ut från processen efter nyckelhålets öppning, **Fig. 7d**. Dessutom presenterade jag en sammanställning av metoder för att tänja på gränserna för hur tjocka material som går att svetsa utan rottdroppar, **Fig. 7e** (dock här markant avkortad).

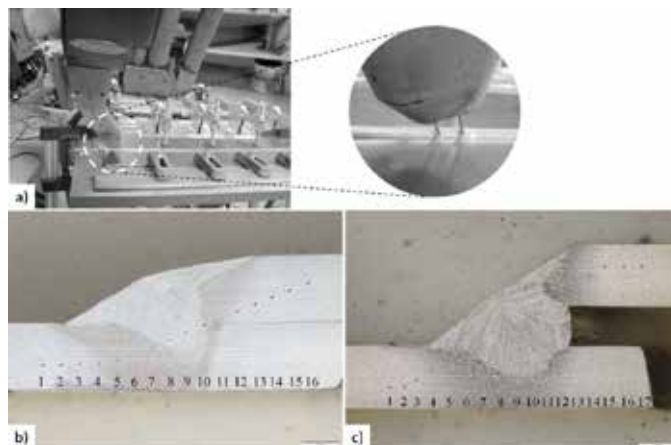
Inom AM demonstrerades en tillverkad formpress, som innehåller kanaler för värming/kylning av verktyget, gjord med hjälp av ytpåsvetsning med laser av BIAS. De använde Stellite som pulvermaterial för att bygga verktyget. Beroende på spårorientering så nås olika dragspänningar, där bäst värden fås när processriktning och lastriktning korrelerar, trots funna imperfektioner, **Fig. 8a-b**. Den byggda produkten slipas (fräst) i ett sekundärt steg, **Fig. 8c**. Det byggda verktyget visade bättre resultat än det gjutna referensverktyget.

Övriga intressanta presentationer berättade även om hur pulverkvalitet påverkar resultatet, och att det är startat interna arbeten för att standardisera pulverform/storlek för olika kvalitéer som fungerar för AM, speciellt för pulverlagersmetoden.

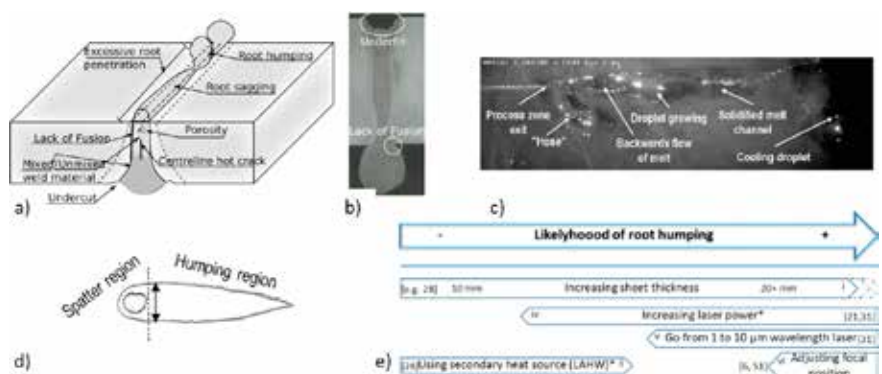
En lite undanskymd process som kallas Laser Shock Peening handlar om att med hjälp av tryckförändringar i översta lagret av en metall introducera kompressions-spänningar. Denna metod kräver en coa-



Figur 5
Plym vid lasersvetsning med
a) mätlaser för att se täthet av partiklar,
b) mätning samt färgkameravy över process vid olika processteg och
c) analysresultat från mätningarna



Figur 6
Laser-MAG Tandem Hybrid Welding (LHTW)
a) försökupställning,
b) överlappsförband med 3 mm tjocka plåtar samt 0 mm spalt och
c) med 1 mm spalt

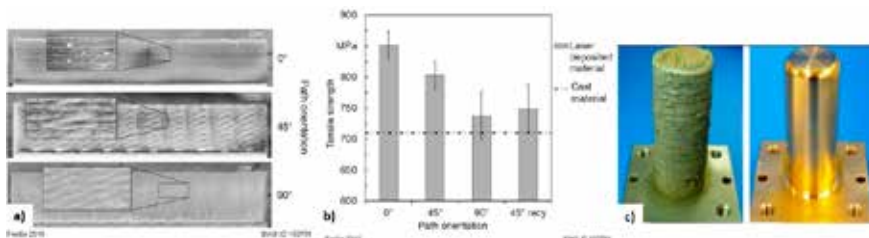


Figur 7
a) Upp & nedvänd illustration av svetsimperfektioner, inklusive rottdroppar och
b) tvärsnitt av en typisk rottdroppe.
c) Höghastighetsfilmning av undersidan.
d) Identifierade områden för var smälta kommer ut från svetsen för sprut respektive rottdroppar.
e) Avkortad tabell för faktorer (inkl. påverkansgrad) som påverkar bildande av rottdroppar.

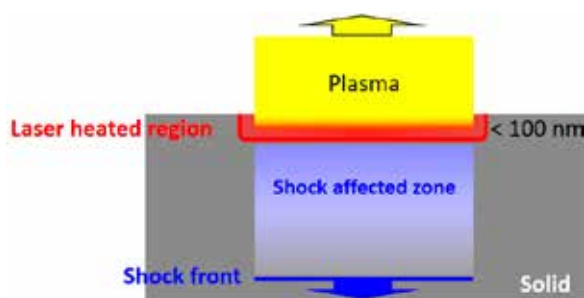
ting och att processen utförs under vatten för att chockvågorna inte ska skada materialet. Med nanosekundslaser behövs inte någon coating och nu demonstreras att med femtosekundspulser behövs inte heller något vattenmedium för att kontrollera plasmabildning. Med femtosekundspulser sker en ytablation med ett inåtriktad tryck i materialet som konsekvens, **Fig. 9**. Med denna behandling bildas dislokationer i kristallstrukturen bakom chockfronten några få μm under ytan. Dessa prover bekräftades även upp till 100 μm djupt få bättre motstånd mot sprickbildning.

Avslutningsvis

Miljön på detta års konferens var ganska avslappnad och det var många intressanta presentationer och diskussioner. Det är bara att försöka ta till sig så mycket det går av det som berättas. Det är även trevligt att jag nu börjar känna många återkommande deltagare. Nästa C-IV mellanliggande möte kommer att hållas tillsammans med CXII och SG212 (plats tid utannonseras senare) och nästa års IIW GA kommer att hållas i Shanghai (Kina). Värt att nämna är att det nästa år är 70-års jubileum, så gissningsvis kommer mötet att vara något speciellt. ■



Figur 8
a) Olika riktningar för ytpåläggning och
b) Dragspänningsresultat jämfört gjutet referensexemplar.
c) Det demonstrerade byggda slagverktyget, t.v. som byggt och t.h. fräst



Figur 9
Illustration av ablationsprocessen vid Laser peening inklusive konsekventiellt tryck inåt materialet från bildade plasmata

RÄTTELSE PRESSRELEASE

I LaserNytt nr 2 blev det en helt felaktig bildtext i Din Maskins pressrelease.

Rätt text ska vara:

Prima Power lanserar sin egen fiberlaser, CF3000 med 3 kW effekt

LaserNytt beklagar misstaget.



Prima Power lanserar sin egen fiberlaser, CF3000 med 3 kW effekt



Rapport från AKL '16,
Eurogress, Aachen, Tyskland
27-29 april 2016
DEL 1

AKL:s "Gerd Herzinger Session" illustrerade laserteknikens många användningsområden

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering

DEL 1 Årets officiella program inleddes traditionsenligt med några väl valda ord från professor Reinhart Poprawe, institutionsföreståndare vid ILT [Institut für LaserTechnik, Aachen], då han hälsade oss 691(!) delegater välkomna. I sin inledning menade han sig ha funnit vad han kallade ett antal "Megatrender" inom näringslivet i form av sektorerna transport, kommunikation, elektronik och medicinteknologi. Därför kunde det knappast betecknas som en slump att de fyra talarna i den därpå följande "Gerd Herzinger Session" representerade var och en av dessa branscher [Fig. 1].

Först ut var Trumpfs verkställande direktör, 49-årige Dr. Peter Leibinger, som inledde med att ge oss lite siffror kring koncernen. Den omfattar idag 10.875 medarbetare och spenderade under 2015 265 miljoner euros på forskning och utveckling, vilket var en ökning med 8,9% jämfört med året innan. Bland nyheter nämnde Dr. Leibinger det nystartade företaget Axoom, vilket är ett helägt dotterbolag avsett att utveckla s.k. cloud-teknologi. Vad gäller laserkällor nämnde han TruPrint1000, speciellt framtagen för additiv tillverkning, samt att Trumpf satsar ytterligare på UKP [UltraKurzPuls]-lasrar för mikrobearbetning. Han menade att



för 10 år sedan fanns stora förväntningar på en växande laseranvändning inom bilindustri, aerospace och skeppsbyggnad, men dessa förväntningar har till viss del kommit på skam p.g.a. den ökande materialmixen i dessa branschers produkter.

Bland industriella applikationer nämnde Dr. Leibinger det växande behovet av laserskärning av presshårdade karosseriartiklar, och den flänslösa design som möjliggjorts tack vare Trumpfs patenterade "K-fog", vilken använts vid tillverkningen av lättviktsfordonet "Street Scooter" som numera används i stort antal av Deutsche Post [Fig. 2]. Vidare beskrev han en speciell teknik för att foga metall till plast, där man först texturerar metallytan med laser

för att få en god bindning till plastkomponenten när denna sedan lokalt smälts ner genom värme genererad av en laserstråle som ansätts från metallsidan. Denna teknik har numera en industriell tillämpning i form av tillverkning av fönsterramar.

Lasertekniken medger också att flera funktioner kan integreras i en komponent, och ett exempel på detta var en axel med integrerad styrsnäcka. Här hade såväl LMF [Laser Metal Fusion] som LMD [Laser Metal Deposition] och den ovannämnda hybridfogningen mellan plast och metall använts för att optimera komponenten. Eller som den gode Dr. Leibinger valde att sammanfatta det hela; rätt material med rätt teknologi på rätt



Figur 1.
De fyra talarna, fr.v. Peter Leibinger, Armin Renneisen, Mark Sobey och Mike Böttger, under årets "Gerhard Herzinger Session" representerade alla olika branscher där lasertekniken vunnit stora insteg.

ställe. Avslutningsvis menade han att laserbaserad lättviktskonstruktion är fullt möjlig, men det föreligger ett dilemma såtillvida att produkterna blir alltmer "nischade", vilket innebär låga volymer och höga instegskostnader.

Näste talare var Dr. Armin Renneisen, som är huvudansvarig för mikrobearbetning och märklasrar hos Rofin Sinar Technologies Inc. i Hamburg. Dock kom hans presentation mest att handla om den samhällstrend inom detaljhandeln som riktar in sig på alltmer individ- och personanpassade produkter, som ställer nya krav på design men också på spårbarheten av enskilda artiklar. Vidare menade han att tillväxtpotentialen för konsumtionsvaror är enorm med en uppskattad världspopulation på 7,35 miljarder människor 2015 och ett prognosticerat behov av 2,66 miljarder "smart phones" år 2019. Samtidigt ökar dessutom befolkningens

livslängd, vilket ytterligare kommer att öka efterfrågan på olika individanpassade produkter. Bland exempel på produkter där lasertekniken används för att skräddarsy dessa åt kunden nämndes fodral till mobiltelefoner, glasskärning av bildskärmarna till desamma, blekning av jeansstyg och tillverkning av allehanda juveler och smycken [Fig. 3]. Inom medicinteknik hittar vi implantat, "stents", hörselhjälpmedel och kateter där lasertekniken är en väsentlig del i tillverkningskedjan. Ett viktigt budskap i Dr. Renneisens föredrag var att nya applikationer kan kräva ny teknik, men också att ny teknik möjliggör utveckling av nya applikationer. Bland framtida utmaningar för tillverkarna av laserkällor nämnde han krav på kortare utvecklingscykler, högre innovationsgrad och stabila livslängd, innan han avslutade med ett citat från den grekiske filosofen Perikles; "Det är inte nödvändigt att kunna förutse

framtiden, men det är nödvändigt att vara förberedd inför densamma".

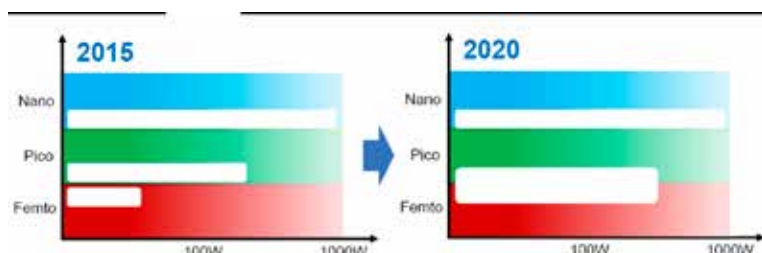
Dr. Mark S Sobey från Coherent fokuserade sitt föredrag på dagens "smarta" elektronik som till stora delar möjliggörs med hjälp av laserteknik. Dominerande är förstås mobila apparater såsom "smart phones", läsplattor, "lap tops", bildskärmar etc. Visste ni t.ex. att det krävs 24 (!) olika laserprocesser för att tillverka en "smart phone" i form av skärning, svetsning, borrar, märkning och ytbehandling [Fig.4]. Lasern passar även utmärkt för den miniaturisering som är en ständig trend inom elektronikbranschen. Exempel på detta är olika typer av bildskärmar, halvledare, kretskort, sensorer och batterier. Då det gäller laserkällor för elektronikbranschen är trenden att man går från ns-pulsade lasrar till ps- och t.o.m. fs-pulsade sådana. Även medeleffekten hos källorna håller på att öka, och Dr. Sobey



Figur 2.
Trumpfs patenterade "K-fog" möjliggör en flänslös design vilken bl.a. används i Deutsche Posts lättviktsfordon "Street Scooter".



Figur 3.
Blekning av jeansstyg, mikrosvetsning av smycken, skärning av "stents" och märkning av kateter är bara några exempel där lasertekniken används vid tillverkning av konsumentprodukter och medicintekniska artiklar.



Figur 4.
Hela 24 laseroperationer används vid tillverkning av en iPhone 6 (t.v.), samtidigt som trenden inom elektronikbranschen är att gå mot allt fler fs (femtosekund = 10⁻¹⁵ sek) -pulsade laserkällor.

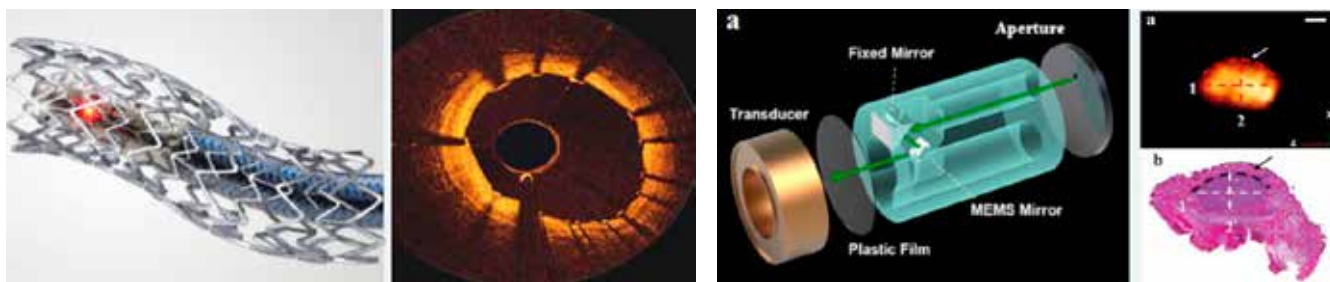
poängterade vikten av att kostnaden per Watt måste sjunka i framtiden.

Siste talare i sessionen var Mike Böttger från Jenoptik, som spann vidare på temat miniaturisering men nu inom området med icke-teknologi. Som tidigare nämnts är lasern ett utmärkt verktyg då det gäller att fabricera "stents" och andra mindre implantat, men lasern kan också användas i den direkta behandlingen av synfel, tumörer och hudsjukdomar. Även i diagnossituationen kan lasern komma till användning och här nämnde Herr Böttger två metoder. Dels OCT [Optical Coherence Topography] där man med en svepande laserstråle kan skapa tredimensionella bilder av mänsklig vävnad som exempelvis artärer, dels fotoakustisk bildanalys där en pulsad laser kombineras med ultraljud [Fig. 5]. Med den sistnämnda metoden är det möjligt att detektera även djupt liggande tumörer. Därpå gjorde han en

jämförelse mellan konventionell kirurgisk skalpell och en "laserskalpell". Den senare har avsevärda fördelar och kan användas inom en mångfald områden, såsom borttagning av pigmentering, tatueringar och ärr, inom tandvården, borttagning av melanom och njurtumörer samt vid ögoninflammationer. Inom just ögonkirurgin används fs-lasrar för att lösa upp starr på ögonlinsen, vilket etablerat en marknad på cirka 800 dedikerade laserskalpeller om året för detta ändamål. Vidare pågår forskning med fs-lasrar för att göra strukturerade snitt i ögonlinsen för att mjuka upp densamma och därmed återskapa dess ackomoderingsförmåga, en teknik som beräknas vara kommersialiserad år 2020. Genom laserns inträde i medicintekniken kortas behandlings- och återhämtningstiden för patienten. För framtiden menade Herr Böttger att det vore önskvärt med en högre grad av integration av flera

funktioner i ett och samma verktyg, men också att lasertekniken på ett bättre sätt integreras med mer klassisk kirurgi, och att doktorer och operationsassistenter får en adekvat utbildning här för.

Under den podiumdiskussion som därefter utspann sig fick de olika föredragshållarna möjlighet till lite personliga reflexioner kring laserteknikens ställning idag och dess framtida utmaningar. Dr. Leibinger inledde med att konstatera att förväntningarna på additiv tillverkning med laser varit alltför höga då det visat sig att tillgängliga metoder inte kan leva upp till ställda krav på produktivitet. Professor Poprawe instämde i detta och menade att dagens SLM-metoder måste förbättras för att nå en effektivitet som är minst 30 gånger större än vad som är fallet idag. Dr. Leibinger fortsatte att uttrycka en oro för kinesiska aktörer som arbetar utifrån helt andra förutsättningar än europeiska



Figur 5.
OCT kan användas för att kontrollera att ett "stent" har hamnat i korrekt läge (t.v.), medan en bröstcancer detekteras med hjälp av fotoakustisk bildanalys (t.h.).



Figur 6.
Honoratiöres från RWTH och Aachens stadsfullmäktige deltog vid den högtidliga "Schlüsselübergabung" vid invigningen av nya Innovation Center Digital Photonic Production. ... och självklart var nyckeln tillverkad med additiv laserteknik.



Figur 7.
Denna "multi-spot"-variant av en SLM-maskin möjliggör såväl högre produktivitet som rationell ytbeläggning av större ytor.

företag. Därför ansåg han att man inom begreppet "Industry 4.0" bör sträva efter mer samarbete snarare än konkurrens, då han dessutom ser att traditionella processer liksom affärsmodeller håller på att upplösas. Detta exemplifierade han med att nämna företaget Uber och dess taxiverksamhet.

Herrn Böttger vurmade mycket för ökade kvalificeringskrav för medicinteknisk utrustning, men menade samtidigt att ny teknologi måste vara modulär och lätt att integrera i befintliga processer. Att visa på de fördelar som lasertechniken kan ge såväl slutkunder som tillverkande företag var något som Dr. Renneisen poängterade, medan Dr. Sobey's budskap var att det är bättre att konkurrera med en unik teknologi hellre än med enbart prissättning. Han menade dessutom att vi nu snart tillfullo har förstått samspelet mellan laserljus och det material som skall bearbetas.

Efter avslutad "Gerd Herzinger Session" var det dags för ett mera formellt inledningstal av professor Poprawe där han inledde med att tacka AKL'16:s alla sponsorer som i år uppgick till hela 50 stycken. Han fortsatte med att beskriva visionen för RWTH [Rheinisch-Westfälisches Technische Hochschule] Aachen Research Campus, vars huvudsyfte är att stärka samarbetet mellan industri och högskola. Samtidigt har en ny institution grundats vid den senare, benämnd DAP [Digital Additive Production], som leds av tidigare ILT-medarbetaren Dr. Ingomar Kelbassa.

Aachen Research Campus består av 19 s.k. cluster av vilka sex stycken redan är operativa och ett av dessa är just "Photonics". En av detta "clusters" byggnader är avsedd för olika industripartners och deras laserverksamhet och kallas DPP [Digital Photonic Production], vilken invigdes redan i januari 2015. Forskningen sker i

en närliggande byggnad benämnd CDPP [Innovation Center Digital Photonic Production], och det var denna anläggning som senare under konferensen invigdes med bl.a. högtidlig "Schlüsselübergabung" till professor Poprawe från representanter från RWTH och Aachens stadsfullmäktige [Fig. 6]. Denna "fotoniska" forskning är uppdelad i tre områden; DPP [Direct Photonic Production] för komplexa geometrier, NPP [Nano Photonic Production] för högsta precision och FPP [Femto Photonic Production] för svårbearbetade material.

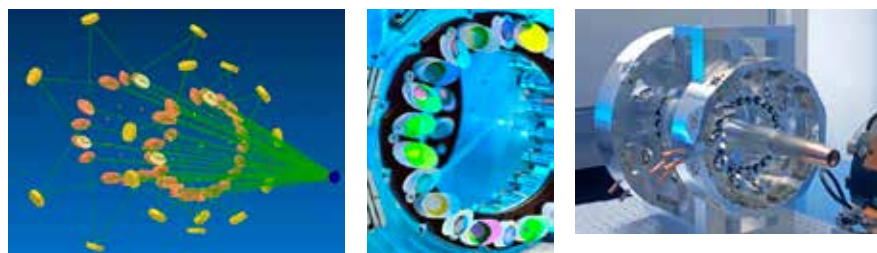
Bland de tekniska nyheterna i professor Poprawes föredrag vill jag nämna en nyutvecklad SLM [Selective Laser Melting]-maskin, baserad på diodlasrar och lokalt skyddsgasflöde, och som arbetar med flera fokuspunkter för att på så sätt öka uppbyggnadshastigheten [Fig. 7]. Vidare ett rekord för fs-långa laserpulser som åstadkommits genom att använda en Innoslab MOPA [Master Oscillator Power Amplifier] med 630 W medeleffekt som fick pumpa en tunn skiva genom 18 reflexioner. På detta sätt gick det att utvinna 1,5 kW i 711 fs långa pulser med ett effektinnehåll av 37,5 μJ per puls [Fig. 8]. Andra forskningsnyheter var skärning med UKP-lasrar samt ytstrukturering av stora ytor för att förhindra isbildning eller kontaminering av insekter.

Sedan gick professor Poprawe vidare med att beskriva själva CDPP-byggnaden där några av hyresgästerna är företag som Innolite, Ixun, Siemens, BMW, LightFab, Trumpf, Panasonic och MTU. Han uppehöll sig en del kring begreppet "scrum orientation" som är avsett att beskriva hur utvalda medarbetare från olika företag samgrupperas under en begränsad tid för att nå synergieffekter mellan sina olika utvecklingsuppdrag. I ett område i byggnaden hittar vi något som kallas ACAM

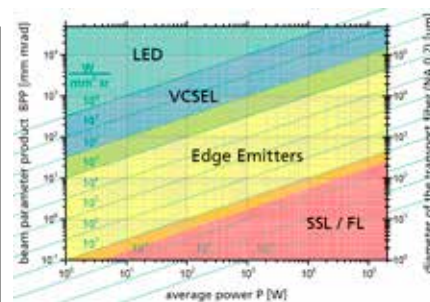
och skall uttolkas som Aachen Center for Additive Manufacturing, och professor Poprawe såg det inte som otroligt att man i framtiden även etablerar ett UKP-Center. Vad gäller verksamheten vid CDPP finns en lång lista över forskningsprojekt, där bland de först startade kan nämnas bearbetning av glas, utveckling av pulver för SLM samt vad den gode Reinhart valde att kalla "Tailored Light", alltså för processändamålet skräddarsytt laserljus. Andra forskningsområden är naturligtvis UKP-lasrar, laserkällor baserade på EUV [Extreme UltraViolet], diodlasrar med hög effekt, nano-optiker samt olika former av processkontroll.

State-of-the-Art och trender inom laserkällor

En dedikerad session kring laserkällor är alltid intressant och ger en god möjlighet att själv uppdatera sig kring senast nytt inom området. Vid AKL'16 leddes denna session av Dr. Hans-Dieter Hoffmann från ILT som valde att introducera oss genom ett eget föredrag. Han inledde med några ord kring cw- och q-switchade fiber- och disklasrar. Dessa lasrar har idag en WPE [Wall Plug Efficiency] som överstiger 50%, och där man vid experiment kunnat påvisa att en kortare våglängd, som exempelvis grönt ljus med 532 nm våglängd uppvisar en bättre BPP [Beam Parameter Product] jämfört med en IR [InfraRed]-laser vid samma effekt. Detta fick Dr. Hoffmann att göra en jämförelse av BPP mellan olika typer av ljuskällor, och här uppvisar just fiber- och disklasrarna de bästa värdena följda av kantemitterande diodstavar, VCSELs [Vertical Cavity Surface Emitting Lasers] och rena LEDs [Light Emitting Diodes, Fig. 9]. För att öka effekten hos de diodbaserade lasrarna använder man sig ofta av polariserings- eller spektrumkombinering.



Figur 8. Princip (t.v.) och hårdvara (t.h.) för den försökssuppställning där laserstrålen förstärks via 18 reflexioner mot en tunn skiva, och som gett ILT "världsrekordet" för fs-långa laserpulser (1,5 kW vid 711 fs).



Figur 9. Relationen mellan strålkvalitet (BPP) och effekt för olika typer av ljuskällor, där fastkroppslasrar (SSL) och fiber- (FL) uppvisar de bästa värdena.

Därpå följde några applikationsexempel såsom:

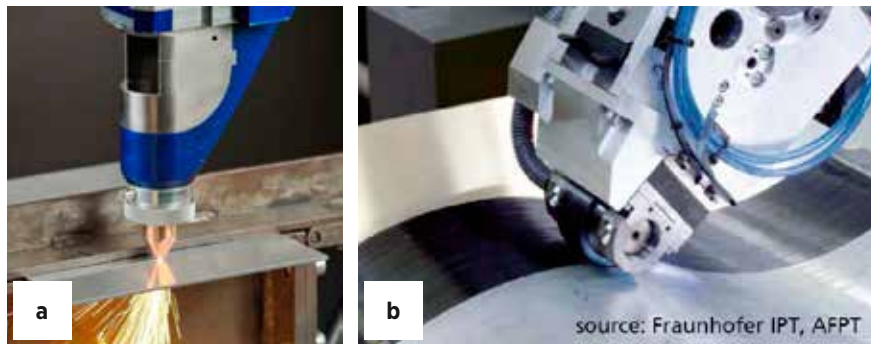
Utplacering av 6 mm breda och 0,2 mm tjocka kolfiberlaminat med hjälp av en VCSEL-källa på 1,6 kW [Fig. 10a]. Fokalpunkten var så vald att den ger en energitäthet på 400 W/cm² vilket gör att önskad processtemperatur uppnås inom 0,1 sekunder.

En direktverkande diodlaser från DI-LAS där tre olika våglängder kombineras vid smältskärning av rostfritt material [Fig. 10b]. Den maximala effekten var 807 W och kunde distribueras via en optisk fiber med 100 µm diameter och en N.A. [numerisk apertur] på 0,15. Två olika fokuspunktsdiameter hade utprovats 1,0 och 2,5 mm vilka gav 6,0 respektive 1,3 m/min i skärhastighet.

Därefter gick Dr. Hoffmann vidare med att tala om kortpuls-lasrar som han exemplifierade med en Yb:Innoslab-laser med 1.064 nm våglängd där man med en oscillator och en Innoslab-baserad förstärkare kan få ut hela 75 mJ trots att den tillförda medeleffekten blott ligger på 10 mW [Fig. 11]. Denna typ av laser lämpar sig speciellt för att göra s.k. fingeravtryck av organiska ämnen men kan också användas för mätapplikationer.

Dr. Hoffmann avslutade med ett avsnitt kring ultrakortpuls-lasrar, vilka han exemplifierade med produkter från Edgewave och Amphos. Med ultrakorta pulser menas laserpulser med en varaktighet < 500 fs, och teorin bakom bygger på att produkten av tid och spektrumbredd är konstant. Genom att således öka bandbredden kan man korta ner laserpulserna, och en dylik laser med 375 W medeleffekt gav 37,5 µJ pulsen energi vid en pulslängd strax under 170 fs. För att öka medeleffekten hos dessa kortpuls-lasrar kan man antingen använda separata pumpvolymmer eller en s.k. Innoslab-förstärkare, och man kan då nå medeleffekter på några 100-tal W. Om man önskar högre effekter kan man antingen använda sig av en multi-kW Yb:Innoslab, eller som professor Poprawe nämnde i sitt inledningsanförande låta en Innoslab-laser pumpa en tunn skiva via ett flertal reflexioner.

Nästa talare var Andreas Sievert från IPG Laser i Burbach, och han inledde med att beskriva hur företagets högeffektsfiberlasrar är uppbyggda; med pumpmoduler som har en våglängd på 970 nm och där den pumpade, aktiva fibern sänder ut en resulterande laserstråle med en arbetsvåglängd på 1.070 nm. Lasereffekten är skalbar och den högsta effekt man har att erbjuda idag är imponerande 100 kW. Därpå gick



Figur 10.

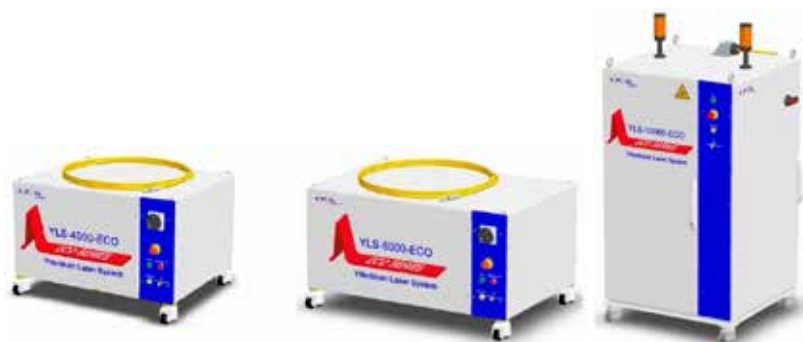
Några innovativa applikationsexempel från ILT;

a) Smältskärning av rostfritt material med en diodlaser baserad på våglängdskombination, b) Utplacering av kolfiberlaminat med en VCSEL-källa på 1,6 kW,



Figur 11.

”Inkrämet” på en Innoslab-baserad förstärkare av laserljus genererat från en Yb:Innoslab-laser. Med en sådan variant av kortpuls-laser kan man skapa laserpulser med 75 mJ energiinnehåll även om den tillförda medeleffekten ligger på blott 10 mW!



Figur 12.

IPG:s ECO-serie kan man numera få med effekter mellan 1-10 kW. WPE ligger kring 54% och effektförlusterna i fiberkopplingar och strålväxlare understiger 1,5%.

han vidare med att beskriva företagets ECO-serie som har en WPE över 50%, och där IPG idag erbjuder effekter mellan 1-10 kW [Fig. 12]. Här arbetar man med pumpmoduler med 750 nm våglängd, vilken visat sig ha den bästa absorptionen i Ytterbium. Pumpmodulerna har en verkningsgrad på 63-64%, medan verkningsgraden för fiber och elektronik ligger på 84-86% respektive 98%, vilket sammantaget leder till dessa laserkällors höga WPE-tal och miljövänlighet.

Vidare gjorde Herrn Sievert en jämförelse mellan en 3,3 kW diodpumpad

disklaser och en 4,05 kW IPG fiberlaser för en lödoperation. Inte oväntat utföll denna jämförelse till den senares fördel med en energiförbrukning på 82 Wh/detalj att jämföras med 213 Wh för disklasern. Med andra ord en energibesparing på hela 62%.

Nästa nummer på agendan var IPG:s ”flerkärnefiber” med tre separata fibrer för att kunna skapa tre olika fokuspunkter, benämnt trifokalteknik, och den minnesgode läsaren kommer säkert ihåg min fylliga tidigare rapport kring detta i LaserNytt # 1-2016 i samband med EALA

[European Automotive Laser Applications Workshop]-konferensen. Lösningen är i första hand framtagen för laserlödning av zinkbelagd plåt där de två mindre, förelöpande fokalpunkterna lokalt förångar zinken, medan huvudfokalpunkten smälter ner tillsatstråden. På så sätt får man en utseendemässigt bättre lödfog jämfört med konventionell laserlödning med endast en fokalpunkt. De två mindre fokalpunkterna har en Gaussisk strålprofil, medan huvudfokalpunkten är en "tophat" distribuerad genom en 100 µm grov fiber. Själva laserkällan upptar mindre än 0,7 m² golvyta och effekten i varje fokalpunkt kan väljas individuellt. Herrn Sievert redogjorde avslutningsvis för två praktikfall där det första handlade om lödning av en zinkbelagd komponent till en annan tillverkad i Litecor®, vilket är ett sandwichmaterial från TKS [Thyssen Krupp Stahl GmbH] uppbyggt av två metalliska skal med en polymer kärna där emellan. Här använde man sig endast av en framförliggande fokalpunkt, vilken då var positionerad på den zinkbelagda plåten och hade ett effekttinnehåll på 320 W. Huvudfokal-

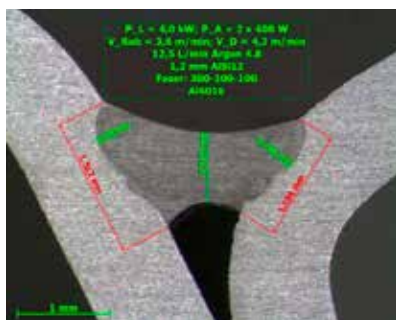
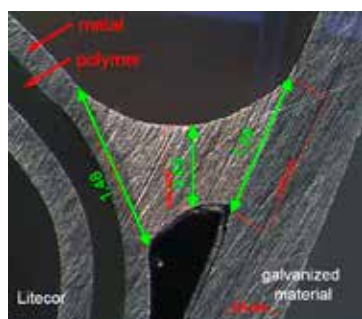
punkten levererade 1,7 kW, framföringshastigheten var 3,0 m/min, trådmatningen låg på 3,3 m/min och tillsatsmaterialet utgjordes av en CuSi3-tråd med 1,2 mm diameter [Fig. 13a]. Det andra exemplet handlade om lasersvetsning av aluminium [AA6016, tjocklek 1,1 mm] med trifokalteknik. Här var effekten i huvudfokalpunkten 4,0 kW, medan de framförliggande foki vardera levererade 400 W. Framföringshastigheten var 3,6 m/min med en trådmatning på 4,2 m/min. Tillsatstråden utgjordes av 1,2 mm grov AlSi12, och skyddsgasen var Ar 4.8 med ett flöde på 10 l/min [Fig. 13b].

Dr. Keming Du, ägare till det framgångsrika företaget EdgeWave GmbH, kanske några minns som mottagare av det prestigefyllda Laser Technology Award vid AKL'10. Företaget grundades i Aachen 2001 och har specialiserat sig på kort- och ultrakortpulsade laserkällor, och man har idag 46 medarbetare. Pedagogiskt nog inledde Dr. Du med att beskriva slab-laserns uppbyggnad, som består av en diodstapel, en strålförminsingsdel, den aktiva kristallen med endast två polerade ytor, en polarisa-

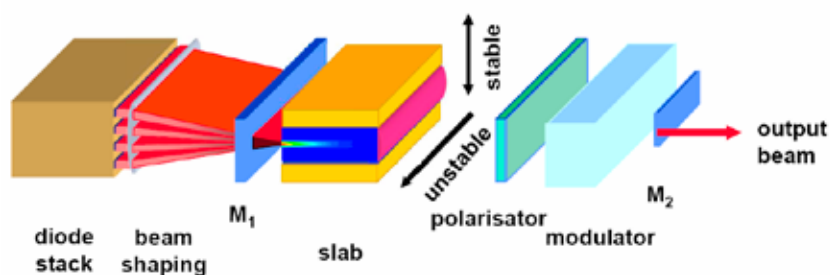
torenhet och en moduleringsdito [Fig. 14]. Den högsta strålkvalitet man lyckats få fram ligger på $M2 = 1,1$ och den högsta pulsenergin på 7 MW! Man kan generera pulsenergies upp till 60 mJ, pulslängder ner till 1 ns, och den högsta pulsfrekvensen ligger på 150 kHz. Strålprofilen kan antingen vara Gaussisk eller "tophat", men också linjeformig eller rektangulär, och de våglängder som erbjuds är 266, 355, 532 och 1.064 nm. En 400 W-enhet har de behändiga måtten 650×300×160 mm och väger 56 kg, och generellt ligger EdgeWaves produkter i prisklasser kring 1.000 €/W.

Härpå följde en lång rad applikations-exempel, såsom;

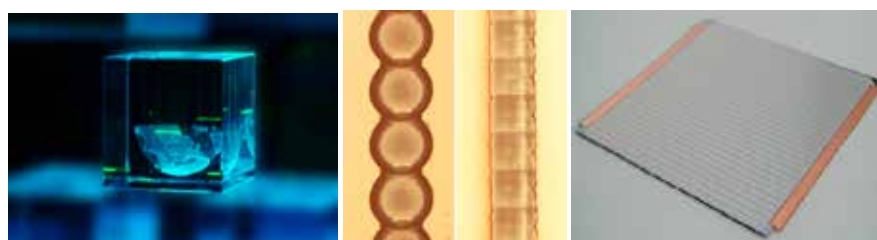
- Märkning inuti glas och på glasytor [Fig. 15]
- Ablation av glas
- Hålbörning av tunna glasplattor med 1.000 hål på 5 sekunder
- Hålbörning av olika duschvarianter hos företaget Hans Grohe
- Ritsning i tunna solcellsfilmer eller strukturering av elektriskt ledande skikt på solceller [Fig. 15]



Figur 13. Två tvärsnitt genom fogar utförda med IPG:s trifokalteknik; t.v. en lödfog mellan ett sandwichmaterial och ett zinkbelagt stål och t.h. en svets mellan två 1,1 mm tjocka aluminiumplåtar av kvalitet AA6016.



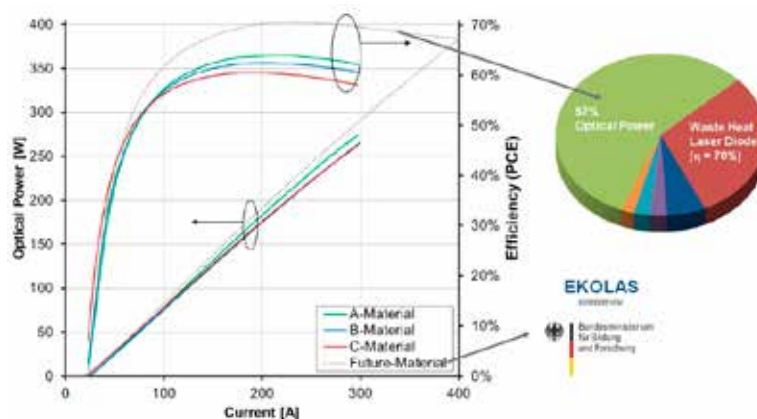
Figur 14. Övan principuppbyggnaden av en slab-laser, och t.h. en 400 W-enhet från EdgeWave GmbH.



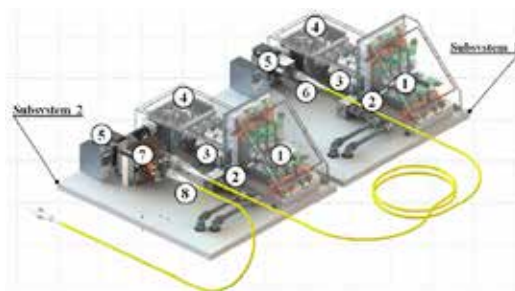
Figur 15. Några exempel på kortpulsbearbetning med laser; märkning inuti glas, ritsning i tunna solcellsfilmer med Gaussisk resp. "tophat"-strålprofil, samt strukturering av elektriskt ledande skikt på solceller.

- Borrning med Gaussisk energifördelning och ablation med "tophat"-dito i tunna solcellsfilmer
- Kanttrimning av bildskärmar som görs genom ablation med 10 ps långa pulser vars effektinnehåll ligger mellan 20-300 W och en "scanning"-hastighet på 2-4 m/sek
- Höghastighetsablation [1 MHz, 4 m/sek] av safirmaterial för skyddslock till kameror och armbandsklockor
- Skärning av transparent material med hastighet > 100 mm/sek och en skärspalt < 20 µm
- Höghastighets-skärning av tunna [40 µm] keramiska folier med dubbla skärverktyg och grön våglängd
- Höghastighetsborrning av tunna [20-50 µm] keramiska folier med 30 W och 10 ps långa pulser. Hålstorlekarna varierar mellan 20-50 µm och produktiviteten är > 2.500 hål/sek!
- Graving av tryckvalsar
- Graving av mikrotext med en upplösning på 5 µm

Dr. Volker Krause från framgångsrika företaget Laserline, grundat 1997 och idag med 240 medarbetare, lät meddela att man nu är uppe i en årlig produktion av över 1.000 diodlasrar. Sin första installation i bilindustrin gjorde man 2001, och då rörde det sig om laserlödning av bakluckorna till Audis A3-modell. Just laserkällor avsedda för tak- eller bakluckelödning har blivit något av ett specialområde för Laserline, och man har idag installerat mer än 700 diodlasrar i karosfabriker över hela världen. Därefter gick Dr. Krause vidare med att beskriva Laserlines variant av trifokalteknik, som skiljer sig från IPG:s ovan beskrivna sådan, och där man i stället för tre separata optiska fibrer använder sig av en s.k. homogeniseringsmodul. Denna är en form av prisma som bryter laserstrålen i tre olika fokalpunkter, och den stora fördelen med denna lösning är att det blir möjligt att även variera avståndet mellan de enskilda punkterna. Annars låg tyngdpunkten på denna presentation på företagets nya VG6-familj med WPE > 50%. Dessa lasrar kombinerar fyra våglängder och två typer av polarisering vilket gör att laserkaviteten består av åtta moduler. För att ytterligare förbättra diodlasrarnas verkningsgrad har Laserline tillsammans med andra företag deltagit i det BMBF [Bundesministerium für Bildung & Forschung]-finansierade projektet "EKOLAS" [Effiziente Konverterlaser], och resultaten från detta projekt indikerar att vi snart kan förvänta oss



Figur 16. Resultat från det nyligen avslutade EKOLAS-projektet (finansierat av BMBF) pekar på att vi snart kommer att få se diodlasrar med över 60% verkningsgrad.



Figur 17. Laserlines LDF-50,000-200 består av två parallellkopplade 25 kW-enheter där olika våglängder i intervall om 20 nm kombineras. Laserkällan är mobil och har de behändiga måtten 2,40x1,75x1,10 m.

källor med WPE > 60% [Fig. 16].

"Värstingen" i Laserlines produktportfölj är två parallellkopplade 25 kW-enheter, där olika våglängder kombineras, med en resulterande uteffekt på 50 kW! Produkten har beteckningen LDF-50,000-200, och måtten är 2,4 m bred, 1,1 m djup och 1,75 m hög [Fig. 17]. Distributionsfibern är 2 mm i diameter och har en N.A. på 0,2. Diodernas livslängd överstiger 40.000 driftstimmar, och våglängdsspannet sträcker sig mellan 900-1.100 nm. WPE för denna laserkälla angavs vara 42% och BPP ligger på 200 mm*mrad. En sådan laserkälla hade använts vid stumsvetsning av 23 mm tjockt X70-material. Man hade då nyttjat 35 kW och en 2 mm stor fokalpunkt vilket resulterade i en svets hastighet på 2 m/min. Det visade sig att man kunde nå en acceptabel svetskvalitet även vid en vertikal offset på 2,5 mm.

Sist lyfte Dr. Krause fram Laserlines VGA-serie, diodlasrar med s.k. strålkon-

verterare, vilket är en form av maskerad fiberlaser. Strålkvaliteten hos dessa ligger mellan 4-10 mm*mrad beroende på lasereffekt, och idag erbjuder man dylika laserkällor med 4 och 6 kW effekt. Pumpmodulernas våglängder ligger mellan 900-1.000 nm, medan den "konverterade", utgående laserstrålens våglängd är 1.080±20 nm. Vid långtidstest över mer än 2.000 timmar av en dylik laserkälla låg effektdegraderingen på cirka 1% per 1.000 timmar. Avslutningsvis tittade Dr. Krause lite i "kristallkulan" och förutspådde att Laserline snart kommer att kunna leverera konventionella diodlasrar upp till 100 kW med strålkvaliteter mellan 20-200 mm*mrad, samt "konverterade" varianter upp till 20 kW och 4-12 mm*mrad i BPP. ■

Forts. i nästa nummer 1-2017.

Med gas i tankarna

Bo Williamsson Application manager, AGA
Gas AB Region Europe North

De flesta av oss har väl sett de där vita ”cigarrerna” som står resta utanför en del verkstadsföretag, de som inte sett dem har i regel ändå hört talas om dem, bild 1. Men varför förvarar man gas i en tank, och hur fungerar det? Artikeln är ett försök att reda ut begreppen kring detta.

Hur produceras gasen?

Steg ett i processen är att producera den flytande gasen. Detta görs i en ASU (luft-separationsfabrik på svenska), **bild 2**. Vid tillverkningen används luft som råvara. Luften komprimeras, kyls samt renas och torkas. Luften kyls ner till cirka -170°C och övergår till delvis flytande tillstånd. Eftersom argon, nitrogen och oxygen har olika kokpunkter kan gaserna separeras i destillationskolonner i den s.k coldboxen. Temperaturen i coldboxen är nära -200°C . Vid behov kan extra reningssteg läggas in i processen. Efter tillverkningen förvaras den flytande gasen i stora lagertankar. Fabriker är ofta placerade i anslutning



Bild 1.
Tank med flytande nitrogen



Bild 2.
Luftseparationsfabrik med förvaringstankar. Destillationskolonnen till höger på bilden.

till en storförbrukare som försörjs via pipeline direkt in i produktionen. Från lagertankarna fylls flytande gas i tankbilar (**bild 2**) för distribution direkt till tankkunder, eller till flaskfyllningsenheter där den förgasas och fylls i flaskor och paket under högt tryck.

Gasen används nerkyld till extremt låga temperaturer där den övergår till flytande form. För verkstadsproduktion handlar det oftast om de s.k luftgaserna nitrogen, oxygen och argon. Eftersom oxygen och nitrogen är de vanligaste processgaserna för laserskärning, kommer artikeln att beskriva tanksystem för dessa. Låga temperaturer innebär i fallet oxygen -183°C och nitrogen -196°C .

Anledningen till att man använder gas i flytande form är ”utväxlingen” av gas vid övergång från flytande till gasfas. Överslagsmässigt kan man säga att 1 liter flytande gas ger ca 800 liter gasfas (det är en viss skillnad mellan oxygen och nitrogen). Fördelen är uppenbar, ett enkelt räkneexempel ger att 1000 liter flytande gas ger ca 800 m³ gasfas vilket motsvarar ca 6,5 flaskpaket. En normal tank med volym 6-11 m³ (det finns andra storlekar också) fylld till hälften motsvarar således 2400-8800 m³. Omräknat till paketvolym motsvarar det ungefär 20-36 gaspaket. Sett i skenet av detta är fördelarna jämfört med användning av gas i flaskpaket uppenbara:

- Minskat antal transporter
- Ingen restgas i retur. I paketfallet räknas flaskorna som tömda vid ett visst tryck som beror av det faktiska tryckbehovet för försörjning till lasern)
- Ingen hantering av paket
- Minskad risk för produktionsstörningar p.g.a paketbyten
- Kontinuerlig gasförsörjning möjlig via fjärrövervakning. Tanken fylls på per automatik vid en viss lägsta nivå som avläses av gasleverantören. Ingen gasbeställningar som ska administreras.
- Förbättrad produktionsekonomi.

Finns det några begränsningar då? Ja, för att tanken ska fungera på bästa sätt krävs att vissa grundförutsättningar är uppfyllda:

- En viss lägsta förbrukning på årsbasis. En tumregel är cirka 10 000 m³, men i vissa fall kan konvertering göras vid lägre volymer.
- Vid låg årsförbrukning kan man få problem med tankens funktion. Tryckstegring i tanken kan orsaka att säkerhetsventilerna löser ut varvid stora gasvolymer släpps ut (detta för att sänka tanktrycket till rätt nivå).
- Det krävs också att förbrukningen är jämn över tiden. Det gör inget om tanken står någon dag eller två utan gasuttag, men vid längre stillstånd eller perioder med extremt varierande uttag kan säkerhetsventilerna lösa ut. En god regel är här att inte fylla upp tanken precis innan semestern. Fyllningarna planeras i dessa fall i samråd med gasleverantören.

Hur fungerar tanken då? Jag nämnde tidigare att gasen förvaras vid extremt låga temperaturer för att hålla den i flytande fas. När temperaturen stiger över denna temperatur förgasas vätskan med tryckstegring i tanken som följd. Uppenbarli-

gen räcker det inte med ett enkelt tryckkär för detta. Cryotankarna kan betraktas som "supertermosar" bestående av en innertank i rostfritt stål och en yttertank i höghållfast konstruktionsstål. Utrymmet mellan inner- och yttertank är fyllt med perlit och dessutom vakuumpumpat för att få optimal isolering, **bild 3**.

Dessa åtgärder till trots så finns ändå ett inläckage av värme, extremt litet förvisso men tillräckligt för att kunna ge problem vid längre tids stillastående utan gasuttag.

Tanken i sig ser för den oinvidde ut som en behållare med ett virrvarr av rör och ventiler undertill. Var och en av ventilererna har dock sin bestämda funktion. Under tanken sitter också en s.k internförångare som används för att trycksätta tanken, **bild 4**. Tanken är också försedd med säkerhetsventiler dimensionerade efter tankens tryck.

Ur tanken kan man sedan ta ut gasfas eller flytande fas, allt efter behov. Den flytande fasen måste dock förgasas innan den ansluts till laserns gasförsörjningssystem. För att åstadkomma detta används oftast en luftförångare som till sin funktion påminner om en luftvärmexvärlare. Förångaren dimensioneras efter det planerade uttaget och kan behöva bytas eller kompletteras om gasflödet ökas radikalt, **bild 5**. Från förångaren dras sedan en rörledning in till lasern.

Max tanktryck för en nitrogentank ligger ofta runt 35-37 bar för att försörja skärlasrar med skärgas upp till ca 30 bar. Maxtrycket i oxygentankarna är oftast lägre, ofta runt ca 16 bar. Även här finns också högttryckstankar för matning av oxygen med högre tryck.

För själva installationen behövs också ett betongfundament där tanken och förångaren placeras, **bild 5**. En viss omsorg bör läggas kring placeringen av tanken så att tankbilen får åtkomst på ett enkelt

sätt vid fyllning. Allt efter behov kan man sedan addera utrustning för att hantera automatiska leveranser, övervakning av dagpunkt etc. Optisk tryckövervakning via manometrar, nivåavläsning etc finns redan installerat på tanken vid leverans. Tankstorleken anpassas efter den faktiska gasförbrukningen och kan behöva korrigeras vid större förändringar av densamma. En viktig sak att beakta vid en planerad installation är att se till att tillstånd för installationen ges av byggnadsnämnd och räddningstjänst.

Slutsatser

Rätt dimensionerad och utförd skapar tanken förutsättningar för stabil och bekymmersfri försörjning av gas till lasern. Vrid på "kranen" vid lasern och du har kontinuerlig gasförsörjning med förutsättningar för mycket stora gasuttag. Om förbrukningsprofil och hantering är korrekt undviks också gasförluster p.g.a oönskade tryckstegringar i tanken. I jämförelse med s.k gasgeneratorer (se tidigare artikel i Lasernytt) ger också tanklösningen oftast en mer flexibel och säkrare försörjning av gas över tiden. I tankabonnemanget ingår årlig översyn och besiktning samt byte av tank vid behov. Hög renhet och möjlighet till stora gasuttag är andra fördelar som totalt sett skapar förutsättningar för en långsiktig, säker och ekonomisk försörjning av gas. Det minskade transportbehovet skapar också förutsättningar för en avsevärt mindre miljöpåverkan än då paket används vid stora gasvolymer. Miljöfrågorna är ju ett hett ämne i den politiska debatten idag. Produktion utan avbrott, förbättrad produktionsekonomi, minskad pakethantering och eliminerad risk för produktionsbortfall p.g.a tomma gaspaket är andra viktiga faktorer som gör tanken till en attraktiv lösning för gasförsörjningen. ■

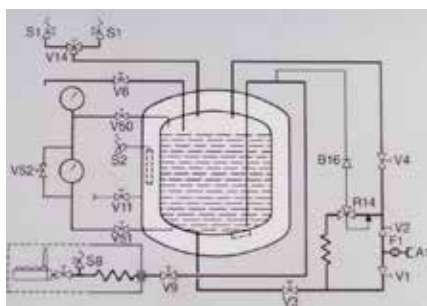


Bild 3.
Uppbyggnaden hos en cryotank



Bild 4.
Internförångare (trycktillsats) placerad under tanken. Till vänster syns också den s.k PER-regulatorn som reglerar trycket.



Bild 5.
Tankstation för flytande nitrogen. Till vänster om tanken står en förångare för att omvandla den flytande gasen till gasfas, hela installationen placerad på en betongplatta.

Mikrobearbetning med laser

Johnny K Larsson,
Autokropolis Engineering

Lasermärkning av anodiserade kontrollpaneler

Anodiserade aluminiumytor är vanligt förekommande på allehanda kontrollpaneler då sådana ytor är utsatta för såväl förslitning som korrosion p.g.a. frekvent operatörsanvändning. Den anodiserade ytan sörjer för ett skydd mot detta och säkerställer en ökad livslängd hos kontrollpanelen. Lasermärkning av sådana paneler är ett attraktivt alternativ då den anodiserade ytan erbjuder en utmärkt kontrastverkan mot aluminiumets normala, vita kulör. Samtidigt bibehålls anodiseringens skyddande effekt då lasermärkningen endast medför en kulörförändring av pigmenteringen i det anodiserade skiktet.

Den här aktuella applikationen, en panel med måtten 193x269 mm, märktes med läsbara beteckningar vid urtagen för strömbrytare och andra funktionsknappar. För att inte behöva indexera panelen under själva märkningsprocessen monte-

rades en lins med 370 mm brännvidd i ett "FH Flyer"-märkverktyg. Linsen genererar en fokalpunkt med 540 nm diameter över ett arbetsfält med måtten 241x297 mm. Lasereffekten tillhandahölls av en Synrad 100 W-laser och "Flyer"-verktyget kontrollerades av det för lasermärkning speciella mjukvaruprogrammet "WinMarkPro".

Märkningsfilen bestod av 0,25" höga, fyllda "Bold Arial TrueType" teckensnitt, och märkningshastigheten låg på 2.540 mm/sek eller 100 IPS [Inch Per Second] med en upplösning på 300 "scannings"-linjer per tum. Normalt skulle denna upplösning vara för hög med tanke på den relativt stora fokalpunkten, men märkningen sker enbart med "toppen" av den Gaussiska strålprofilen vilket i realiteten resulterar i en mindre fokalpunkt. Den sålunda erhållna vita märkningen kontrasterar bra mot den svartanodiserade ytan [Fig. 1], och den totala tiden för att märka en panel uppgick till 9,6 sekunder!

Laserskärning av tätningsmembran till vakuumpumpar

Tätningmembran av plast eller gummi är viktiga komponenter i moderna vakuumpumpar. Eftersom dessa membran måste säkerställa en gastät förslutning mellan pumpens inre och yttre kammare för att garantera en effektiv pumpfunktion, måste membranets kanter vara av god kvalitet utan några ojämnheter. Laserskärning av materialen garanterar en utmärkt och konsistent kantkvalitet samtidigt som man undviker de skador på membranet som vanligtvis förekommer vid mekanisk skärning.

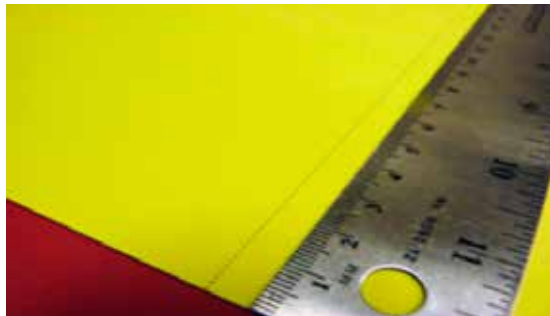
Kravet för den aktuella applikationen var att skära ut ett centralt monteringshål med 22,9 mm [0,9 inch] diameter i ett 1 mm tjockt membran tillverkat av ett laminat bestående av neopren och PTFE [Polytetrafluoreten], mera bekant som Teflon® [Fig. 2]. Vid skärningsoperationen användes en Synrad-laser med 80 W effekt kombinerad med ett XY-bord och ett skärverktyg försett med en lins med 2,5" fokallängd, vilket resulterade i en fokalpunktsdiameter på 0,1 mm på membranet. Ren och torr luft användes som assistgas med ett tryck kring 10 PSI [Pounds per Square Inch], tillförd genom en 0,9 mm stor munstycksöppning med syfte att minimera smältning av det polymera materialet och samtidigt skydda fokuseringslinsen. Med denna uppställning kunde man skära materialet med en hastighet av 74 mm/sek eller 175 IPM [Inch Per Minute], och skärkanterna på det laminerade membranet blev släta, utan tendens till smältning.



Figur 1.
De fyllda bokstäverna på denna kontrollpanel märktes med 100 W lasereffekt och en processhastighet på 2.540 mm/sek [100 IPS] under inalles 9,6 sekunder.



Figur 2.
Det 22,9 mm stora centrumhålet i detta tätning-
membran laserskars med 80 W och en process-
hastighet på 74 mm/sek [175 IPM].



Figur 3.
Hålen i denna perforerade linje i ett kartongmaterial kunde utföras med
en processhastighet på 635 mm/sek och 200 W lasereffekt.

Laserperforering av kartongmaterial

Perforeringar och anvisningslinjer används inom pappersindustrin som hjälp för vikning av kartonger eller för att underlätta öppnandet av förpackningar. Några enkla användningsexempel är skapandet av vik- eller anvisningslinjer på kuvert eller förpackningar, medan andra kan vara av mer komplex natur såsom att perforera dekorativa mönster på gratulationskort. Laserperforering har flera fördelar jämfört med traditionella metoder som exempelvis mekanisk stansning, genom att hålstorlek och hålets placering kan kontrolleras väldigt exakt bara genom att justera pulsfrekvens och pulslängd i la-

serns styrprogram. En annan fördel är den beröringsfria bearbetning som laserprocessen erbjuder, vilket säkerställer en stabil process över långa tidsperioder, och utan behovet av att byta eller skärpa skär- och stansverktyg.

Kravet för den här perforeringsuppgiften var att markera en viklinje på ett 0,29 mm tjockt kartongmaterial där perforeringen senare skulle underlätta öppnandet av förpackningen [Fig. 3]. Laserperforering är en attraktiv process eftersom den enkelt penetrerar papper och kartong på ett konsistent och repeterbart sätt och med mycket hög produktivitet. Vid utprovning användes en Synrad 200

W-laser kombinerad med ett XY-bord och ett skärverktyg med 2,5" [= 63,5 mm] brännvidd, vilket gav en fokuspunktsdiameter på 0,1 mm. Luft med hög renhetsgrad användes som assistgas med ett tryck på 1 PSI genom en 0,9 mm stor munstycksöppning, detta för att skydda fokusoptiken. Med denna utrustning kunde kartongmaterialet perforeras med en hastighet av 635 mm/sek eller 1.500 IPM. Med en pulsfrekvens på 500 Hz skapades 0,65 mm avlånga hål med ett inbördes avstånd på 1,3 mm och den resulterande perforeringslinjen var helt stabil beträffande hålstorlek och centrumavstånd över hela kartongens bredd. ■

Lasertermer definierade för en ny ordbok

Peter Norman,
Svetskommissionen

Vid senaste årsmötet med International Institute of Welding och kommission 6 (terminologi) satt ett antal personer tillsammans med ordförande Dr. H. Glenn Ziegenfuss och projektledaren Mathias Lundin och diskuterade igenom ett 65-sidigt dokument med "Laser Welding Terms and Definition", se **figur 1**, Vi gick igenom term för term och enades om en definition av varje term. Målet med arbetet är att sammanställa detta till en ordbok där varje viktigt ord inom lasersvetsning definieras på engelska, franska och tyska, med en tydlig hänvisning till källan för ordet.

Gruppen jobbade hårt under cirka 4 timmar och lyckades gå igenom hela. Vi väntar nu på arbetet med att det skall rös-

VI-1175-2016 supersedes VI-1157-2015		
Language	Term	Definition
English	beam diameter (d_b)	"encircled power (energy)" - smallest diameter of a circular aperture in a plane perpendicular to the beam axis that contains u % of the total beam power (energy) Note 1 to entry: For clarity, the term "beam diameter" is always used in combination with the symbol and its appropriate subscript, d_b or d_e .
French	diamètre du faisceau (d_b)	"puissance (énergie) circulaire" - le plus petit diamètre d'une ouverture dans un plan perpendiculaire à l'axe du faisceau renfermant u % de la puissance (l'énergie) totale du faisceau Note 1 à l'article: Pour clarifier la définition, le terme «diamètre du faisceau» est toujours utilisé en combinaison avec le symbole et son indice approprié, d_b ou d_e .
German	Strahldurchmesser Strahlbreite	
Source	ISO 11145:2006, 3.3.1	

Figur 1.
Utdrag ur doc. VI-1176-2016

tas igenom och kanske under senare delen av nästa år vara färdigt för publicering.

Arbetsgruppen består av C-VI medlemmar samt inbjudna från C-IV. I kommissionens arbete ingår liknande

arbete för till exempel punktsvetsning, motståndssvetsning och termisk skärning.

Efter denna insats så fortsatte jag mitt arbete med C-XVI, Polymersvetsning och limning, samt ett fåtal till grupper. ■

Reparation av komponenter till gasturbinmotorer med hjälp av laserteknik

Av Johnny K Larsson,
Autokropolis Engineering

UTC Aerospace Systems har specialiserat sig på konstruktion, tillverkning, reparation och inspektion av komponenter för bränsleförsörjning till gasturbinmotorer. Jetmotorer behöver köras så varmt som möjligt för att man skall kunna utvinna maximal energi ur bränslet. Därför utsätts förbränningskomponenter för en extremt hård miljö då de opererar under förhöjda temperaturer med höga vibrationer och under högt tryck. För att kunna klara sig i denna extrema miljö är förbränningskomponenterna avancerade konstruktioner tillverkade i höghållfasta legeringar såsom Nickel- eller Cobolt-baserade sådana. P.g.a. den förhandenvarande tuffa driftsmiljön uppvisar förbränningskomponenterna varierande grader av förslitnings- och nötningsskador. Bränsleinsprutningsmunstycken är typiska exempel på förslitna komponenter i motorer av typ Rolls-Royce 501K, som har använts för att försäga inom US Navy med elektrisk energi. Det omslutande höljets utsätts för omfattande förslitning [Fig. 1] då det ligger i kontakt med den kupolformade bränslespridaren. Traditionell reparation innefattar att den skadade delen maskinbearbetas bort, en ersättningsdetalj tillverkas som sedan svetsas eller löds på plats, förnyad termisk cykling, oförstörande provning och omcertifiering av hårdvaran. En sådan process tar flera veckor i anspråk och är mycket kostsam.

National Research Council [NRC] och dess anläggning i Ontario i Canada, närmare bestämt i staden London, har utvecklat en unik påläggningsteknik med laser som möjliggör tillverkning av komplexa komponenter nära "färdig form" direkt från en CAD [Computer Aided Design]-design, vilket reducerar

såväl tillverkningstid som materialspill och verktygskostnader. Tekniken kan även användas för att reparera motorer och andra komponenter som är svåra att åtgärda med konventionella metoder.

I denna artikel kommer jag att beskriva hur laserpåläggning av legeringen L-605 kunde fastläggas som en användbar metod, och hur mikrostrukturen av pålagt L-605-material undersöktes. Utmattningsprovning av, med laserpålagt L-605-pulver, smitt L-605-material vid förhöjd temperatur utvärderades. Friktionsmotståndet hos laserpålagt L-605-material provades och jämfördes med smitt L-605-material. Därutöver kommer jag sammanfattningsvis att diskutera applicering av integrerad "3D-mappning" vid reparation av insprutningsmunstycken med laserpåläggning för att ytterligare minska reparationstid och kostnader.

L-605-legeringen, även känd under beteckningen Haynes25, är en Cobolt-baserad legering som har goda motståndsegenskaper mot oxidation och korrosion, men som också uppvisar höga hållfasthetsegenskaper vid förhöjda temperaturer. L-605 har visat sig fungera utmärkt i åtskilliga av de komponenter som ingår i jetmotorer. Exempel på några sådana är turbinblad, förbränningskammare, efterbrännkammare och turbinringar. Ett gasatomiserat L-605-pulver, där kornen har en sfärisk form med storlek mellan 15-45 µm, användes vid denna reparation med laserpåläggning, och en nd:YAG-laser från Lasag kopplades via en optisk fiber till det påläggningsverktyg som användes vid experimenten. Lasern pulsades med en medeleffekt som varierades mellan 40-100 W.

En 9MP-pulvermatare från företaget Sulzer Metco användes för att mata L-



Figur 1.
Ett skadat bränsleinsprutningsmunstycke för motorer av typ Rolls-Royce 501K.

605-pulvret in i smältan genom ett munstycke med en matningshastighet av 5-10 g/min, och en femaxlig CNC [Computer Numerical Control]-maskin användes för att manipulera påläggningsverktyget under operationen, vilken utfördes vid rumstemperatur i en försluten kammare där mängden syre understeg 50 ppm [parts per million] under processen.

Mikrostrukturen hos det pålagda skiktet består av rörformiga korn med fina dendriter inuti. Vid kemisk etsning framgår det att dessa "dendritrör" sträcker sig genom flera av de pålagda lagren [Fig. 2a]. Skillnader i gråskala indikerar olika orienteringar av dessa rörformiga korn. SEM [Scanning Electron Microscope]-analys styrker ytterligare att varje korn med olika orientering innehåller stelnade dendriter som kan fortsätta att växa vidare in i nästa pålagda pulverlager. Det s.k. "Primary Dendritic Arm Spacing [PDAS]

ligger kring 1-2 μm , medan "Secondary Dendritic Arm Spacing" [SDAS] uppmättes till mellan 0,5-1,0 μm .

Gränsskiktet mellan pålagt L-605-material och det smidda grundmaterialet uppvisar en bra metallisk bindning [Fig. 2b]. De rörformiga kornen har en spegelvänd kristallorientering i förhållande till de motsvarande, underliggande i L-605-substratet. SEM-observationerna bekräftar att gränsskiktet mellan pålagt material och grundmaterialet har en god metallisk bindning. Efter lösningshårdning vid 1.232 °C försvann den rörformiga, dendritiska strukturen i påläggningen fullständigt och omkristalliserade sig i skilda equiaxiella korn. Dessa är mycket mindre än de som finns i det smidda L-605-grundmaterialet.

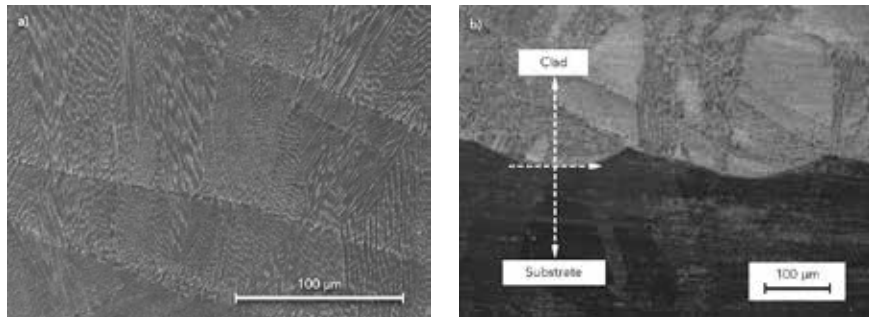
Högtemperaturutmattnings utfördes vid 538 °C [1.000 °F]. Vid relativt låga spänningsnivåer kring 400 MPa visade såväl laserpålagda som smidda referensobjekt s.k. genomlöpare vid 200.000 cykler. Vid en högre spänningsnivå på 450 MPa hade de laserpålagda objekten en livslängd på 16.850 cykler vilket är något högre än referensen som klarade 15.600 cykler. Det är intressant att notera att vid en spänningsnivå på 425 MPa nådde tre av de laserpålagda objekten 200.000 cykler medan ett fallerade redan vid 32.500 cykler. Detta innebär en genomsnittlig livslängd på 158.000 cykler, vilket är en avsevärd förbättring av livslängden jämfört med de smidda L-605-referensobjekten som endast nådde ett genomsnittligt värde på cirka 17.000 cykler. Den förbättrade livslängden hos de laserpålagda L-605-objekten går att härleda till en förfinad kornstruktur och ökad hårdhet. Däremot krävs det en mer omfattande undersökning för att i detalj förstå de mekanismer som påverkar.

Friktnionsförslitning provades vid rumstemperatur med en Falex ISC Tribometer där en liten kula i Stellite20 ansattes mot de roterande provobjekten under följande förutsättningar:

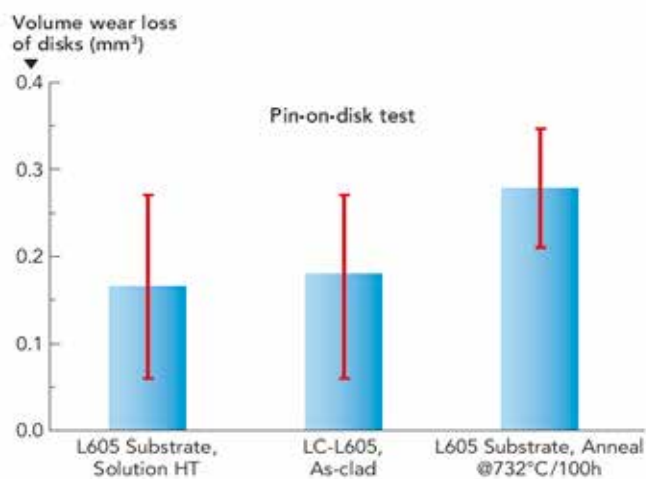
- Normal belastning på 150 g
- Rotationshastighet 66 mm/sek
- Total distans 3.000 m

Som referensobjekt användes smidda L-605-provobjekt som hade värmebehandlats vid 1.232 °C under en timme och därefter anlöpts vid 732 °C under 100 timmar.

Figur 3 visar resultaten från dessa nötningsprov mellan laserpålagt L-605-material och referensobjekten. Nötningsmotståndet hos de laserpålagda objekten,



Figur 2. SEM-bilder av tvärsnitt genom laserpålagt L-605-pulver; vertikalt genom de pålagda skikten (a), och i gränsskiktet mellan pålagt pulver och grundmaterial.



Figur 3. Jämförelse av nötningsmotståndet hos objekt laserbelagda med L-605-pulver med referensobjekt tillverkade i samma material.



Figur 4. a) Ett skadat bränsleinsprutningsmunstycke för motorer av typen RR501K b) Samma munstycke efter reparation med laserpåläggning

som inte hade genomgått någon form av efterföljande värmebehandling, är jämförbart med den lösningshårdade, smidda L-605-varianten, vilken kan sägas motsvara ett nytillverkat insprutningsmunstycke, och avsevärt bättre än de anlöpta, smidda L-605-objekten, vilka kan sägas simulera egenskaperna hos ett insprutningsmunstycke som varit i drift en längre tid.

UTC Aerospace Systems har även utvecklat en metodik för att reparera skadade bränsleinsprutningsenheter med komplex geometri, vilken omfattar rengöring av den skadade munstycksytan, uppmätning av den skadade ytan genom s.k. 3D-mappning, automatisk generering av NC [Numerical Controller]-programmet för varje individuellt munstycke, laserpå-

läggning i det skadade området, efterbearbetande slipning, oförstörande provning av det reparerade munstycket etc.

Efter en längre tids användning är dimensionerna olika för de skadade bränsleinsprutningsenheterna p.g.a. olikheter i position och djup för det skadade området. Laserpåläggning kräver därför en mycket exakt beskriven kontur av den förslitna ytan för att kunna skapa det styrprogram som behövs för reparationen. För att säkerställa en korrekt reparation måste de yttre dimensionerna på varje enskilt munstycke mätas upp.

NRC har utvecklat ett mätsystem för uppmätning "in-line" som är baserat på laser-"scanning", och som här hade använts för att mäta upp ytan på ett skadat RR501K-munstycke. Utrustningen består av en laserbaserad lägesensor och en kontrollenhet som kan integreras i vilket CNC-styrt robotprogram som helst genom vanliga I/O-"interface", och som är lätt att uppgradera för applikationer som kräver fleraxliga mätoperationer "on-line". Systemet har en maximal felavvikelse på 0.09 mm jämfört med CAD-modellen, vilket inkluderar dimensionsfel, mätfel från sensorer, störningar i mätningen, avvikelser i rörelseschema, fixturvariationer etc., och som har en repeterbarhet inom 0,06 mm.

Efter att ha rengjorts enligt det förfarande som är standard vid reparation, oavsett vilken metod som används, placerades varje RR501K-munstycke i en enkel fixtur monterad på ett horisontellt rotationsbord och de skadade ytorna mättes upp med hjälp av det ovan beskrivna "in-line"-mätsystemet. Mätbanan bestämdes på basis av RR510K-munstyckets form och läge, och ett användargränssnitt

användes som inte bara kontrollerade själva uppmätningen men också visuellt kunde visa mätresultaten. Baserat på dessa "in-line"-mätningar automatgenererade ett mjukvaruprogram utvecklat av NRC ett unikt styrprogram för laserverktyget som på så sätt kunde reparera varje uppmätt insprutningsmunstycke individuellt. Laserpåläggning med legeringen L-605 genomfördes sedan på ett framgångsrikt sätt vid reparation av de skadade munstyckena där en 500 W nd:YAG-laser användes. **Figurerna 4a och 4b** visar ett RR501K-insprutningsmunstycke före och efter reparation med laserpåläggning.

De reparerade munstyckena maskinbearbetades för att få den stipulerade ytkvaliteten, varpå de sektionerades så att påläggningens kvalitet kunde analyseras. Mikroskopi visade att L605-påläggningen har den rätta metallurgin och att den fäste väl mot den skadade munstycksytan. Högupplöst SEM-analys kunde ytterligare bekräfta detta. Inga sprickor och ingen porositet kunde observeras. De pålagda L-605-lagren uppvisar en fin dendritisk kornstruktur, medan L-605-substratet som utgör det ursprungliga munstycket har uniaxiella korn.

Efter maskinbearbetningen fick de reparerade munstyckena en bra ytfinish, och oförstörande provning i form av penetrant- och röntgenprovning visade att det inte förekom några defekter i de med laserpåläggning reparerade RR501K-insprutningsmunstyckena [Fig. 5].

Sammanfattning

De laserpålagda skikten av legeringen L-605 har hög densitet och fäster väl mot det smidda L-605-substratet



Figur 5.
Ett genom laserpåläggning reparerat insprutningsmunstycke till en RR501K-motor efter kompletterande ytfinish.

- De med L-605-pulver laserpålagda objekten uppvisade jämbördiga eller avsevärt förbättrade utmattningssegenskaper i jämförelse med de smidda L-605-referensobjekten vid provning under en förhöjd temperatur på 538° C
- Den förbättrade utmattningshållfastheten hos de laserpålagda L-650-objekten går att härleda till dess fina mikrostruktur och ökade hårdhet
- Nötningsmotståndet hos de laserpålagda objekten var i paritet med det hos de smidda L-605-referensobjekten
- Det 3D-mappningsförfarande som utvecklats av National Research Council användes då de skadade RR501K-insprutningsmunstyckena reparerades genom laserpåläggning med L-605-material
- De reparerade insprutningsmunstyckena genomgick metallografisk undersökning och oförstörande provning i enlighet med kundens specifikationer ■



Hallströms verkstäder fortsätter investera för breddad produktion

Hallströms grundades 1914 av den unge plåtslagaren Carl Theodor Hallström. Startkapitalet var 15 kronor och en verktygslåda. Tre generationer senare har plåtslageriet utvecklats till en tekniskt avancerad industri med effektiv produktion och konkurrenskraftiga priser. Och ja, de finns fortfarande kvar där allt började, i Näliden i hjärtat av Jämtland.

Inriktningen är produkter i tunnplåt för komfort och industriventilation. Man levererar ett stort sortiment för de flesta installationsmiljöer och specialtillverkar även produkter utifrån kundens önskemål. Produkterna används bland annat inom pappers- och massaindustrin, till bostads- och arbetsplattformar inom off-shore, kemisk industri, läkemedels- och livsmedelsindustrin, idrottsarenor och bostäder. 40 procent av produkterna går på export.

Nils-Åke Hallström, VD och ägare, säger;

– Vi har sedan tidigare en likadan laserskärmaskin och behövde öka kapaciteten. Det kändes naturligt att investera i ytterligare en Prima Power Platino fiberlaser då det blir enkelt att ha samma mjukvara för operatören som kommer att köra bägge maskinerna. Det finns också en poäng med att ha en och samma leverantör då det ger synergieffekter vid till exempel service av maskinerna. Vi har jobbat tillsammans med Din Maskin i många år och tycker att det fungerar bra, avslutar Nils-Åke.

Hallströms är sedan många år en trogen kund till Din Maskin och har sedan tidigare ett flertal Omera kanttrimningsmaskiner, en Starmatik robotcell med SafanDarley servoelektrisk kantpress samt en fristående servoelektrisk kantpress från samma leverantör.

Hallströms Verkstäder investerar nu i en Platino 2.0 fiber 1530 för plåtformat 1500x3000 mm från Prima Power! Man väljer även att komplettera med LST-sortering och staplingsrobot samt en Compact Server för produktion från plåtämnen till staplade detaljer helt obemannat.

Systemet laddar plåtämnen för skärning i lasern vilka sedan separeras och staplas på pallar av LST roboten för enkel hantering till efterföljande processer, allt helt automatiskt.

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



Operatören Jesper Olsson vid den nya fiberlasern Prima Power Platino



Operatören Daniel Kjellson vid den nya gradsaxen B-Shear från SafanDarley.

Några av de utmärkande egenskaperna för Platino är:

- Maskinstativ i granit
- Smartcut, Maxcut, Nightcut – teknologier för snabba cykeltider och processsäker skärning.
- Automatisk dysväxling med 12 stationer.

Gradsaxen som Hallströms Verkstäder också investerat i är en SafanDarley servoelektrisk sax typ B310-6.

SafanDarleys gradsaxar är hybrider som sparar energi, har låg ljudvolym och en hög noggrannhet. Styrsystemen TS100 och TS200 gör att man enkelt både klipper 1-stycksdetaljer och volymproduktion effektivt. Maskinen som Hallströms investerat i har dessutom pneumatisk plåtupphållare på baksidan av maskinen som standard.

För ytterligare information om Prima Power laserskärmaskiner eller SafanDarley gradsaxar, kontakta en säljare på Din Maskin eller gå in på dinmaskin.se

Fiberlasrar är ”framtidens melodi” menar Berthold Kessler

Johnny K. Larsson,
Autokropolis Engineering

Jag vill minnas att jag träffade Berthold Kessler för första gången i samband med en podiumdiskussion vid NOLAMP 1999 i Laappenranta, och att han då var ansvarig för svets tekniker hos Precitec KG i Gaggenau. Mitt budskap då till närvarande tillverkare av laserkällor och -system var att bilindustrin var mindre intresserad av högre effekter utan snarare efterfrågade tillförlitliga systemlösningar som kunde uppfylla våra kapabilitetskrav på hög tillgänglighet. En av de intresserade åhörarna var just Herrn Kessler, som tydligen tog fasta på vad jag sagt, eftersom han några år senare flyttade till Burbach och IPG Laser GmbH där han idag kraftfullt marknadsför företagets fiberlasrar, vilka nu på allvar tycks göra sina insteg i karosfabriker över hela världen. Under åren har jag och den gode Berthold haft många gemytliga diskussioner där vi vägt olika typer av laserkällors för- och nackdelar mot varandra. På de följande sidorna har jag låtit honom lämna lite information kring fiberlasrar i allmänhet och exemplifiera med några olika applikationer.

Under den senaste 15-årsperioden har utvecklingen av fastkroppslasrar gått framåt med rasande fart då det gäller ökat tillgängligt effektuttag, högre verkningsgrad och bättre strålkvalitet. Inte minst fiberlasrar med höga effekter har följt dessa trender och lett till effektnivåer och strålkvaliteter som var otänkbara för bara några år sedan. Numera kan IPG leverera multi-mode-lasrar med 100 kW effekt och single-mode-källor med upp till 10 kW.

Idag kan den industriella användaren erbjudas laserkällor med näst intill obegränsad effekt, vilka enkelt låter sig integreras i befintliga processer. Robusthet, kompakt volym och elektrisk verknings-

grad har förbättrats, samtidigt som investeringskostnaderna för en sådan laserkälla nästan halverats under en tioårsperiod. För svetsning står alltså prisvärda laserkällor med höga effekter till förfogande, vilka i kombination med andra laserprocesser möjliggör nya tillverkningslösningar. Lägg därtill reducerad tillverkningskostnad p.g.a. lägre strömförbrukning, mindre andel tillsatsmaterial och eliminering av efterbearbetning och riktningsoptioner. Låt oss titta på några användningsområden där fiberlasrar med hög effekt fördelaktigt kan användas, och låt oss då börja med laserlödning.

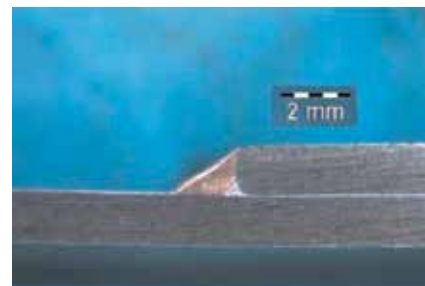
Metoden används idag flitigt inom bilindustrin och då vid sammanfogning av zinkbelagd tunnplåt för att åstadkomma en visuellt acceptabel fog. Med en YLS-5000-BR [Fig. 1] som laserkälla optimerades strålkvaliteten för att ge en homogen energifördelning över en förhållandevis stor fokuspunkt med 2,5 mm i diameter. Med en sådan laserkälla kunde man då nå processhastigheter kring 4-5 m/min. Vid



Figur 1.
Laserkällan YLS-5000-BR är speciellt utvecklad för lödningsoperationer, men dess homogena energifördelning i en större fokuspunkt gör den även lämplig vid påläggning och ythärdning med laserteknik.



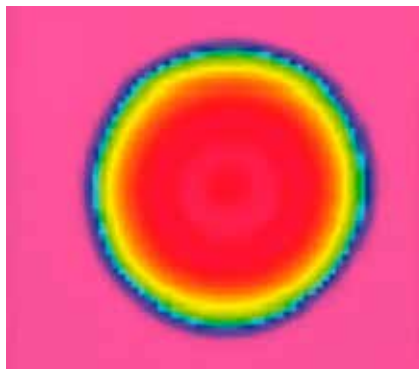
Figur 2.
Laserlödda fogar av stålplåt utförda med fiberlasern YLS-5000-BR och en 600 µm grov processfiber. Tillsatsstråden är av CuSi-legering och lödverktuget Scansonics ALO3. T.v. 0,8 mm tjock zinkbelagd plåt laserlodd med 3,5 kW effekt och en framföringshastighet på 2,8 m/min, t.h. 1,5 mm tjock plåt lödd med 3 kW och en hastighet på 4 m/min.



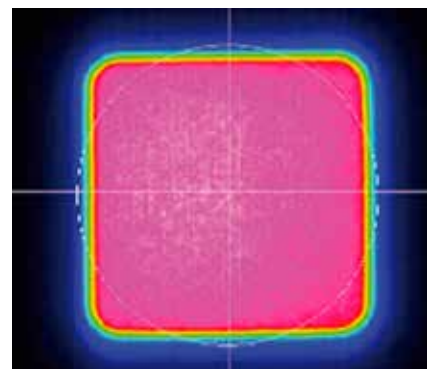
lödningen användes ett verktyg av typen ALO3 från företaget Scansonic. Denna optik använder tillsatstråden som en taktill sensor för fogföljningen. Lödfogen blir jämn och har en utmärkt ytkvalitet, samtidigt som uppvärmningen av grundmaterialet är minimal och det korrosionsskyddande zinkskikten inte skadas [Fig. 2]. Endast en lätt borstning av fogen krävs innan lackering, varefter fogen blir ”osynlig” på den färdiga karossen. Laserkällan YLS-5000-BR kan som option föras med en grövre distributionsfiber. Härtill erbjuds såväl runda som kvadratiske fibertvårsnitt med måtten 600, 800 eller 1.000 µm [Fig. 3]. De kvadratiske tvårsnittet är särskilt lämpliga vid laserbearbetning av stora ytor som vid exempelvis härdning eller påläggning.

Om lasern skall användas till stumsvetsning av tunnplåt är fokuspunkten mindre, vanligtvis omkring en halv millimeter. Därför är förvisso svetsning bara möjligt om spalten mellan plåtarna har en konstant bredd som är mindre än detta värde. Om vid stålbyggnation eller inom varvsindustrin de ingående komponenterna inte har sagda snäva toleranser måste kanterna fräsas eller slipas innan lasersvetsningen, vilket är kostsamma operationer. Eftersom detta kan innebära en fördubbling av investeringskostnaden för laseranläggningen har IPG tagit fram en lösning där laserstrålen via en strålväxlare kan skickas till ett skärverktyg som sedan åstadkommer en perfekt skärkant [Fig. 4]. Utan vidare efterarbetning kan sedan plåtarna sammansvetsas med den s.k. laserhybridtekniken, samtidigt som en och samma laserkälla används till såväl fogberedning som svetsning [Fig. 5].

Vid prov genomförda hos firman IMG i Rostock på 6 m långa plåtar visade det sig att det gick att åstadkomma en spaltbredd mellan plåtarna mindre än



Figur 3. Intensitetsfördelningen i laserstrålen illustrerad i en färgskala från högsta till lägsta intensitet (violett, rött, gult, grönt och blått). T.v. kvadratisk fibertvårsnitt och t.h. ett runt sådant.



0,2 mm över plåtarnas hela längd. Med laserskärningen har man på ett enkelt sätt skaffat förutsättningar för att åstadkomma en högkvalitativ laserhybridsvets.

Med 6 kW lasereffekt gick det att nå en skärhastighet på 4 m/min i de 6 mm tjocka plåtarna [Fig. 6]. Om man däremot sätter in en 12 kW fiberlaser med stråldelare kan båda plåtkanterna skäras samtidigt. Att kantbearbeta en 20 m lång plåtpanel tar mindre än 5 minuter varefter plåtarna positioneras med nästintill nollspalt varpå lasereffekten tas ut via en tredje fiberutgång till ett verktyg som genomför den slutliga svetsoperationen. Med fiberlaserens flexibilitet och flera fiberutgångar kan en och samma laserkälla användas till flera verktyg för olika laserprocesser [Fig. 7]. Den övervägande delen av svetsfogar på fartyg eller i andra stålkonstruktioner är kälffogar. Vid tillverkning av panelsektioner till fartyg svetsas förstärkningsribbor till panelerna med hjälp av pulverbåge,

MAG eller tandem-MAG. I viss begränsad omfattning har CO₂-lasrar börjat användas för detta ändamål.

För att minimera värmedistorsioner och för att höja den dynamiska hållfastheten är det fördelaktigt att utföra en fullständig genomsvetsning för att på så sätt få en hel bindyta mellan panel och förstärkningsribba. Denna svets kan utföras enkelsidigt, men också dubbelsidigt och simultant [Fig. 8]. Med den senare metodiken får man ett symmetriskt och begränsat svetsvårsnitt vilket innebär minimal förvriddning, samtidigt som svets-hastigheten och därmed produktiviteten kan fördubblas.

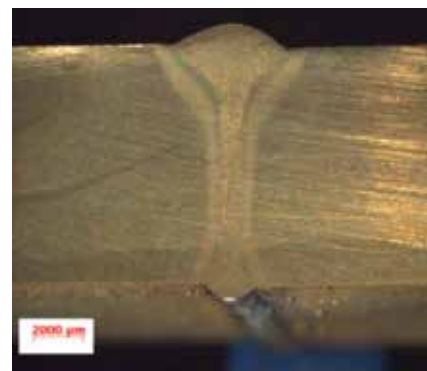
För några år sedan installerade IMG en ny, komplett tillverkningslinje för fartygspaneler vid skeppsvarvet Fincantieri i Monfalcone i Italien. För att svetsa de aktuella stumfogarna satte IPG för första gången in en 10 kW fiberlaser i en laserhybriduppställning. Anläggningen



Figur 4. Oxid- och gradfritt laserskärnitt av 6 mm tjock fartygsplåt med primad yta; 6 kW effekt och 4 m/min i skärhastighet.



Figur 5. Laserhybridsvetsade fogar där fogberedningen gjorts med laserskärning; t.v. Invar-stålplåt i 8 mm tjocklek och t.h. skeppsbyggnadsstål i 10 mm.



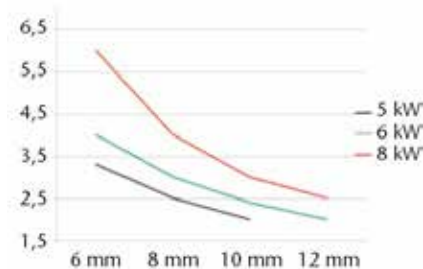
kan producera paneler med en bredd av 16 m och en maximal längd på 40 m, där plåttjockleken varierar mellan 6-20 mm. Fogberedningen sker genom att plåtkanterna fräses i en utrustning som samtidigt tjänar som fixtur för hybridsvetsningen. Laserkällan är placerad i en klimatiserad container i direkt anslutning till panelinjen. Laserstrålen distribueras via en väl innesluten optisk fiber till svetsverket [Fig. 9]. Det krävs varken en dyr portalrobotanläggning för att röra laserstrålen över arbetsstycket, och inte heller någon exklusiv och precis stråldistribution som är fallet vid användning av en CO₂-laser.

Systemets effektförmåga är betryggande. Plåttjocklekar mellan 6-12 mm kan svetsas i en sträng med laserhybridekniken varvid man får en öppen rotsida. Vid grövre tjocklekar fyller man lämpligtvis ut svetsvärmsnittet med en tandem-MAG-brännare vilken är monterad på samma svetsrobot som laserhybridverket. På detta sätt blir det möjligt att svetsa 20 mm tjocka plåtar med en sträng utan deformationer. En 36 meter lång och 16 meter bred fartygspanel har tillverkats på detta sätt. Panelen är helt rak varför ingen riktning eller annan form av efterbearbetning behövs [Fig. 10].

I en annan laserhybridtillämpning hos firman F.X. Meiller i München orbitalsvetsades hydraulikcylindrar. Produktfloran omfattar rör med 80-250 mm i diameter och vägg tjocklekar mellan 4-12 mm. Då det här handlar om höghållfasta stål med speciella krav på de mekaniska och tekniska kvalitetskraven bestämde sig Meiller för att använda laserhybridprocessen [Fig. 11]. Svetsprocessen förädlades av företaget Carl Cloos Schweisstechnik GmbH och integrerades i en specialmaskin som har en förstation för tvättning av de rör som sedan skall svetsas [Fig. 12].

Här används en 10 kW fiberlaser med en 30 meter lång optisk fiber. Svetsverket, som är försett med en sensor för fogföljning, manipuleras av en industrirobot. Själva laserkällan befinner sig utanför säkeretskabinettet. Vid en vägg tjocklek på 12 mm ligger svetshastigheten på 1,8 m/min, vilket innebär att hydraulcylinderns båda svetsfogar kan färdigställas inom loppet av cirka en minut.

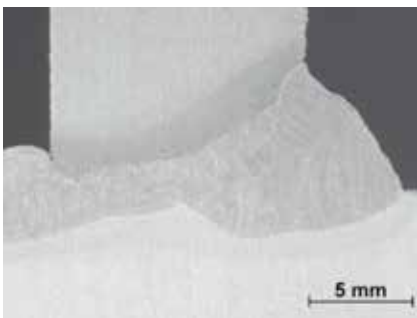
Även om de flesta installationerna med fiberlasrar med hög effekt idag utgörs av källor upp till 12 kW finns det redan installationer i Japan och USA som använder 20 kW lasereffekt, och det är naturligt att använda högre effekt vid svetsning av grövre plåttjocklekar. Vid för laserhybridekniken typiska svetshastigheter kring



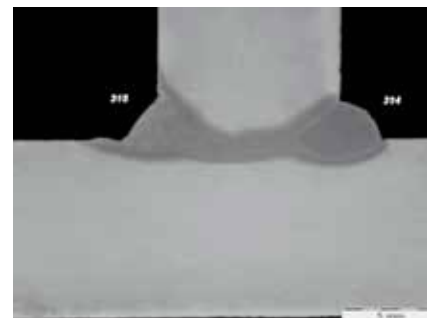
Figur 6. Skärhastigheter (y-axeln) för olika lasereffekter och plåttjocklekar av primerbelagt fartygsstål.



Figur 7. Fiberlasersystemet YLS-10000 med integrerad 4-vägs strålväxlare och kylvattenhet.



Figur 8. Laserhybridsvetsning av kälffogar med en fullständig bindyta mellan de 10 mm tjocka plåtarna. T.v. enkelsidigt svetsat med 10 kW och en hastighet av 1,5 m/min, och t.h. dubbelsidigt och simultant svetsat med 8 kW/sida och 3,5 m/min i processhastighet.



Figur 9. Stationen för stumsvetsning av fartygspaneler hos det italienska skeppsvarvet Fincantieri. Anläggningen har en integrerad kantfräs, och ovan t.v. syns det mobila svetsverket från IMG.



Figur 10. Helt plana paneler blir resultatet efter laserhybridsvetsning varför inga efterföljande rikttningsarbeten behöver utföras.

cirka 2 m/min kan man räkna med en linjär tillväxt av insvetsdjupet med 1 mm per kW lasereffekt. Men den högre effekten kan även användas för att öka svetsastigheten [Fig. 13]. Enkelsidig svetsning med en sträng av 32 mm tjock plåt och dubbelsidig upp till 50 mm plåttjocklek har redan realiserats [Fig. 14].

En högre lasereffekt kan också användas för att öka svetsvärnsnittet och därigenom öka lasersvetsprocessens tillförlitlighet med tanke på toleranser hos ingående plåtar. Ett exempel på pendling av laserstrålen visas i figur 15. Här erhöles man en svetsbredd på 2,5 mm i roten, samtidigt som man minimerar risken för bindfel p.g.a. plåtkanternas toleranser. Denna form av manipulering av laserstrålen utvidgar användningsområdena för lasersvetsning.

Som sammanfattning kan vi konstatera att fiberlasrar med hög effekt visar på ett mångsidigt spektrum av användningsområden, vilka redan idag har omsatts i industriella applikationer. Genom sin enkla integrering, höga verkningsgrad och kompakta layout kan fiberlasern realisera kostnadseffektiva lösningar, som igår var otänkbara eller helt enkelt ekonomiskt olönsamma.

IPG Laser GmbH har anpassat sina fiberlasrar med hög effekt till olika svetsuppgifter, och genom strålväxelsystem gjort tekniken ännu mer ekonomisk. Vare sig det rör sig om en homogen intensitetsfördelning för laserlödning eller dynamisk strålpending vid svetsning av grövre plåtar, kan laserprocessen skräddarsys. Dubbelsidigt och simultant arbetande processer, som realiseras genom "beam splitting", leder till en ytterligare höjning av produktiviteten.

Svetsprocesser med lasereffekter upp till 20 kW är idag en industriell verklighet. Dock finns industrier som efterfrågar ännu högre effekter. Det påvisade linjära förhållandet mellan insvetsdjup och lasereffekt låter oss anta att man vid enkelsidig bearbetning kommer att nå svetsdjup på 50 eller 60 mm i framtiden. Givetvis kommer detta att kräva ytterligare svetsstekniska försök.

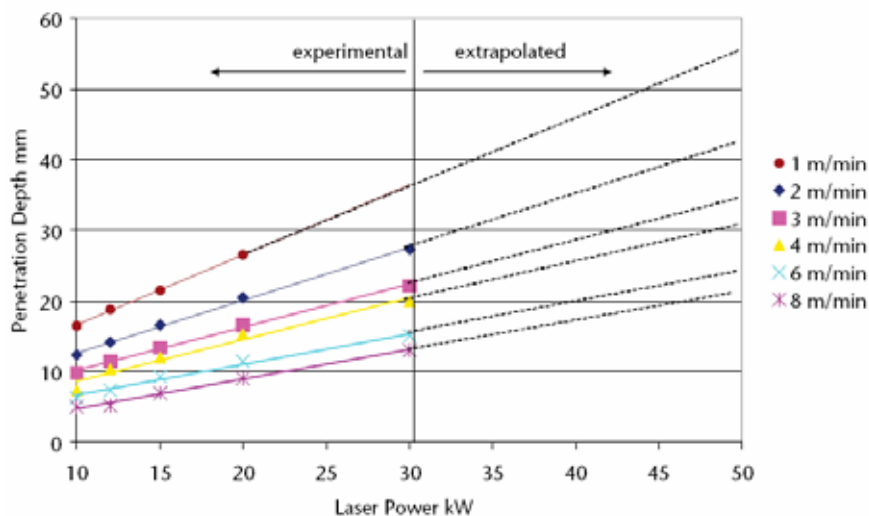
Även om en interpolation av svetsdjupet reser en del frågeställningar är det emellertid säkert att IPG med sina modulariserade uppbyggda laserkällor kan erbjuda tillräckliga effektnivåer. Efter utleveransen av en 50 kW-enhet 2008, vilken följdes av en 100 kW-enhet under 2014, är det uppenbart att det inte längre finns några gränser för denna skalering av lasereffekten. ■



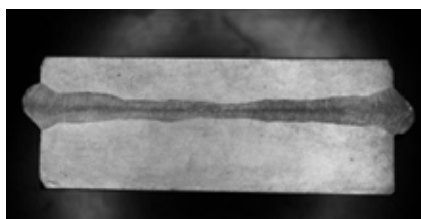
Figur 11. Laserhybridsvetsning av hydraulikcylindrar med en vägg tjocklek på 12 mm; Lasereffekt 10 kW och svetsastighet 1,8 m/min.



Figur 12. Helautomatisk hybridsvetsanläggning för tillverkning av hydraulikcylindrar installerad hos F.X. Meiller i München.



Figur 13. Insvedsdjup som funktion av lasereffekt vid några olika svetsastigheter.



Figur 14. Dubbelsidig laserhybridsvetsning av 50 mm tjockt rostfritt stål med 20 kW per sida och en processastighet på 0,6 m/min.



Figur 15. Dubbelsidigt svetsade kälfgögar i rostfritt material med 25 mm svetsdjup, där man pendlat laserstrålen för att på så sätt erhålla ett större svetsvärnsnitt. Processparametrarna var här 12 kW och en svetsastighet på 1 m/min.

Se Jaguar tillverkas och möt Zlatan på Emirates Stadium

LaserGruppen planerar en studieresa till England den 4-5 maj 2017 samt möjlighet till studiebesök även den 8/5. Helgen kan tillbringas i London.

Vi besöker Jaguar/Landover i Birmingham den 4/5 under eftermiddagen och får där se deras tillverkning.

Under mer än 90 år har Jaguar inspirerats av sin grundare Sir William Lyons. Han insisterade på att alla Jaguar som tillverkas ska förena prestanda och skönhet på ett sätt som saknar motstycke. Hans kompromisslösa vision skapade nya standarder som man fortfarande lever efter.

På kvällen reser vi till Nottingham och besöker LaserExpertise Ltd samt något annat företag i regionen den 5/5. Laser Expertise är ett komplett laserlegoföretag som har varit i branschen sedan 1984. Man har 45 anställda, fyra lasersystem, kantböckning, trumling, slipning och pulverlackering. John Powell, en av delägarna, är även verksam vid Luleå tekniska universitet som adjungerad professor. Man har stor erfarenhet att driva företaget både i med- och motgång och kan både berätta om framgångsfaktorer och saker som inte har gått så bra.

Måndag den 8/5 planerar vi för ett besök vid The Welding Institute i Cambridge, som är ett världsledande institut inom svetsning där även laser ingår. Man arbetar också med additiv tillverkning, laserskärning, mikrobearbetning med laser och andra lasertekniker.

TWI är ett världsledande forskningsinstitut inom svetsning och andra teknologier som additiv tillverkning. ■

Weekend i London

Under helgen, lördag 6/5 spelas två fotbollsmatcher i Premier League i London:

Arsenal – Manchester U
Chelsea – Middlesborough

som kan upplevas på plats!

Preliminärt program

Torsdag 4 maj

- Resa till Birmingham
- Studiebesök Jaguar/Landover
- Resa till Nottingham
- Middag

Fredag 5 maj

- Studiebesök Laser Expertise Ltd, samt ett annat laserföretag i regionen.
- Resa till London – här kan studieresan avslutas för de som önskar.

Lördag-söndag 6-7 maj

- Fritt program i London
- Söndag eftermiddag resa till Cambridge

Måndag 8 maj

- Studiebesök The Welding Institute, Cambridge

Hemresa

Från London alt. Birmingham



Drömfabriken – vision eller verklighet?

Thomas Hägglund
Din Maskin AB

Vad tänker man när man läser ordet ”drömfabrik”?

Vissa tänker kanske på Sci-fi filmer, där påverkan av minnen och sömn gör det möjligt att resa till andra världar eller en annan tidsålder.

Andra drömmar kanske om att förverkliga sina innovativa idéer till produkter och börja producera dessa i en egen fabrik.

Någon har redan sin drömfabrik, som exempelvis Siemens Industrial Turbomachinery AB i Finspång, där komponenter tillverkas likväl som reparationer utförs inom nytillverkning och underhåll av gasturbiner med metallpulver och laserteknik, dvs. 3D additiv tillverkning.

När jag då tänker tillbaka på det mycket intressanta företagsbesöket som Lasergruppen gjorde hos Siemens Industrial Turbomachinery AB (SIT) i Finspång i samband med Laserdag II – 2016 den 6 Oktober, så har jag fortfarande svårt att ta in deras vision som Andreas Graichen, (**bild 1.**) chef för det nya AM centret, på ett mycket engagerat och övertygande vis berättade om för oss åhörare.

SIT:s vision, och den utvecklingsplan som följs, innebär att inom en inte allt för avlägsen framtid kommer de anläggningenheter med gasturbiner för el och värmeproduktion som är installerade var helst i världen, meddela att någon ingående komponent kommer att behöva bytas ut inom en viss tidsrymd för att förhindra oplanerat stopp. Anläggningen kommer dessutom automatiskt att skicka en beställning som genererar en tillverkningsorder för den komponent som skall bytas ut i dess utförande med korrekt revisionsutgåva. Komponenten kommer automatiskt att tillverkas i en mobil

fabrik och allt skall övervakas och styras centralt. Siemens har i dagsläget 100-tals mjukvaruingenjörer som arbetar med den plattform som krävs för att detta skall bli verklighet. – ”Det skall bli verklighet”, säger Andreas Graichen utan att darra på rösten.

Om vi nu tar ett steg tillbaka till den verklighet som många företag lever med idag, i jämförelse med den nivå på vilken Siemens befinner sig och är på väg, så ser vi att det finns enorm utvecklingspotential i många fall. Den enskilt viktigaste punkten alla kategorier är att mäta och följa upp sin tillverkning med avseende på kvalitet och produktivitet. Det finns ett antal universella verktyg att tillgå på marknaden för produktionsstyrning och uppföljning, men även system anpassade för maskiner från en viss tillverkare, där även i många fall maskiner från andra tillverkare kan integreras i de fall samma standard används i mjukvarugränssnitt.

I Tyskland myntades 2011 begreppet ”Industry 4.0” vad menar man med det? Jo man talar om den fjärde generationens industri, där allt är uppkopplat. ”smarta



Bild 1.
Andreas Graichen



Bild.2
Flöde orderhantering (helautomatisk
processtyrning möjlig)

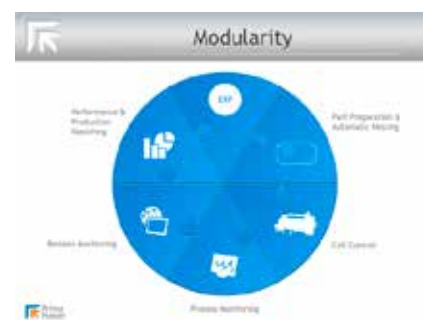


Bild.3
Byggstenar i Tulus®

fabriker” där den första generationen är ångmaskinen, den andra generationen elektriciteten och den tredje generationen elektroniken.

Innan alla processer och komponenter är uppkopplade och kommunicerar med varandra, så finns redan lösningar som många kanske ser som en dröm, men det är verklighet sedan lång tid tillbaka.

Prima Power Tulus® är ett exempel på plattform som ger maximal kontroll och övervakning av tillverkningsprocesser.

Prima Power Tulus® ger fantastiska möjligheter. Utifrån att order läggs upp i affärssystemet (kan även vara automatiskt från ett webformulär där kunder beställer produkter) så skapas automatiskt program till de maskiner som produkterna skall tillverkas i. Parametriska funktioner ger möjlighet till en mycket flexibel produktion. Exempelvis en lådhurts som kan ha olika antal lådor, olika djup, höjd och bredd. Eller en diskbank med alternativ för hoar, längd, bredd, höjd på kant, mm.

Men vad som är viktigast av allt är övervakning och uppföljning.

Alla anslutna maskiner (**bild 4.**), såväl med automatiska lagersystem som stand-alone maskiner kan övervakas, lokalt och på distans över webben.

Produktionsplanering (**bild 5.**) och eventuella omprioriteringar görs enkelt med ”drag and drop” och ger en total överblick av när en viss artikel, batch eller kit i produktionen är tillverkad.

Systemet genererar tydliga grafiska presentationer av produktionsprestanda (**bild 6.**)

Tulus® håller koll på råmateriallagret och ger instruktioner i tid inför när det finns inköpsbehov för den tillverkning som ligger inne i planeringen (**bild 7.**).

*”Förbättringar i
produktionen
kan endast ske om
man mäter den”*

Mitt budskap med denna artikel är att visst kan man sikta mot stjärnorna och nå dit, men man kan nå oanade höjder i sin produktion med nyttjande av etablerade system, med starkt konkurrenskraft som resultat.

Om intresse finns att fördjupa sig kring Prima Power Tulus® och dess funktioner, så står Din Maskins mjukvaruexpert Karl-Magnus Skepö till er tjänst. ■



Bild.4
Maskiner och deras driftstatus

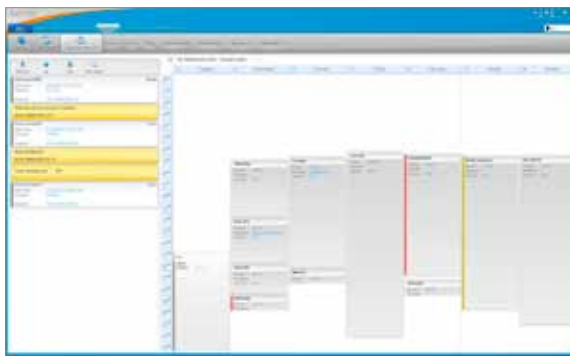


Bild.5
Produktionsplanering/ jobbkö



Bild.6
Grafiskt tydliga rapporter för produktionens effektivitet

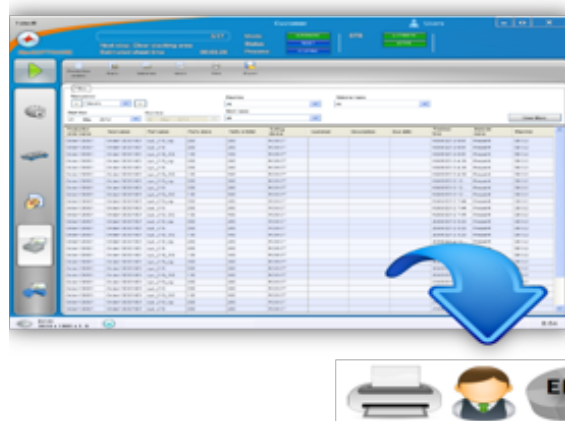


Bild.7
Råvarulager med automatisk generering av inköpsunderlag

En blandad kompott av användningsområden för lasertekniken - del 1

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering

Årets LANE [Laser Assisted Net Shape Engineering]-konferens hade samlat en avsevärd skara laserintressenter där man kunde hitta flera gamla bekanta, men också en hel del nya ansikten. Evenemanget inleddes på måndagskvällen med ett trevligt "get together"-arrangemang i Bühlers-villan med god mat och dryck, och där det också fanns möjlighet att prova på diverse "pub games". Morgonen därpå hälsades vi välkomna till Stadthalle Fürth för denna tredagarskonferens av professor Michael Schmidt från Friedrich-Alexander Universität, som tillika är institutionsföreståndare vid BLZ [Bayerisches Laser Zentrum]. Detta ställe fick vi också senare möjlighet att besöka och titta på några av de forskningsprojekt som just nu pågår där. Dr. Schmidt meddelade att totalt 271 bidrag hade skickats in för bedömning av programkommittén, som hade delat in konferensen i fem parallella sessioner. Bidragen var indelade i "vetenskapliga" respektive "industriella" kategorier och cirka 75% av bidragen hade accepterats vilket resulterade i 205 föredrag att lyssna på. Så ni förstår nog att det var viktigt av planera sitt konferensbesök för att få ut mesta möjliga av detta.

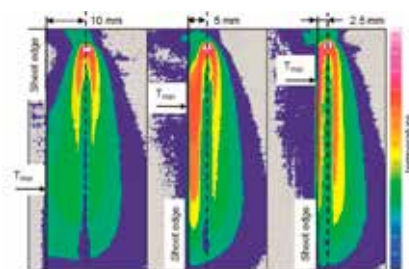
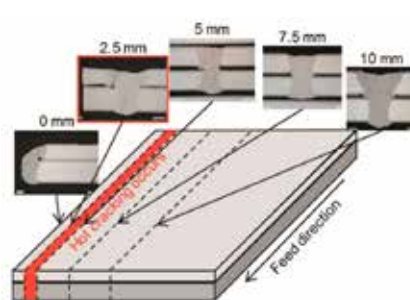
Keynote-sessionen inleddes sedan med utdelning av det s.k. WLT [Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik e.V.] Award vilket tillfaller en ung laserforskare och skulle egentligen delats ut av välkände Dr. Andreas Ostendorf, men då denne inte hade möjlighet att närvara fick Dr. Schmidt själv träda in i hans ställe. Pristagare var denna gång Dr. Peter Stritt, som förutom ära och plakett fick en check på 2.000 euros. Denne herre har tidigare varit ledare för sektionen för "makroprocesser" vid IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] i



Stuttgart, där han för övrigt tog sin doktorexamen i ämnet fjärrlasersvetsning av aluminiumlegeringen AA6016, men sedan juni i år är han behjälplig i laserfrågor vid företaget Bosch GmbH.

Som motprestation för prischecken fick Dr. Stritt nu hålla den obligatoriska Laureate-föreläsningen, vilken handlade om centrumsprickor vid lasersvetsning av aluminium. Om man får en dendritisk struktur på svetsens toppyta tjänar detta

som en indikator för risken att centrumsprickor skall uppstå. Ett sätt att motverka detta är att använda sig av tillsatsmaterial, men då det är frågan om fjärrlasersvetsning är det knappast någon relevant lösning. Enligt Dr. Stritt får man då arbeta med andra parametrar som exempelvis aluminiummaterialets kemiska sammansättning, töjning och töjningshastighet då svetssmältan stelnar samt dragspänningar som uppstår under stelningsförloppet.



Figur 1.
Vid lasersvetsning av aluminium är avståndet till kanten viktigt om man vill undvika uppkomsten av värmesprickor, något som Dr. Peter Stritt undersökt med bl.a. värmesimuleringar av svetsförloppet.



Figur 2. Laserteknikens skilda användningsområden illustrerades väl av keynote-sessionens talare, fr.v. Milan Brandt, Michael Rethmeier, Wolfgang Schulz, Alberto Piqué, Stephan Barcikowski och Martin Booth.

Därför hade omfattande simuleringar av värmedistributionen vid svetsning av aluminium genomförts, och spänning- och töjningsförloppet tvärs smältan analyserats. Därigenom kunde en bestämd stelningsvolym fastläggas vilken bestod av material i såväl fast som flytande form, där sprickuppkomsten gick att relatera till ett tröskelvärde för den tillförda energin. Härigenom blir avsvälningen och därmed svetsens positionering i förhållande till flänskanten av avgörande betydelse [Fig. 1]. Här visade det sig att ett kantavstånd på mellan 4-5 mm tycks vara optimalt då man härigenom kan minimera töjningen under stelningsförloppet.

Ett annat alternativ vore naturligtvis att utföra korta svetsstyggn så att man på detta sätt minskar energi- och värmetillförsel. Ett sådant förfarande hade simulerats med 17 mm långa svetsar med 7 mm mellanrum. Dock visade det sig att det krävdes en avsvälningstid på 2 sekunder mellan de enskilda svetsarna vilket inte är acceptabelt ur ett industriellt perspektiv. Därför hade Dr. Stritt arbetat vidare med sin lösning som innebär en kontrollerad energitillförsel för att hålla sig under den för sprickinitiering kritiska nivån, och detta tillvägagångssätt patentsöker han nu tillsammans med Audi-kollegorna Steffen Müller och Jean-Pierre Weberpals.

I övrigt visade keynote-sessionen på nytt på laserteknikens många olika användningsområden [Fig. 2], och jag kommer i det följande att gå lite djupare in på två av föredragen, nämligen de som hölls av Dr. Milan Brandt från RMIT [Royal Melbourne Institute of Technology] och Dr. Michael Rethmeier från BAM [Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung] i Berlin.

Den förstnämnde, som jag f.ö. hade många intressanta frukostdiskussioner med då vi kamperade på samma hotell, beskrev den verksamhet som bedrivs vad gäller additiv tillverkning i Australien. Han inledde med att i förbigående nämna den stora affär på 4,4 miljarder dollars som just genomförts i branschen, då General Electric [GE] förvärfvade de båda företagen Arcam och SLM Solutions, vilka tillverkar

maskiner för additiv tillverkning baserad på elektronstråle- respektive laserteknik. Därefter gick Dr. Brandt vidare med att beskriva det nyinvidga AMP [Advanced Manufacturing Precinct, Fig. 3] som öppnade 2011 och representerar en investering på 25 miljoner dollars. Här hittar vi utrustningar i form av maskiner från FDM, SLA och Polyjet avsedda för 3D-printing av polymera material, och två motsvarande maskiner från SLM Solutions [125HL och 250HL] vilka används vid 3D-printning av metaller. För LMD [Laser Metal Deposition] och mer traditionell laserbearbetning som svetsning och skärning hittar vi även en TruLaser 7020 från Trumpf.

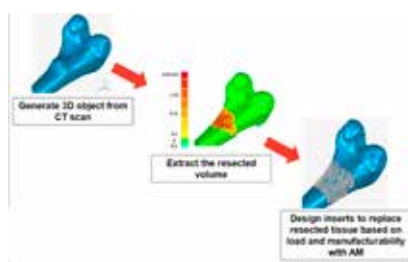
Fokus i Dr. Brandts presentation låg emellertid på hur man med additiv teknik kan ersätta cancerdrabbad benstomme. I Australien diagnosticeras 130.000 individer årligen med cancer, och i 60% av fallen sprider sig cancercellerna till skelettet. 10% av dessa måste åtgärdas med kirurgiska ingrepp där merparten eller 60% handlar om knäledsoperationer. Andra drabbade områden är höfter (15%), skuldror (10%) och nackar (8%). De konventionella implantat som används är ofta klumpiga och föga individanpassade, och därför har forskning bedrivits vid AMP under ledning av professor Peter Choong för att undersöka huruvida man istället kan generera tredimensionella strukturer utifrån en CT [Computed Tomography]- ”scanning” av det skadade området [Fig. 4]. Det senare avlägsnas och istället tillverkas ett implantat med hjälp av SLM [Selective Laser Melting]. Viktiga



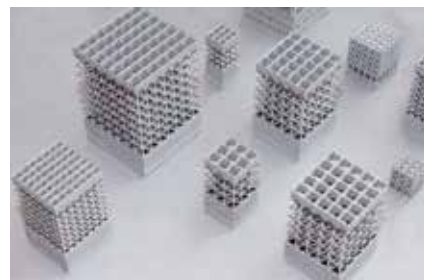
Figur 3. Interiörbild från Advanced Manufacturing Precinct, en 25 MUSD-investering vid Royal Melbourne Institute of Technology mer eller mindre dedikerad för additiv tillverkning.

designparametrar är geometri, lättvikt och lastupptagningsförmåga, varför man har utvecklat ett mjukvaruprogram kallat CT-to-Lattice© som för givna indata ger den precisa gitterstrukturen. Visionen är att tillverkningen av implantatet kan ske under operationen.

I en grundläggande studie hade man använt pulver av Ti6Al4V och undersökt hur diametern hos de tillverkade provstavar påverkade den vinkel de kunde byggas med. För lutningsvinklar över 20° erhöll man god korrelation beträffande stavarnas diametrar mellan virtuella och byggda objekt, men för mindre vinklar visade sig diametrarna bli större för de byggda stavarna [Fig. 5]. Det tidigare nämnda mjukvaruprogrammet gör det möjligt att tillverka strukturen över- eller understyvt beroende på vilka vinklar man



Figur 4. Via CT-”scanning” av det tumörskadade benet kan man med hjälp av mjukvaruprogrammet CT-to-Lattice© skapa en optimal gitterstruktur för ersättningsimplantatet.

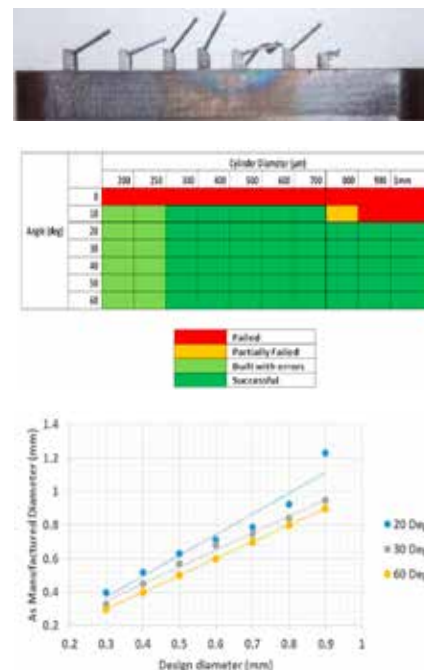


väljer inuti gitterstrukturen. Likaledes kan såväl spänning och buckling beräknas med hjälp av detta program, och ytterligare utveckling sker av de olika beräkningsalgoritmerna. Dock påpekade Dr. Brandt att det inte bara gäller att åstadkomma en korrekt design utan även tillverkningsbarheten av SLM-objekten måste beaktas. Avslutningsvis nämnde han företaget Anatomics som tillverkar implantat för ryggradsdefekter, och att man där just nu håller på att inoperera dessa på djur.

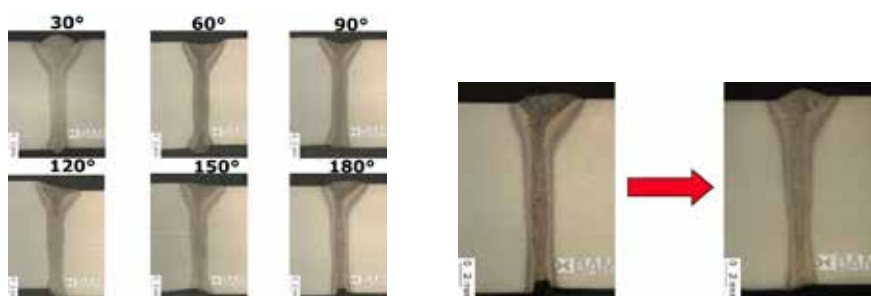
Nästa talare under keynote-sessionen var som ovan nämnts Dr. Michael Rethmeier från BAM i Berlin. Temat för denne gentlemans presentation var svetsning med höga lasereffekter, och han började med att redogöra för ett praktikfall där man orbitalsvetsat rör med 16 mm vägg tjocklek genom att använda sig av laserhybridsvetsning. Svetsningen hade utförts i fallande läge med 19 kW lasereffekt, och i området mellan 150° till 180° hade man konstaterat förekomst av bindfel och icke smält material. Därför hade rotgas i form av Argon använts i området mellan 90-180°. Detta i kombination med en oscillerande laserstråle hade förbättrat svetskvalitet och minskat svetsprutet vid "under-upp"-svetsningen [Fig. 6]. Materialen i rören var antingen X80 eller X120 och svetshastigheten hade varierats mellan 1,7-2,2 m/min och trådmatningen motsvarande mellan 6-14 m/min beroende var på rörens omkrets man befann sig. Även häftsvetsningen utfördes med hybridtekniken för att undvika omsmältning av konventionellt applicerade häftsvetsar. Man hade också gjort longitudinella svetsförsök av sagda rörkvaliteter med såväl solid- som rörtråd. Här hade man svetsat från motstående sidor av vägg tjockleken med en maximal penetration på 13 mm. Lasereffekten låg här på 15 kW med en svetshastighet på 2,4 m/min och en trådmatning på 16 m/min. I efterföljande Charpy-provning låg resultaten på 170 Joule vid -60 °C för X80-rören, medan X120-rören klarade upp

till 53 Joule vid -40 °C [Fig. 7]. Draghållfastheten hos svetsar utförda på X80-materialet korresponderade väl med grundmaterialets hållfasthet, medan den var något lägre då det gällde X120-rören, men ändå så pass hög som 950 MPa (att jämföras med grundmaterialets 1.020 MPa). Under denna del av sin presentation refererade Dr Rethmeier även till några försök utförda av professor Seiji Katayamas forskargrupp vid JWRI [Japanese Welding and Research Institute], Osaka University. Ett handlade om "single-pass" laserhybridsvetsning av 25 mm tjockt S355JR konstruktionsstål där laserstrålen klippte av tillsatsstråden från gasmetallbåg pistolen. Det andra exemplet visade på lasersvetsning av AISI304 med varierande processhastighet och lasereffekter upp till 100 kW! Här gick det att nå ett penetrationsdjup på 50 mm vid en svetshastighet av 1 m/min [Fig. 8].

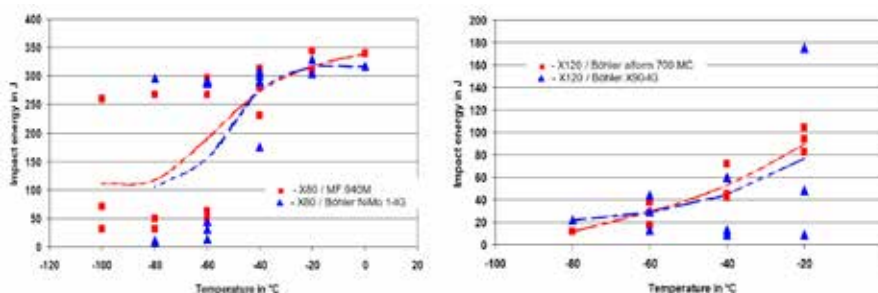
Nästa ämnesområde för Dr. Rethmeier var processdiagnostik och simulering, och här berättade han att cirka 9% av tillförd energi går förlorad under svetsprocessen. Hur evakuering av plasmapartiklar



Figur 5. Provtavornas diameter har föga inverkan på den vinkel med vilken de kan byggas relativt horisontalplanet. Däremot tenderar diametrarna att bli större än "bör-värdet" för stavar byggda med vinklar som lutade $\leq 20^\circ$.



Figur 6. Vid orbitalsvetsning med 19 kW lasereffekt hade man kunnat konstatera bindfel i området mellan 150° till 180°. Detta kan motverkas genom en kombination av oscillerande laserstråle och rotgas. Detta syns längst t.h. där oscillering skett med 200 Hz och en amplitud på 0,7 mm.

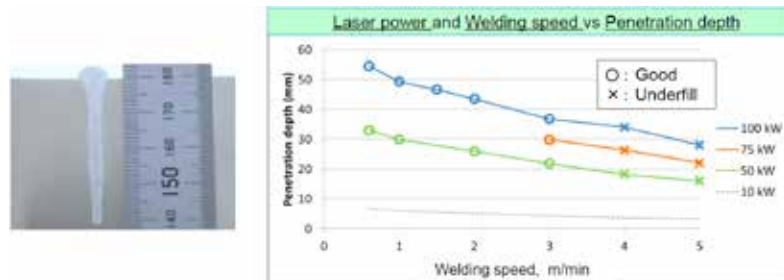


Figur 7. Resultat från Charpy-provning av longitudinellt lasersvetsade X80- och X120-rör där såväl solid- som rörtråd utvärderas vid olika temperaturer.

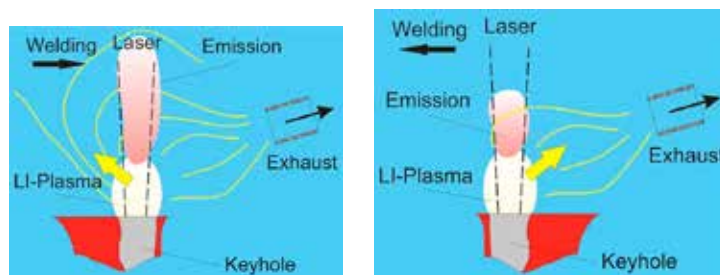
sker och hur utsug är placerat har visat sig ha stor betydelse för hur reduktionen av svetsssprut kan åstadkommas [Fig. 9].

Ett ytterligare sätt att förbättra svetskvaliteten vid lasersvetsning av tjockare plåt är att applicera ett magnetfält på undersidan av svetsfogen för att på så sätt eliminera risken för genomrinning och svetsnedhäng. Simuleringar hade utförts på 20 mm tjockt aluminium AlMg³ där man kompenserade det naturliga hydrostatiska trycket i svets-smältan med ett motriktat tryck skapat genom elektromagnetism. Detta hade sedan validerats med svetsförsök med 15 kW lasereffekt, en framföringshastighet på 0,5 m/min och fokuspunkten placerad 2 mm ner i materialet. Av såväl simuleringar som experimentella försök tycks 70 mT ge det bästa mottrycket. Även vid svetsning av rostfria, austenitiska stål med mellan 10-20 mm tjocklek hade det magnetiska fältet en positiv inverkan [Fig. 10]. Dock krävdes i dessa fall betydligt högre fältstyrka, kring 200 mT. Försök hade också utförts på 15 mm tjockt AISI2205-material med 8,5 kW lasereffekt från en 20 kW-laser från IPG, med en svetshastighet på 0,5 m/min, Argon som skyddsgas med ett flöde på 26 l/min och fokuspunkten positionerad 4 mm ner i materialet [Fig. 11]. Även här hindrade ett ökande magnetiskt mottryck svets-smältan från att sjunka ner, och samma resultat fick man då man svetsade ett 5 mm tjockare material av samma kvalitet med 13,9 kW från en 16 kW disk-laser från Trumpf. Även här låg svetshastigheten på 0,5 m/min, Argon tillfördes med 30 l/min och fokuspunkten var placerad på $z = 6$ mm [Fig. 11].

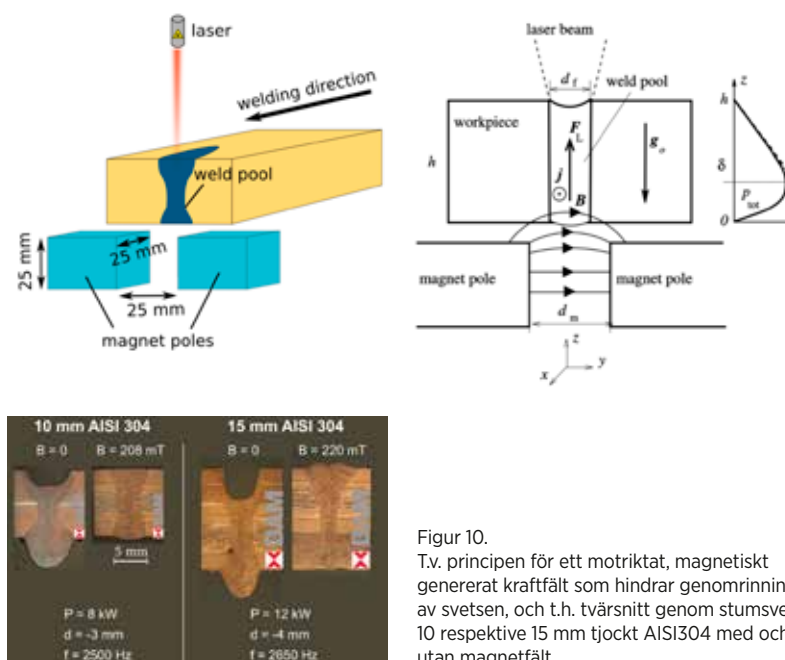
Lasersvetsning i vakuum eller under reducerat lufttryck var det sista ämnet i Dr. Rethmeiers presentation. Detta är en åtgärd för att minimera den plasmaformering som sker vid laserbearbetning och som stör laserstrålens inkoppling i nyckelhålet. Nu fick vi oss till livs några resultat där lasersvetsning under reducerat tryck



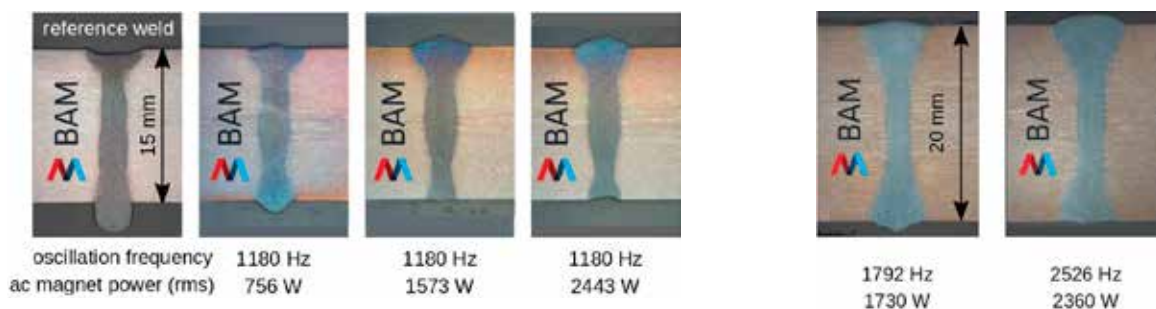
Figur 8. Penetrationsresultat vid lasersvetsning med effekter upp till 100 kW genomförd vid JWRI, Osaka University.



Figur 9. För att minimera inverkan av partikelemissioner från laserplasma bör evakuering ske i motsatt riktning till svetsriktningen.



Figur 10. T.v. principen för ett motriktat, magnetiskt genererat kraftfält som hindrar genomrinning av svetsen, och t.h. tvärsnitt genom stumsvetsat 10 respektive 15 mm tjockt AISI304 med och utan magnetfält.

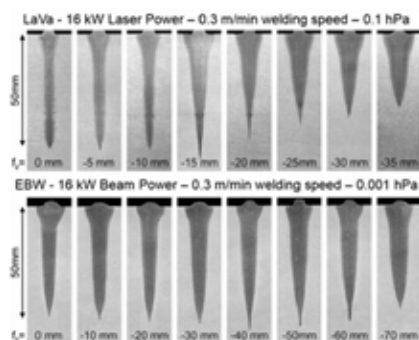


Figur 11. Tvärsnitt genom svetsar utförda på AISI2205-material med olika magnetiska mottryck, t.v. 15 mm tjocklek svetsat med 8,5 kW lasereffekt (IPG), och t.h. 20 mm tjocklek svetsat med 13,9 kW (Trumpf).

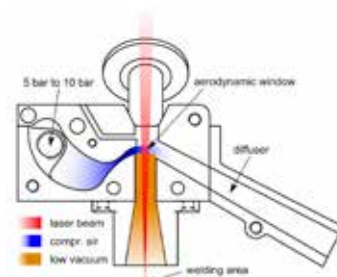
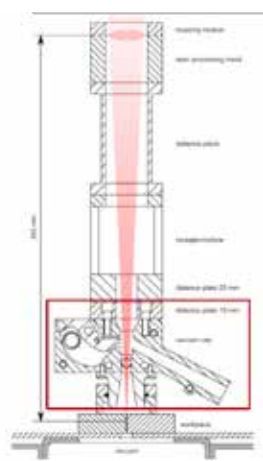
[0,1 hPa] jämförts med elektronstrålesvetsning i vakuum [0,001 hPa, **Fig. 12**]. De maximala inträngningsdjupen vid 16 kW effekt i olegerat S355JR-stål låg på 35 respektive 70 mm. Vid lasersvetsning under 0,1 hPa av Ti6Al4V gick det att nå ett penetrationsdjup på cirka 40 mm vid en framföringshastighet på 0,5 m/min. Problemet vid lasersvetsning under reducerat tryck är att man behöver en vakuumkammare vilket begränsar metodens flexibilitet. För att råda bot på detta har man vid BAM utvecklat en ”mobil” lösning med lokal vakuum pump. Lösningen består av ett Laval-munstycke kombinerat med ett aerodynamiskt fönster för tryckreglering [**Fig. 13**]. Med denna ”mobila” enhet går det att reducera trycket kring nyckelhålet till 200 mbar. Svetsförsök hade sedan gjorts på ovan nämnda S355JR-material med 5 kW lasereffekt, en svets hastighet på 1 m/min och fokuspunkten placerad på plåten ovasida. Med det reducerade lufttrycket lyckades man förbättra penetrationen med cirka 40% [**Fig. 14**].

Förutom dessa två högtintressanta föredrag kunde vi också lyssna till professor Wolfgang Schultz från Fraunhofer ILT [Institute für Laser Technik] som adresserade det dagsaktuella ämnet metamodellering med därtill hörande flerdimensionella data för virtuell simulering av produktionsprocesser. Det hela handlade om hur man från en kunskapsdatabank sammankopplar verkligheten med en virtuell värld. För detta finns några olika metoder såsom interpolering, ”hyper-skivning” och filtrering för att reducera störningsfaktorer. Därpå följde några praktiska tillämpningar av dylik ”cloud”-teknologi såsom hålbörning med laser av såväl raka som avsmalnande hål. Andra exempel handlade om glasskärning utan uppkomst av sprickor, skärning av metaller där s.k. skuggningseffekter kunde undvikas genom att man använde sig av en elliptisk fokuspunkt, samt hur man kunde använda flerstråleteknik för att minimera porbildning vid lasersvetsning av metaller.

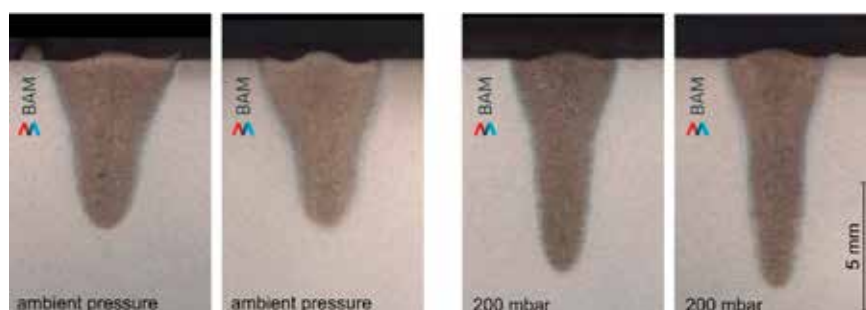
Ett helt annat område beskrevs av långväga gästen Dr. Alberto Piqué från Naval Research Laboratory. Här handlade det om s.k. LIFT [Laser Induced Forward Transfer]-teknik för tredimensionell tillverkning av elektronikkomponenter, vilken skulle kunna ersätta 3D-printning av kretskort. Den intresserade kan hitta mer information kring detta under nextflex.us/about-us/. Tekniken innebär att man har ett ”donatorsubstrat” som medelst en laserstråles påverkan kan flyttas över till ett ”mottagarsubstrat”. Processen kräver ingen



Figur 12. Jämförelse i penetrationsdjup mellan lasersvetsar utförda under reducerat lufttryck (0,1 hPa) och elektronstrålesvetsar tillverkade i vakuum (0,001 hPa) vid en likvärdig effektförsörjning på 16 kW.



Figur 13. Vid BAM har man utvecklat en ”mobil” enhet för svetsning under reducerat lufttryck. Principen bygger på ett Laval-munstycke kombinerat med ett aerodynamiskt fönster, och medger en tryck-reduktion ner till 200 mbar.



Figur 14. Lasersvetsar utförda på S355JR-material i normal atmosfär och vid ett reducerat lufttryck på 200 mbar. Lasereffekt 5 kW och framföringshastighet 1 m/min.

vakuumkammare utan kan utföras direkt i atmosfär miljö, vilket kan vara en fördel om man önskar erhålla en porös struktur. Detta illustrerades med ett exempel från det israeliska företaget Orbotech där man hade byggt mikrostavar med 6 µm diameter och en höjd på 1 mm med hjälp av LIFT-teknik. Ett annat intressant exempel var då man använt en högviskös nanopasta som ”donator” då denna kan behålla sin givna form efter laserexponering i motsats till en lågviskös pasta. Med olika energiinnehåll i laserpulserna gick det att skapa olika geometrier utifrån en och samma

”donator”, i detta fall en 9 µm tjock silikon. Ytterligare ett exempel handlade om hur man med laserteknik kunde deformera små kopparstavar till önskvärd form, och slutligen föreslog Dr. Piqué att tillverka funktionella komponenter där LIFT och additiv tillverkning kombinerades.

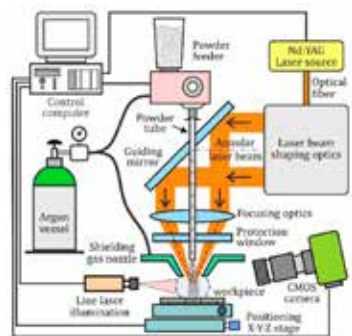
Efter denna ”utflykt” i mikrobearbetningens värld var det dags att ta ytterligare ett steg på skalan då vi fick lyssna till professor Stephan Barcikowskis [Universität Duisburg-Essen] engagerade beskrivning av laserbearbetning på nanonivå. Här handlade det om hur man kunde fragmen-

tera och ta bort massa från pulverpartiklar för att på så sätt minska deras storlek till diametrar kring 3-300 nm och därmed få ett renare pulvermaterial. Detta skedde med laserpulser på nano-, pico- eller t.o.m. femtonivå där processen skedde i en vätska, företrädesvis i aceton för att undvika oxideringsfenomen. Tyvärr är processen ännu alltför långsam, men här såg Dr. Barcikowski en förbättringspotential genom att använda en laser-”scanner”, och försök hade utförts med den svindlande hastigheten av 400 m/sek. De på detta sätt skapade nano-partiklarna kommer främst till användning inom medicinteknisk forskning där de visat sig ha en positiv inverkan på hjärnstimulans och kan vara ett botemedel mot Parkinsons sjukdom.

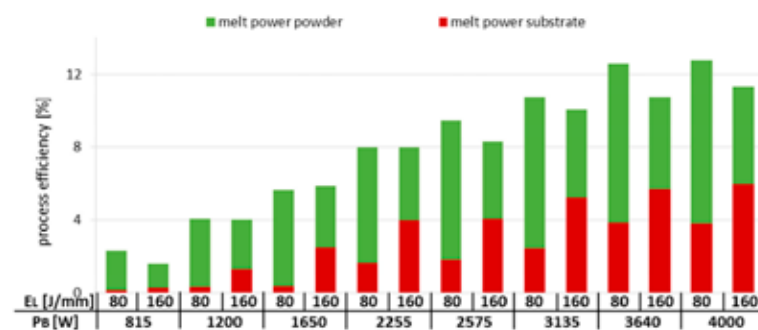
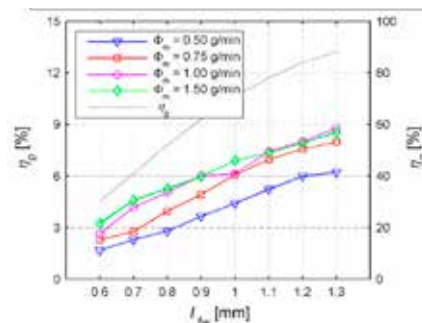
Siste talare i denna högtintressanta keynote-session var professor Martin Booth från University of Oxford vars tema handlade om avancerade optikkomponenter. Sålunda beskrev han ett koncept med en tredimensionell fokalfunktion som hade en upplösning på 250 nm i horisontalplanet och motsvarande 500 nm i vertikalplanet. Andra exempel var elektriskt styrda, deformierbara speglar samt en ”spatial light modulator” i form av en kristall med vars hjälp det gick att forma såväl fokalfunktion som pulsform, arbeta med flera fokalfunktioner samt kompensera för avvikelser hos laserstrålen. Imponerande var en tredimensionell holografisk bild som skapats med en enstaka laserpuls uppdelade i flera fokalfunktioner. Intressant var också att se den gravering som gjorts i kiseloxid där varje laserpuls var fördelad i 196 olika fokalfunktioner. Detta innebär att man kunde skapa 165.000 gravrypningar i sekunden! Ytterligare ett exempel handlade om laserbearbetning av en vågledarprofil där fokalfunktionerna var placerade i olika mönster beroende på om man betraktade foki i framföringsriktningen alternativt i laserstrålens utbredningsriktning.

Additiv tillverkning

Som brukligt varit under ett flertal laserkonferenser under senare år har additiv tillverkning med laser, LMD och SLM, tilldragit sig stor uppmärksamhet, och LANE 2016 var inget undantag från denna trend. En av sessionerna hade för övrigt en svensk ordförande i form av professor Pavel Krakhmalev från Karlstads Universitet. Han introducerade oss för Dr. Andrej Jeromen från University of Ljubljana, som i samarbete med företaget DMG Mori tagit fram ett koncept för laserpåläggning där laserstrålen gavs en cylindrisk form genom en speciell optik och munstyck-



Figur 15. Genom ett speciellt optikarrangemang skapas en cylindrisk, ”ihålig” laserstråle med bättre förmåga att fånga in pulvret vid LMD. Denna ökar med ökat avstånd till arbetsstycket (x-axeln, längst t.h.) men minskar med avtagande pulvertillförsel.



Figur 16. Övan en idé om hur man skulle kunna fastlägga ett processfönster vid LMD; (a) mellan ingen metallisk bindning (c) och en viss grad av inlösning I diagrammet ovan ser man processeffektiviteten vid två olika sträckenergier och olika lasereffekter.

söppning. På detta sätt fångar laserstrålen in en större mängd av det tillförda pulvret, samtidigt som de pålagda skikten får lägre restspänningar [Fig. 15]. Försöksuppsättningen bestod av en pulsed Nd:YAG-laser [Trumpf HL204P] med 1.064 nm våglängd och 250 W medeleffekt, där pulstoppar upp till 8 kW gick att skapa vid en pulsfrekvens kring 300 Hz. Inverkan av olika diametrar på röret för pulvertillförsel, 0,6, 0,8 och 1,5 mm, hade undersökts liksom flödet hos assistansgasen som varierats mellan 0,05-2,0 l/min. Laserstrålens förmåga att fånga in pulvret ökar med ökande avstånd mellan fokalfunktion och arbetsstyckets yta, men minskar med avtagande pulvertillförsel. En ny laserkälla har just införskaffats från Laserline [LDM-2500-60] där våglängden kan varieras inom spannet 900-1.100 nm i akt och mening att kunna göra om de refererade proven men nu med en cw laser.

Processeffektiviteten vid LMD hade

också studerats av Michael Güpner från Ernst-Abbe-Hochschule i Jena, som hade skapat en form av processfönster där den undre gränsen utgjordes av då man inte erhöill någon metallisk bindning överhuvudtaget, och den övre gränsen sattes vid en viss grad av inlösning av påläggningspulvret i substratmaterial [Fig. 16]. Med en konstant fokalfunktionsdiameter på 3,7 mm hade man genomfört försök med en 4 kW disk laser [Trumpf TruDisc4002, $\lambda = 1.030$ nm] där mjukt 1.0330-stål belagts med 1.3342-material. Två olika sträckenergier hade initialt provats, 80 respektive 160 J/mm, där den senare dock visade sig vara mindre effektiv då en del av energin gick åt för att smälta grundmaterial. Slutsatserna var att med en ökad processhastighet och därmed lägre sträckenergi fick man ett större processfönster, högre processeffektivitet och minskade termiska spänningar. ■

Forts. i nästa nummer 1-2017.

KALENDARIUM 2017

MARS

30	Laserdagen	Per Westerhult
----	------------	----------------

MAJ

15	LaserNytt 1-2017	Per Westerhult
4	Studieresa till England	Per Westerhult

OKTOBER

15	LaserNytt 2-2017	Per Westerhult
----	------------------	----------------

DECEMBER

15	LaserNytt 3-2017	Per Westerhult
----	------------------	----------------

Datum för Kurser och Seminarier är ännu ej fastställda.