

Lasernytt



2-2018



KALENDARIUM 2-2018

SEPTEMBER		
28	Lasernytt 2-2018	Per Westerhult
OKTOBER		
4	Laserdag "Laserbearbetning av avancerade material"	Per Westerhult
	GKN Aerospace AB och Produktionstekniskt Centrum, Trollhättan	
24-25	Studieresa till EuroBLECH, Hannover med företagsbesök	Per Westerhult
DECEMBER		
7	Lasernytt 3-2018	Per Westerhult



Laserdag hos Scania i Oskarshamn



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

Svetsingenjörerna Sebastian Danielsson och Marie Allvar utvecklar fogningstekniken hos Scania i Oskarshamn. Foto: Curt-Robert Lundqvist

Produktion: BrandFactory

Tryck: BrandFactory, Stockholm
www.brandfactory.se

LASER
LASERGRUPPEN

INNEHÅLL

LASERDAG HOS SCANIA I OSKARSHAMN	2
FÅ NYHETER SÅG DAGENS LASERLJUS VID ICALEO 2017 - del 2	9
HÖGHASTIGHETSLASERPÅSVETSNING	16
FOKUS PÅ PROCESSÖVERVAKNING OCH KVALITETSKONTROLL - vid årets EALA-konferens, men även intressanta lösningar för aluminiumsvetsning och laserlödning.	19
INDUSTRY 4.0 OCH LASERKÄLLOR - med alternativa våglängder var huvudteman vid 2018 års International Laser Symposium i Dresden	28
FRÅGA LASERDOKTORN	43
LASERSVETSNING BIDRAR TILL HÖGKVALITATIVA MÄSSINGSINSTRUMENT	44
FIBERLASERN BÖRJAR ÄNTLIGEN ANVÄNDAS VID INDUSTRIELL PRODUKTION - konstaterar Frank Gäbler	46

Laserskärning, en teknik i fortsatt utveckling

Efter den extremt varma och torra sommaren känns det nu ganska skönt att få krypa in i kontorets svalka. Jag hoppas alla har haft en härlig och avkopplande semester. Kommande aktiviteter under hösten och den fortskridande teknikutvecklingen på marknaden skapar förutsättningar för en inspirerande tid framöver. Laserskärningen har kanske inte samma dynamiska utveckling som tidigare, åtminstone inte ur ett användarperspektiv. Bortsett från fiberlaserns entré sker utvecklingen i relativt små steg vad gäller produktionsoptimering, exempelvis nya skärmunstycken för förbättrad produktivitet, optimering av materialhantering, förbättrad mjukvara mm. Fiberlasern ser för övrigt ut att dominera marknaden för skärslasrar under överskådlig tid framöver. Marknadstillväxten är fortsatt stabil, vi ser en stadig ökning av antalet maskiner samtidigt som gamla maskiner byts ut mot nya fiberlasrar.

I övrigt arbetar Lasergruppen fortsatt med att sprida information och utbyta erfarenheter kring laserteknik. Seminarier, studieresor och givetvis utgivandet av tidningen Lasernytt är några av hörnpelarna i gruppen arbete. Välkomna tillbaka efter sommarledigheten, nu väntar en spännande höst inte minst med tanke på utvecklingen inom additiv tillverkning. Glöm inte heller bort Euroblech 2018 som går av stapeln 23-26 oktober i Hannover.



TANKAR FRÅN STYRELSEN

BO WILLIAMSSON, AGA GAS AB

Laserdag hos Scania i Oskarshamn – Ny hyttfabrik med världens modernaste karossverkstad för hytttillverkning imponerar

Hans Engström
Levitronics Lasersystem AB

Strålände sol och 23 grader varmt!
Inramningen för Laserdagen hos Scania i Oskarshamn kunde inte ha varit bättre. Laserdagen bjöd som vanligt på intressanta presentationer under temat ”Laserskärning”, med bl.a. bidrag från Precitec GmbH & Co KG och Mazak Europé. Laserveteranen från Danmark, Prof. Flemming Olsen var också speciellt inbjuden för att berätta om resultat från sitt arbete med att utveckla ”multi-beam”-teknik för laserskärning. Som grädd på moset fick vi en rundvandring i den nya hyttfabriken med världens modernaste karossverkstad. Där har man installerat två laser-robot-system; ett för laserlödning och ett för laserskärning av varianthål i hyttkarosser. Värdd för dagen var svetsingenjörerna Marie Allvar och Sebastian Danielsson.

Scania i Oskarshamn har världens modernast karosserifabrik för lastbilar

Dagen började med att Mariam Holmgren, som är Besöksansvarig, berättade om Scanias verksamhet i Oskarshamn.

- Scania är största privata arbetsgivare i Kalmar län med 2 700 anställda och fabriken omfattar 180 000 m² lokalyta, säger Mariam Holmgren.

Hytttillverkning började i Oskarshamn redan 1946 då entreprenören Bror-Göhte Persson utvecklade den första hyttprototypen. Karosserifabriken bildades 1947 som ett dotterbolag i Be-Ge:s huvudbolag för att 1952 bli ett eget aktiebolag. Redan första året producerades 103 hytter och



Bild 1.
Marie Allvar (t.v.) och Sebastian Danielsson, båda svetsingenjörer vid Scania i Oskarshamn var värddar för Laserdagen i april, som lockade 25 deltagare.

produktnamnet blev ”Be-Ge Hytten”.

Scania-Vabis hade sedan starten varit den största kunden och den 1 juli 1966 såldes Be-Ge Karosserifabrik till Scania-Vabis. Vid försäljningsåret gick 70% av Be-Ge-hytterna till Scania-Vabis och affären var logisk och väl genomtänkt.

Vid ägarbytet ändrades namnet till Scania-Hytter AB, ett dotterbolag till Scania. I samband med sammanslagningen av Saab och Scania 1969 blev hyttfabriken en produktionsenhet inom Scaniadivisionen.

Idag tillverkar man alla lastbilshytter till Scantias Europaproduktion och är uppdelade i två produktionsenheter; Cab Body Production och Cab Assembly.



Bild 2.

Entreprenören Bror-Göhte Persson startade hyttillverkning i Oskarshamn 1947 och drev Be-Ge Karosserifabrik fram till 1966 då den såldes till Scania-Vabis. På 1970-talet tillverkades ca 12 000 hytter per år. Under 1999 tillverkades 39 000 hytter. Foto: Scania

Idag består hyttfabriken av fem verkstäder: Pressverkstad, Karosseri- verkstad, Grundmåleri, Täcklacksmåleri samt Monteringsverkstad. Fabriken är beroende av en välfungerande logistik. Här inne möter man avancerad teknik, komplicerade kemiska processer och Scantias eget produktionssystem, SPS.

Alla hytter till Europa tillverkas i Oskarshamn och idag ligger produktions- takten på ca 300 hytter per dag.

2016 lanserades den nya generationen Scania lastbilar och 2017 kom XT-serien (anläggningsfordon) och L-serien (stads- trafik).

Scania erbjuder kompletta transport- lösningar med produkter, tjänster för förare, service och uppkopplade tjänster samt finansiering och försäkring.

Scania har ett välutvecklat modulsys- tem för hytter, motorer, växellådor, axlar och ramar vilket gör att kunden kan få ett helt skräddarsytt fordon utan att tillverk- ningskostnaden springer i höjden.

Produktionen i Oskarshamn sker i fem huvudverkstäder;

- Pressverkstad med består av Klippline,

Fyrpressline, Balkpress och Trans- ferpress. Här finns också en maskin- verkstad med uppgift att bl.a. sköta underhåll av pressverktygen.

- Karosseri- verkstad är en av världens mo- dernaste för lastbilstillverkning. Här svetsas ca 310 detaljer ihop till en hytt av 285 robotar. Härifrån går hytten vidare till måleri och montering.
- Måleriet som består av Grundmåleriet där hytten genomgår avfettning, fosfate- ring och grundmålning samt Täcklack- småleriet där hytten målas i den kulör som kunden har beställt.
- Monteringsverkstad med nio drivna linor som är länkade till varandra med



Bild 3.

Dan Dobb, Laser Sales Manager vid Mazak Europé var gäst vid LaserDagen. Mazak använder nu di- rekttdiodlasrar från Teradiode i sina lasermaskiner.



kostnader, snabbare processer och högre effektivitet, säger Dan Dobb. I framtiden ser vi också möjligheter till att använda lasrar med blått ljus i våglängdsområdet 400 nm.

Mazak är ett multinationellt företag med 8300 anställda och en stor maskin- tillverkare med många olika maskiner på programmet. Automation är också en stor verksamhet inom koncernen som har 38 teknologicerter world-wide.

Dan berättade också mera om Mazaks verksamhet bl.a. i ”Smart factory” där man kan analysera data i realtid för att effekti- visera produktionen.

Laserskärning med robot effektiviserar

Permanova Lasersystem AB, arbetar med att utveckla, tillverka och installera robotiserade lasersystem för materialbear- betning till industrin för att öka produkti- vitet och produktkvalitet för sina kunder.

- Vi har installationer i Asien, Afrika, USA och naturligtvis Europa, berättar Björn Lekander, marknadschef vid företaget.

Laserskärning med robot fungerar bra även vid så höga hastigheter som 42 m/ min och ger bra repeterbarhet och tole- ranser ned mot +0.1 – 0.15 mm. Bättre

noggrannhet kan uppnås vid håltagning om man monterar ett litet xy-bord i robothanden, typ Precitec FormCutter Plus, vilket då utför själva skärrörelsen medan roboten sköter positioneringen. Mycket håltagning sker industriellt i fyrkant- och runda rör, berättar Björn.

En mycket stor tillämpning för laserskärning är renskärning och håltagning i varmformade (presshårdade) komponenter till karosser inom fordonsindustrin, **bild 4**. Här används nu stora, dyra gantrysystem. Materialet transporteras inom fabriken i rackar där komponenterna ligger staplade med ett visst mellanrum för att vara plockbara manuellt eller med robot. Rackarna hanteras med truck mellan stationerna i fabriken.

- Det krävs många rackar, vilka ofta är anpassade till de olika detaljerna som ska skäras, säger Björn Lekander. En idé för att effektivisera och minska kostnaderna är att materialet renskärs och håltas med laser och robot direkt efter varmformningen. De färdiga komponenterna placeras sedan i racks. Flera robotar i en line kan ersätta ett gantrysystem, **bild 5**. Detta skulle ge stora besparingar i utrustning och logistik! Men någon måste våga att prova innan principen kan komma till användning!

Björn berättar om en tillämpning för robotiserad laserskärning i Norge där man gör håltagning i runda rör som används för att tillverka lysmaster, **bild 6**. Rören tillverkas i upp till 6 meters längd. Laserrobot systemet är här utrustat med en sensor, FPS, som mäter in fokalpunkten.

Björn Lekander avslutar sedan med att diskutera flera möjligheter till att få kostnadseffektivare och rationellare tillverkning genom att använda laserskärning.

Utveckling av 2D-laserskärning sker snabbt

Planskärning med laser utvecklas ständigt mot allt högre effektivitet och kvalitet. Precitec GmbH & Co KG i Gaggenau, ca 15 mil söder om Frankfurt, är ett av de företag som är världsledande inom området. Inom laserskärning är de specialiserade på skärhuvuden för både 2D- och 3D-skärning samt processövervakning.

Dr Andreas Rudolf, chef för produktvård (Product Management) hos Precitec, **bild 7**, presenterade det senaste inom 2D-laserskärning. Precitec är idag ett familjeägt, medelstort internationellt företag med 480 anställda. I Gaggenau finns huvudverksamheten för laserverk-



Bild 4. Renskärning och håltagning med laser i varmformade detaljer sker i stora gantrysystem med materialet staplat i rackar vilka transporteras med truck mellan stationerna.



Bild 5. Renskärning av varmformade detaljer med laser och robot kan ge stora kostnadsbesparingar i utrustning och logistik.

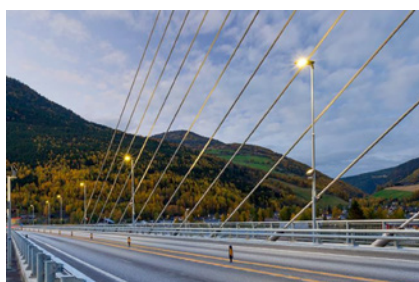


Bild 6. Håltagning i rör som används i lysmaster sker med robotiserad laserskärning i Norge.

samheten och där arbetar 280 personer. Dotterbolaget Precitec Optronic GmbH ligger i Neu-Isenburg, ca 20 km söder om Frankfurt, och arbetar med optiska mättekniker. Precitec har också dotterbolag i Frankrike, Schweiz, Japan, Korea, Kina (två bolag) och USA, samt representanter ytterligare 18 länder däribland Sverige. Omsättningen 2017 var 140 M€ och företaget växer med 15-20% årligen. Precitec är indelat i fem divisioner; laserskärning, lasersvetsning, lasersystem med laser, fiber och 2D-skärhuvud (All-in Light), medicinsk teknologi samt mätteknik.

Inom laserskärning täcker Precitec alla områden, **bild 8**, med ett stort produktprogram, **bild 9**. Precitec har också ett omfattande program inom lasersvetsning, alltifrån bas- till "high-end" lösningar.

Vilka är då trenderna inom laserskärning??

- Det finns en stor och växande marknad för laserskärning, berättar Andreas Rudolf. Det säljs 6000-8000 maskiner årligen med lasereffekt > 1 kW vilket ger en ökning (CARG) på ca 8%. Fiber- och disk-laser ersätter CO₂-laser och man räknar med att CO₂-laserns andel kommer att vara mindre än 10% år 2020.

Det sker nu en stark utveckling mot allt högre lasereffekter inom laserskärning.

- Det är ett riktigt "crazy power race" säger Andreas. Många lasertillverkare har nu skärslasrar med effekter på 15 kW eller mer. Tjockleken på materialet som skärs ökar och ca 50 mm kan skäras idag, **bild 10**. Skärhastigheten ökar också inom medeltjockt, 5-25 mm, material.

Justerbar laserstråle

En stark trend är också att det finns system med justerbar laserstråle, så att stråldiametern i fokus och intensitetsfördelningen i strålen kan ändras programstyrt, fortsätter Andreas, **bild 11**. Automatisering av munstycksbyten, inställning av fokalläge mm samt processövervakning och processtyrning är också trender som ökar.

Övervakning av kondition hos skärhuvudet är också en väsentlig detalj i ett automatiserat system, **bild 12**.

En annan trend enligt Andreas Rudolf är att lasermaskinerna kan förses med speciella munstycken, t.ex. Trumpf High-Speed Eco och att planmaskinerna får en alltmer modern design, t.ex. Ermaksan Fibermak. Dessutom fortsätter trenden med helautomatiserad hantering av material och skurna detaljer, som hos Trumpf TruLaser Center.

Hur kan då Precitec svara upp mot alla dessa trender?

- Ja, för 2D-skärning har Precitec en hel familj skärhuvuden som passar laserkalor från 1 kW till 12 kW, säger Andreas Rudolf. LightCutter, ProCutter och ProCutter Zoom finns alla med motoriserad inställning av fokalpunktens läge,



Bild 7. Björn Lekander, marknadschef hos Permana Lasersystem (t.v.) och Andreas Rudolf, Head of Product Management vid Precitec GmbH & Co KG gav intressanta presentationer om robotiserad laserskärning respektive den senaste utvecklingen och trender inom 2D-skärning.

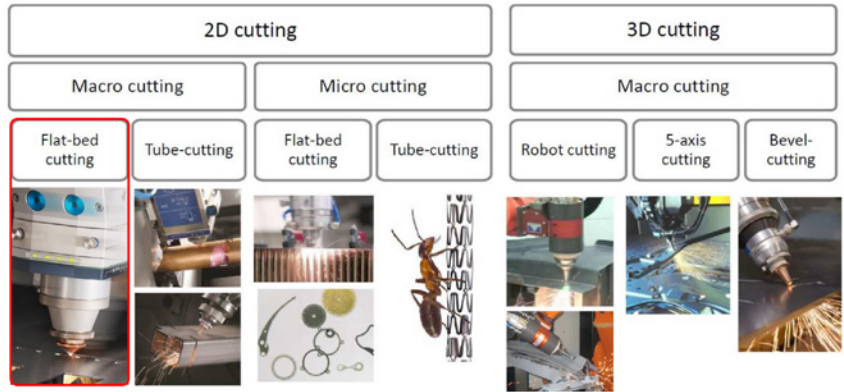


Bild 8. Applikationsområden inom laserskärning.



Bild 9. Precitec's produktprogram inom laserskärning täcker samtliga applikationsområden.



Bild 12. T.h. Övervakning av skärhuvudets kondition är välutvecklad i Precitec ProCutter.



Bild 10. Materialtjockleken som kan skäras med laser och med acceptabel kvalitet och skärhastighet ökar ständigt. Gränsen ligger nu vid ca 50 mm.

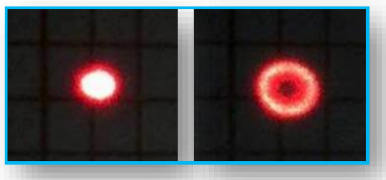


Bild 11. Numera finns system som gör att man kan ändra stråldiametern i fokus och intensitetsfördelningen i strålen. Med hjälp av zoom-optik kan också fokalläget ändras programstyrt vilket gör det möjligt att mycket snabbt ställa om mellan olika materialtjocklekar.

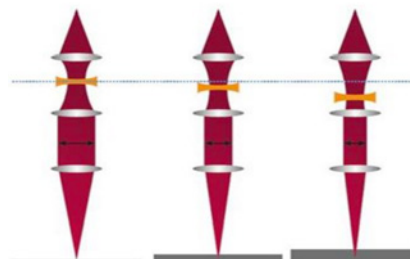


Bild 13. Precitec kan erbjuda en familj skärhuvuden för planskärning som täcker effektområdet 1-12 kW. ProCutter och ProCutter Zoom kan också erbjudas med speciell teknik för att effektivisera piercingprocessen, PierceTech. Till ProCutter Zoom finns också en option att få EdgeTech som förbättrar skärkvaliteten i tjockt material.

bild 13. Men transmissiv optik för 20 kW finns inom räckhåll.

Ett stort problemområde är det damm som förekommer i den industriella miljön. För att eliminera detta har ProCutter familjen testats rigoröst enligt DIN EN norm och befunnits svara mot klassificeringen enligt IP 6X.

PierceTech och EdgeTech - innovationer från Precitec

Precitec PierceTech är en återkopplad håltagnings (piercing) process, som arbetar i realtid genom att modulera laserstrålen, där sensorn är integrerad som en smäcker modul. PierceTech är stabil, snabb och lättanvänd och passar alla material. Systemet detekterar när laserstrålen går igenom plåten och kan detektera om skärprocessen avbryts. Den passar även små hål och ger en ren yta, **bild 14**.

EdgeTech förbättrar skärkvaliteten genom att ge bättre ytfinitet och rättvinklighet i snittet, **bild 15**. Tekniken bygger på att skapa en ringformad stråle som kan varieras i storlek upp till 4 gånger genom skärhuvudets zoom-funktion.

- Så Precitec är mycket väl rustad att möta dagens och morgondagens trender inom 2D-skärning och vi utvecklar hela tiden nya funktioner och produkter, helt enligt företagets filosofi att vara ett företag med hög innovationsförmåga som satsar stora resurser på F&U.

Multi-beam laserbearbetning ger nya möjligheter

Laserdagen hade också glädjen att gästas av Prof. Flemming Olsen, **bild 16**, den nordiska laserforskningens "grand old man" och den laserforskare som har varit verksam längst i Norden. Flemming började redan på 1970-talet att intressera sig för laser och han gjorde då den stora upptäckten hur laserstrålens polarisering påverkade skärresultatet. En upptäckt som verkligen har haft stor betydelse för laserskärningens utveckling.



Bild 16. Flemming Olsen, den nordiska laserforskningens "grand old man" gästade LaserDagen och berättade om laserbearbetning med flerstråleteknik.

Flemming arbetar nu sedan några år som oberoende konsult och presenterade under Laserdagen sitt mer än 10-åriga arbete med att utveckla tekniken för "multi-beam" bearbetning, (flerstrålebearbetning) som påbörjades 2006.

- Introduktionen av högeffekt fiber- och

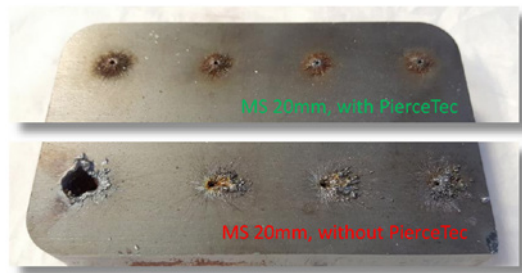
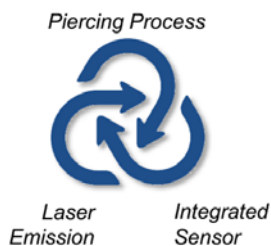


Bild 14.

Precitec PierceTech är en speciell teknik för att effektivisera och övervaka håltagningsprocessen. Resultatet blir effektivare håltagning och ger en renare yta. Även skärprocessen kan övervakas med denna teknik.

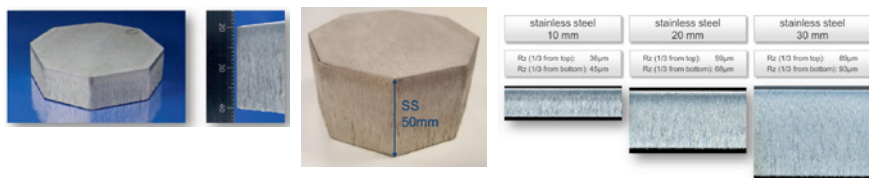


Bild 15.

Precitec EdgeTech ger förbättrad snittkvalitet genom bättre ytor och rättvinklighet. Funktionen finns integrerad i skärhuvudet ProCutter Zoom. Man har framgångsrikt skurit 50 mm tjockt material med denna teknik.

disklasrar förbättrade fokuserbarheten 10-falt jämfört med CO₂-lasern och det innebar att "single-mode" lasrar kunde fokuseras till stråldiameterar på 30-50 µm eller mindre. Därmed uppstod möjligheten att skapa detaljerade mönster, **bild 17**, inom det normala interaktionsområdet hos laserstrålen, berättar Flemming Olsen.

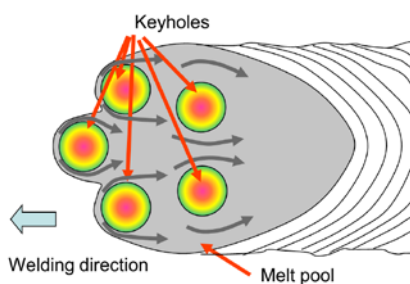


Bild 17.

Exempel på flerstråleteknik vid lasersvetsning

Flemming berättar vidare att han ansökte om patent redan 2006 som täckte flerstrålebearbetning i vid bemärkelse för flera metoder, men det hela slutade med att fick patent för "multi-beam" laserskärning i USA, Japan, Tyskland och Italien. Arbetet med att utveckla tekniken bedrevs vid DTU under 2007-2008 och vid IPU under åren 2009-2016 då han lämnade IPU. Klaus S. Hansen arbetade samtidigt med en doktorsavhandling inom lasersvetsning med flerstråleteknik och det arbetet har delvis fortsatt vid Aalborg Universitet.

Enligt Flemming Olsen ger flerstråletekniken intressanta möjligheter:

- Key-hole kan skapas även i breda svetsar
- Precist skräddarsydd styrning av smält-pölen

- Hög smälteffektivitet

Diffaktiv optik skapar multibeam strålar

Flemming berättar initierat om teknikerna att skapa flerstråletekniken genom att kombinera ett antal single-mode laserstrålar, med diffaktiv optik, eller det mest flexibla med programmerbar diffaktiv optik. Man började arbeta med diffraktiva optiska element men fann snart att det tog alldeles för lång tid att designa och tillverka dessa optiska element (ca 3 mån) och att kostnaden på 50-100 000 kr per styck var alldeles för hög. Den enda återstående möjligheten blev då att övergå till programmerbar diffaktiv optik. Med denna teknik har sedan Flemming genomfört många experiment med både skärning och svetsning. Speciellt intressant tycks möjligheterna för "remote" skärning, **bild 18**, alltså samma princip som för "remote" welding men här skär man istället.

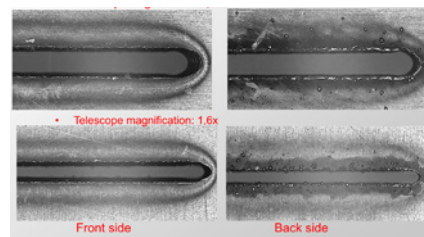


Bild 18.

Exempel på resultat från "remote"-skärning med programmerbar diffaktiv optik. Material: rostfritt stål, tjocklek 0,5 mm, medeleffekt 300W, skärhastighet 21 mm/s.

Flemming visar också resultat från "remote" skärning av målad, 0,85 mm bilplåt, **bild 19**. Processen sker i två steg: först bränns färgen bort med ett strålmönster,

sedan gör skärningen med ett annat. Resultatet visar att färgen inte skadas eller delamineras och att produktivitet och kvalitetskrav uppfylls. Dock finns lite slagg på plåtens ovansida.

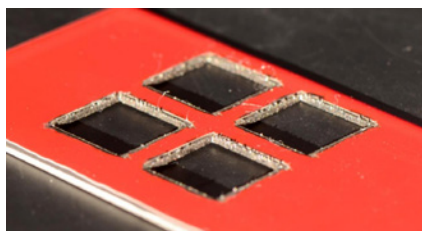


Bild 19. "Remote" skärning av målad karosseriplåt. Produktivitet och kvalitetskrav uppfylls.

Flemming Olsen visar också resultat från experiment med "remote" svetsning av en fog med fyra plåtar hos en komponent från Grundfos. Idag plasmasvetsas komponenten vilket tar ca 44 s. Lasersvetsning sker med 9 strålar, **bild 20**, och 3 kW effekt. Svets hastigheten blev högre än med svetsning med en stråle eller plasma.

- Programmerbar diffraktiv optik, LCOS-SLM- teknik, erbjuder nya möjligheter att konstruera små, kostnadseffektiva "remote" laserceller, berättar Flemming. Den senaste designen av LCOS-SLM från Hamamatsu ger möjlighet att producera mönster med ca 80 Hz. Hamamatsu har nu också vattenkylda LCOS-SM. Dessa kan komma att användas i "remote" laserskärsystem med 1-2 kW laserkällor tror Flemming.

- Flerstrålesvetsning är en väg att gå för att också optimera lasersvetsning genom att skräddarsy strålmönstret. Tekniken ger också hög effektivitet och god reproducerbarhet jämfört med konventionell lasersvetsning. Tekniken kan också användas i lödning, påsvetsning och additiv tillverkning, avslutar Flemming Olsen, som inte är främmande att fortsätta sitt utvecklingsarbete om någon vill ställa upp med finansiering. Flemming tackar också alla som har stött och samarbetat med honom under hans 40 år inom lasertekniken.

Laserprocesser hos Scania Oskarshamn

Marie Allvar, svetsingenjör vid Scania Oskarshamn sedan snart två år, arbetar tillsammans med kollegan Sebastian Danielsson med att utveckla svets- och lödprocesserna i Oskarshamn, **bild 21**.

- Vi använder laserskärning med två robotar i produktionen för att skära varianthål i karosserna, berättar Marie

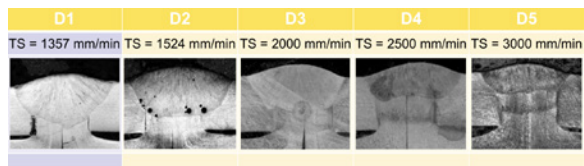
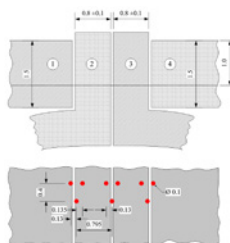


Bild 20. "Remote" svetsning av förband med fyra plåtar. Svetsning skedde med programmerbar diffraktiv optik med nio strålar och 3 kW lasereffekt.



Bild 21. Svetsingenjörerna Sebastian Danielsson (t.v.) och Marie Allvar (t.h.) arbetar med att utveckla fogningstekniken hos Scania i Oskarshamn. Foto: Curt-Robert Lindqvist.



Bild 22. Laserskärning hos Scania i Oskarshamn sker med en diodlaser från LaserLine och två robotar utrustade med Precitec FormCutter Plus. En tredje robot tar hand om skrotbitarna med hjälp av en vakuumsug. Foto: Scania.

Allvar, **bild 22**. Det finns 25 möjliga hålgeometrier i ca 60 olika positioner. Skärningen sker med två Precitec Formcutter Plus där laserstrålen från en LaserLine LDF 4000-30 delas genom time-sharing mellan robotarna. En tredje robot sköter om att ta hand om de utskurna skrotbitarna med hjälp av en vakuumsug. Skärningen sker med nitrogen som skärgas och skärhastigheten är ca 100 mm/s.

Scania använder också laserlödning i produktionen, **bild 23**, där man löder två fogar på varje sida av hytten. För detta använder man två 4 kW LaserLine LDF 4000-30 utrustade med Scansonic ALO3-

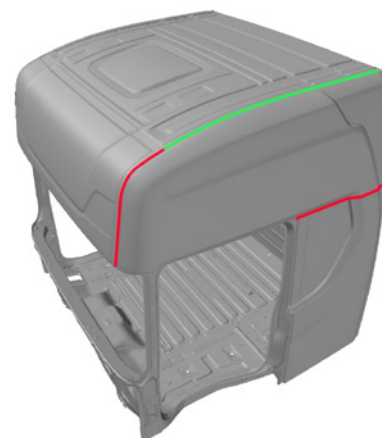


Bild 23. Laserlödda fogar hos Scantias hytter. Det finns två fogar på varje sida av hytten. Foto: Scania.

huvud. Varje hytt har 3.4-6.5 meter långa lödfogar och lödningen sker utan för- eller efterbehandling. Trådmatningen sköts av två Fronius TPS2700 med Robacta drive.

- Laserlödning är här i Oskarshamn är en

helt ny process på Scania. Vi hade rätt tuffa inkörningsproblem före semestern 2017, men nu har vi rättat till det mesta och har ett gynnsamt normalläge, berättar Marie Allvar.

Lödprocessen sker på 0.7-0.8 mm elektrogalvaniserad stålplåt med 1.6 mm CuSi3 lödtråd. All lödning sker med kall tråd.

Lödning av fogen på sidan av hytten sker i horisontal position (PC), **bild 24**. Det är en synlig fog och ställer därför höga krav på ytbeskaffenhet och utseende. Plåtarna är fixerade med punktsvetsar på den inre flänsen innan lödningen. Lödning av fogen i taket och fronten sker horisontalt och vertikalt, position PA/PG. Även här är plåtarna fixerade med punktsvetsar innan lödningen. Parametrarna för fogarna på sidan och tak/front skiljer sig åt men ger ungefär samma värmetillförsel. Man använder ingen skyddsgas, bara en lätt luftström för att avlägsna partiklar.

- Rent praktiskt är laserlödning en kän-

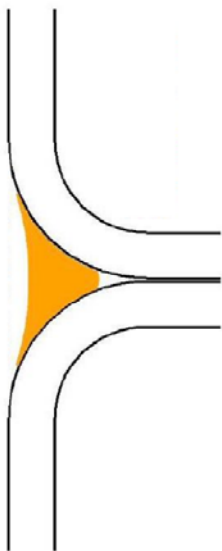


Bild 24. Lödfog på hyttens sida (övre) och fog på tak och front (undre)

lig process. Hytten och spalterna måste vara exakt rätt eftersom det krävs snäva toleranser, säger Marie.

- Kvalitetssäkring sker med Primes PMM för att mäta lasereffekten. Vi övervakar

också trådmatnings- och TCP-hastigheten samt linjering av tråd/laserstråle och statusen på lödhuvudet on-line med Photon Fokus Monitor. Vi har också installerat två Precitec Souvis 5000 system för kontroll av lödfogens geometri och ytavvikelser (bl.a. porer). Men tills vidare har vi också en manuell kontroll av lödfogarnas kvalitet, avslutar Marie Allvar.

Marie och Sebastian har under vintern 2017/18 tagit examen från en specialkurs i lasersvetsning vid Luleå tekniska universitet. Kursen är en internationell EWF-kurs med Svetskommissionen som kvalitetsgarant och examinator.

- Kursen har gett oss en riktigt bra och stabil grund att stå på, säger Sebastian. Den har generellt sett gett en djupare förståelse för laserteknik och det kommer vi att ha stor nytta av i framtiden.

Rundvandring i monterings- och karosserverkstaden

LaserDagen hos Scania avslutades med en rundvandring i monterings- och karosserverkstaden vilken guidades av Mariam Holmgren samt Marie Allvar och Sebastian Danielsson. Här följer en kortfattad och summarisk beskrivning av vad vi fick se.

Först i kedjan i monteringen kommer logistikhuset där inkommande detaljer mellanlagras i ett höglager. Från godsmottagningen kommer lastbilar från leverantör med mindre material som placeras i höglagret. Det är 30 m högt (högsta byggnaden i Oskarshamn) och 69 m långt och rymmer 15 000 pallar, vilket täcker en förbrukning på 2.5 dagar. Principen för transporten i höglagret är Först In/ Först Ut och lagret betjänas av 5 kranar. Det tar maximalt 1 minut för att hämta en pall för någon av kranarna och det finns likande material i alla kranar. Det material som kranarna hämtar fram plockas om i logistikhuset.

Till Line 1 kommer hytterna från Måleriet vilka är sorterade i höger/vänsterstyrda samt hög och låg för att balansera arbetet i monteringen. Här monteras kablar för el och luft och dörrarna hängs av och åker iväg till Dörrline med en conveyer. I slutet av Linen finns en kontrollstation (Q-gate) och linan är utrustad med Andonsnöre så att montörerna kan stoppa linan om det uppstår allvarliga problem.

Line 2 och 3 kallas "tilt-line" och här roteras hytten med hjälp av robotar. Hytten står med fronten ned mot golvet för bättre åtkomlighet under monteringsarbe-

tet. Vid linens slut vänds hytterna på rätt köl igen.

I Line 4 och 5 sker montering av inredning, bäddar, kylskåp och förvaring.

I Line 6 monteras instrumentpanel och vindrutor med hjälp av två robotar.

Line 7 monteras insteg, vindrutetorkare och solskydd.

I Line 8 monteras stol, dörrar och ratt.

I Linje 9 sker kontroll.

I Montering/Logistik arbetar ca 700 personer.

Världens modernast karosserverkstad för lastbilstillverkning

Vi fick också en titt i karosseriverkstaden där 285 robotar, 170 punktsvetsutrustningar, 40 muttersvetsar och 6 bågbultsvetsar arbetar tillsammans med operatörer, tekniker, underhåll och logistikpersonal.

Verkstaden som betjänas av ABB-robotar består av 15 liner. Flödet börjar med de fyra golvlinerna för golvhalvor, mittdel och komplett golv där fyra varianter och tre längder av golv byggs. Därefter byggs tak, rygg, sidor och framparti, innan de färdiga komponenterna svetsas ihop till en hyttstomme på resningsline. Laserlödning, -skärning, MIG-lödning och borrar av kundspecifika hål sker på variantline. Dörrarna tillverkas i dörrlinerna och hängs på hytten, som sedan går vidare till finish-line, där bl.a. laserlödningen kontrolleras manuellt och hytten förbereds för målning.

De mest bestående intrycken från rundvandringen är den rena, tysta och ljusa miljön som finns i verkstäderna. Som lekman blir man också mycket imponerad över automatiseringsgraden och det imponerande materialflödet. Det är lite svårt att ta in hur man kan få logistiken att fungera varje dag, varje timme så att rätt material kommer till rätt station i rätt tid. Men med Scantias produktionssystem, SPS i grunden så finns förutsättningar för en effektiv och resurssnål produktion som ständigt förbättras.

LaserGruppen tackar våra värdar för en trevlig och mycket lärorik dag i det soliga Oskarshamn. ■

Få nyheter såg dagens laserljus vid ICALEO 2017

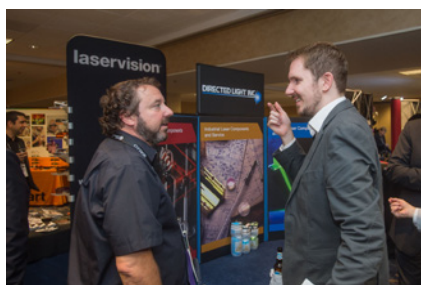
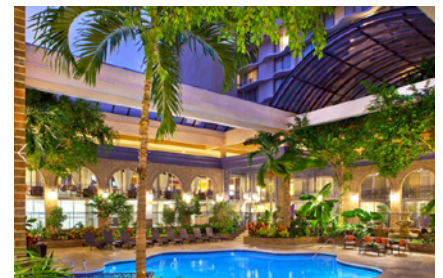
Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering



Den traditionella ICALEO [International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics] –konferensen, som för övrigt var den 36:e i ordningen, gick liksom 2015 av stapeln på Sheraton Hotel i Atlanta, GA.

Här följer fortsättning på del 1 som pulicerades i LaserNytt 1 2018.

Ett intressant fall var det som presenterades av Sara **Nothdurft**, även hon från LaserZentrum Hannover, som kombinerade lasersvetsning med ultraljudsvibration av de material som skulle sammanfogas. Det rörde sig om stavar med 30 mm diameter i materialen C22 [1.0402] och 41Cr4 [1.7035] som stumsvetsades mot varandra. P.g.a. de båda rostfria stålqualiteternas extremt olika legeringsinnehåll är även i det här fallet risken för okontrollerad korntillväxt i svetsgodset, med ty åtföljande sprickinitiering, uppenbar. Man hade använt 8 kW effekt från en TruDisc16002-laserkälla och en 200 µm optisk fiber för stråldistribution. Svetsverktyget var Precitecs YW42 med en kollimeringslins med 150 mm brännvidd och en fokuserdito med 300 mm fokallängd, vilket gav en 400 µm stor fokuspunkt på arbetsstycket. Svets hastigheten



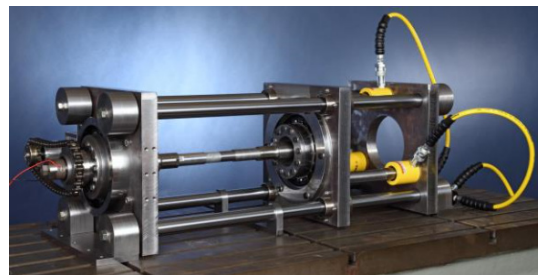
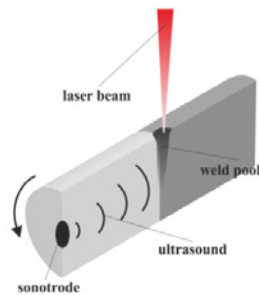
uppgick till 1,85 m/min och kombinerades som sagt med att en ultraljudssignal med liten amplitud och 20,5 kHz ansattes mot arbetsstycket på ett sådant sätt att

vibrationen utbreddes sig i ett plan som var vinkelrätt mot svetsriktningen [Fig. 23]. För att få en lämplig uppblandning i svetsgodset av de båda materialen hade olika

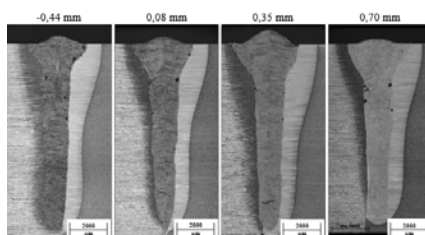
fokalpunktpositioneringar undersökts, där en placering 0,35 mm in på 41Cr4-materialet verkade ge det bästa resultatet. Beträffande effekten av ultraljudsoscilleringen reducerades sprickkänsligheten då amplituden ökades. En annan positiv effekt från vibrationen var att hårdheten i svetsgods och värmepåverkad zon [HAZ = Heat Affected Zone] minskade [Fig. 24], något som kan vara av betydelse om svetsfogen vid efterföljande bearbetning i form av t.ex. en bockningsoperation kommer att sträckas.

Det var som sagt svårt att hitta verkliga nyheter under ICALEO-konferensens fyra dagar, men jag avslutar med att referera några ”guldkorn” som jag trots allt lyckades finna.

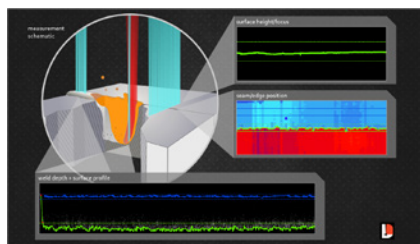
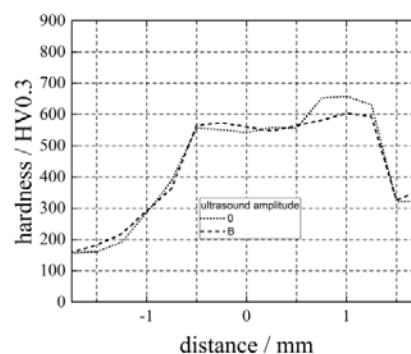
Processövervakning med hjälp av laserinterferometri eller ICI [Inline Coherent Imaging] har vi ju informerats om ganska ofta på senare år, inte minst av min gode vän Markus Kogel-**Hollacher** från Precitec. Dock finns det ytterligare ett företag som erbjuder ett sådant verktyg, nämligen kanadensiska Laser Depth Dynamics [LDD], och det var deras representant Dr. Christopher **Galbraith**, som framträdde här. Han inledde med att säga att svetsningen av lättviktsmaterial som aluminium och koppar många gånger kräver oscillering av laserstrålen kombinerat med modulering av effekten. Detta tillför processen ytterligare parametrar som skall kunna övervakas på ett tillförlitligt sätt, och han menade att LDD har ett sådant verktyg i form av sitt OmniWELD som arbetar med >200 kHz och har en upplösning på 20 µm i svetsriktningen och 50 µm tvärs densamma [Fig. 25]. Han presenterade resultat från kopparsvetsning med en 0,3 mm stor fokalpunkt där man använt såväl en fix optik som cirkulärt oscillatoringsmönster, den senare utförd med 1 kW lasereffekt, en framföringshastighet på 90 mm/sek och en ”scanning”-frekvens av 540 Hz. Även pulsad svetsning hade provats på kopparmaterialet och då med 1,5 kW topp effekt vid en frekvens på 1 kHz och 50 mm/sek i svets hastighet. Ett annat exempel var ”twinspot”-svetsning av rostfritt stål respektive aluminium med de två fokalpunkterna placerade linjärt i svetsriktningen och på ett sådant internavstånd att man erhöll två närliggande nyckelhål. Med ”twinspot”-tekniken fick man generellt ett stabilare svetsförlopp i jämförelse med då endast en fokalpunkt användes, och i aluminiumfallet fick man också en djupare penetration, framförallt i det bakre nyckelhålet.



Figur 23. T.v. en schematisk bild över hur svetsmältan manipuleras med hjälp av ultraljud, och t.h. ett foto av den experimentella uppställningen.



Figur 24. Vid lasersvetsning av rostfria material med diametralt olika legeringsinnehåll ger ultraljudsexcitering (var. A och B) av arbetsstyckena positiva effekter i form av nedsatt sprickkänslighet och lägre hårdhet i svetsgods och HAZ jämfört med svetsar utförda utan dylik excitering (var. O).



Figur 25. Såväl svetsprofil som penetrationsdjup visualiseras på ett användarvänligt sätt med Laser Depth Dynamics' OmniWELD, en modul som enkelt kan integreras i de flesta laserverktyg.

Ett relativt nytt verktyg för processövervakning är s.k. hyperspektral bildanalys [HSI = HyperSpectral Imaging], där man detekterar våglängdssammansättningen av återreflektat ljus och översätter denna till smältans temperatur vid lasersvetsning. Variationer i denna temperatur indikerar instabiliteter i processen och därmed sammanhängande svetsdefekter. Diplomingenjören Tobias **Staudt** från Friedrich-Alexander-Universität [FAU] i Erlangen redogjorde för försök genomförda med en TruDisc4002-laserkälla och Trumpfs svetsverktyg BEO D70 som i det aktuella fallet gav en fokalpunktsdiameter på 600 µm. En s.k. Phantom höghastighetskamera som filmade själva svetsförloppet hade försetts med en egenutvecklad HSI [HyperSpectral Imaging] -optik för själva bildanalysen. Den senare har en kapacitet på 820.000 fps [frames per second] och känslighet inom våglängdsområdet 350-

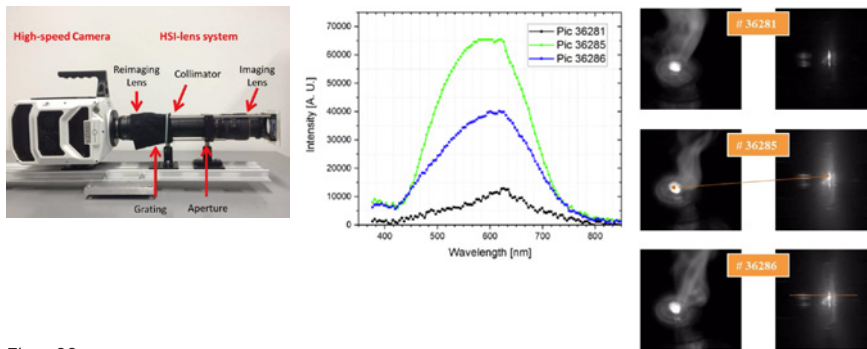
1.100 nm [Fig. 26]. Med denna uppställning gick det att in-situ göra jämförelser mellan HSI och nyckelhålsvetsningen då såväl kolstål som aluminium AA5754 svetsades. Även om ljusintensiteten från exempelvis nyckelhålets framkant varierar under svetsningen förblir ljusspektret opåverkat. En nackdel med metoden är att förångningsplasmata kan skugga för HSI-kameran, och därför kommer vidare forskning att inriktas på att undertrycka plasmabildningen med hjälp av olika skyddsgaser.

En nära granne till FAU i Erlangen är BLZ [Bayerisches LaserZentrum GmbH] och därifrån kommer Felix **Tenner** som i sitt föredrag adresserade det välkända ämnet spaltkontroll vid överlappssvetsning av zinkbelagd stålplåt. För att klara zinkavgasningen krävs en spalt >60 µm, men samtidigt måste spalten vara <200 µm för att undvika uppkomsten av s.k.

false friend. Som hjälp vid processövervakningen använde han en höghastighetskamera som monitorerade nyckelhål och svetsmålta. Nyckelhålets öppning kan översättas till ett mått på spalten mellan plåtarna, samtidigt som en nyckelhålsförstoring tyder på zinkexplosioner. På liknande sätt kan en ökning av svetsmältans storlek tolkas som att en "false friend" uppstår [Fig. 27]. Svetsförsöken hade utförts med samma utrustning som ovannämnde Herrn Staudt använt, och plåtarna utgjordes av 0,7 mm tjockt DX57D-material med en zinkbeläggning på 140 g/m². Spalten mellan plåtarna hade reglerats med en elektrisk motor kopplad till den övre plåten. Via adaptivitet byggd på information från processövervakningen gick det att variera spalten med en noggrannhet inom 20 µm [Fig. 28], men reaktionstiden är idag alltför lång eller 450 ms, samtidigt som spalten endast kan justeras mot ett mindre värde. M.a.o. återstår ytterligare något att göra, och en konkret lösning kommer att vara en snabbare algoritim på cirka 2,5 kHz för omräkning till en optimal spalt.

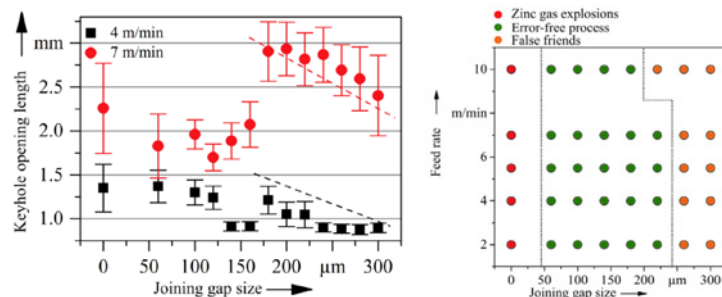
Dr. Friedhelm **Dorsch** från Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH i Ditzingen gav oss en uppdatering kring företagets SeamLinePro, och hur det kunde användas vid fjärrlasersvetsning av kälffogar. Verktøget har en fogföljningsfunktion som bygger på lasertriangulering, och vars mätpunkter ligger cirka 8 mm framför den observation av nyckelhålet som sker med hjälp av en höghastighetskamera [Fig. 29]. Ytterligare 10 mm bakom denna sker en topologimätning av bredd, höjd och form hos den utförda svetsen med hjälp av OCT [Optical Coherence Tomography]. SeamLinePro är så pass robust vid fjärrlasersvetsning att det fungerar vid infallsvinklar upp till 45° mellan laserstråle och arbetsstycke, och fogföljningen klarar kurvaturer ner till 45 mm radie.

Precis som vid senare laserkonferenser utgjorde additiv tillverkning ett omfattande inslag och en innovativ lösning togfördes av Jianyong **Chen** från Herriot-Watt University i Edinburgh. Här har man satt upp en flexibel arbetsplattform baserad på en kinematisk tripod-robot från företaget Renishaw med beteckningen "Equator 300", som egentligen är en koordinatmätmaskin men här utvecklad för att kunna hantera flera laserprocesser på en och samma arbetsplattform, [Fig. 30]. Konceptet har man valt att kalla ARMoR, vilket skall uttydas som "Add, Remove, Measure or Repair", och man kan



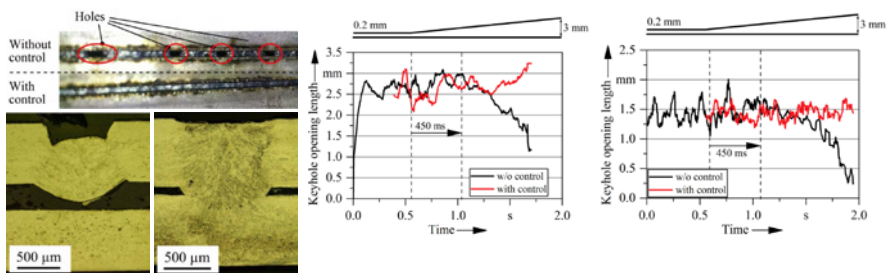
Figur 26.

T.v. en Phantom höghastighetskamera försedd med en HSI-optik utvecklad vid Friedrich-Alexander-Universität. Denna typ av processövervakning är något osäker då skuggnings-effekter från förångnings-plasmat gör att intensiteten i återreflekerat laserljus varierar kraftigt även om höghastighetsfilmingen indikerar en stabil process.



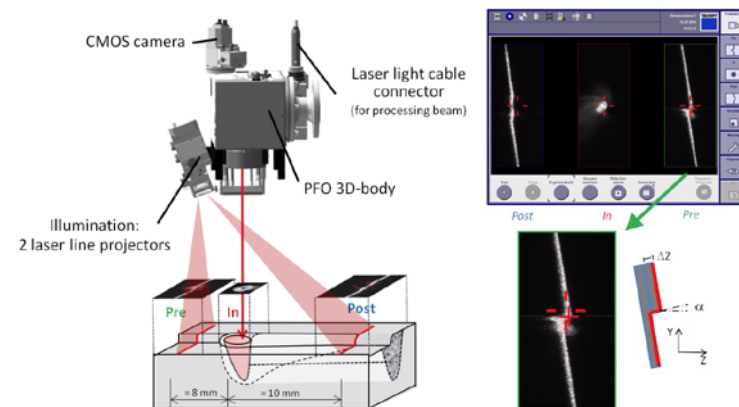
Figur 27.

Ovan t.v. relationen mellan nyckelhåls-öppning och spalten mellan plåtarna, något som kan användas då man fastlägger ett processfönster vid laser-svetsning av överlappsfogar i zinkbelagd stålplåt.



Figur 28.

Toppyv och tvärsnitt av svetsar utförda utan respektive med aktiv kontroll av spalten mellan plåtarna. T.h. grafer över svetsning med 3 kW och 7 m/min resp. 1,6 kW och 4 m/min där den vänstra streckade linjen visar när adaptiviteten aktiveras och den högra då svetsprocessen stabiliserats.



Figur 29.

En schematisk skiss över hur Trumpfs SeamLinePro-verktyg fungerar, där fogföljningsfunktionen sker genom lasertriangulering (t.h.) av fogen cirka 8 mm framför nyckelhålet.

arbeta med såväl additiva som subtraktiva metoder beroende på vilken typ av laserälla som kopplas till laserverktygen. För materialavverkande metoder används ns- och ps-lasrar från Inazuma

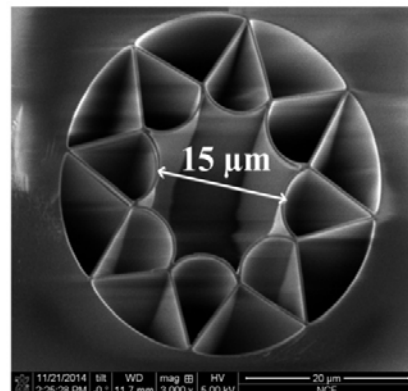
och Trumpf med toppeffekter på 5 MW respektive 15 MW, och vid additiv tillverkning är det en 100 W cw-laser som gäller. Inkopplingseffektiviteten påstods ligga på 90,9%. Men den verkliga nyheten som

Dr. Chen presenterade var den optiska fiber som användes och som består av åtta separata kärnor som tillsammans bildar en invändig, oktagonala form. Varje kärna har en diameter på 43 μm med en N.A. [numerisk apertur] på 0,03 (!), och den uppvisar inga effektförluster vid böjning om inte böjradien understiger 50 mm. Avslutningsvis visade Dr. Chen upp ett pålägningsmunstycke som vägde blott 260 gram och som var så utformat att det kunde hantera tre olika pulvermaterial.

Dr. Frank **Brückner** från IWS i Dresden lärde jag känna redan vid LAM [Laser Additive Manufacturing] –konferensen i Houston, TX förra året, och nu berättade den gode Frank, som bl.a. gästforskare vid Luleå Tekniska Universitet, om additiv tillverkning med en blandning av material. Således kan man optimera produkter som sensorer och batterielektroder genom att placera det funktionella och dyra pulvermaterialet endast på de ställen där det behövs, medan komponenten i övrigt kan byggas med betydligt billigare pulvermaterial. Olika material har olika absorptivitet varför det kan bli nödvändigt att använda olika lasrar med olika våglängder. Men de olika materialen kan också ha diametralt olika termo-fysikaliska egenskaper och i sådana fall rekommenderade Dr. Brückner att man använde en gradvis övergång i form av olika pulverblandningar i de mellanliggande skikten [Fig. 31].

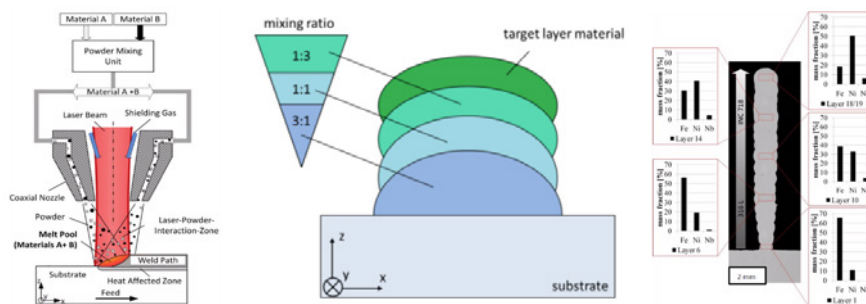
Därför har man vid IWS utvecklat en speciell pulverblandningsenhet för LMD [Laser Metal Deposition]. Man kan även använda sig av ett tredje material som övergång mellan de två artolika material som skall ingå i komponenten. Således visades på exempel där nickelbaserat material använts vid övergången mellan stål och Stellite6. Andra exempel på tillverkade "multimaterial"-komponenter utgjordes av kombinationer såsom koppar/rostfritt 316L, Inconel625/aluminiumbrons, Ti6Al4V/Tantalum samt Inconel718/rostfritt 316L. Vid försöken hade man använt 4 kW lasereffekt med strålkvaliteten 30 mm* mrad och de uppbyggda objekten hade en bredd på 45 mm. Dock menade Dr. Brückner att den lokala pulverdistributionen inom varje enskilt skikt fortfarande är ett problem då det gäller att få denna så jämn som möjligt. På en fråga om återanvändning av pulver då dylika komponenter någon gång i framtiden kommer att skrotas fick vi veta att det tydligen finns tekniker för att separera olika pulvermaterial.

Vanligtvis har LMD-tillverkade objekt en tämligen grov yta, och ett sätt att mot-



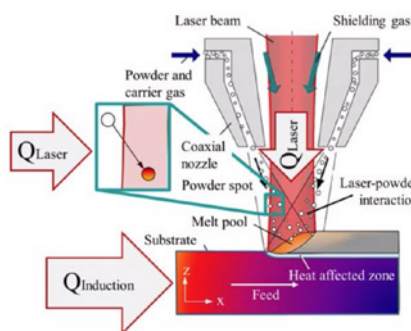
Figur 30.

En av få nyheter vid ICALOE 2017 var det koncept för additiv och subtraktiv tillverkning som bygger på en tripod-robot från Renishaw med tillhörande unika fiberlösning bestående av 8 separata kärnor med 43 μm diameter och en N.A. på 0,03!



Figur 31.

Principen för LMD med olika pulvermaterial där man använder olika blandningsförhållanden för att undvika defekter p.g.a. materialens olika termo-fysikaliska egenskaper, t.h. illustrerat med ett "multimaterial"-exempel bestående av Inconel718 och rostfritt 316L.

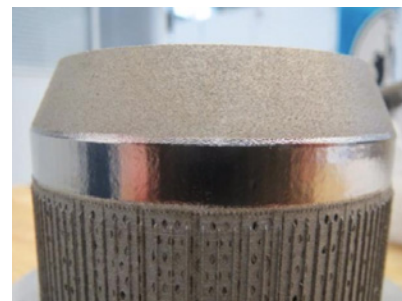


Figur 32.

Att kombinera LMD-processen med induktiv uppvärmning av substratet kan vara ett sätt att skapa en slätare yta, t.h. exemplifierat med gamma-titan-aluminid-belagda objekt tillverkade med elektronstråle i pulverbädd med samma typ av material.

Figur 33.

Exempel på hur man med laserpolering kan skapa en visuellt tilltalande yta hos ett SLM-tillverkat objekt i Inconel718.



verka detta kan enligt Dr. **Brückner** vara att kombinera processen med en induktiv uppvärmning kring 1.200 °C. Detta var något som han nämnde i sin presentation rörande hybridtillverkning, där elektronstråletillverkade pulverbäddobjekt tillver-

kade i gamma-titan-aluminid [Ti-43.3Al-4.3Nb-1.2Mo-0.1B] kompletterades med laserpåläggning för att på så sätt ytterligare öka produkternas värde [Fig. 32].

Andra sätt att skapa slätare ytor vid LMD-tillverkning kan vara att omsmälta

ytan med hjälp av en laser eller att använda sig av laserpolering. Vår gamle beaktning från LAM, Frank Geyer [Trumpf Inc., Plymouth Twp, MI] där han gjorde sin minnesvärda presentation av tillverkning av s.k. stealth-nycklar med hjälp av SLM, redogjorde här för den sistnämnda ytmodifieringsmetoden [Fig. 33]. Till sin hjälp hade han använt en TruMicro7060 med pulslängder på 30 ns, vilket resulterade i ett energiinnehåll på strax under 80 mJ, och där pulsfrekvensen varierats mellan 5-100 kHz.

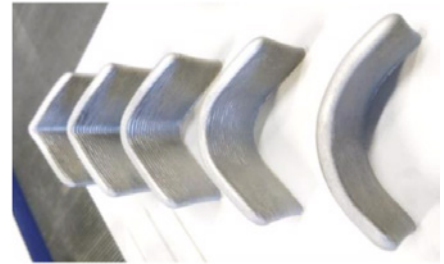
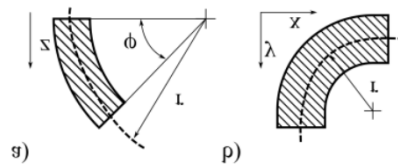
Ake Ewald från Technische Universität Hamburg-Harburg berättade lite om de konstruktionsriktlinjer för LMD som tagits fram vid fakulteten i samarbete med iLAS [Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik] och nu finns publicerade i VDI [Verein Deutsche Ingenieure] –dokumentet nummer 2222 [Fig. 34]. Bl.a. redogjorde han för fördelarna med att bygga lutande strukturer på en vinklad byggplattform, och här kände vi igen mycket från den redogörelse som Hannes Zapf från LZN [Laser Zentrum Nord] gjorde tidigare under året vid LiM [Lasers in Manufacturing] –konferensen i München. Med en sådan teknik är det möjligt att bygga tunna väggar med 60 graders lutning med konstant bibehållen vägg tjocklek och rakhets. Utrustningen som använts vid experimenten bestod av en TruDisc6001-laser från Trumpf med en våglängd på 1.030 nm, och materialet utgjordes av Ti6Al4V som hade siktats ner till fraktionsstorlekar under 80 µm. Det som var nytt med Herrn Ewalds presentation var att man nu även studerat att bygga kurvformiga element, och lyckats väl med detta ända ner till så pass små kurvradier som 5 mm. Vidare informerades vi om att det finns två principer vid LMD-uppbyggnad av kurvformiga objekt; antingen med byggnadsriktningen längs kurvan/tvårs med radien, alternativt längs med kurvans radie [Fig. 35]. Det senare syntes vara att rekommendera om kurvans längd understeg 90°.

I dag arbetar de flesta SLM [Selective Laser Melting] –maskiner med cw-emission, men det kan innebära att man inte får en fullständig nedsmältning av pulvermaterialet och därmed en otillräcklig densitet. Detta skulle kunna lösas om man istället använde en pulsat laserstråle, något som Leonardo Caprio från Politecnico di Milano tagit fasta på. För ändamålet krävs en laserkälla med ”rätt” våglängd med tanke på pulvermaterialets absorptionsförmåga samt en fin strålkvalitet för

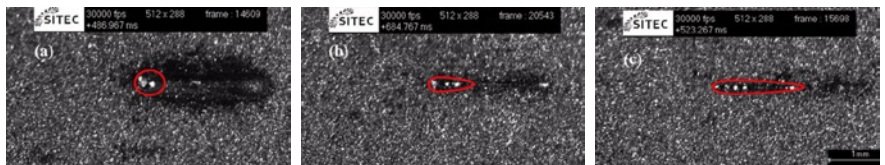
structure	unfavorable	favorable	explanation	restrictions
1.1. Micro-fabricating of angles			The degree of freedom in LMD provides different building strategies. Prior strategies without overlaps between layers to provide the most step effect and manufacturing failures through heating defect.	
1.2.3. Addition of features			If possible, integrate the feature and the part to reduce the additive manufacturing time. The approach for hybrid manufacturing.	
1.7. Manufacture part with 1.7.1. Slanted walls and layers			Design corners and edges with a minimum radius of the layer width. A smaller radius is not manufacturable without post-processing.	$r_{min} = 0.5 \cdot h_{layer}$ $r_{min} = 0.5 \cdot h_{layer}$ $r_{min} = 2.5 \text{ mm}$
1.7. Manufacture part with 1.7.2. Height			Design the dimension of the part to a multiple of the layer width and height to minimize the post-processing.	$n = 0.7$
1.7.4. Building structures			If a structure cannot be built up by an single optimized layer, the joined layers should have an overlapping to guarantee a connection.	

structure	unfavorable	favorable	explanation	restrictions
2.1. Inclined thin walls			The minimum wall width is the layer width. The inclination angle can vary in the system restrictions. (see Tab. 5, 1.4)	$h_{layer} = 4 \text{ mm}$ $h_{layer} = 2.5 \text{ mm}$ in the system $\beta_{min} = 60^\circ$
2.2. Curved walls			Curved elements perpendicular to the building direction should have a minimum radius to reduce the angular shift between the layers. The radius depends on the layer height and width.	For parameter set no. 1 $r_{min} = 25 \text{ mm}$
2.2.1. angle			The angle can be chosen freely. In case of small angles check if the curved element can be replaced by a straight element to reduce programming effort.	
2.3. Y-branches			The layer width of the branches should be equal or smaller in dividing structures. An iterative building of the branches is recommended to build a smooth branch.	$b_1 = b_2 \leq b_3$
2.3.1. angle			The angles of dividing branches can vary freely in the constraints of inclined thin walls.	$\beta_1 = \beta_2 \geq 30^\circ$

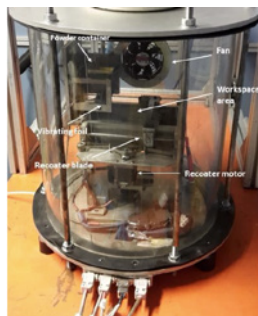
Figur 34. Några olika ur de konstruktions-riktlinjer för LMD som tagits fram vid iLAS, och som nu finns publicerade och tillgängliga som VDI-dokument nummer 2222.



Figur 35. Två olika sätt att med LMD bygga kurvformiga objekt; byggnadsriktning tvärs kurvans radie (a) eller längs med densamma (b). T.h. 4,5 mm tjocka objekt med radier mellan 5 och 30 mm.



Figur 36. T.v. den egenutvecklade SLM-prototypmaskinen som användes vid försöken, och ovan höghastighetsfilmning av smältan vid processhastighet-heten 50 mm/sek och cw (a) och pulsat bearbetning med 200 µs (b) respektive 100 µs (c) långa laserpulser.



att undvika sintereffekter då man arbetar med små pulverfraktioner. Därför hade valet fallit på en Q-switchad fiberlaser från IPG [YLR-150/750-Qcw] som har en diameter hos råstrålen på 55 µm, och som levererade 244 W i topp effekt. Experimenten hade utförts med rostfritt pulver [AISI 316L] och kornstorlekar mellan 15-38 µm. Pulslängderna uppgick till 100-200 µs och processen hade höghastighetsfilmats med 900 kHz frekvens. Tre olika processhastigheter hade studerats, nämligen 50, 250 och 450 mm/sek [Fig. 36]. Konklusionen var att man med en kontinuerlig lasereffekt uppnår en större smältvolym och högre uppbyggnadshastighet, medan ett pulsat förfarande tillåter byggandet av en finare struktur samtidigt som man har en bättre kontroll av smältan och därmed mindre svets sprut.

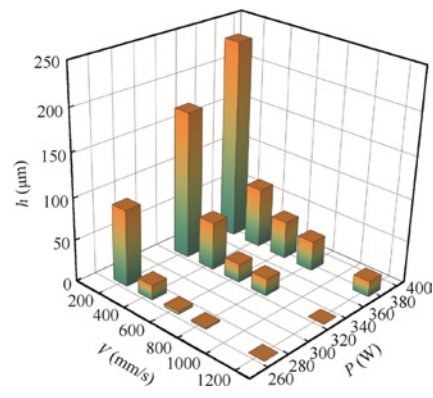
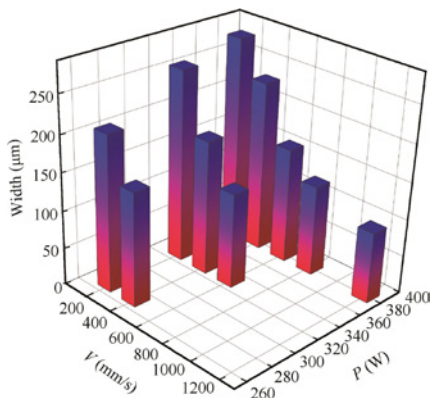
Dr. Huihui Yang från WNLO [Wuhan National Laboratory for Optoelectronics] vid Huazhong University of Science and Technology hade jämfört nyckelhålsprocess mot –värmeledningsdito vid SLM-tillverkning med Inconel718-material. Värmeledningsalternativet innebär en stabilare och porfri process men har en betydligt lägre produktivitet. Två olika SLM-maskiner, med 500 respektive 2.000 W lasereffekt, hade använts vid undersökningarna. Objekten byggdes upp i skikt om 40 µm och fokuspunkten som användes hade en diameter på 150 µm. Vid båda tillvägagångssätten innebar en ökad effekt att bredden på det nersmälta materialet ökade, och motsvarande minskade densamma då processhastigheten ökade [Fig. 37]. Skillnaden mellan nyckelhåls- och värmeledningsprocessen låg

istället i den kornstruktur som uppstod vid stelmandet av pulvermaterialet. Kornen växer till tvärs värmeutbredningen vid nyckelhålsalternativet, medan tillväxten vid värmeledningsmetoden sker parallellt med värmeutbredningsriktningen. Hållfasthetsmässigt visade detta sig emellertid ha liten inverkan på de tillverkade objektens hållfasthet, då såväl sträck- som brottgränser var identiska vid de två förfaringssätten. Dock uppvisade de objekt som var tillverkade genom värmeledning bättre brottförlängningsvärden.

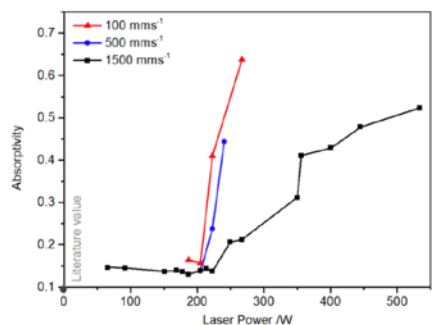
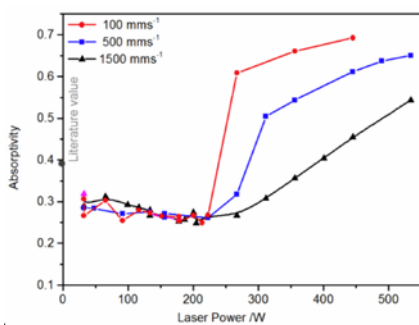
En liknande undersökning hade gjorts av Dr. Manyalibo **Matthews** från Lawrence Livermore National Laboratory. Här var pulvermaterialen rostfritt 316L, wolfram och aluminium AA1100, och det var speciellt absorptionen av 1.070 μm -våglängden vid en 60 μm stor fokuspunkt som hade studerats vid effekter mellan 30-600 W och vid tre olika framföringshastigheter; 100, 500 och 1.500 mm/sek [Fig. 38]. Här visade den högre hastigheten medföra en lägre absorptionsgrad, vilket av Dr. Matthews förklarades bero på ett grundare nyckelhål. Vid de lägre effektnivåerna, då ännu inget nyckelhål utbildats, var också absorptionen lägre och skedde då främst genom reflexion mellan pulverpartiklarna, men ökade sedan succesivt ju mer nyckelhålet växte till, fram till att ett mättnadsvärde uppnåddes.

Avslutningssessionen bjöd liksom den inledande plenarsessionen på tre presentationer med helt olika innehåll. Vi kunde lyssna till Dr. Wayne **King** från Lawrence Livermore National Laboratory och se på hans avancerade processimuleringar av AM [Additive Manufacturing] –processen, vilka vi kände igen från fjolårets LAM-konferens. Vidare presenterade Florian **Bechman** från Concept Laser GmbH i Lichtenfels den omfattande satsning som sker hos GE Additive i vars koncern just Concept Laser numera ingår. Inte minst satsar man på att säkerställa en framtida kompetens inom området genom utbildningsinsatser på gymnasienivå. För detta hade man öronmärkt 2 miljoner dollar för 2017, en siffra som kommer att ökas till 8 miljoner för år 2018.

Den intressantaste presentationen under avslutningssessionen var emellertid den som hölls av gamle bekantingen professor Minlin **Zhong** från Tsinghua University i Peking, och där temat var ”Magiska nanofunktioner skapade med ultrakortpuls-lasrar”. Tidigare har han ju visat hur man med UKP-lasrar kan yttexturera Grafen för att ge materialet

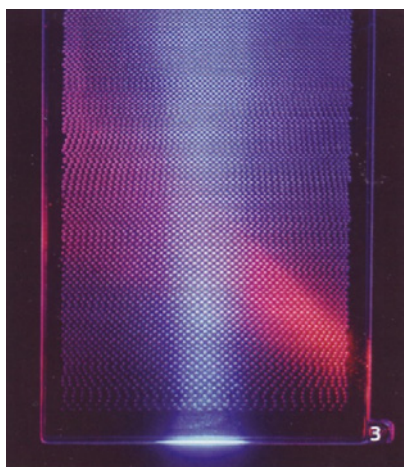


Figur 37. Bredden (t.v.) och tjockleken (t.h.) som funktion av lasereffekt och processhastighet vid SLM-tillverkning. De geometriska effekterna av dessa parametrar är liksom det rör sig om en nyckelhåls- eller värmeledningsprocess, medan däremot kornstrukturen i det smälta pulvret får skilda karaktärer.



Figur 38. Låg effekt och snabb framförings-hastighet har en negativ inverkan på laserstrålens absorptionsförmåga i pulvret vid SLM-tillverkning, här illustrerat för materialen wolfram och aluminium AA1100.

olika egenskaper. I ett femårigt statligt finansierat projekt i Kina har man nu gått vidare med att strukturera även metalliska ytor. På mikronivå fungerar UKP-lasern utmärkt, men i nanoskala finns begränsningar p.g.a. laserstrålens diffraktionsgräns, varför nuvarande forskning mycket handlar om att förstå laserljusets interaktion med metallytan. Huvudsyftet är att efterlikna nanostrukturer som vi kan hitta i naturen på exempelvis ödlefötter, fjärilsvingar och lotusblad, vilka alla tillför ytan unika egenskaper. Hittills har man nått lyckade resultat vid nanostrukturering av metallytor med hjälp av UKP-lasrar då det gäller ytegenskaper som hydrofobi, hydrofili, vätning, vidhäftning, självrengöring, reduktion av luftmotstånd, anti-reflexiva egenskaper samt selektiv filtrering. Man har även kunnat strukturera ytor för att åstadkomma olika färgskiftningar i dessa vilka dessutom är oberoende av vinkeln hos det infallande ljuset [Fig. 39]. Nu vill man gå vidare med denna form av ytstrukturering för att finna mönster med vidhängande egenskaper som hittills är okända för naturen själv. Bland några av de mer praktiska tillämpningarna visade professor Zhong hur man kunde dela upp ett vattenflöde, samt hur ytor kunde göras frostavvisande ner till -15 °C och en relativ



Figur 39. Med ultrakortpuls-lasrar kan man strukturera ytor på nano-nivå, och göra dessa hydrofoba eller framkalla färgskiftningar vilka är oberoende av vinkeln hos det infallande ljuset.

fuktighet >80% och att denna egenskap kunde bestå i upp till 12 timmar. Mycket av det som sades underströk det gamla begreppet att det endast är fantasin som sätter begränsningar vad gäller laserteknikens användningsområden, och det skall bli intressant att följa den fortsatta laserforskning som bedrivs vid Tsinghua

University.

Sammanfattningsvis kan jag säga att årets ICALEO-konferens knappast kommer att gå till historien som en av de intressantaste. Det informella utbytet av lasererfarenheter delegaterna emellan gav oftast mer än den information som presenterades under de olika tekniska

sessionerna. Det nuvarande upplägget av konferensen har nått något av ”vägs ände”, och det vill nog till att nye verkställande direktören Nathanael **Quick** och hans kollegor vid LIA kommer upp med några nya koncept om konferensen skall fortsätta att attrahera och förbli det ledande evenemanget för laserbearbetning som man gärna vill se sig som. ■



Höghastighetslaserpåsveltsning

Dr Conny Lampa
Höganäs AB

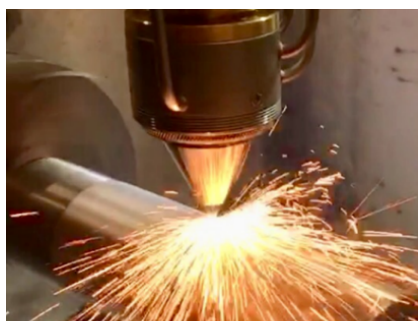
Höghastighetslaserpåsveltsning, eller ”Extremes Hochgeschwindigkeitslaserauftragsschweissen” (EHLA) som metoden heter på originalspråket Tyska, är en laserbeläggningsmetod som forskare på Fraunhofer Institut für Laser-Technik (ILT) i Aachen Tyskland har tagit fram. Utmärkande för metoden är att man med hög hastighet, 20 – 200 m/min, lägger på väldigt tunna och homogena skikt, typiskt 10 - 300 µm, med mycket liten värmepåverkan och minimal uppblandning med substratet. Ett område där metoden redan används kommersiellt är vid beläggning av hydraulkolvar för marina applikationer, där man ersatt hårdförkromning.

Inledning

EHLA har kort nämnts i ett par tidigare artiklar, bl a i Lasernytt nr 3, 2017. Utmärkande för metoden är de tunna homogena skikten som erhålls, den minimala uppblandningen med substratet samt naturligtvis de höga processhastigheterna. Vid konventionell laserpåsveltsning använder man typiskt processhastigheter på 0,5 – 2 m/min. Vid EHLA är processhastigheten normalt mellan 20 – 200 m/min men det förekommer även ännu högre hastigheter. De skiktjocklekarna man får med EHLA är normalt 10 – 300 µm, vilket är i samma tjockleksområde som där hårdförkromning används.

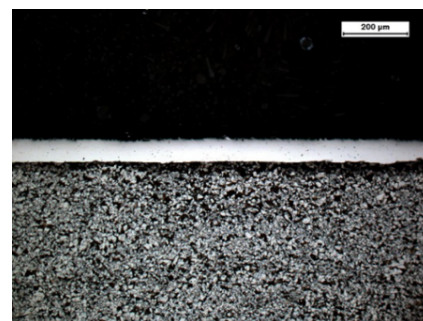
Bakgrund

Laserpåsveltsning är en välkänd metod



sedan omkring 40 år tillbaka. Det första patentet är från 1976 [Gnanamuthu, D.S. (1976) US Patent 3952180] och beskriver hur ett lager av metall är påsvetsat på ett metallsubstrat med hjälp av en laserstråle. Under 80-, och 90-talet var man vid laserpåsveltsning hänvisad till att använda CO₂ lasrar vars våglängd, 10,6 µm, har en väldigt låg absorptionsgrad i metalliska material. Tillsammans med låg generell verkningsgrad, stora otympliga maskiner, höga investeringskostnader och framförallt ny och okänd teknik gjorde att laserpåsveltsning hade svårt att konkurrera med mer termisk sprutning samt välkända påsvetsmetoder som exempelvis MIG, Plasma och pulverbåge. Detta trots att egenskaperna för laserpåsveltsade skikt redan då visade sig överträffa de konventionella beläggningsmetoderna.

Den snabba utvecklingen av högeffektslasrar sedan millennieskiftet har gynnat laserpåsveltsning. Dagens fiber-, disk- och diodlasrar i våglängdsområdet kring 1 µm har betydligt högre absorptivitet på metalliska material än vad CO₂ lasern kan uppvisa. Dessutom är dessa lasrar kompakta, de har hög elektrisk verkningsgrad och en hög driftsäkerhet. Tillsammans med ökad processkunskap



och sjunkande priser på laserkällor har laserpåsveltsning definitivt blivit en accepterad produktionsprocess, både vid nytillverkning av komponenter och vid reparation av slitdetaljer.

Höghastighetslaserpåsveltsning (EHLA)

Trots att konventionell laserpåsveltsning har stora fördelar jämfört med andra beläggningsmetoder som exempelvis MIG, PTA, pulverbåge och termisk sprutning, är processhastigheten relativt långsam. Normalt belägger man med en processhastighet av 0,5 – 2 m/min vilket resulterar i att man kan belägga ytor med en hastighet av 50 cm²/min. EHLA processen använder idag processhastigheter på 20 – 400 m/min vilket motsvarar ytor upp till 500 cm²/min. Detta är möjligt genom att man istället för att pulverpartiklarna smälter i smältpölen på substratet istället smälter pulverpartiklarna direkt i laserstrålen. Därmed träffar pulvret substratet i smält form, **figur 1**.

Denna omständighet medger de höga processhastigheterna och därmed möjligheten att belägga väldigt tunna och homogena skikt, 10 – 300 µm, med en minimal uppblandning av substratet i beläggnings (< 1 %). Man ser också

möjligheten att belägga substrat som är känsliga för hög termisk påverkan samt materialkombinationer som normalt sett ansetts som omöjliga.

Applikationer

En tidig applikation för höghastighetslaserpåsvetsning är att ersätta hårdkromatering på hydraulkolvar. IHC Vremac Cylinders B.V i Nederländerna har sedan 2015 belagt flera hundra kolvar till marina applikationer. Dessa kolvar är upp till 10 meter långa och har diametrar på upp till 500 mm, **figur 2**.

I år (2018) har också det kinesiska företaget Hebei Jingye Additive Manufacturing Technology Co., Ltd investerat i tre stora EHLA system för miljövänlig beläggning av hydraulcylindrar för marina applikationer.

Förutom som hårdkromersättning är EHLA även intressant som metod till att belägga bromsskivor till fordonsindustrin. Här är det framtida krav på minskade partikelemissioner som sätter agendan. ILT i Aachen har redan tillverkat en prototyp, **figur 3**.

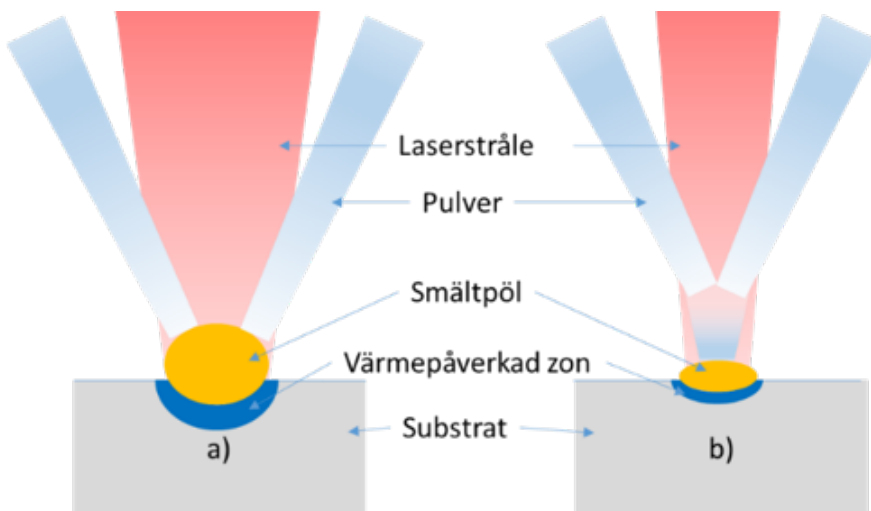
Material

För att EHLA ska bli riktigt attraktiv för framförallt fordonsindustrin krävs att kostnaden kan hållas på en konkurrenskraftig nivå. Det ställer därför höga krav på materialet som ska läggas på, dvs inte endast på de tekniska egenskaperna utan också på materialkostnaderna.

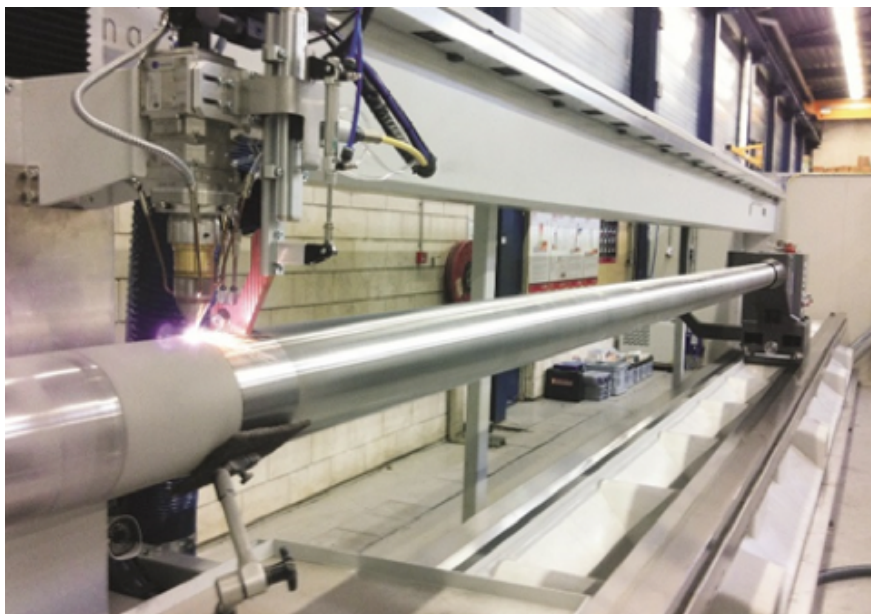
Härdförkromning är i sig en billig process och har väldigt bra korrosions- och nötningsegenskaper. Livslängden för ett kromaterat skikt kan dock variera. För hårt utsatta komponenter, exempelvis hydraulkolvar till takstöd i kolgruvor (**figur 4**), räknar man med att behöva omkromatera kolvarna var 12-18 månader. Höganäs AB har tagit fram en för laserpåsvetsning avsedd hårdkromersättning som applicerat på hydraulkolvar i kinesiska fälttester passerat 36 månader utan anmärkning. Målet är minst 60 månader utan att behöva demontera och renovera dessa.

Med konventionell laserpåsvetsning lägger man på över 1 mm av materialet för att efter slutbearbetning ha ett skikt på 0,5 mm på kolvarna. Med EHLA processen kommer man troligtvis att kunna få ner materialåtgången till mindre än hälften!

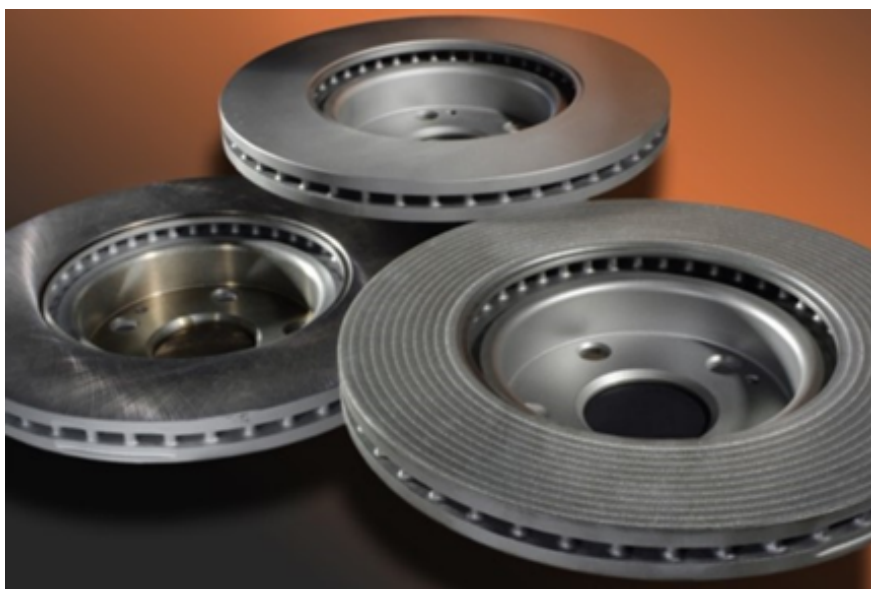
EHLA processen kräver en finare pulverfraktion, det vill säga mindre kornstorlekar, än vid konventionell laserpåsvetsning. Är pulverkornen för stora hinner de helt enkelt inte smälta. Generellt sett är



Figur 1. Principen för konventionell laserbeläggning (a) och EHLA (b).



Figur 2. Höghastighetslaserpåsvetsning av hydraulkolv hos IHC Vremac i Nederländerna [Fraunhofer ILT, Aachen / Hornet Laser Cladding B.V., Lexmond, NL].



Figur 3. Bromsskiva belagd med EHLA processen [Fraunhofer ILT, Aachen]

produktionskostnaderna också högre för finare pulver jämfört med vad de är för grövre kornstorlekar av samma legeringar. Detta kompenseras till viss del med ett högre pulverutnyttjande vid EHLA jämfört med konventionell laserpåsvetsning.

De höga processhastigheterna vid EHLA ger en snabb stelning och en fin kornstruktur. Detta gör att det påsvetsade materialets egenskaper skiljer sig jämfört med konventionellt laserpåsvetsat material av samma legering.

Figur 5 visar en jämförelse av mikrostrukturen hos ett material påsvetsat med EHLA samt konventionellt laserpåsvetsat. Samma lasereffekt och pulvermatning har använts. Däremot har Svetsastigheten vid EHLA varit 100m/min och konventionellt 1m/min. Laserintensiteten, det vill säga lasereffekt per areaenhet, är här också 25 gånger högre vid EHLA än vid den konventionella laserpåsvetsningen.

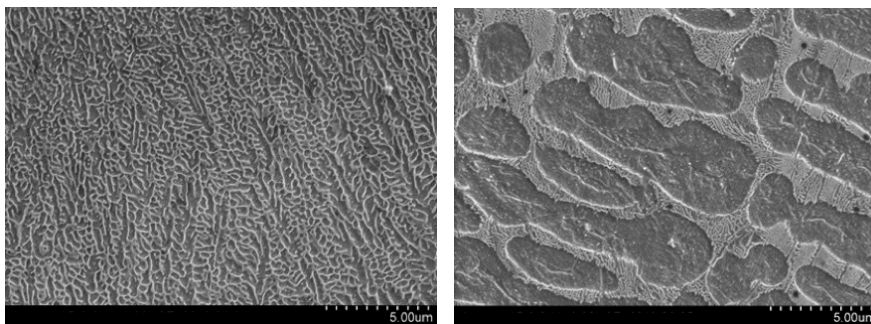
Sammanfattning

Konventionell laserpåsvetsning har visat sig vara 2-3 gånger dyrare än hårdförkromning per kvadratmeter. Då har man räknat med svarvning, slipning och polering av det belagda skiktet ner till slutmått. Men då man beaktar skiktets ökade livslängd minskas skillnaden och är slutligen till fördel för laserpåsvetsning jämfört med hårdförkromning. Med höghastighetslaserpåsvetsning har man ett högre pulverutnyttjande än vid konventionell laserpåsvetsning, dessutom krävs mindre efterbearbetning vilket drar ner kostnaden dramatiskt. Detta innebär att redan innan man tar hänsyn till den högre livslängden på skiktet så kan kostnaden för höghastighetslaserpåsvetsning vara jämförbar med hårdkromatering.

För mera information: conny.lampa@hoganas.com ■



Figur 4. Hydrauliska tackstöd i kolgruva.



Figur 5. SEM fotografier av höghastighetslaserpåsvetsat material till vänster och konventionellt laserpåsvetsat material till höger.

Fakta: Höganäs AB

Höganäs-koncernen är världens största tillverkare av metallpulver med en samlad kapacitet på cirka 500 000 ton. Höganäs leder utvecklingen inom metallpulverbranschen genom att utveckla nya pulver och produkter, liksom nya användningsområden, applikationer, för metallpulver.

Höganäs verksamhet i korthet:

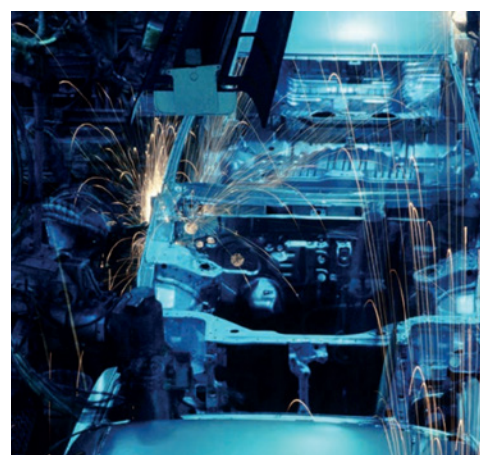
- Cirka 2200 anställda, varav 700 i Sverige
- 3 000 kunder i 75 länder
- Erbjuder mer än 1 500 produkter, övervägande kundspecifika
- Internationell koncern med 13 produktionscentra och ett flertal försäljningsbolag runt om i världen
- Cirka 700 godkända patent i olika länder

- Omsättning: 7 100 MSEK (2014)
- Grundades 1797 som ett kolgruveföretag
- Näst efter kommunal verksamhet den största arbetsgivaren i Höganäs kommun med huvudkontor och produktionsanläggningar placerade på orten

Fokus på processövervakning och kvalitetskontroll

vid årets EALA-konferens, men även intressanta lösningar för aluminiumsvetsning och laserlödning

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering



Årets EALA [European Automotive Laser Applications] -konferens hade lockat närmare 200 delegater från 16 länder [Tab. 1a] och med 15 olika bilföretag eller s.k. OEMs [Original Equipment Manufacturer] representerade [Tab. 1b].

Konferensen som nu lanserades för 19:e gången i ordningen har blivit en naturlig mötesplats för laserspecialister inom personbilsindustrin, och även ett skyltfönster där underleverantörsföretag kan visa upp sina senaste innovationer. Den anslutande utställningen omfattade således hela 22 företag vilka var:

- ARGES GmbH
- Automation W+R GmbH
- Bergmann & Steffen GmbH
- Blackbird Robotersysteme GmbH
- EHR GmbH & Co. KG
- Eurolaser GmbH
- GVB GmbH – Solutions in Glass
- Hema Electronic GmbH
- HIGHYAG Lasertechnologie GmbH
- HYFRA Industriekühlanlagen GmbH
- IPG Laser GmbH

Tabell 1a.

Konferensdeltagare per nation

Nation	Antal
Tyskland	118
Japan	12
USA	10
Storbritannien	6
Sverige	6
Spanien	5
Sydkorea	4
Frankrike	3
Schweiz	3
Österrike	3
Italien	2
Kina	2
Polen	2
Belgien	1
Nederländerna	1
Tjeckien	1
Summa	179

Tabell 1b.

Konferensdeltagare per OEM

OEM	Antal
Volkswagen AG	8
Audi AG	6
BMW AG	5
Daimler AG	5
General Motors	4
Honda Motor Co.	3
Volvo Cars	3
Fiat-Chrysler	2
Hyundai Co.	2
Jaguar LandRover	2
Nio Co. Ltd.	2
Ford Motor Co.	1
Nissan Motor	1
Toyota Co.	1
Adam Opel AG	1
Summa	46

- JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH
- JUTEC GmbH
- Laser 2000 GmbH
- Laserline GmbH
- MKS Ophir
- Precitec GmbH & Co. KG
- PRIMES GmbH
- RMA Sp. o.o.z.
- ROFIN-SINAR Laser GmbH
- Scansonic IPT GmbH
- TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH

För arrangemanget svarar organisationen ACI [Automotive Circle International] som har sin bas i Hannover, och genom åren har vi vant oss vid att se Andrea **Huber** som programansvarig. Då Frau Huber nu fått andra ansvarsområden blev det debut för Dr. Dirk **Meine** [Fig. 1] att sammanhålla årets EALA-konferens, vilket han gjorde med ackuratess, van som han är i rollen då det gäller andra konferenser i ACI:s rikhaltiga utbud av sådana. Till sin hjälp har den gode Dirk en "Advisory Board" med representanter från de mest kända bilmärkena och där vi hittar Audis Dr. Jan-Philipp **Weberpals** som dess ordförande.

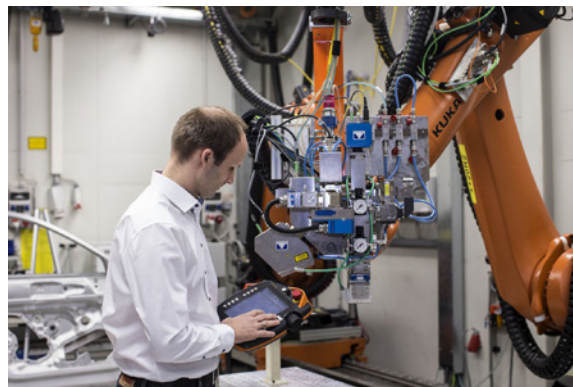
Av tradition domineras konferensen av deltagare från Tyskland, men trenden från tidigare år med en alltmer internationell prägel accentuerades i år med 11 japanska gentlemän och 10 representanter från nordamerikansk bilindustri. Själv kunde jag, under den inledande laserutbildning som jag traditionellt håller tillsammans med Dr. Jens **Standfuß** från IWS [Institut für Werkstoff und Strahltechnik] i Dresden, bekanta mig med två herrar från den kinesiska biltillverkaren Nio Co. Ltd. Här står man just i begrepp att lansera en batteridrivna bil med helaluminiumkaross där lasersvetsningen är omfattande och utförs såväl med som utan tillsatsmaterial.

Årets upplaga var indelad i fem huvudblock:

- Optical Quality Control
- Laser Based Processing of Composites
- Process Optimization
- Focus on Optical Coherence Tomography
- Laser Beam Brazing

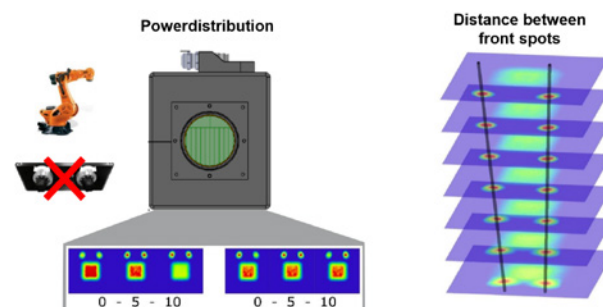
Som synes en hel del kring processövervakning och kvalitetskontroll, men låt mig få börja med att redogöra för två intressanta angreppssätt för att åstadkomma defektfria lasersvetsar i aluminium.

Den första hölls av välbekante Dr. Axel **Luft** från Laserline där han inledde med



Figur 1.

Dr. Dirk Meine (t.v) från Automotive Circle International debuterade som sammanhållande för EALA 2018. Till sin hjälp att utforma ett innehållsrikt program hade han ett expertråd bestående av representanter från olika biltillverkare under ledning av Jan-Philipp Weberpals från Audi AG, som t.h. ses i programmeringstagen av en av företagets laserrobotar.



Figur 2.

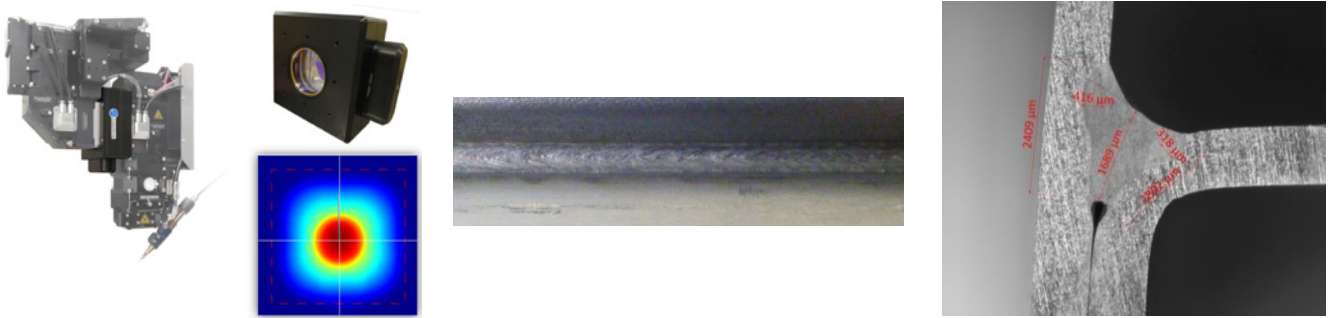
En nyhet med Laserlines trifokal-verktyg är att energifördelningen mellan fokalpunkterna, liksom avståndet mellan de två främre foki, inte längre behöver ställas in manuellt via vridreglage, utan sker automatiskt via inställningar i robotprogrameringen

att beskriva företagets trifokal-lösning, primärt avsedd att användas vid laserlödning och för vilken jag redogjort i tidigare nummer av Lasernytt. Denna modul går numera att få integrerad i Scansonic's populära ALO3 [Adaptive Laser Optic] -verktyg, och nytt sedan sist är att energifördelningen mellan de tre fokalpunkterna inte längre behöver ställas in manuellt utan kan ske automatiskt via inställningar i robotprogrameringen [Fig. 2]. Likaledes är avståndet mellan de två främre fokalpunkterna justerbart och man erbjuder även höghastighetsfilmning i form av Lessmüllers "WeldEye®".

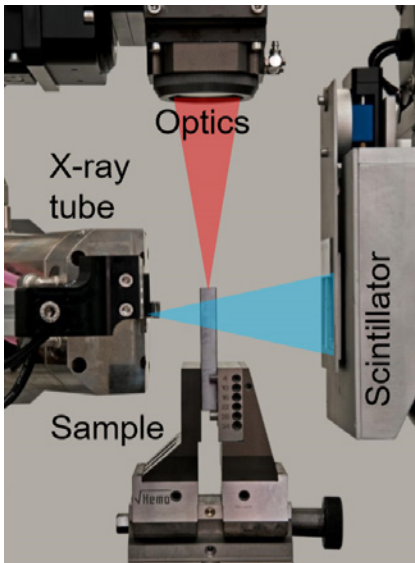
Tidigt förstod Dr Luft och hans kollegor att "multi-fokus" även skulle ha en positiv effekt vid lasersvetsning av aluminium, då tiden under vilken materialet befinner sig i smält form förlängs, och därför hinner föroreningar i form av väte, som är en vanlig orsak till uppkomsten av porer, evakueras ur smältan. Därför hade man i ett forskningsprojekt tillsammans med TU [Technische Universität] Ilmenau med hjälp av optikutveckling superpositionerat två fokalpunkter ovanpå varandra. En mindre cirkulär sådan omgiven av en större kvadratisk, och där energifördelningen för båda går att justera [Fig. 3]. Med denna "spot-in-spot"-modul hade

man med 4,1 kW lasereffekt uppnått en svets hastighet på 8 m/min, vilken korrelerades med en trådmatning på 10 m/min. Just nu pågår validerande produktionsförsök med taklasersvetsning hos Porsche AG i Leipzig, och en annan applikation som omnämndes var svetsning av batterilådor i 5000-legering.

Ett annat angreppssätt för att förbättra resultatet vid lasersvetsning av aluminium framfördes av Florian Fetzter, som tillsammans med sina kollegor vid IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge, TU Stuttgart] studerat höghastighets svetsning av legeringen AA6016. Svetsprocessen dokumenterades i realtid där höghastighetsfilmning korrelerades med röntgen. Tack vare de höga effekter som laserkällorna idag erbjuder, som t.ex. IPG med fiberlasrar på 100 kW och Laserline med diodlasrar upp till 50 kW effekt, möjliggörs svetsning med extremt höga hastigheter. Då nämnda legering initialt svetsades med 3,4 kW och 4 m/min i framföringshastighet blev svetsprocessen instabil med ett flertal luftbubblor i smältan, vilket fick som följd en mängd inneslutna porer i svetsgodset. Om däremot effekt och hastighet ökades till 16 kW respektive 30 m/min erhöll man en mycket stabil process, vilket enligt diplomingenjör Fetzter berodde på ett förlängt



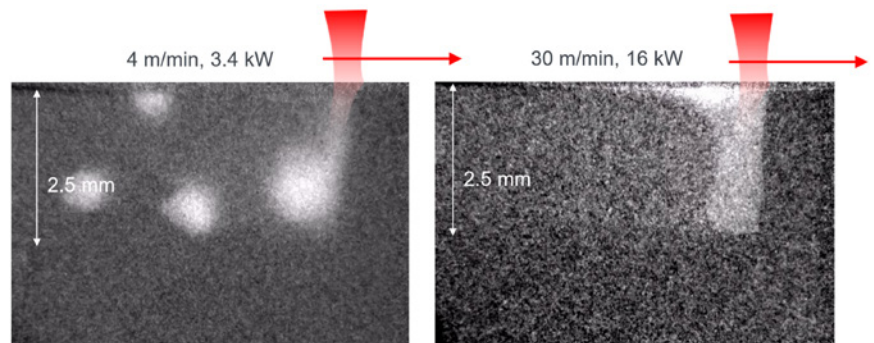
Figur 3. Med Laserlines "spot-in-spot"-modul går det att utföra näst intill defektfria lasersvetsar i 6000-legeringar av aluminium. Bilderna ovan illustrerar resultaten från svetsning med 4,1 kW effekt och en framföringshastighet på 8 m/min. Tillsatsmaterialet är en 1,2 mm grov tråd i AlMg4,5MnZn vilken matades med 10 m/min.



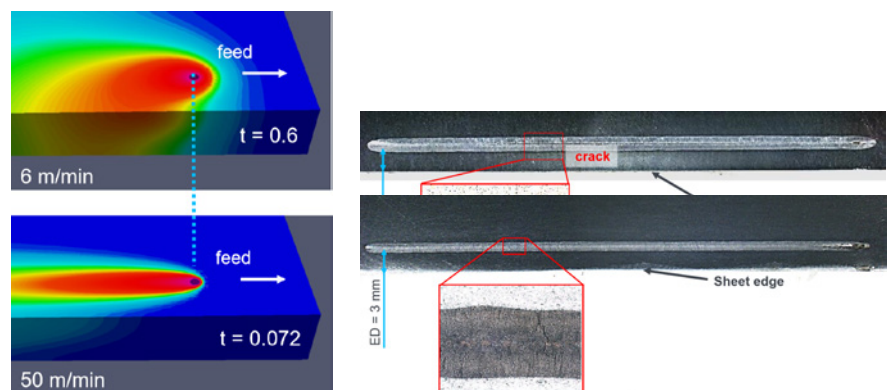
nyckelhål, samtidigt som man inte fick några negativa störningar från nyckelhålets bakkant [Fig. 4].

Ett annat klassiskt problem vid aluminiumsvetsning är uppkomsten av centrumsprickor i svetsgodset. Genom att svetsa med en hastighet på 50 m/min blir värmepåverkan mindre och därmed reduceras de termo-mekaniska spänningar som vanligtvis ger upphov till dylika sprickor. Sprickproblematiken accentueras ju närmare plåtkanten svetsen positioneras. Vid konventionell lasersvetsning av aluminium måste avståndet vara minst 6,5 mm, men vid höghastighetssvetsning kan man ligga så pass nära som 2,5 mm utan att riskera någon uppkomst av centrumsprickor [Fig. 5, 6]. För att denna form av höghastighetssvetsning skall fungera, och man inte skall riskera att få en instabil svetsprocess i form av "humping"-fenomen, måste fokuspunkten enligt resultaten från genomförda experiment vara minst 630 µm.

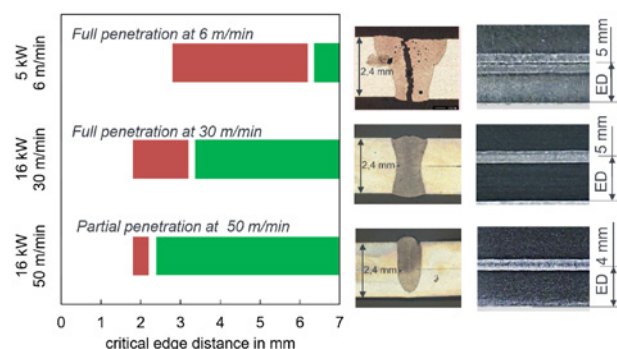
IPG tillhandahåller sin variant av trifokal-konceptet, vilket bygger på tre separata distributionsfibrer som sammankopplas i en optik, och Klaus Krastel redogjorde här för de senaste resultaten vid svets-



Figur 4. T.v. den använda försöksuppställningen, vilken kombinerar röntgen och höghastighetsfilming, och ovan ser man tydligt hur bildandet av bubblor i smältan försvinner då framföringshastigheten ökas och nyckelhålet därmed förlängs.



Figur 5. Genom att öka lasereffekt och därmed även möjlig framföringshastighet får man gynnsammare termo-mekaniska förhållanden då man svetsar nära en plåtkant. I det här fallet kunde man eliminera risken för centrumsprickor vid svetsning av AA6016-legering genom att öka svetsningshastigheten från 6 m/min med 5 kW lasereffekt till 50 m/min och 16 kW trots att man endast ligger 3 mm från plåtkanten.

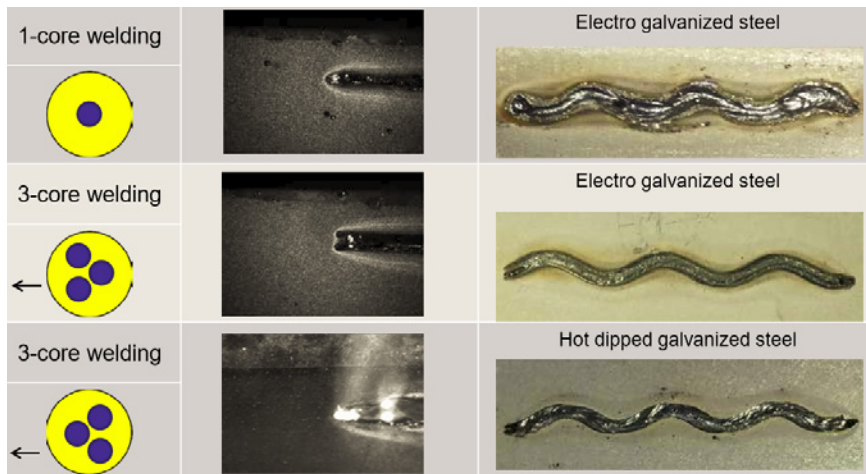


Figur 6. Det kritiska kantavståndet vid svetsning av AA6016 med 5-16 kW lasereffekt och mellan 6 och 50 m/min i framföringshastighet.

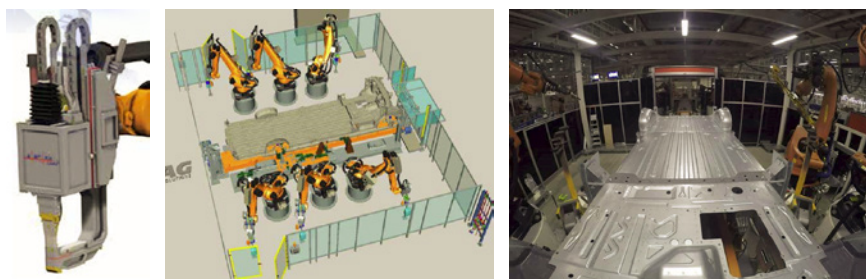
ning av zinkbelagd stålplåt i överlappsfog med nollspalt. Från tidiga svetsförsök med el.förzinkat material har trifokal-lösningen visat sig ge en bättre svetskvalitet jämfört med vanlig svetsning med enbart en fokalpunkt. Vid dessa försök har fokalpunkterna varit orienterade på samma sätt som då metoden används för laserlödning, d.v.s. med två ”förlöpare” med mindre effektinnehåll och en efterföljande huvudfokalpunkt som har en högre lasereffekt. Det fysikaliska resultatet med en sådan orientering vid svetsning av zinkbelagd plåt blir att den förångade zinken gasas ut mellan plåtarna, varför en kontrollerad spalt måste upprätthållas mellan dessa. Då samma uppställning användes vid svetsning av varmförzinkat material blev resultatet betydligt sämre, varför IPG:s processtekniker ”vänt på steken” och lätit de två mindre fokalpunkterna följa bakom huvudfokalpunkten [Fig. 7]. Effekten blir då att de två efterföljande fokalpunkterna stabiliserar och utvidgar nyckelhålet varför avgasningen istället kan ske genom detta, något som ledde till en klart förbättrad svetskvalitet.

IPG har ju utvecklat en punktsvetsliknande tång för lasersvetsning, som man kallar LSS [Laser Seam Stepper], och Volkswagen AG [VW] tycks ju ha anammat det här verktyget, vilket jag redogjorde för i fjol då Wolfsburg-kollegorna börjat använda detta för vissa svetsar på sjunde generationens Golf-modell. Nu visade Herrn Krastel upp ytterligare en VW-applikation, nämligen lasersvetsning av golvet till Crafter-modellen där zinkbelagda plåtar krävs eftersom golvpanelen befinner sig i en korrosiv miljö. 420 punktsvetsar har ersatts med 210 LSS-svetsar och därför är produktionscellen utrustad med fyra stycken ”Seam Stepper”-verktyg med beteckningen LSS-5MP-3F-3500 [Fig. 8]. Detta medför att de 210 svetsarna kan utföras inom loppet av en cykeltid på 145 sekunder! Ett framtida användningsområde för LSS kan vara att använda verktyget för geometrisättande svetsar i stället för dagens motståndspunktsvetsning. Här visades på en sidodörrssammansättning där LSS-verktyget satte ett tiotal fixeringspunkter varpå färdigsvetsningen skedde ”on-the-fly” med samma verktyg. En sådan lösning innebär en inbesparing av såväl fixturer som fabriksyta.

Herrn Krastel avslutade med att berätta om hur distributionsfibern kan användas för processövervakning genom att monitorera tre olika våglängdsområden;



Figur 7. Trifokal-svetsning av varmförzinkat material har bjudit på kvalitetsproblem, men genom att vända om positioneringen av de tre fokalpunkterna stabiliserar och utvidgar nyckelhålet så att zink-avgasningen sker genom detsamma och därför behöver man inte upprätthålla en kontrollerad spalt mellan plåtarna.



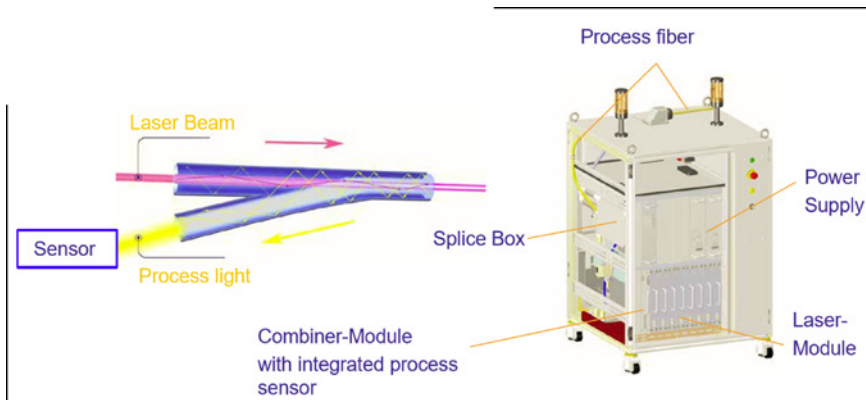
Figur 8. IPG:s ”Seam Stepper” kommer till flitig användning vid tillverkningen av golvet till Golf Crafter. 210 stycken LSS-svetsar har ersatt 420 punktsvetsar och utförs inom en cykeltid på blott 145 sekunder.

för återreflektat laserljus, värmestrålning samt ljuset från förångningsplasmat. Med denna ”All in One”-funktion hos fibern blir det möjligt att detektera; för stor spalt mellan plåtarna, hål i svetsen, föroreningar på plåtytan och s.k. False Friends [Fig. 9]. Då IPG nyligen förvärvat företaget Laser Depth Dynamics avslutade han med att beskriva funktion och prestanda hos deras verktyg för Inline Coherent Imaging [ICI], som arbetar med en bildfrekvens på 200 kHz och med vars hjälp det går att i realtid mäta penetrationen vid lasersvetsning.

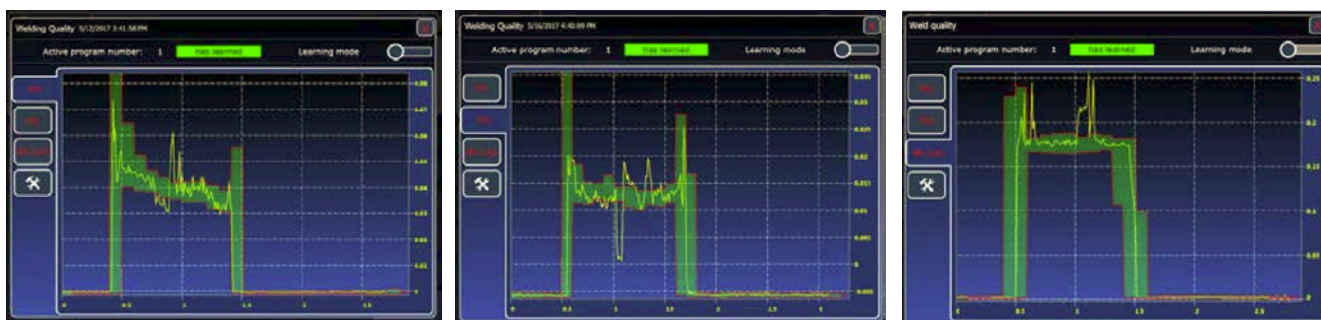
Sessionen kring laserlödning bjöd på ny, intressant information, men redan under privata samtal med min gamle VW-kollega Thorge Hammer har jag fått veta att koncernen stött på problem med att innehålla sina kvalitetskrav för laserlödda fogar sedan man av kostnadsskäl gått över från el.förzinkade till varmförzinkade plåtar för bakluckor och karossidor till den nya Golf 8-modellen – applikationer där just laserlödning förekommer. För att uppnå en någorlunda lödkvalitet använder man sig av trifokal-metoden där Laserlines koncept används i Europa och IPG:s motsvarande lösning i resten av världen. Dessa båda metoder har utförligt beskrivits tidigare i LaserNytt 1-2016.

Med denna bakgrund blev det extra spännande att lyssna till Meinulf Hinz från Volkswagen AG. Han började med en liten historisk exposé över laserlödningen inom koncernen där kopplingen mellan karosside och takpanel på Golf IV-modellen utgjorde den första applikationen. Denna följdes snart av laserlödda bakluckor där VW Bora-modellen var den första produkten med en sådan lösning. Därefter har antalet modeller med inslag av laserlödning ökat markant och man har idag 132(!) laserlödda applikationer utförda i 25 olika fabriker [Fig. 10]. Med en sådan omfattning finns även önskemål om att höja processhastigheten upp till cirka 100 mm/sek.

Fram till nu har all lödning skett mot ytor med någon form av el.förzinkat korrosionsskydd, men i och med introduktionen av varmförzinkade karossidor på nya T-Roc-modellen stötte man på ovannämnda kvalitetsproblem då dessa skulle laserlödning mot det el.förzinkade taket. Genom att använda sig av trifokal-tekniken har man uppnått en acceptabel kvalitetsnivå även om man inte når upp till samma utseende som en laserlödning på el.förzinkade ytor har. I detta sammanhang påpekade Herrn Hinz att kravsätt-



Figur 9. IPG:s "All in One"-funktion har integrerade sensorer i distributionsfibern vilka registrerar processljuset inom tre olika våglängdsområden. Därmed blir det möjligt att i realtid observera fr.v. spalten mellan plåtarna, håll i svetsen samt föroreningar på plåtytan.



ningen av en laserlörd fog kvaliteten kan vara svår, speciellt då det gäller kraven för vad som är godkänd kantkvalitet [Fig. 11]. Användningen av trifokal-metoden innebär ytterligare utmaningar i form av att toleranserna för tillsatstrådens positionering i förhållande till laserstrålarna är mindre jämfört med då endast en fokuspunkt används. Vidare är processen tämligen intolerant för omorienteringar av laserstrålarna och känsligare för geometriska variationer i fogen. Genom aktiv styrning av temperaturfältet vid laserlördning via optimerade intensitetsprofiler hos laserstrålarna hoppas man i framtiden kunna uppnå bättre kvalitet. Vidare räknar

VW med att kunna använda "big data", d.v.s. insamlade parameterdata från alla laserlördade fogar, för att därigenom ytterligare kunna optimera en svårbemästrad process.

Koncernkollegorna på Audi har likaledes önskemål om att kunna öka processhastigheten vid laserlördning från dagens 53 mm/sek till 85 mm/sek. Möjligheterna för detta hade studerats av doktoranden Eva Heuberger under överinseende av Dr. Daniel Schmid från just Audi AG. Hon kunde konstatera att vid en ökande hastighet tappas vätningsförmågan mellan den nedsmälta CuSi3-tråden och substratytan beroende på att smältan blir instabil, vilket

resulterar i ett större antal hack i lödfogen. Motmedlet blir då att nyttja någon form av strålomformning, och i experimenten hade man använt sig av den välbeprövade trifokal-tekniken [Fig. 12]. Smältbadets längd ökar med högre processhastighet, medan däremot olika fokuspunktsarrangemang inte har någon inverkan på längden. Emellertid kunde Frau Heuberger konstatera att vid trifokal-lördning med en rektangulär huvudfokuspunkt stabiliseras smältan, samtidigt som de två framföriggande fokuspunkterna reducerar antalet hack i lödfogen och dess kanter blir raka. Fortsatt arbete kommer att gå ut på att försöka skapa en artificiell vätningslinje

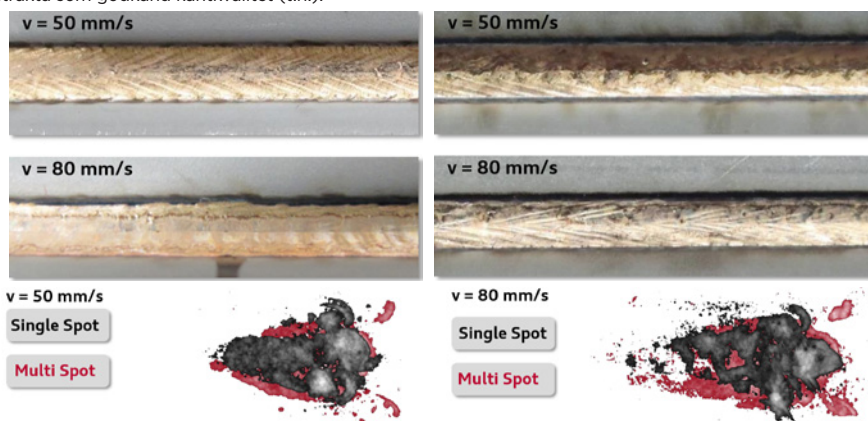


Figur 11. Laserlödning mot el.förzinkade ytor (längst t.v.) ger ett ger ett utseendemässigt bättre intryck jämfört med fogar utförda på varmförzinkad plåt. Ett annat problem är att fastlägga vad som egentligen är att betrakta som godkänd kantkvalitet (t.h.).

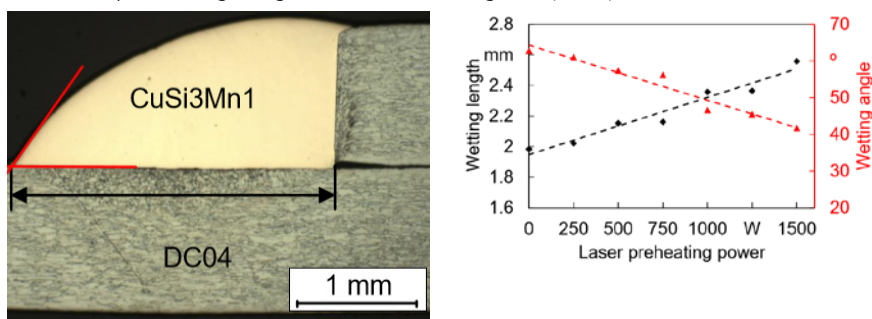
genom att med optiklösningar skapa flera framföriggande fokuspunkter, samt att ytterligare modifiera huvudfokalpunktens form.

Som näste talare i ämnet laserlödning dök en gammal bekant från LAF [LaserAnwenderForum] upp, nämligen Christoph **Mittelstädt** från BIAS [Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik] i Bremen. Han redogjorde för de experiment som han och kollegan Dr. Thomas **Seefeld** utfört då man undersökt olika metoder för att förvärma substratytan inför laserlödningen. Initialt hade man använt sig av två separata laserstrålar, en för uppvärmning och en för lödning. Då värmetillförseln ökades genom högre lasereffekt i den förvärmande laserstrålen ökade vätningslängden hos lödfogen samtidigt som vätningsvinkeln motsvarande minskade [Fig. 13]. Genom den förbättrade vätningsförmågan gick det även att påvisa en ökad utfyllnad av lodet i en flänsad fog. Med detta som bakgrund hade man kommit fram till den tämligen innovativa lösningen med att använda sig av endast en laserstråle för såväl förvärmning av substratmaterialet som smältning av kopparlodet genom att via reflexion av laserstrålen i tillsatsstråden skapa en sådan förvärmning av substratytan [Fig. 14].

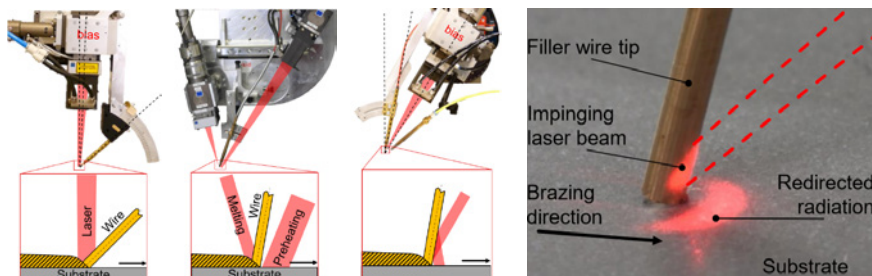
Vid försöken hade man använt en TruDisc8002 från Trumpf som laserkälla, som har en våglängd på 1.030 nm, och ur vilken man utnyttjade 3,5 kW. Laserstrålen distribuerades via en 200 µm grov optisk fiber till Trumpf-verktyget BEO D70. Detta har en kollimeringslins med 200 mm brännvidd och en fokuserlins med en dito på 300 mm, vilket resulterade i en fokuspunktsdiameter på 300 µm. Tillsatsmaterialet var en 1,2 mm grov koppartråd i legeringen CuSi3Mn1, och substratmaterialet var 0,75 mm tjock zinkbelagd



Figur 12. Porfria lödfogar även vid höga hastigheter går att få genom att använda trifokal-optik (ovan t.h.) att jämföra med kvalitén då endast en fokuspunkt används. Däremot tycks smältbadets längd inte påverkas av olika fokuspunktsarrangemang utan enbart av lödhastigheten (nedan).



Figur 13. Vid en tilltagande lasereffekt ökar vätningslängden (svart) för lodmaterialet samtidigt som vätningsvinkeln (röd) minskar.



Figur 14. Olika försöksupställningar för laserlödning använda vid BIAS; fr.v. konventionell enkelstråle, dubbelstråle samt ledande laserstråle reflekterad i tillsatsstråden. Den senare principen tydliggörs t.h.

stålplåt [DX54-ZE100]. Laserstrålen hade en infallsvinkel mot den dubbelflänsade stumfogen på 30° medan trådmatningen

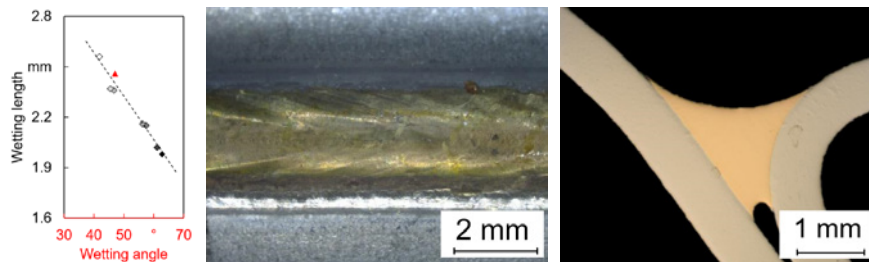
skedde mer vertikalt med en vinkel på 10°. Såväl framföringshastighet som trådmatning uppgick till 6 m/min, och skydds-ga-

sen utgjordes av Argon med ett flöde på 10 l/min. Som Dr. Mittelstädt kommenterade finns det ett antal praktiska nackdelar med metoden. Genom att laserstrålen måste positioneras ledande kan man inte använda tillsatstråden som taktill följare vilket är det vanliga då man laserlöder.

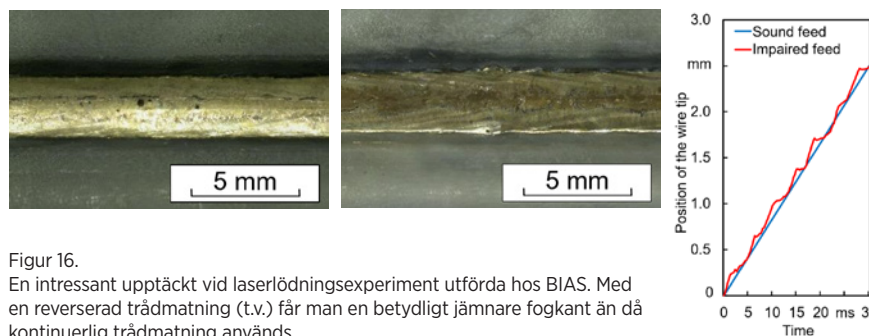
Vidare smälter ju tillsatstråden successivt under processen varvid dess geometri ändras och därmed också laserstrålens reflexionsförmåga, vilken inledningsvis i försöken uppgick till hela 84%. Variationen sker med en viss regelbundenhet varför Herrn Mittelstädt valde att tala om ett cykliskt vätningsfenomen. Emellertid gick det att påvisa att man med nämnda angreppssätt erhöll samma fogutfyllnad, vätningslängd och -vinkel hos lödfogen som då man tidigare använt sig av två separata laserstrålar [Fig. 15], men nu med cirka 1 kW lägre lasereffekt! Forsatta försök hade genomförts för att studera processens robusthet, och man hade registrerat lasereffekten som funktion av lödningshastigheten i ett s.k. parameterfönster. Här gick det att konstatera att en högre trådmattningshastighet ökade detta parameterfönster i händelse av avvikande trådpositionering i såväl lateral- som vertikalled, liksom då det förelåg en spalt mellan plåtarna.

I slutet av sin redogörelse återvände Herrn Mittelstädt till lödförsök genomförda med två laserstrålar. Den förvärmade fokuspunkten hade en diameter på 1,7 mm och ett effektinnehåll på 0,8 kW, medan motsvarande värden för den andra fokuspunkten, som smälte den i det här fallet lite grövre [1,6 mm] CuSi3Mn1-tråden, var 4,2 mm respektive 3,8 kW. Framföringshastighet och trådmattning var båda satta till 5 m/min och skyddsgasflödet [Ar] uppgick till 15 l/min. Den mycket intressanta observationen var här att man fick betydligt jämnare fogkanter om tillsatstråden momentant reverseras precis som vid s.k. CMT [Cold Metal Transfer] -lödning [Fig. 16]. Detta innebär att avståndet mellan fokuspunkten och tillsatstrådens spets ändras med en viss frekvens. Med tanke på de i stort sett obegränsade möjligheter som finns att på detta sätt styra trådmattningen i dagens moderna strömkällor räknar man på BIAS med att ytterligare kunna förbättra det visuella intrycket av en laserlodd fog.

Årets EALA-konferens dominerades som tidigare nämnts av olika lösningar för processövervakning och -kontroll. Således inleddes detta tema med en gemensam presentation av Christian Dini



Figur 15. Samma vätningslängd, -vinkel (röd triangel) och fogutfyllnad erhöles med den innovativa "reflexionsprocessen" jämfört med dubbelstrålemetoden, men till 1 kW lägre lasereffekt.



Figur 16. En intressant upptäckt vid laserlödningsexperiment utförda hos BIAS. Med en reverserad trådmattning (t.v.) får man en betydligt jämnare fogkant än då kontinuerlig trådmattning används.



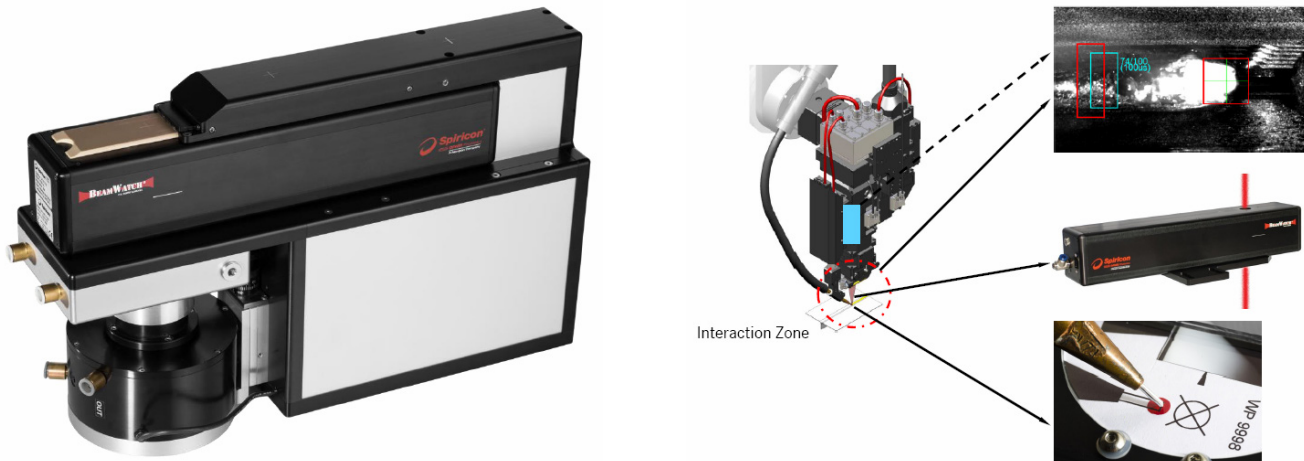
Figur 17. Med Ophirs "Beam Watch" kan laserstrålens kaustik analyseras såsom energitätheten i fokuspunkten och den så förhålliga fokuspunktsförföring.

[Ophir Measurements Systems] och Dr. Andreas Bunting [Daimler AG]. Herrn Dini började med att presentera Ophirs produktportfölj och då särskilt verktygen "Beam Watch" [Fig. 17] och "Beam Watch Integrated", som beröringsfritt kan mäta ett antal parametrar hos laserstrålen, vilka kan variera över tid p.g.a. termisk påverkan av optik och kontaminering av densamma. Detta medför förändringar av energitätheten i fokuspunkten, dess position i x- och y-koordinat samt förskjutning i laserstrålens utbredningsriktning. Även strålkvaliteten försämras vid sådan optikpåverkan, varför det är viktigt att ha tillgång till tillförlitliga instrument för att under produktion, med jämna intervall, kontrollera fokuspunktens status. Eller enligt William Thomsons, mer känd som Lord Kelvin, devis; "If you can't measure it, you can't improve it!". Sålunda kan fokuspunktsförföring vid 100 kW uppgå till hela 8 mm under laserprocessens inledande sekunder. "Beam Watch" monitorerar laserstrålar, med upp till 100 kW effekt, beröringsfritt och verktyget kan betecknas som underhållsfritt. Det mäter fokuspunktsförföringar i realtid och är enkelt att använda då det kalibreras

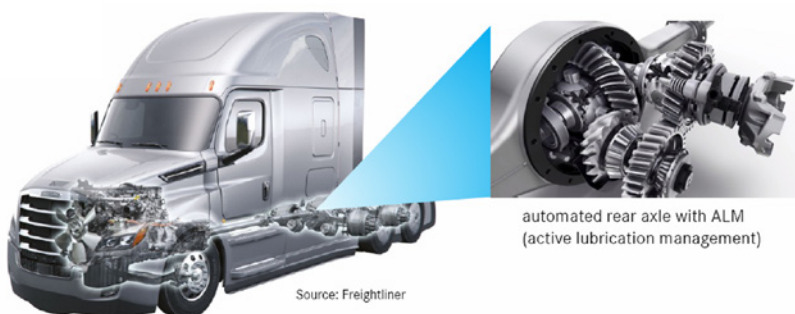
inom loppet av några minuter och själva mätningen sker på sekunder.

Dr. Bunting beskrev sedan den produktspecifikation man satt upp för ett dylikt instrument att användas vid laser-svetsning av differentialväxlar till drivlinan [Integrated Detroit™ Powertrain] i den nya Freightliner-modellen "Cascadia". Här fanns krav på att kunna mäta alla kritiska stråLPARAMETRAR upp till 10 kW lasereffekt, en helt automatiserad mätning som gav en signal O.K./N.O.K., samt att kunna använda olika svetsverktyg utan att behöva kallibrera om mätverktyget. Vidare skulle verktyget vara försett med ett gränssnitt mot ProfiNET med vilket man kunde göra fjärrservicediagnostik av detsamma hos Ophir. Dessutom önskade man få en snabb responssignal vid mätningen, verktyget skulle fungera i en tuff industrimiljö samt att det inte fick väga mer än 20 kg för att kunna flyttas utan extra hjälpmedel av personalen. Dessa krav resulterade i det vidareförädlade instrumentet "BeamWatch Integrated" [Fig. 18] som är speciellt avsett för integration i en automatisk produktionsprocess med tillhörande nätverk.

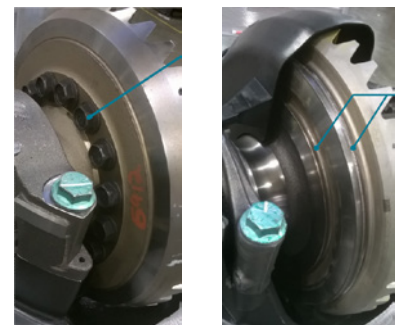
Huvudsäket till att man vill gå ifrån



Figur 18. "BeamWatch Integrated" (ovan) används tillsammans med andra övervakningssystem som "WeldEye" och "OptikCheck" av Daimler vid tillverkning av komponenter för drivlinan i nya Freightliner-modellen.



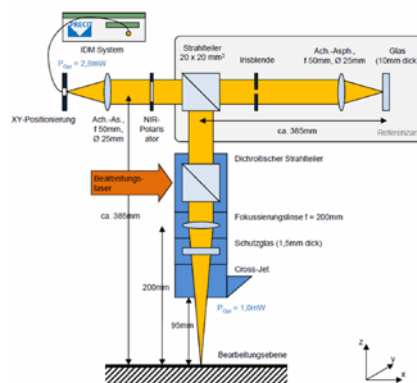
Figur 19. Huvudskälet till att Daimler har bytt från skruvförband till lasersvetsning av kuggkransar i drivlinan Integrated Detroit™ Powertrain är att man därigenom kan reducera vikten hos denna med 15%.



en lösning med bultade komponenter till lasersvetsade är att man därigenom kan åstadkomma viktsreduceringar på över 15%! [Fig. 19] Lasersvetsningen fogar samman detaljer i sätthärdat stål mot gjutgodskomponenter, m.a.o. en stor utmaning vilken kräver en hög processsäkerhet och –kontroll. Förutom det här nämnda "BeamWatch Integrated" använder man Lessmüllers "WeldEye" för processövervakning med kamera, samt ett verktyg kallat "OptikCheck" för att kontrollera att laserstråle och tillsatstråd ligger rätt linjerade i förhållande till varandra. Innan svetsning rengörs detaljerna och deras geometri kontrolleras, och efteråt borstas svetsarna och deras kvalitet undersöks med hjälp av ultraljudsteknik.

Nästa presentation delades även den mellan två talare, nämligen min gode gamle vän från olika samarbetsprojekt mellan Volvo Cars och Fiat, Giuseppe d'Angelo, och Tony K Pramanik från TWI [The Welding Institute] i Abington, U.K. Den senare inledde med att beskriva processövervakningsmetoden Low Coherence Interferometry [LCI] med vars hjälp man kan mäta penetrationsdjupet vid lasersvetsning, och som bygger på inter-

ferns mellan en referensstråle och en från arbetsstycket återreflektad laserstråle [Fig. 20]. På så sätt kan man mäta variationer i nyckelhålets djup, och det är värt att påpeka att LCI är den enda metoden som anger det verkliga penetrationsdjupet, alla andra processövervakningssystem på marknaden arbetar med indirekt information genom att exempelvis monitorera variationer i plasmat. Det finns två likartade kommersiella produkter för LCI att välja mellan, nämligen Precitecs IDM



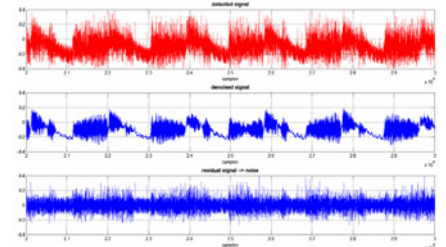
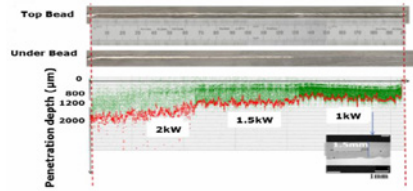
Figur 20. En tillförlitlig metod för kontroll av penetrationsdjupet är "Low Coherence Interferometry", där stråckan för den från arbetsstycket till en stråle återreflektad laserstråle, jämförs med en referensstråle med känd längd.

[In-process Depth Meter] och ett system från kanadensiska Laser Depth Dynamics [LDD], ett företag som nyligen förvärvades av IPG Photonics.

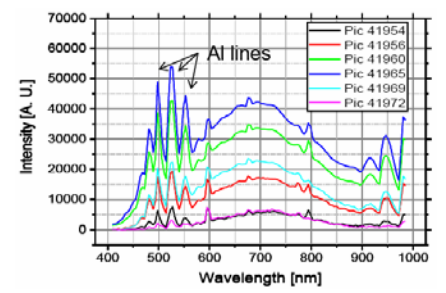
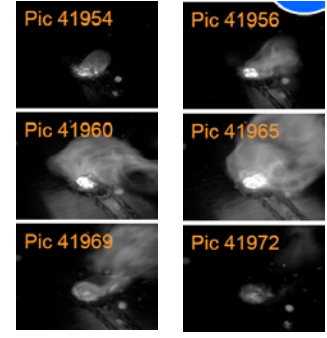
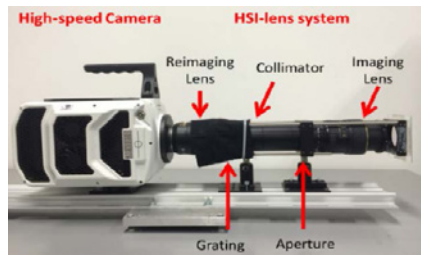
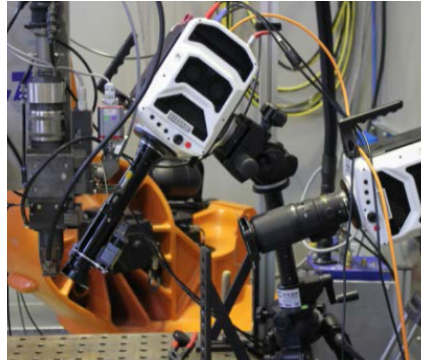
Ett annat verktyg som kan användas vid processövervakning är fotodioder, som då helt enkelt registrerar återreflektat laserljus. Här lyfte signore d'Angelo fram Optoskands "Smart Fibre", där sagda fotodioder är integrerade i själva fibern, innan han gick vidare med att beskriva en större processtudie som genomförts vid CRF [Centro Ricerche Fiat]. Man hade använt fotodioder som optiska sensorer i kombination med avancerad signalanalys såsom MSSA [Modified Singular Spectral Analysis] och OEMD [Orthogonal Empirical Mode Decomposition], där det huvudsakliga problemet är att filtrera bort bruset i signalen [Fig. 21]. Ingående material var Inconel718, DC01 och S355 i tjocklekar mellan 1,2 och 6,0 mm där man genom att variera lasereffekt, graden av nedsmutsning, spalt i överlappsfog samt offset skapat olika medvetna svetsdefekter i form av ofullständig penetration eller porositet i svetsgodset. Resultaten hade korrelerats med uppmätningar gjorda med en IDM-sensor, och man kunde konstatera

att överensstämningen var god. Merparten av försöken hade utförts på relativt tjockt material då den primärt tilltänkta användningen av fotodioder för processkontroll förväntas ske vid tillverkning av drivlinekomponenter, men den gode Guiseppe såg det inte som otänkbart att använda tekniken även för karosapplikationer. Här finns emellertid risken att plåtarnas zinkbeläggning, när den förångas, kan påverka signalen. Som avslutning meddelade han att Fiat idag utvärderar ett koncept med ett IDM-verktyg för penetrationskontroll och fotodioder för detektering av porer vid Maserati-produktionen i Turin.

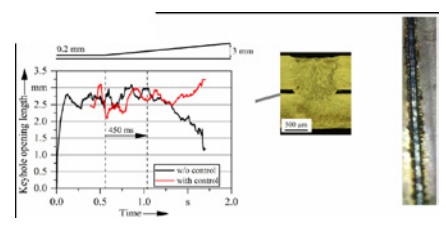
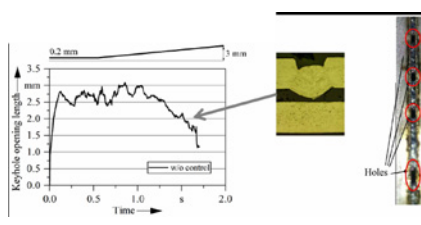
Felix **Tenner** från FAU [Friedrich Alexander Universität] i Erlangen adresserade processövervakning med hjälp av höghastighetsfilmning med bildfrekvenser kring 20 kHz, samt s.k. hyperspektral bildanalys, metoder som beskrevs redan vid förra årets EALA-konferens av professor Michael **Schmidt** från samma universitet. Nu inledde Herr Tenner med att beskriva den stora flora av defekter som kan uppstå vid lasersvetsning, men också det omfattande urval av kontrollmetoder och -verktyg som finns att tillgå. Det optimala vore naturligtvis om ett och samma verktyg kunde detektera samtliga förekommande svetsdefekter, men då korrelationen mellan defekt och sensorsignal i många fall är osäker menade diplomingenjör Tenner att det är bättre att välja enskilda metoder vilka är skraddarsydda för att upptäcka en viss typ av svetsdefekt. Två sådana metoder kan vara hyperspektral bildanalys [HSI = HyperSpectral Imaging] av temperaturfältet vid svetsning, och höghastighetsfilmning av svetsförloppet för att kontrollera spalten mellan plåtarna i en överlappsfog. Den förstnämnda metoden förlitar sig på det vid svetsningen genererade strålningsspektrat med en bandbredd mellan 350-1.100 nm, och med vars hjälp man kan utföra en detaljerad temperaturanalys av svetsförloppet. Datainsamlingen sker med otroliga 100.000 fps [frames per second], men kan störas av det förångningsplasma som uppstår vid svetsningen. Vid svetsförsök av aluminiumlegeringen AA5754 hade man använt en uppställning som bestod av såväl en HSI-kamera som en höghastighetskamera och kunde då konstatera att intensiteten i den hyperspektrala signalen korrelerade väl med bilderna i höghastighetskameran [Fig. 22]. Den senare är riktad mot nyckelhålets front, och vid andra svetsförsök utförda på överlappsfogar bestående av 2 stycken 0,7 mm tjocka zinkbelagda plåtar gick



Figur 21. T.v. kan man se hur signalen från fotodioden förändras då spalten mellan plåtarna ökar vid denna stumsvets i In718. T.h. signalanalys med hjälp av MSSA där man separerat bruset i diodsignalen.



Figur 22. Med en försöksuppställning som består av en HSI-kamera och en konventionell höghastighetskamera kan man verifiera en mycket bra korrelation mellan den hyperspektrala signalen och svetsförloppet.



Figur 23. Med en förhållandevis enkel "closed loop"-lösning kan man med hjälp av elektriska motorer kompensera för en alltför stor spalt mellan plåtarna i en överlappsfog.

det att hitta ett samband mellan längden på nyckelhålets öppning och den spalt som förekom mellan plåtarna. Genom att registrera svetsförloppet med en frekvens på 390 Hz, vilket innebär en bild per 300 µm svetslängd vid 7 m/min framföringshastighet, gick det att skapa en enkel form av "closed-loop" där elektriska motorer kompenserade spaltens storlek [Fig. 23]. Detta menade Herr Tenner var en bättre form av adaptiv process än att anpassa lasersereffekt eller svets hastighet efter spaltens storlek.

Rodrigo **Linares** från New Infrared Technologies i Madrid har vi på senare tid sett som en frekvent besökare på Volvo Torslandaverken i Göteborg där

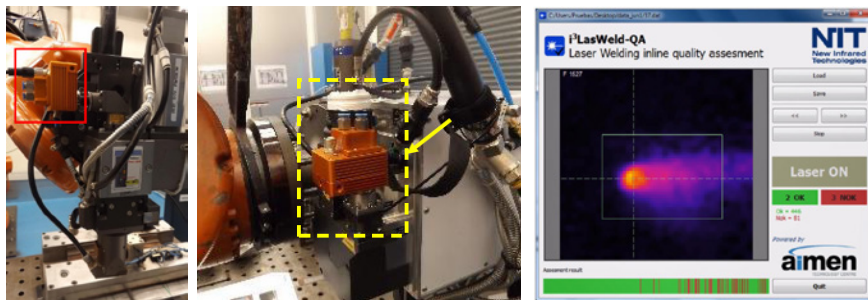
han hoppas att få göra en installation av företagets processövervakningsverktyg i3LASWELD. Detta bygger på registrering av värmeutbredningen under svetsförloppet genom detektering av den infraröda återstrålningen från svets smältan med hjälp av en MWIR [Medium Wavelength InfraRed] -kamera. Kameran med benämningen Tachyon 1024 arbetar med 1 kHz i frekvensbandet 1-5 µm med en upplösning på 32×32 pixlar där pixelstorleken är 135×135 µm [Fig. 24]. Metoden är väldigt användarvänlig och kan förutom vid svetsning även användas för andra laserprocesser som skärning, påläggning eller SLM [Selective Laser Melting], men då inom andra frekvensband. Exempel

på defekter som kan upptäckas är hål och porer, men även bindfel, penetration och s.k. False Friends går att utläsa [Fig. 25].

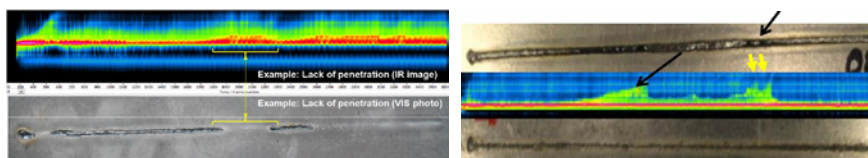
Tillsammans med det spanska forskningsinstitutet AIMEN och Volvo Cars provades systemets tillförlitlighet vid överlappsvetsning av 0,75 mm tjock obelagd stålplåt till 0,7 mm zinkbelagd dito. Laserkällan var en 16 kW Yb:YAG disk laser från Trumpf med 1.030 nm våglängd, och svetsverktyget BEO D70 manipulerades av en IRB 6600-robot från ABB alternativt en gantry-dito från Reis. Fokalpunkt och lasereffekt hölls konstant till 600 µm respektive 4 kW medan svets hastigheten varierades mellan 100-800 mm/sek och fokalpunktsläget mellan 0 och +5 mm.

Det var speciellt kravet vid insjunk svets som studerades där Volvo-kravet är att höjden på insjunkningen inte får överstiga 0,170 mm. 35 stycken provsvetsar utfördes och samtliga bedömdes på ett korrekt sätt av i3LASWELD, vilket man validerade genom tvärsnittsanalys [Fig. 26]. i3LASWELD går numera också att få integrerat i fjärrlasersvetsverktyget 3D PFO [Programmable Focus Optics] från Trumpf som har en brännvidd på 450 mm. Avslutningsvis redogjorde señor Linares för några resultat från europa-projektet MASHes [Multimodal spectral control of laser processing with cognitive abilities] och CLAMIR [Cladding & Laser Additive Manufacturing using InfraRed imaging]. I det förstnämnda projektet, som även innefattade svenska Perma-nova Lasersystems, hade den infraröda processövervakningen tillämpats vid bl.a. lasersvetsning av den främre sidodörren till Jeep Renegade-modellen. Här hade svetsdefekter som porer, för bred svets, för stor spalt och otillräcklig penetration detekterats med en konfidens mellan 88-97%. I CLAMIR-projektet mätte man processtemperatur och smältans storlek vid laserpåläggning eller LMD [Laser Metal Deposition], varpå informationen behandlades i en "closed-loop" inom vilken lasereffekten kunde anpassas.

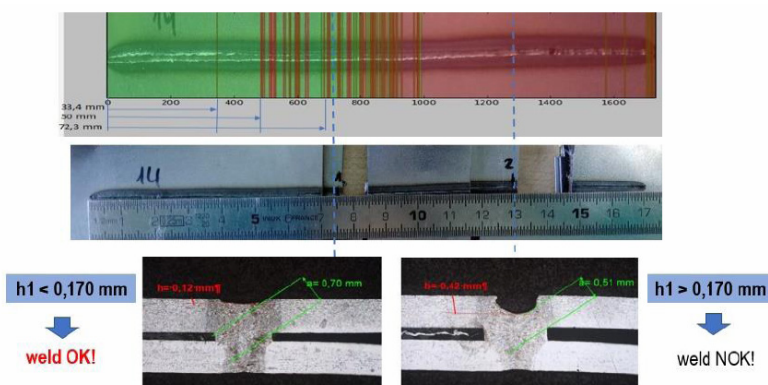
Detektering av ytterst små ytbrytande porer i svets- och lödfogar har alltid varit ett problem vid karosseritillverkning, då de kan vara svåra att upptäcka vid visuell avsyning och sedan inte alltid fylls igen vid den efterföljande lackeringsprocessen. Klassiska mätmetoder har även svårt att hitta porer som är grunda eller där porer uppträder på icke helt släta ytor, vilket ju snarast alltid är fallet med ytbrytande porer i svetsar. Nu presenterade emellertid Jochen Sander från företaget



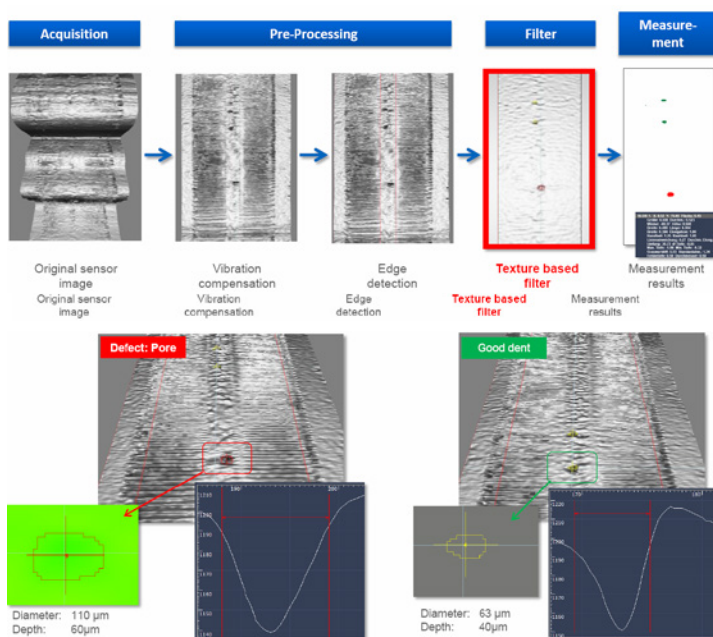
Figur 24. Värme-kameran Tachyon 1024 är en av komponenterna i New Infrared Technologies processövervakningsverktyg i3LASWELD och kan integreras i verktyg för såväl taktill svetsning som fjärrlasersvetsning.



Figur 25. T.v. ser man hur otillräcklig penetration visualiseras med i3LASWELD och t.h. hur s.k. False Friends kan detekteras.



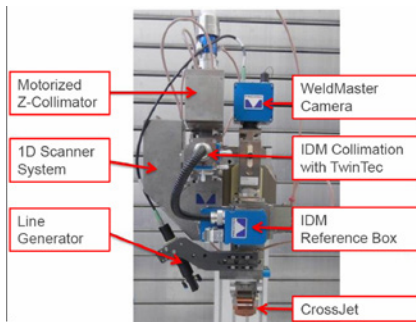
Figur 26. Vid svetsförsök i samarbete med AIMEN och Volvo Cars tillverkades såväl högkvalitativa svetsar, men även sådana där defekter provocerats fram genom felaktiga parameterinställningar. Ett grundläggande Volvo-krav är att insjunkningen inte får överstiga 0,170 mm, och i3LASERWELD klarade av att på ett korrekt sätt bedöma samtliga 35 svetsar.



Figur 27. Med texturerad filtrering segmenteras den yta som skall avsynas genom lasertriangulering m.h.t. dess egenskapskrav, varför små icke önskvärda defekter kan särskiljas från dito acceptabla.

Automation W+R GmbH en lösning som man kallar "Robiscan", som baseras på lasertriangulering och som har en så pass hög upplösning att det skall bli möjligt att hitta ytbrytande porer ner till 0,1 mm i diameter. Förutom vid tillverkning av bilkarosser har Robiscan redan framgångsrikt används vid inspektion av svetsar vid tillverkning av tvättmaskiner, bilbatterier samt i kärnkraftverk. Problemet vid detektering av porer på skrovliga ytor går att härleda till olika reflexionsfenomen. Därför använder sig Robiscan av s.k. texturerad filtrering av information från trianguleringen [Fig. 27]. Sådana filter har den egenskapen att de försöker segmentera objekt enligt deras ytegenskaper för att därigenom klassificera ytorna som godkända respektive underkända. Bland några praktikfall visade Herr Sander upp en ojämn PVC [PolyVinyl Chloride]-tätning och en lokal intryckning på en takpanel där båda defekterna hade kunnat upptäckas med hjälp av lasertriangulering i kombination med texturerad filtrering. Eftersom metoden även påstås vara snabb ställde en Jaguar LandRover-deltagare frågan om hastigheten vid avsyning av fogar med "Robiscan", och fick till svar att kontrollhastigheten ligger kring 10 m/min.

En hel session var dedikerad åt OCT eller Optical Coherence Tomography, en metod som är snarlik den tidigare omnämnda Low Coherence Interferometry. Även här arbetar man med en diodlaserstråle som delas upp i en referensstråle och en som riktas mot arbetsstycket parallellt med den bearbetande laserstrålen. Mätresultaten visualiseras sedan antingen som gråskalebilder av t.ex. svetsrågen eller också illustreras värmeintensiteten som en indikation på graden av inbränning/penetration. Metoden kan även användas som ett fogföljningsinstrument vid svetsning av kälfogar. Förste talare var Lutz König från Precitec GmbH & Co. KG i Gaggenau som redogjorde för ett projekt man genomfört i samarbete med företaget Sitech Sitztechnik GmbH, som ägs av Volkswagen AG och är huvudleverantör av stolsetäten till de flesta av VW:s modeller. Nu presenterade han innovationen "IDM TwinTec" där den mätstråle som träffar arbetsstycket är uppdelad i två mätpunkter, en som träffar nyckelhålets botten och en, med ett minimalt energiinnehåll, som träffar plåtytan [Fig. 28]. På så sätt får man ett absolut mått på penetrationen oavsett vågigheter i plåtytan eller variationer i robotens positionering. Återkoppling

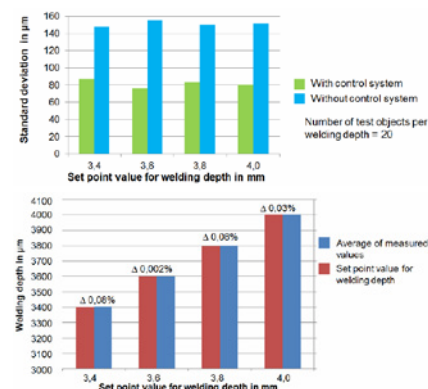
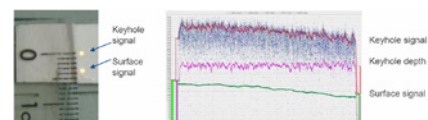


Figur 28. Precitecs nya "IDM TwinTec"-lösning, där två mätstrålar träffar plåtyta respektive nyckelhålets botten, resulterar i en absolut mätning av penetrationsdjupet vid lasersvetsning med möjlighet till korrigeringar av effekten i realtid.

sker sedan via modulen "IDM PowerTech", vilken är en "closed-loop" funktion som reglerar lasereffekten så att man erhåller ett konstant svetsdjup.

De två här nämnda funktionerna hade använts vid svetsning av den mekanism med vilken man ställer in bilsätets rygglutning. Här använde man en KUKA KR210-robot kombinerad med lägesomställaren Laservorm LVZ 1116. Laserkällan var TruDisc 8001 från Trumpf och svetsverktyget Precitecs YW52 med IDM-modul. Processkapabiliteten noterades vara 1,33 och med effektkontrollen kunde standardavvikelsen för penetrationsdjup reduceras med 50% då skillnaden mellan programmerad och verklig penetration låg mellan 0,002 och 0,08% [Fig. 29]. Genom att använda funktionerna "TwinTec" och "PowerTec" påstod Herr König att produktkostnaden gick att reducera med 4-6%, samtidigt som investeringskostnaderna för dessa funktioner var intjänade efter endast tre månaders produktion! På en fråga från auditoriet rörande kalibrering av systemet svarade han att sådan måste göras en gång varje dag vid starten av produktionen men att detta sker helt automatiskt. Sitech är så pass nöjda med resultatet att man avser att under året implementera IDM-systemen i serieproduktion.

Näste talare var Richard Steinbrecht från Lessmüller Lasertechnik GmbH som berättade om OCT som ett instrument för fogsökning och fogföljning. I Lessmüllers OCT-lösning använder man sig av en spektrometer som mäter interferensen mellan två återreflektade laserstrålar. Det axiella mätdjupet är 12 mm och dess referensläge kan justeras vid RLW [Remote Laser Welding] genom en rörlig spegel. Motsvarande ligger den axiella upplösningen på 12 µm. Vid fogföljning ligger mätpunkten mellan 0,5-1,0 mm framför den bearbetande laserstrålens fokuspunkt. Dennes position justeras därpå med hjälp av svetsoptiken LSO [Lense Shifting Optics, Fig. 30] vilken har



Figur 29. Dessa stapeldiagram visar några av de fördelar som funktionerna "TwinTec" och "PowerTec" innebär vid volymproduktion av stolsmekanismer hos företaget Sitech; standardavvikelsen i penetrationsdjup halveras och det verkliga penetrationsdjupet vid lasersvetsning avviker blott mellan 0,002-0,08% från det förväntade.

en positioneringsnoggrannhet på 0,01 mm. Fokalpunkten kan justeras ±2,5 mm i fokalplanet och ±15,0 mm i laserstrålens utbredningsriktning, vilket gör att robotbanan kräver en mindre noggrann programmering. Optikens förstöringsgrad är antingen 1:1 eller 1:1,4 beroende på om fokallängden väljes 200 eller 280 mm. Därpå beskrev Herr Steinbrecht hur OCT nu går att få integrerad i "scanner"-verktyg som Scanlabs intelliWELD 30 FC V eller Trumpfs PFO [Fig. 31].

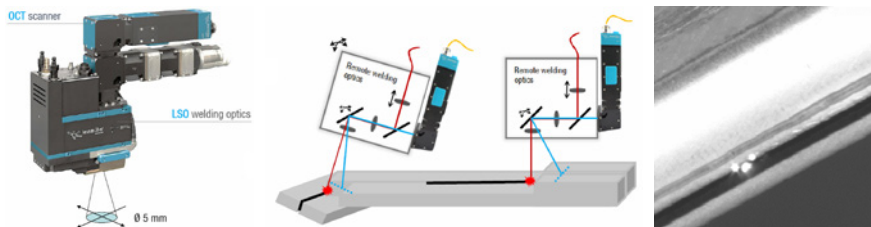
Användningen illustrerades med ett praktikfall på en sidodörr. Här utförde en 2 KW fiberlaser 30 stycken 25 mm långa kälsvetsar på 40 sekunder, men Herr Steinbrecht menade att med 6 kW och en optimerad robotbana skulle denna svetsoperation kunna utföras under 20 sekunder! Dock varnade han samtidigt för att rökgaser från svetsprocessen kan störa OCT-signalen. Sådant kan emellertid motverkas genom att öka avståndet mellan fogföljning och fokuspunkt alternativt att röken suges ut eller blåses bort med fläktar. Ett annat ärende handlade om hur, vid fogföljning med OCT, man kunde överbygga spalter i överlappsfogar med

upp till 0,8 mm genom en kombination av defokusering och ökad lasereffekt. Om man istället använde konstant effekt och fokalpunktstorlek kunde 0,5 mm stora spalter överbryggas om laserstrålen positionerades 70% av spaltstorleken in på topplåten [Fig. 32]. Men OCT kan även användas för kontroll av penetrationsdjupet, och huruvida den färdiga svetsen har rätt geometri eller innehåller ytbrutande porer. Vidare går OCT att integrera i de flesta taktilla svetsverktyg som finns på marknaden idag, såsom exempelvis Trumpfs BEO D70 och Scansonics ALO3, samt att systemet kan användas riktningsoberoende och är okänsligt för processljuset från lasern.

Jan-Patrick **Hermani** från Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH beskrev hur OCT används vid fogföljning och registrering av svetsdjupet. Inte oväntat repeterade han vad föregående talare nämnt, nämligen att OCT kan integreras i Trumpf-verktyget BEO D70 [Fig. 33], som kan förses med optiker som har 200 alternativt 300 mm brännvidd. Mät djupet för OCT uppgavs ligga mellan 0,5-8,0 mm och uppmätt svetsdjup avviker från det verkliga med under 10 %, en siffra som emellertid är avhängigt av materialet som svetsas.

Därpå gick han vidare med att beskriva hur penetrationsdjupet visualiserades vid basala svetsförsök av överlappsfogar i rostfritt 1.4301-material vilka utförts med 6 kW lasereffekt och 3 m/min i framföringshastighet. Här gick det att se hur användarvänligt metoden skiljer ut defekta svetsar från godkända sådana då kravet på penetrationsdjup var satt att ligga mellan 3,4 och 3,7 mm [Fig. 33 b]. I ett praktiskt fall gällande lasersvetsning av kuggjul var mjukvaruprogrammet för bedömning av svetskvaliteten så utformat att det automatiskt räknade ut vilket som var den längsta tillåtna enskilda svetsdefekten, liksom den acceptabla, sammantagna längden av alla defekter, uttryckt i procent av den totala svetslängden.

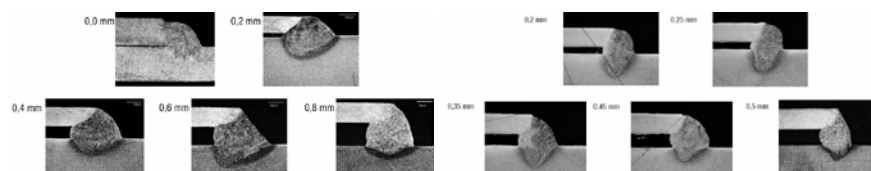
OCT fungerar även att mäta penetrationsdjupet vid svetsning av koppar, och i dessa försök hade man använt sig av Trumpfs patenterade [US 8781269 och US 9620925] strålomformningslösning "BrightLine Weld". Svetsningen utfördes som BOP [Bead-on-Plate] och jämfördes med svetsar där konventionell optik använts [Fig. 34]. Lasereffekten var 6 kW och svets hastigheten omkring 15 m/min. Såväl beträffande svetskvalitet som penetrationsdjup var dessa mer konsistenta vid



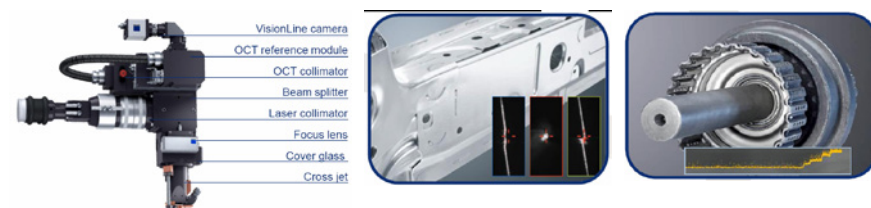
Figur 30. Lessmüllers svetsoptik LSO utrustad med en OCT-skanner, samt en principskiss på hur denna kan användas för fogföljning vid fjärrlasersvetsning genom att mätavståndet "skannas" 0,5-1,0 mm framför den svetsande laserstrålens fokuspunkt.



Figur 31. Några exempel på RLW-verktyg med integrerad OCT-skanner; fr.v. Lessmüllers eget LSO, Scanlabs intelIWELD 30 FC V och Trumpfs PFO.

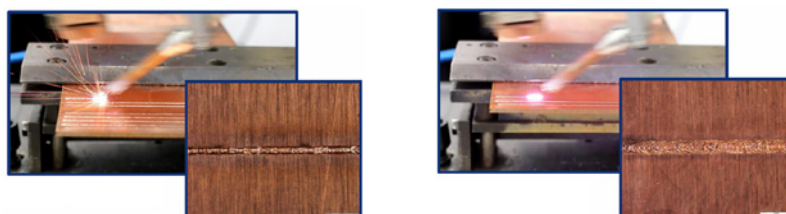
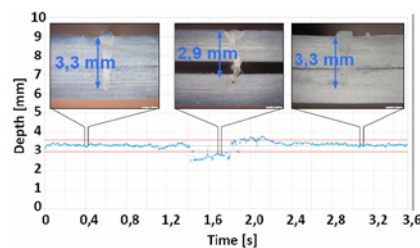


Figur 32. Vid fogföljning med OCT kan man överbrygga spalter upp till 0,8 mm genom en kombination av defokusering och ökad lasereffekt (t.v.), eller vid konstant effekt klara spalter på 0,5 mm genom att positionera laserstrålen 70% av spaltstorleken in på topplåten (t.h.).

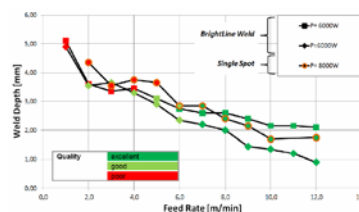


Figur 33. Trumpfverktöget BEO D70 med integrerad OCT-modul, vilken kan användas för fogföljning vid kantsvetsning eller kontroll av penetrationsdjup.

Figur 33 b. OCT är användarvänligt och skiljer ut svetsar med otillräckligt penetrationsdjup. Mjukvaruprogrammet är så utformat att det automatiskt räknar ut längden av den största tillåtna enskilda svetsdefekten liksom den acceptabla sammantagna längden av samtliga svetsdefekter.

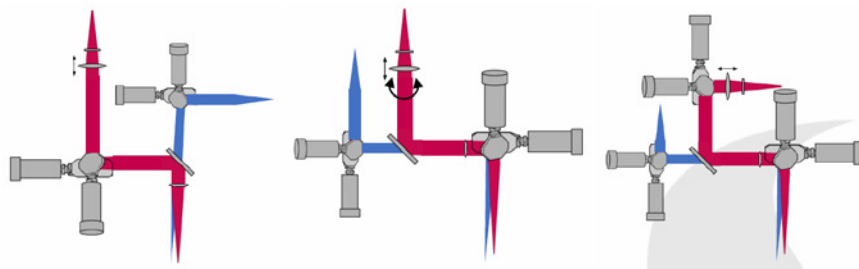


Figur 34. Ovan t.v. konventionell svetsning av koppar och t.h. ser man att med BrightLine erhålls ett lugnare svetsförlopp och en bättre svetskvalitet, något som även framgår av jämförelsen i diagrammet t.h.



”BrightLine”-svetsningen p.g.a. ett lugnare och mindre sprutbenäget svetsförlopp. I ett avslutande praktikfall, som gällde fjärrlasersvetsning av en sidodörr med 9 m/min i svets hastighet, hade OCT använts som fogföljningsinstrument och då jämförts med Trumpfs egna ”SeamLinePro”. Vid en sådan jämförelse uppvisar OCT två viktiga fördelar, dels blir svetsprocessen riktningsoberoende, dels klarar OCT av att fogfölja vid hög svets hastighet och små radier ner till 45 mm.

Siste talare i OCT-sessionen var Thibault **Bautze** från Blackbird Roboticsysteme GmbH, ett företag som numera tillhör ScanLab-gruppen. Hans tema var OCT vid fjärrlasersvetsning där han visade hur den optiska linjeringen kalibreras mellan arbetsfältet för OCT-modulen och arbetsfältet hos ScanLabs ”scanner”-verktyg intelliWELD. På en fråga från åhörarna svarade han att denna kalibrering kan göras av operatören själv genom ett användarvänligt gränssnitt. Några demonstratorer som använts vid produktionslik svetsning var en sidodörr samt en ledskena för ett personbilssäte. Vid fogföljningen kan mätpunkternas läge i förhållande till fokuspunkten justeras beroende på geometrin hos de detaljer som skall sammansvetsas. Vid svetsningen av ledskenan hade OCT även använts för att kontrollera penetrationsdjupet. Härefter gick Herrn Bautze vidare med att beskriva olika lösningar för oscilleringen av svetslaserstrålen i kombination med oscilleringen av OCT-strålen. I fallet med s.k. post-scanning, d.v.s. när ”scanner”-optiken sitter bakom, eller ”innan”, fokuseringsoptiken kan man ha separata skannrar för laser och OCT följda av en stråldelningsoptik. Då det gäller ”pre-scanning”, med ”scanner”-optik framför fokuseringsoptiken finns två alternativ. Dels kan man tänka sig ett extra optiskt element som rör den kollimerade laserstrålen i en cirkulär bana, eller så låter man laser och OCT ha separata skannrar men adderar en tredje ”scanner”-enhet som är gemensam för de båda strålarna [Fig. 35]. Samtliga har sina för- och nackdelar, men den sistnämnda är den mest flexibla lösningen, men kräver en stor andel opto-mekaniska komponenter. M.a.o. återstår en hel del arbete för att skapa ett ”scanner”-verktyg som integrerar OCT-funktionen på ett enkelt sätt menade Herrn Bautze. Ett annat problem ansåg han vara den stora datamängd som åtgår för att förflytta OCT-strålen i form av acceleration, retardation och s.k. jumping. Detta gör att kanske mindre än

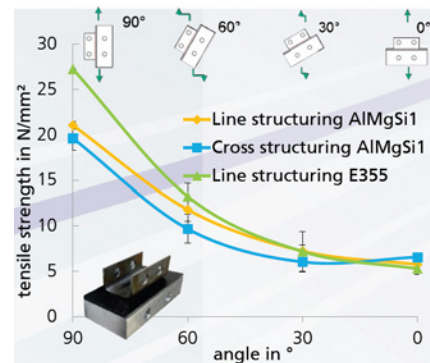


Figur 35. Några olika lösningar hur de båda skannrarna för svetslaser- och OCT-stråle kan arrangeras; fr.v. ”post-scanning”, ”pre-scanning” med ett extra optiskt element, samt ”pre-scanning” med en tredje ”scanner”-enhet, vilken är gemensam för de båda strålarna.

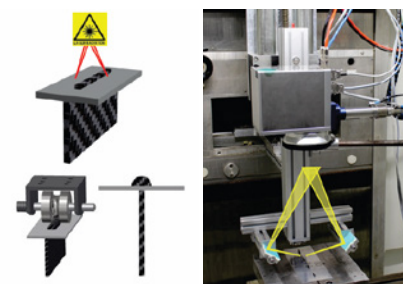
50% av den totala datamängden återstår för den datainsamling som krävs för OCT-funktionerna fogföljning, kontroll av penetrationsdjupet samt utvärdering av svetsprofilen.

Bearbetning av polymerer och plastkompositier med hjälp av laserteknik används i begränsad omfattning i bilindustrin. Dock kunde vi lyssna till två intressanta föredrag kring detta ämnesområde, där det första hölls av rutinerade Annett **Klotzbach** från IWS i Dresden. Hon adresserade det välkända temat att sammanfoga metall med termoplast genom att först strukturera metallytan med hjälp av laser och därefter, genom den värmeledning som sker då en laserstråle ansätts mot metalleden, smälta polymeren som då binder bättre mot den uppruggade ytan. I det här fallet hade en 2 kW cw [continuous wave] fiberlaser använts för struktureringen, vilken utfördes med en hastighet över 10 m/sek och därmed resulterade i en avverkningshastighet på cirka 200 mm² per sekund. På detta sätt hade man tillverkat s.k. KS-provstavar vilka belastades i olika riktningar så att fogen utsattes för allt från ren skjuvning till ren fläkelastning [Fig. 36]. Termoplasten utgjordes av 2 mm tjock Tepex® Dynalite 102-RG600(x) och metallen var antingen aluminium AlMgSi eller E355-stål. Hållfastheten hade jämförts med liknande objekt som sammanfogats genom induktiv uppvärmning. Brottlasten vid ren skjuvlast låg för samtliga varianter kring 25 MPa, men sjönk drastiskt med nästan 40% sedan provobjekten utsattes för klimatbelastning under 1.000 timmar.

En intressant, ny fogutformning som Frau Klotzbach presenterade var den där en slits först gjordes i metalleden varpå slitsens sidor strukturerades. Därpå stacks polymeren in i slitsen och uppvärmdes med laser från två sidor samtidigt som en metallrulle rörde sig över den uppmjukade plasten och formade denna så att en mekanisk låsning uppstod [Fig. 37]. Provkroppar som utformats på detta sätt



Figur 36. Inverkan av olika strukturmönster vid dragprovning av en s.k. KS-provstav där termoplasten Tepex® Dynalite 102-RG600(x) sammanfogats med aluminium AlMgSi alternativt E355-stål.



Figur 37. En innovativ fogutformning där polymerdelen sticks in i en slits i metallen, varpå den instuckna delen värms med laser från två sidor och trycket från en metallrulle skapar en mekanisk låsning.

uppvisade en brottlast i fogen kring 7 kN!

Denna geometriska lösning, såväl som den klassiska metoden att foga metall till polymer med laser, hade tillämpats vid tillverkningen av en demonstrator som utgjordes av en omkonstruerad lastbärande struktur, vilken tillverkas hos underleverantörföretaget Scherdel, till en Daimler-modell med beteckningen BR205. Här var det detaljer tillverkade i ovannämnda Tepex®-material som fogades till E355-stål. Ytstruktureringen av metallederna hade utförts i den s.k. Multi Remote Station [MuReA, Fig. 38] som finns att tillgå i laserlaboratoriet hos IWS. Använd lasereffekt var 1,5 kW och laserstrålen skannade med en hastighet på 5 m/sek. Avståndet mellan de räfflor som då skapades låg på 125 µm och utfördes med tre repetitioner. Sammanfogningen

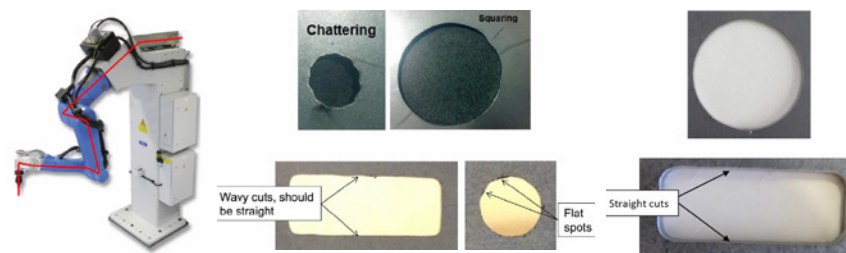
av detaljerna skedde sedan med 1 kW lasereffekt och en 5 mm stor fokalfunkt. Vid efterföljande komponentprov klarade fogen en belastning kring 400 N, samtidigt som den nya konstruktionslösningen medförde en viktsbesparing på 30%. Det bör nämnas att det redovisade arbetet hade gjorts inom ramen för BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] -projektet "LaserLeichter".

Torsten **Reichl** från Jenoptik AG berättade därpå hur man inom bilindustrin såväl skär som svetsar plaster med hjälp av laser. Laserskärningen utförs med Jenoptiks patenterade VOTAN®-BIM [Beam-In-Motion], vilket innebär att laserstrålgången integrerats i robotarmen. Konceptet har presenterats vid tidigare EALA-konferenser, och Herrn Reichl framhållde i att detta är den mest precisa roboten på marknaden, vilket han illustrerade med några jämförande skärförsök i 1,6 mm tjock presshårdad stålplåt [Fig. 39].

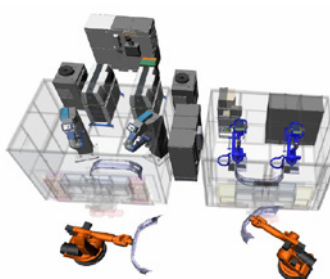
Polymera komponenter som skärs kan t.ex. vara dörrpaneler, spoilers och instrumentpaneler, och fördelen med laserskärning är den att lackskikten inte släpper och kulörerna inte missfärgas. Ett praktikfall handlade om konturskärning och håltagning i stötfångarflyt till en BMW-modell med projektbeteckningen L503, och där variationen i håldiametrar över produktionstiden var minimal. Därefter gick han vidare med att beskriva transmissionssvetsning av plaster, vilka kan innehålla så mycket som 30% andel glasfiber utan att detta stör svetsprocessen. Penetrationen in i det underliggande substratet är endast några 100 µm varför fogen kan betraktas som osynlig. Ett sådant tillämpningsexempel var en sensorhållare i TPO [Thermoplastic PolyOlefin], Basell TRC 1168X, som svetsats med hjälp av en diodlaser till en svart PP [PolyPropylen] -platta i 2,8 mm tjocklek. En stor fördel med laserskärning är den flexibilitet som metoden erbjuder, vilket illustrerades med ett exempel på laserskärning av stötfångarfly. En enda bilmodell kan ha flera varianter av denna komponent, och vid s.k. face-lifts tillkommer nya designer vilket gör att floran av stötfångarfly blir omfattande och skulle kräva mängder av typbundna utrustningar om konventionella håltagningsverktyg användes. Inte minst kan dyr verkstadsyta inbesparas vid laserskärning. Föreställningen avslutades med en video från BMW:s fabrik i Spartanburg, SC, där man först utförde håltagning med laser i stötfångarfly, varpå de lasersvetsades i en



Figur 38. I IWS' "Multi Remote Station" tillverkades nedanstående lastbärande struktur till en Daimlermodell. Denna komponent består av Tepex®-material och E355-stål och där sammanfogningen utfördes med laserteknik.



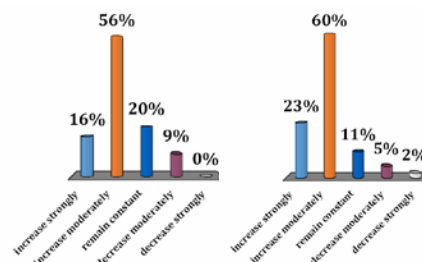
Figur 39. Med Jenoptiks VOTAN®-BIM får man betydligt rakare alternativt mer cirkulära skärnsnitt (t.v.) jämfört med när en vanlig standard-robot används för ändamålet (t.h.).



Figur 40. T.v. produktionsupplägget vid tillverkning av stötfångarfly med laser i BMW:s fabrik i Spartanburg, SC, med en skärcell och en svetscell. T.h. ses interiören från den förstnämnda.



Figur 41. Majoriteten av deltagarna vid årets EALA-konferens trodde på en växande användning av aluminium som karosserimaterial (t.v.), något som tycktes matchas med en motsvarande ökning av laserinstallationer (t.h.).



intelligande produktionscell [Fig. 40].

Förutom den traditionsenliga slutrundan där biltillverkarnas representanter fick lov att uttala sig om hur man tror att användningen av laserteknik kommer att utvecklas i branschen, fick även övriga konferensdeltagare möjlighet att via "mentometer"-knappar uttala sig i vissa frågeställningar. Här framkom lite intressanta svar som jag avslutningsvis vill delge läsarna. Vad gäller framtida karosserimaterial och laseranvändning i stort fördelade sig svaren enligt **Figur 41**.

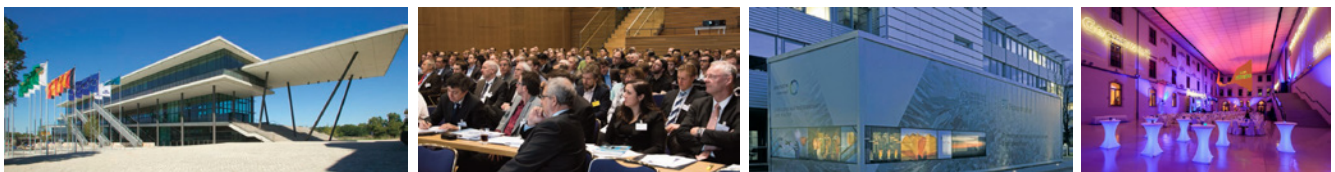
Då det gällde faktorer som kan öka laseranvändningen menade 24% av auditoriet att minskade investeringskostnader

var det som främst kommer att leda till detta. 21% lyfte fram global tillgänglighet, infrastruktur och kompetent personal som det viktigaste, medan 20% menade att framtida tyngdpunkt för lasertekniken ligger i hur väl den går att anpassa till nya materialkombinationer. Eftersom "Industry 4.0" är ett hett ämne idag ställdes även några frågor kring detta. Här trodde 33% av församlingen på autonom kvalitetsbedömning genom analys av datakorrelationer, 31% på förebyggande underhåll baserat på "big data", medan 25% trodde mest på att framtiden låg i helautomatisk processkontroll i realtid. ■



Industry 4.0 och laserkällor med alternativa våglängder var huvudteman vid 2018 års International Laser Symposium i Dresden

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering



Den 27-28 februari i år arrangerades den tionde upplagan av International Laser Symposium av Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff- und Strahltechnik] i Dresden. Här kunde vi cirka 400 delegater verkligen tala om ett kyligt mottagande då termometern visade på -17°C under den första dagen, något som institutionsföreståndare professor Eckard **Beyer** bad om ursäkt för under sitt inledningsanförande då han hälsade oss välkomna.

I vanlig ordning hade gemytliga Eckard engagerat några artister för detta tillfälle och i år utgjordes dessa av två personer som i ett nattsvart auditorium utförde en modern dans iklädda speciella dräkter med invävda lysdioder, där det företrädesvis gröna laserljuset växlade i intervaller med olika frekvenser vilka harmonierade med musiken. Vi fick veta att varje dräkt innehöll 25 m kabel och att tillverknings-tiden per dräkt hade uppgått till 137

timmar!

Därpå var det dags att presentera konferensens sponsorer och utställare. De förstnämnda utgjordes i år av Coherent/Rofin, EMAG, IPG, Jenoptik, Laserline, Termotek och Trumpf.

Den tillhörande "table top"-utställningen utgör alltid ett populärt inslag med åtskilliga möjligheter att skaffa sig information kring nya produkter hos lasertillverkare och laserverktygsleverantörer. Årets utställning var minst lika omfattande som tidigare, och över 40 företag fanns på plats för att presentera sina produkter [Fig. 1]. Nytt för året var en "poster"-utställning där unga forskare gavs möjlighet att redogöra för sina resultat. Första konferensdagen avslutades sedan med ett besök i Albertinum, ett barockpalats som idag inhyser ett konstmuseum där vi, förutom rikligt med mat och dryck, fick möjlighet att betrakta såväl moderna som mer klassiska verk, som exempelvis Rhodins "Tänkaren".

Temat för plenar-sessionen var

"Industry 4.0", men området alternativa laserkällor var ett kanske mer spännande ämnesområde. Här visades på CO-lasrar med $5\ \mu\text{m}$ våglängd där den i jämförelse med den mer vanliga CO₂-lasern uppvisar ett längre skärpedjup, något som kan medverka till mer robusta laserprocesser. Laserkällor i de blå och gröna våglängdsområdena är som bekant gynnsamma då det gäller laserbearbetning av material som aluminium och koppar, och nu börjar vi se denna typ av laserkällor närma sig kW-området. Men mer om detta längre fram.

Låt mig istället inleda med att kort referera plenar-sessionen där fyra föredrags-hållare [Fig. 2] överträffade varandra i s.k. buzzwords då det gällde att beskriva det något otydliga ämnet "Industry 4.0".

Förste talare var Dr. Engelbert Westkämper från Fraunhofer IPA [Institut für Produktionstechnik und Automatisierung] i Stuttgart, som berättade om framtidens fabrik – "Factory of the Future". övervakas produktionsprocessen av



Figur 1. Den alltid lika populära "table top"-utställningen hade lockat över 40 företag till evenemanget i Dresden.

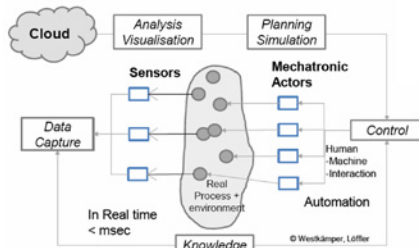
sensorer, och insamlad data lagras tillsammans med tidigare kunskap i ett ”digitalt moln” för att på så sätt kontrollera och justera processparametrar [Fig. 3]. Man kommer inte längre att vara hänvisad till en statistiskt planerad produktionsprocess utan densamma förändras kontinuerligt efter behov. Detta möjliggörs genom s.k. μ -controllers, vars prisbild nu har nått acceptabla nivåer kring 40-50 euros.

Vidare beskrev Dr. Westkämper den digitala miljö som sedan länge använts inom konstruktion, men som i ”Industry 4.0” kommer att samverka med en motsvarande administrativ digitalmiljö, allt baserat på kommersiella mjukvaruprogram. Därpå adresserade han begreppet improduktiv tid, vilken delvis beror på att individer glömmar hur maskiner hanteras och programmeras och därför behöver utbildas på nytt [Fig. 4]. Kostnaderna för detta kan härledas till den improduktiva tiden, medan däremot en robot aldrig glömmar och inte behöver läras upp på nytt. Robotutvecklingen går ju idag ytterligare ett steg längre i form av självlärande robotar, vilka efter att ha utfört en operation felaktigt ett antal gånger ”förstår” detta och kan i realtid ändra vissa parametrar och därmed ”göra rätt”. Numera räcker det inte heller med att företaget tillverkar och levererar en produkt utan man nödgas ta ett ansvar för produkten under hela dess livslängd, varför det blir viktigt att informationsflödet når tvärs genom företagets organisation.

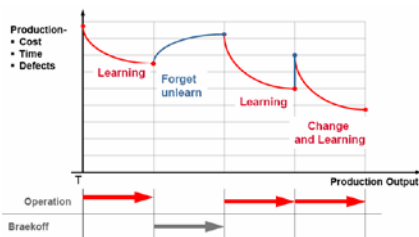
Klaus Löffler från Trumpf Laser- und Systemtechnik i Ditzingen är en välkänd profil i lasersammanhang, och han spannar vidare på temat improduktiv tid förorsakad av s.k. indirekta processer. Dessa kan t.ex. utgöras av transporter mellan olika underleverantörer och sluttillverkaren, och det är enligt Klaus här som de stora kostnadsbesparingarna kan göras. Han menar att de indirekta processerna står för 80% av den totala produktionstiden, och det är faktorer som tillgänglighet, produktivitet och energieffektivitet som industrin framgent måste fokusera på. Själva tillverkningsprocesserna har nu blivit så effektiva att det är andra steg i värdekedjan som utgör flaskhalsarna. Detta exemplifierade han med laserskärning där man i tunnplåt idag klarar hastigheter kring 30 m/min, men man är knappast betjänt av denna fördel då laddning och plundring av lasermaskinen kan ta flerdubbelt längre tid än själva laserskärningen. Han berättade vidare om intelligenta laserkällor supporterade av avancerade maskinal-



Figur 2. Plenar-sessionens fyra föredragshållare, som med lite olika utgångspunkt beskrev begreppet ”Industry 4.0”. Fr.v. Engelbert Westkämper, Klaus Löffler, Christoph Leyens och Minlin Zhong.

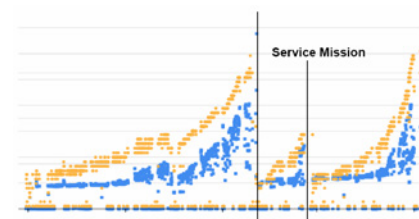
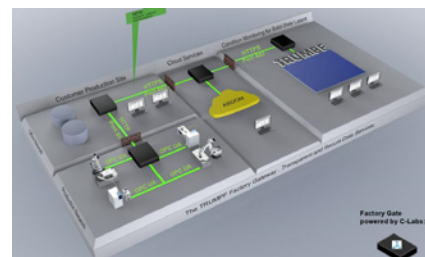


Figur 3. ”Factory of the Future” där produktionsprocessen övervakas av sensorer och all insamlad data lagras i ett ”digitalt moln” så att man därmed kan justera processparametrar i realtid.



Figur 4. En robot glömmar, i motsats till en människa, aldrig, vilket gör att den improduktiva tiden för en produktionsprocess kan minskas radikalt.

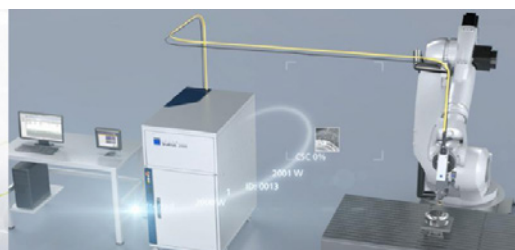
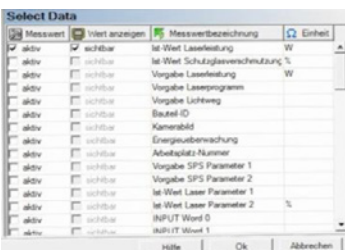
goritmer, och beskrev hur Trumpf valt att arbeta inom det digitala området tillsammans med företaget Axoom och produkten ”TruConnect” avsedd för konditionsbaserad service av laserkällor, vilka via en elektronisk säkerhetsgrind på företaget kan övervakas av experterna i Ditzingen [Fig. 5]. Därmed kan man lättare planera



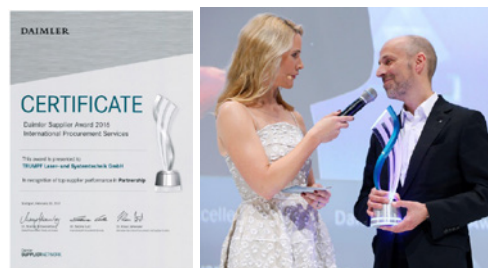
Figur 5. Tillsammans med avknoppningsföretaget Axoom har Trumpf utvecklat produkten ”TruConnect” med vars hjälp det går att bedöma installerade laserkällors behov av konditionsbaserad service.

när det är dags att utföra förebyggande underhåll på lasermaskinerna.

En annan produkt som Trumpf erbjuder är QDS [Quality Data Storage, Fig. 6], en databank där alla laserrelaterade parametrar loggas för varje tillverkad enhet. Denna innovation ledde till att man 2016 belönades med ”Daimler Supplier Award”. För företag som Daimler, som arbetar som en global aktör, är den s.k. vertikala informationen mellan sektorer, fabriker, maskiner och sensorer viktig. Avslutnings-



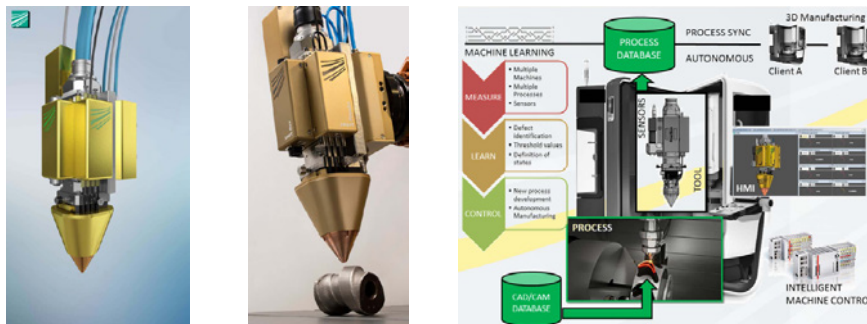
Figur 6. Med Trumpfs QDS-system kan alla laserrelaterade parametrar loggas för varje tillverkad enhet, något som uppskattas högt av bl.a. Daimler, vilket gjorde att Dr. Peter Leibinger kunde mottaga ”Daimler Supplier Award” för år 2016.



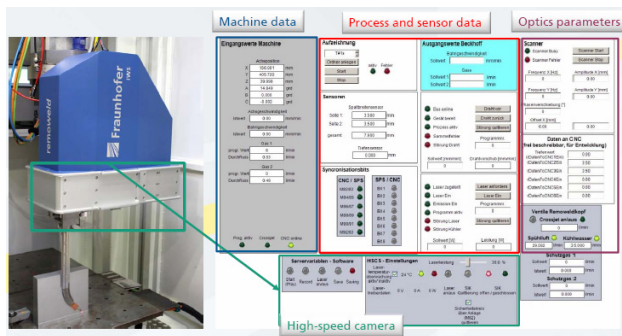
vis pekade den gode Klaus på lasern som ett mångsidigt tillverkningsverktyg där samma laserkälla kan användas för ett antal processer såsom skärning, svetsning, påläggning, ytstrukturering, härdning, rengöring och märkning via smarta, flexibla bearbetningsverktyg. Detta koncept har nyligen realiserats i en "Trumpf Smart Factory" i Chicago, IL även om man där hittills enbart håller sig till laserskärning och bearbetning.

Nästa talare var Dr. Christoph **Leyens** från arrangerande IWS. Denne sympatiska herre kommer att ta över som föreståndare vid institutet i september detta år då Dr. Beyer går in i vad tyskarna kallar "Ruhestand", d.v.s. pension. Han poängterade att den stora datamängd som kommer att hanteras inom ramen för "Industry 4.0" blir en verklig utmaning och kommer att kräva ett närmare samarbete mellan tekniker och IT-specialister. Han myntade ytterligare ett "buzzword" i form av "Cyber Physical Systems" med vilket han menade intelligenta självlärande maskiner och robotar, varpå han adresserade tidigare nämnda horisontella och vertikala värdekedjor i tillverkningsprocessen. De senare har hittills visats minst uppmärksamhet, men numera börjar man alltmer tala om smarta verktyg för flexibilitet och kund Anpassning. Ett sådant nytt verktyg, som här presenterades för första gången, var det av IWS utvecklade "SmartCam" avsett för laserpåläggning och LMD [Laser Metal Deposition]. Det har inte mindre än 23 inbyggda sensorer för processövervakning vars signaler bearbetas med algoritmer för självinlärning vilket innebär en dynamisk korrigering av processens kontrollparametrar. Bl.a. kontrolleras temperatur, nedsmutsning, eventuella läckage och risken för kollision vid robotmanipulering av laserverktyget. Denna maskininlärning möjliggörs genom s.k. embedded systems eller inbyggda system. Sådana kan sägas vara datorer inbyggda i maskiner eller apparater med avsikt att sköta arbetsuppgifter som styrning, övervakning och datainsamling. "SmartCam", som här visades integrerat i pålägningsverktyget COAX 4.0 [Fig. 7], vilket är avsett att arbeta på ett avstånd av 7 mm från substratet och hanterar partikelstorlekar mellan 20-60 µm. Dess kollimeringslins har en brännvidd på 105 mm och fokuseringslinsen en 200 mm lång dito, vilket ger en fokuspunktsdiameter på minst 1,2 mm.

Ett annat nytt IWS-verktyg för lasersvetsning är Remoweld®MES [Fig. 8] som har en ansevärd kapacitet för



Figur 7. Pålägningsverktyget COAX 4.0 försett med IWS' "SmartCam" med 23 sensorer för processövervakning vars signaler bearbetas med algoritmer, vilka möjliggör en övergång från klassisk övervakning till självlärande system.



Figur 8. IWS' egenutvecklade Remoweld®MES för fjärrlasersvetsning har hög kapacitet vid insamling av maskin- och sensordata, samt lagring av information om optik-parametrar och höghastighetsfilmning.



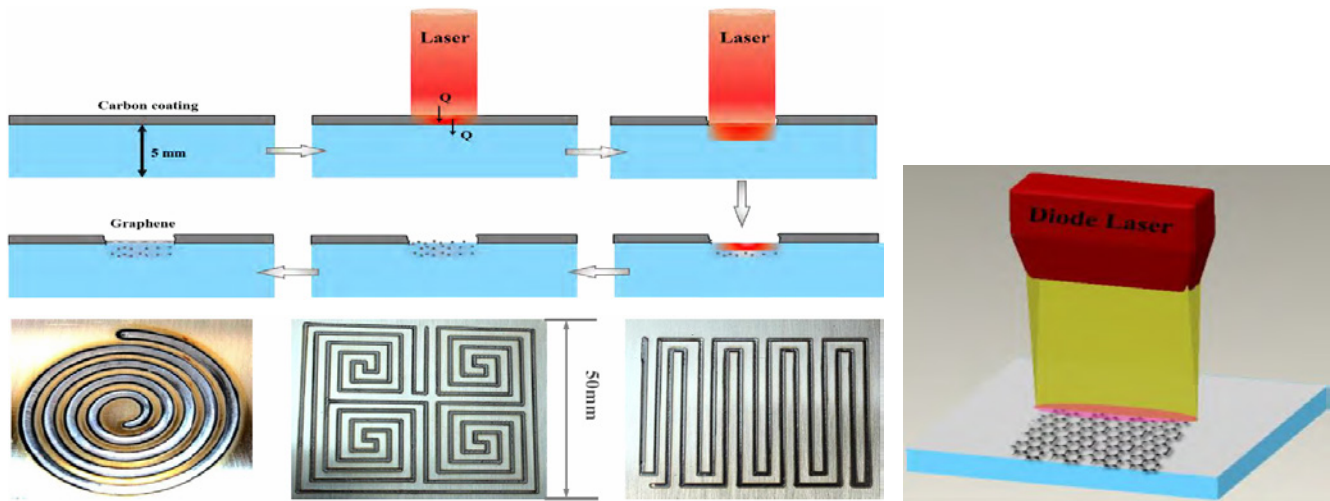
Figur 9. "Säkerhetsfeatures" i form av övermalade lasermärkningar vilka blir synliga då ett magnetfält appliceras över det märkta området.

datainsamling. Slutligen visade Dr. Leyens på ett sätt att baka in säkerhetsrelaterade kännetecken på produkter. Dessa utfördes genom lasermärkning, varpå märkningen målades över så att den blev osynlig för ögat. Om man däremot applicerade ett magnetfält kring området framträdde säkerhetsmärkningen tydligt [Fig. 9].

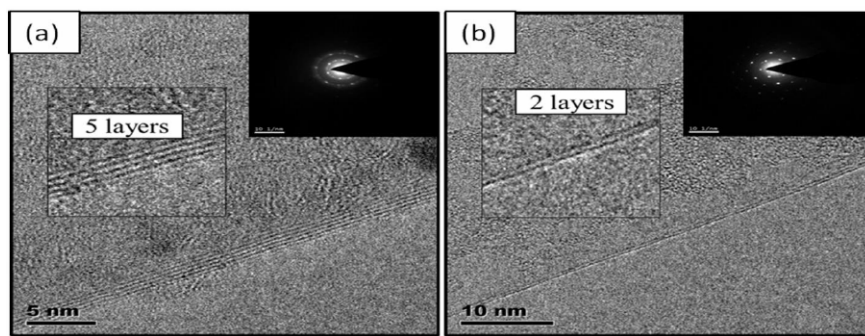
En ständigt återkommande gäst i dessa sammanhang är professor Minlin **Zhong** från Tsinghua University i Kina, som redan vid ICALEO [International Conference on Lasers and Electro-Optics] -konferensen i Atlanta, GA 2017 fascinerade åhörarna med sina naturhärmande ytstruktureringar i nanoskala med hjälp av laserteknik. Nu tog han upp ett annat av sina forskningsområden, nämligen laserprintning av grafen, även detta på nanonivå. Tekniken har utvecklats tillsammans med företaget Nanoscribe och bygger på principen med UV [ultraviolett] -baserad multifotonslitografi. Andra genomförda försök handlade om att belägga [printa] grafen på en nickelplatta, som var belagd med ett 20 µm tjockt skikt av kolpulver med

partikelstorlekar i nanostorlek, med hjälp av en diodlaser så att större ytor kunde processas med någorlunda acceptabel hastighet. Fokuspunkten var rektangulär med måtten 16×2 mm vilket gav en energitäthet på 1,87×10³ W/cm². Motsvarande experiment hade också genomförts med en fiberlaser, men då med betydligt högre energiintensitet eller 44×10³ W/cm² i en cirkulär fokuspunkt med 3 mm diameter [Fig. 10]. Att däremot printa grafen på kolstål visade sig vara näst intill omöjligt men kunde lösas genom att stålet upplegerades med en mindre andel Nickel. Även en CO₂-laser hade använts vid bearbetning av grafen, dels för att sammansvetsa två grafenfilmer, dels för att utföra lokala förtunningar på dessa [Fig. 11]. Slutligen visade Dr. Zhong hur man med fs [femtosekund = 10⁻¹⁵ sek] -långa pulser kunde avlägsna material från de ytterst tunna grafenfilmerna som utgörs av några kolatomlager om 0,34 nm.

Efter denna imponerande presentation inställde sig självklart frågan vilka de praktiska tillämpningarna kunde vara



Figur 10. Ovan principen för laserprinting av grafen och hur detta kan göras över större ytor med hjälp av en diodlaser, men även en fiberlaser med hög energitäthet i fokalpunkten lämpar sig för ändamålet, vilket illustreras i de nedre mönstren.



Figur 11. Lokal förtunning genom att avlägsna fem respektive två atomlager från grafenfilmen med hjälp av en CO₂-laser!

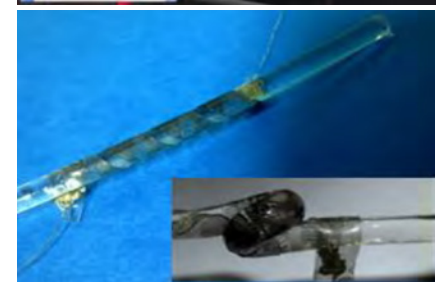
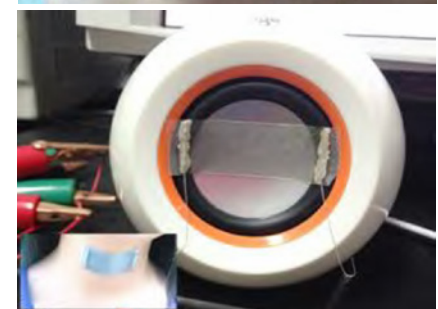
av denna avancerade forskning. Men inte heller här var den gode Minlin svarslös utan visade upp hur man kan mönstra grafen med laserteknik för att därefter använda materialet till högkänsliga sensorer. Sådana används redan idag främst inom medicinteknik för att mäta hudförändringar, men brukas även för att registrera ljudvågor eller spänningstillståndet i olika material [Fig. 12]. Han avslutade med två verkliga innovationer där en var en fascinerande lösning av en gripkloolik sensor som drevs av fuktigheten hos ett sädesax och därigenom kunde greppa detsamma. Den andra utgjordes av en spindelrobot tillverkad av grafenoxid som kunde röra sig med hjälp av pulser från en laser med 808 nm våglängd.

Laserkällor med "annorlunda" våglängder

CO-lasrar i våglängdsområdet 5,55 μm ±0,25 μm är i sig ingen nyhet, men har hittills främst använts vid glasbearbetning i form av skärning och borrning. Nu fick vi en uppdatering i ämnet av George Oulundsen från Coherent Inc. Den i jämförelse med CO₂-lasern kortare våglängden

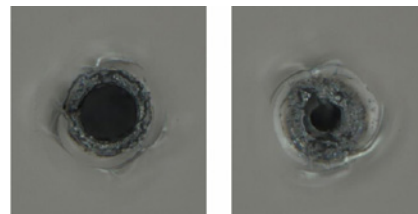
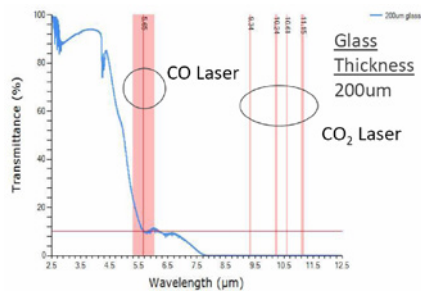
möjliggör stråldistribution via optisk fiber precis som för fastkroppslasrarna. Fokuserbarheten är bättre vilket gör att energitätheten blir en faktor fyra större jämfört med en CO₂-laser med motsvarande lasereffekt. Eftersom skärpedjupet [DoF = Depth of Focus] är våglängdsberoende blir detta dubbelt så stort för CO-lasern, medan däremot pulslängden vid sådan bearbetningsform blir två gånger längre jämfört med en CO₂-laser. Mätningar visar vidare på en stabilare uteffekt på ±3% att jämföras med CO₂-laserns ± 6%. Resultat från glasbearbetning handlade om skärning av tjocklekar mellan 50-300 μm med 150 W medeleffekt och en frekvens på 100 kHz, samt borrning av 100 μm tjocka glasplattor där en 43 μm stor fokalpunkt penetrerade materialet med sex stycken 40 μs långa pulser och pulstoppar strax under 100 W [Fig. 13].

Andra exempel som Mr. Oulundsen visade handlade om borrning av kretskort [PCB = Printed Circuit Board], och ritsning av 1 mm tjock aluminiumoxid med hjälp av en akustisk-optisk modulator [AOM] som från laserkällans medeleffekt på 60 W gav pulstoppar kring 300 W,



Figur 12. Grafenbaserade sensorer kan användas för att mäta hudförändringar, men även till att registrera ljudvågor eller spänningförhållanden i olika material.

vilket resulterade i en bearbetningshastighet på 80 mm/sek [Fig. 14]. Här utgör CO-lasern ett kostnadseffektivt alternativ till ultrakortpuls-lasrarna [UKP]. Föredraget avslutades med en kuriositet där man laserskurit kroppsvävnad från grisar och konstaterade att blodet koagulerade bättre vid CO-skärning än vid CO₂-dito.

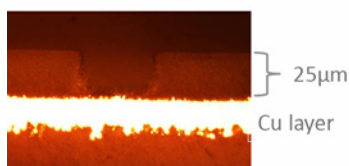


Figur 13.

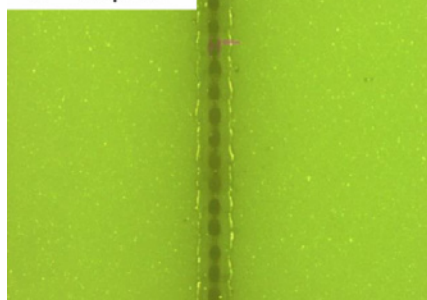
CO-lasrar har en våglängd som lämpar sig väl för glasbearbetning som skärning och borrning. T.h. borrning av 100 μm tjocka glasplattor med sex stycken 40 μs långa pulser; ingångshål 43 μm och utgångshål 23 μm .



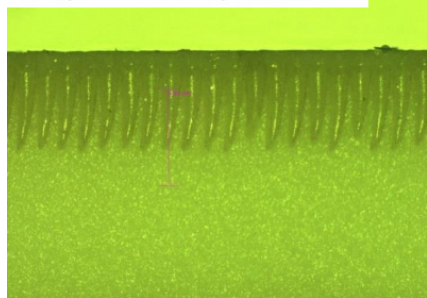
Thickness 25 μm
Hole Diameter $\sim 36 \mu\text{m}$



$\Phi = 40 \mu\text{m}$



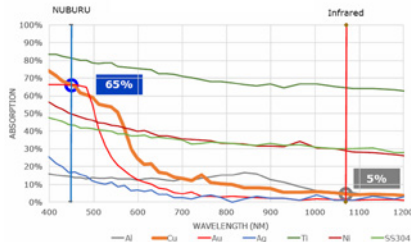
Depth = 330 μm



Figur 14.

Borrning av kretskort tillverkade i glasfyllt epoxymaterial eller ritsning av aluminiumoxid med 150 μs långa pulser och 1,6 kHz frekvens är andra användningsområden där CO-lasern blir ett kostnads-effektivt alternativ till UKP-lasrar.

Näste talare var Matt Finuf från NUBURU Inc., ett företag som specialiserat sig på högeffektlasrar inom det blåa våglängdsområdet med produkter som AO-150 och AO-500 som levererar fokalpunktsstorlekar på 200 respektive 400 μm . Det främsta användningsområdet för denna typ av laserkälla är kopparsvetsning då det blå ljuset absorberas till 65% i materialet, and jämföras med blott 5% för den vanligare 1 μm -våglängden [Fig. 15].



Figur 15.

Laserljus i det blå våglängdsområdet är speciellt lämpligt vid bearbetning av koppar och dess legeringar då absorptions-graden ligger på hela 65%, att jämföras med blott 5% för infrarött laserljus.

Laserkällorna kan användas för såväl värmelednings- som nyckelhålssvetsning, men vid svetsning av koppar finns ett tröskelvärdet för energitätheten kring 0,6 MW/cm^2 för att skapa ett nyckelhål. Lasersvetsning är ett alternativ till den ultraljudssvetsning som idag används vid sammanfogning av kopparfolier till Litium-Ion-batterier. Här redovisades hur 20 stycken 8 μm tjocka kopparfolier hade sammanfogats till en 200 μm nickelpläterad kopparplatta i en enda passage [Fig. 16]. Att sammanfoga aluminium och koppar är en annan utmaning vid batteritillverkning och detta illustrerades med försök genomförda på 120 μm tjockt material med såväl 150 som 500 W lasereffekt och processhastigheter på 25 respektive 140 mm/sek. De redovisade försöken hade utförts med kontinuerlig [cw = continuous wave] lasereffekt, men Mr. Finuf berättade att NUBURUs laserkällor även kan pulsa med frekvenser upp till 50 kHz.

Diodlasrar baserade på blått ljus med 450 nm våglängd var temat för sympatiska Dr. Christoph Ullmanns [Laserline GmbH] presentation. Produktserien kallas LDMblue och kan fås med effekter upp till 700 W. Källorna är uppbyggda på samma sätt som företagets övriga diodlasrar och består av sammankopplade halvledarelement som byggs upp till stavar som genererar 50-100 W, vilka i sin tur kombineras till staplar om 500 W, alternativt 1.000 W genom polarisationskoppling mellan två staplar [Fig. 17]. Som tidigare påtalats är



Figur 16.

20 stycken 8 μm tjocka kopparfolier fogade till en nickelpläterad koppar-platta med 500 W och en hastighet på 40 mm/sek (överlappsfog) resp. 50 mm/sek (kantfog).

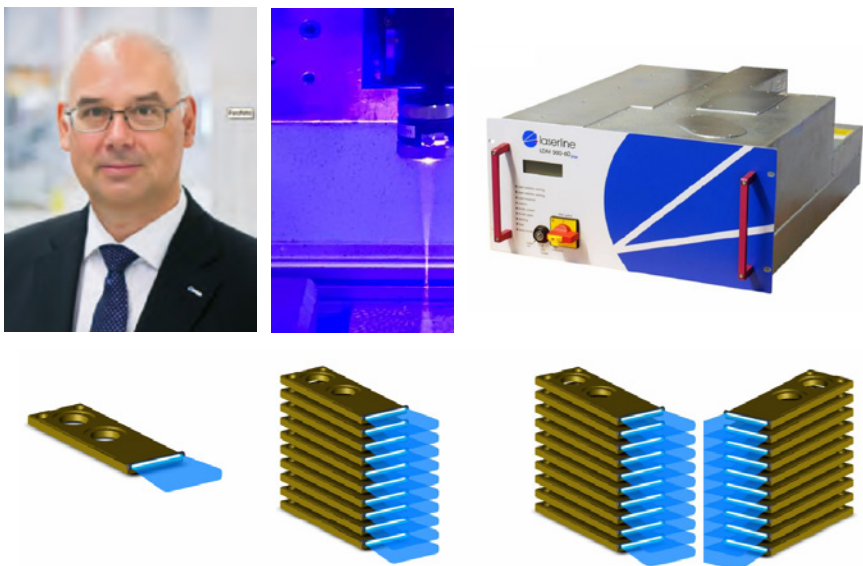
absorptionen i koppar och aluminium mycket högre än för laserljus med 1 μm våglängd och uppgavs av Dr. Ullmann ligga i storleksordningen 10 respektive 2 gånger högre. Nackdelen med "blå lasrar" är att livslängden idag är mellan 5-10% lägre jämfört med en laserkälla i det infraröda [IR] våglängdsområdet. Därpå fick vi ytterligare några exempel på kopparsvetsning där 0,3 mm tjockt material hade värmeledningssvetsats med 580 W effekt och en fokalpunktsstorlek på 0,6 mm vilket gav en processhastighet på 2 m/min. Den blå våglängden tycks även innebära en robustare process vid kopparsvetsning jämfört med 1 μm -våglängden. Vid svetsförsök erhöll man i det senare fallet ingen svets överhuvudtaget vid 1.500 W effekt, medan om effekten höjdes till 1.600 W resulterade detta i genombränning. Andra försök överensstämde väl med vad som framkommit under Mr. Finufs presentation, såsom svetsning av stackar om 34 stycken 11 μm tjocka kopparfolier i en passage samt Al/Cu-svetsning [Fig.

18]. Den som alltid informativa presentationen från Dr. Ullmann avslutades med exempel på laserpåläggning av koppar samt undervattenssvetsning, båda operationerna utförda med blått laserljus. Den intresserade kan hitta ytterligare information från BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] -projektet "BlauLas" på www.ffmpeg.de.

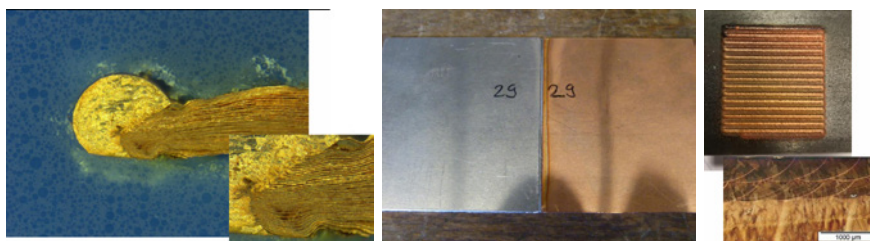
Om vi går vidare på den illustra färgskalan hamnar vi i det gröna våglängdsområdet och om detta föreläste Dr. Eyal Shekel från israeliska Civan Advanced Technologies Ltd. Där har man utvecklat SM [Single Mode] -lasrar med hög effekt genom att kombinera olika våglängder [CBC = Coherent Beam Combining, Fig. 19].

Tyngdpunkten i presentationen låg emellertid på hur man manipulerade laserstrålen med en elektro-optisk optik [OPA = Optical Phased Array, Fig. 20]. En sådan kan röra laserstrålen snabbare än vad som är möjligt med mekaniska galvospeglar. Genom det pålagda elektriska fältet kan man även ställa om skärpedjupet och formen hos laserstrålen med frekvenser över 10 MHz. En sådan manipulering av energifördelningen i laserstrålen möjliggör högre deponering vid laserpåläggning, men också ett bättre kvalitetsutfall vid laserskärning och -svetsning.

Den gröna våglängdens positiva inverkan vid lasersvetsning av koppar har länge varit ett forskningsområde för Dr. Andreas Heider. Denne sympatiska herre har en bakgrund från IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] i Stuttgart men arbetar sedan något år tillbaka för Robert Bosch GmbH. Vid tidigare forskning hade han kunnat konstatera att lasersvetsning av koppar med lasrar inom det infraröda våglängdsområdet gav en instabil process med mycket svetsprut och låg absorptionsgrad, kring 5%, av den tillförda



Figur 17. Kunnige Dr. Christoph Ullmann från Laserline beskrev företagets produktserie LDM_{blue}, vilken utgörs av diodlasrar med 450 µm våglängd, uppbyggda av halvledarelement till stavar och staplar där de senare kan polarisationskopplas för att nå upp till effekter kring 1 kW.

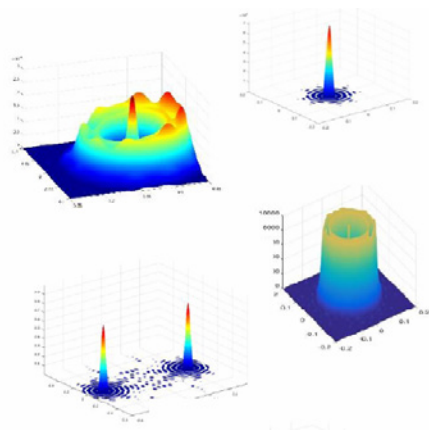


Figur 18. Frv. Hopsvetsning av 34 stycken 11 µm tjocka kopparfolier med 580 W och 2 m/min i framföringshastighet, svetsning av 0,8 mm aluminium till 0,4 mm koppar med 500 W och 0,6 mm stor fokuspunkt, samt längst t.h. LMD med koppar och blått laserljus!

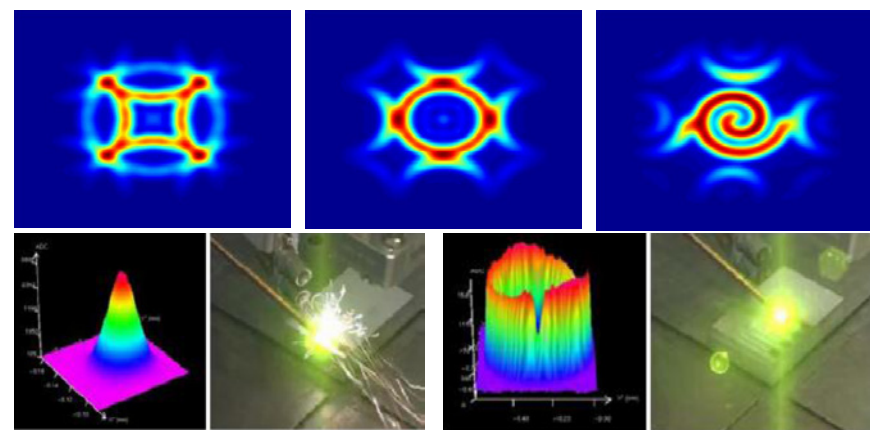


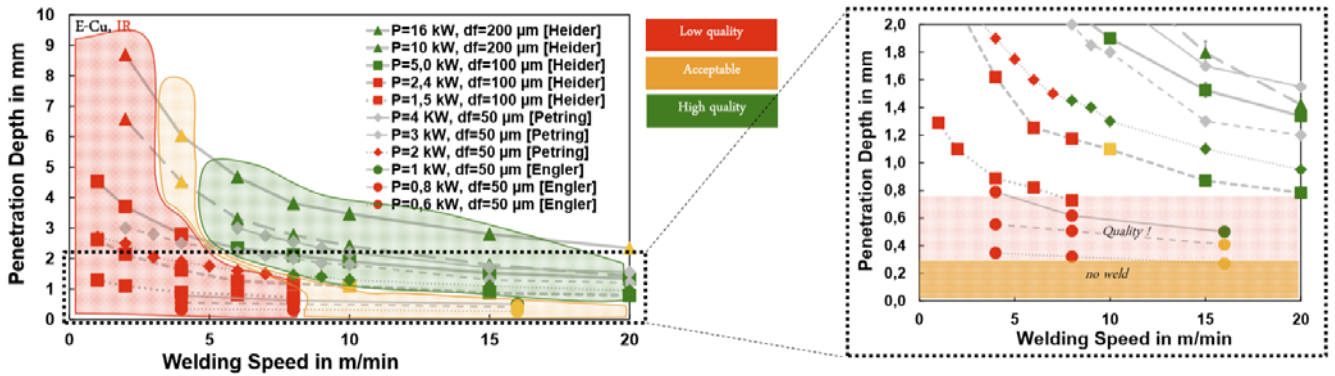
Figur 19. Ovan principen för CBC som ligger till grund för israliska Civan SM-fiberlasrar med upp till 1 kW effekt. De bästa resultaten erhöles då man använde en liten fokuspunkt på mellan 50-200 µm diameter och lasereffekter upp till 16 kW. Dock är det problematiskt att fastställa ett korrekt penetrationsdjup

vid överlappssvetsning av koppar då parameterfönstret är mycket smalt. Detta visade sig såtillvida att när penetrationen var 0,8 mm blev svetskvaliteten undermålig, men om då penetrationen istället sattes till



Figur 20. Med en elektro-optisk optik kan såväl fokallängd som energi-fördelningen i laserstrålen varieras, något som bl.a. ger en stabilare och mindre sprutbenägen svetsprocess.





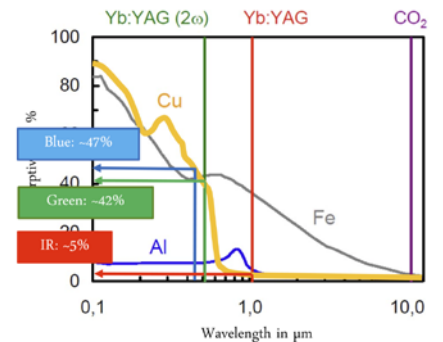
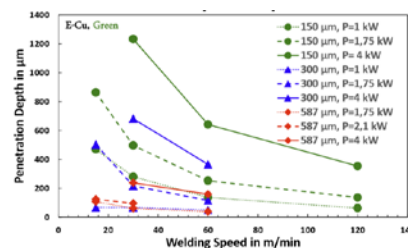
Figur 21. Processfönstret vid kopparsvetsning med 1 µm laservågslängd är ytterst begränsat!

0,3 mm fick man överhuvudtaget ingen förbindning mellan plåtarna [Fig. 21]. Det smala parameterfönstret kan till viss del kompenseras genom oscillering/modulering av laserstrålen eller –effekten, men bättre tycks vara att arbeta med laservåglängder som är kortare än IR.

Därför har den gode Andreas fokuserat den fortsatta forskningen mot grönt och blått våglängdsområde som har absorptionsvärden på 42 respektive 47% [Fig. 22]. Nu redogjorde han för svetsförsök i koppar där den primära stråvan gått ut på att nå en liten men ur hållfasthets-synpunkt tillräckligt djup penetration. Som laserkälla hade han nyttjat Trumpfs TruDisc Pulse421 vilken pulsats kring medeleffekter på 300 och 1.000 W. Med en relativt stor fokalpunkt hade såväl penetrationsdjup som svetskvalitet uppvisat godkända värden. Några inledande försök med blått laserljus har också genomförts, och då har den tidigare nämnda LDMblue från Laserline använts. Denna arbetar med en våglängd på 450 nm och här hade svetsningen genomförts med 580 W medeleffekt och en 600 µm stor fokalpunkt [Fig. 23].

Brian Victor från nLIGHT Inc. som har sitt huvudsäte i Vancouver i Canada har jag tidigare stött samman med i olika lasersammanhang. Nu redogjorde den gode Brian för företagets fiberlasrar som finns att tillgå i effekter mellan 500 och 8.000 W. Men även här handlade det mycket om kopparsvetsning av olika applikationer för Lithium-Ion-batterier. Tre viktiga faktorer då det gäller lasersvetsning av koppar är att ha tillgång till laserkällor med hög strålkvalitet med vilka man kan svetsa snabbt med stabila effektnivåer [Fig. 24]. Att oscillera laserstrålen med en frekvens kring 300 Hz hade visat sig ge en stabilare svetsprocess vid 50 mm/s i framförings-hastighet, och svetsdjupet vid de utförda experimenten hade visualiserats med hjälp av ICI [Inline Coherent Imaging] där

Figur 22. Såväl blått som grönt laserljus har exceptionellt hög absorption i koppar; 47 respektive 42%. Vid genomförda svetsförsök på tunna kopparfolier med den "gröna" lasern TruDisc Pulse421 gick det att säkerställa ett precist penetrationsdjup med hög svetskvalitet, något som visat sig vara svårt om man använder en laser i det infraröda våglängdsområdet (jämför fig. 20).



Figur 23. Initialia resultat från kopparsvetsning med en "blå" laser från Laserline; svets hastighet 0,5 och 1,0 m/min med penetrationsdjupen 150 respektive 40 µm.

man använt en modul från Laser Depth Dynamics. Andra batteriapplikationer var laserskärning av anoder och katoder med 1 kW SM-laser samt överlappssvetsar med krav på hermetisk tillslutning. I det senare fallet hade man kunnat konstatera att en spalt mellan folierna innan svetsning kunde uppgå till högst 10% av folietjockleken om kraven på svetsen skulle innehållas.

Liknande batteriapplikationer och andra komponenter för "e-mobility" redogjorde Philipp Just från ThyssenKrupp System Engineering GmbH för. Han inledde med att berätta om lasersvetsning av ingående detaljer i statorn för en elektrisk motor såsom laminat och s.k. hårnålar

i koppar [Fig. 25]. De senare har en korrosionsskyddande beläggning vilken måste avlägsnas lokalt med hjälp av laserpulser innan själva svetsningen sker. Tillverkningen av batterier innefattar ett flertal laseroperationer där tillskärningen av elektroder sker med hjälp av pulserade lasrar. Sammansättningen av de aluminium- och kopparfolier som utgör elektroderna har hittills utförts med ultraljudssvetsning, men här har man observerat en uppenbar risk för delaminering mellan folierna, speciellt då sammansättningen består av ett stort antal skikt. Därför rekommenderade Herrn Just att man hellre använder lasersvetsning för en dylik operation. Vid Al/Cu-svetsning använder sig ThyssenKrupp



nLIGHT



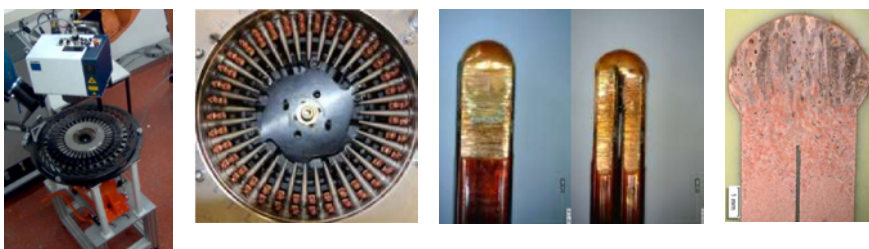
Figur 24.

Brian Victor från nLight presenterade några av företagets fiberlaserkällor, vilka han menade var lämpliga för svetsning av koppar då detta kräver hög strålkvalitet, snabbt svets-förlopp och stabila effektnivåer.

av termografi för oförstörande kvalitetskontroll [Fig. 26], och slutligen visades på hur det omslutande aluminiumhöljet för batterier lasersvetsades med hjälp av ett fogföljningssystem.

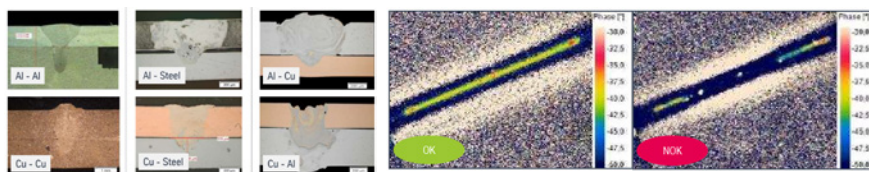
Olika laserverktyg

De sessioner som behandlar nya laserprodukter ger alltid intressanta inblickar i utvecklingsarbetet hos de olika tillverkarna av laserkällor och -verktyg även om en del av det som presenterades här kändes igen från EALA [European Automotive Laser Applications] -konferensen tidigare under året. Sålunda repeterade Berthold **Kessler** från IPG Laser GmbH stora delar av den information som kollegan Dr. Klaus **Krastell** delgav oss vid evenemanget i Bad Nauheim i februari. Temat var integrerade laserverktyg till företagets fiberlasrar med tillhörande processkontroll. Den senare bygger på processljus som återreflekteras inuti processfibern och där leds in i en splitsad kanal för analys. Lösningen möjliggör detektering av hål i svets, spalt mellan plåtar samt föroreningar på plåtytan, och har framgångsrikt integrerats tillsammans med företagets "Seam Stepper". För kontroll av penetrationsdjupet vid lasersvetsning passade gemytliga Berthold på att göra reklam för företaget Laser Depth Dynamics, som numera ingår i IPG-koncernen, och deras verktyg LD-600 som bygger på principen för ICI. Denna kan förutom att mäta penetrationsdjupet "in-situ" med en bildfrekvens kring 200 kHz och en upplösning på 20 µm, även fungera som fogföljningsinstrument samt uppmätning av svetsprofilen [Fig. 27]. Fogföljning ingick även i ett praktikfall som handlade om stumsvetsning vid rörtillverkning där man lyckats svetsa sprutfritt vid så pass hög svetsastighet som 20 m/min [Fig. 28]. Här användes två separata kameror



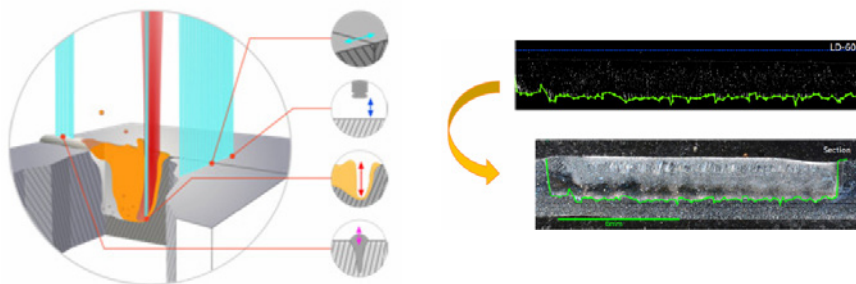
Figur 25.

Lasersvetsning av s.k. hårnålar i koppar med hjälp av ett "scanner"-verktyg. Dessa utgör kritiska komponenter i statorn till en elektrisk motor.



Figur 26.

Vid batteritillverkning förekommer en variation av materialkombinationer bestående av aluminium, koppar och stål, där man vid lasersvetsningen måste minimera uppkomsten av spröda intermetalliska faser. Kvalitetskontrollen kan med fördel ske med termografi.

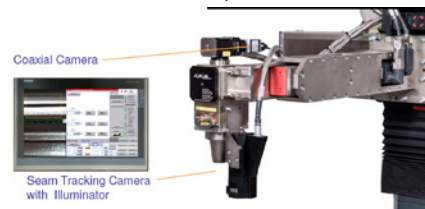


Figur 27.

Verktyget LD-600 från Laser Depth Dynamics kan mäta penetrationsdjupet vid lasersvetsning med en som synes god överensstämmelse mellan signal och verklig penetration (t.h.). Men LDD-600 fungerar även som fogföljningsinstrument och kan dessutom mäta den utförda svetsens profil.

Figur 28.

IPG har lanserat processkontrollverktyget TPS speciellt framtaget för rörsvetsning. Två kameror ingår i systemet; en för fogföljning och en för koaxiell monitorering av svetsförloppet.



i en för rörsvetsning speciellt framtagen processövervakning vilken IPG valt att kalla TPS [Tubes and Profiles System].

Ett intressant nyttillskott vad gäller laserkällor presenterades av Jarno **Kangastupa** från Coherent Tampere i Finland, som nu marknadsför sin ARM [Ad-

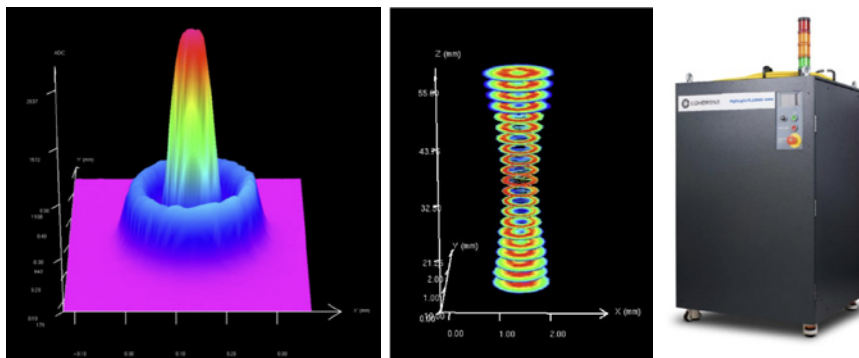
justable Ring Mode] -lösning. Basen är en fiberlaser med upp till 10 kW effekt där den utgående laserstrålen manipuleras av fyra oscillatorer så att man får en ringformad fokalfunkt som omsluter en cirkulär sådan. Den senare har en BPP [Beam Parameter Product] på 2,5 mm*mrad

och ringfokus, som har en ytterdiameter som är 4,2 gånger större än den centrala brännpunktens, uppvisar en BPP på cirka 8 mm*mrad [Fig. 29]. Denna form av energifördelning har visat sig vara gynnsam i många svetsapplikationer, inte minst vid lasersvetsning av aluminium. Principen är då att den ”främre” delen av ringfokus förvärmer ytan till cirka 660 °C, eller strax under materialets smältpunkt. Därefter skapas nyckelhålet av den centrala fokalkpunkten, varpå den bakomliggande delen av ringfokus sluter detsamma.

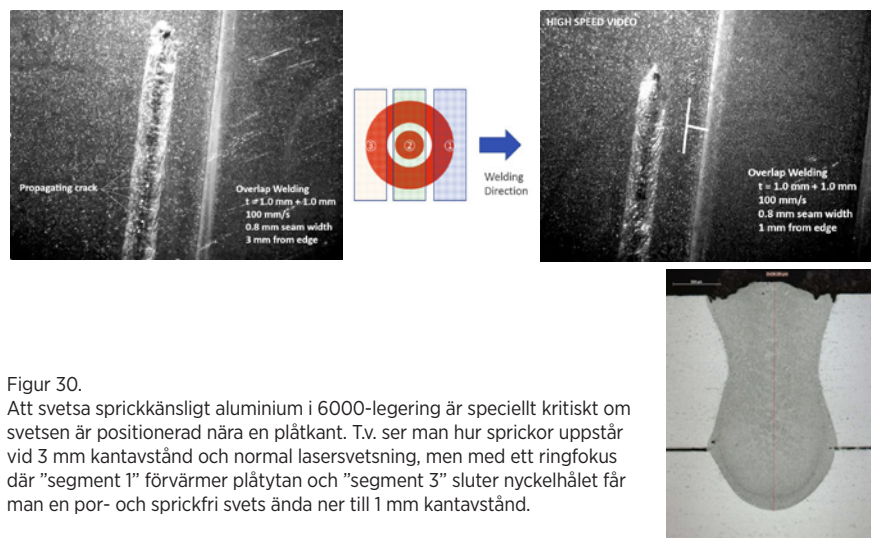
Nu redogjorde Jarno för framgångsrik överlappssvetsning av aluminium i en 6000-legering där man svetsat sprickfritt vid så korta avstånd till plåtkanten som 1-3 mm. Plättjockleken var 1,0 + 1,0 mm och en framföringshastighet på 100 mm/sek gav en svetsbredd på 0,8 mm. Lasereffekten fördelades mellan 6 kW i den centrala fokalkpunkten och 2 kW i ringfokus [Fig. 30]. Övriga resultat som redovisades handlade om kantsvetsning av en 5000-legering med konstant penetration, samt överlappssvetsning av zinkbelagd stålplåt med nollspalt. Materialet var där 0,75 mm tjock mjuk stålplåt med ett elektrolytiskt pålagt zinksikt om 25 gram/m² per sida. Här strävade man efter att ringfokus skulle ge en förvärmnings-temperatur kring 1.500 °C, vilket visade sig vara positivt i form av ett tydligt reducerat zinksprut [Fig. 31]. Dr. Kessler från IPG, som tydligen här såg en illavarslande konkurrent, undrade hur man tog hand om återreflektionen från processen. På detta spörsmål svarade herr Kangastupa att detta sker stegvis längs processfiberns hela längd.

Välkände Dr. Markus Kogel-Hollacher från Precitec GmbH & Co. KG redogjorde för deras Weldmaster®-familj av verktyg för fogföljning. Samtliga är kamerabaserade men erbjuder skräddarsydda för olika användningsområden som taktill lasersvetsning och fjärrlasersvetsning i två eller tre dimensioner. I ett pilotprojekt tillsammans med Audi AG har man, för svetsning av aluminium i 6000-legering, optimerat processen vid strålscillering så tillvida att man samtidigt kan variera lasereffekten [Fig. 32].

Annars uppehöll sig den gode Markus som vanligt vid sin IDM [In-Depth Monitoring] -lösning för kontroll av penetrationsdjupet i realtid vid lasersvetsning. Han illustrerade denna med det praktikfall som presenterades av företaget Sitech redan på EALA-konferensen, och som handlade om svetsning av ett antal



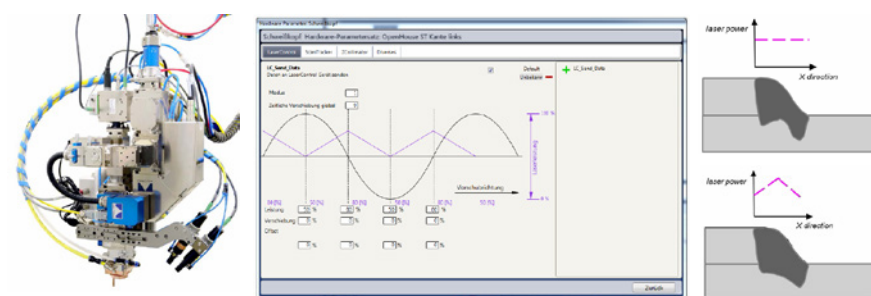
Figur 29. Energifördelning och strålkastik för Coherents ARM-lösning som nu går att få till företagets fiberlasrar med effekter upp till 10 kW.



Figur 30. Att svetsa sprickkänsligt aluminium i 6000-legering är speciellt kritiskt om svetsen är positionerad nära en plåtkant. T.v. ser man hur sprickor uppstår vid 3 mm kantavstånd och normal lasersvetsning, men med ett ringfokus där ”segment 1” förvärmer plåtytan och ”segment 3” sluter nyckelhålet får man en por- och sprickfri svets ända ner till 1 mm kantavstånd.



Figur 31. Överst ser man resultatet vid konventionell lasersvetsning av en överlappsfog med nollspalt i zinkbelagt material. Därunder samma process men nu utförd med ARM-tekniken vilken ger en näst intill sprutfri process och en förhöjd svetskvalitet.



Figur 32. Med ovanstående laserverktyg försett med Precitecs Weldmaster® ”Scantrack” kan man svetsa aluminium i 6000-legering utan tillsatsmaterial genom att modulera lasereffekten samtidigt med strålscilleringen.

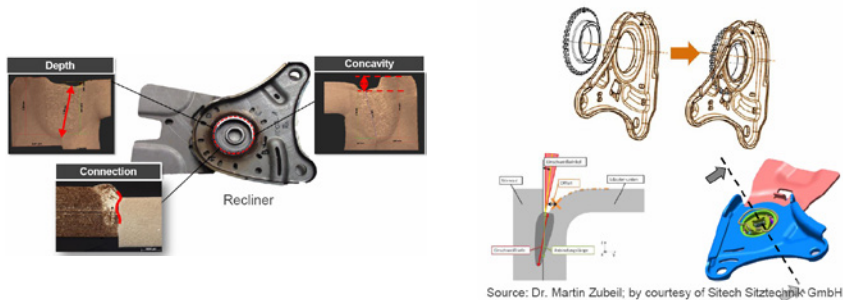
komponenter som utgör mekanismen för inställning av ryggläget för ett personbilsäte [Fig. 33]. Genom att medelst återreflekerat laserljus mäta längden från nyckelhålets botten till en stråldelare, och

jämföra denna med en referenslängd, kan man ytterst exakt bestämma penetrationsdjupet. Precitec har vidareutvecklat konceptet med sin ”TwinTec”-lösning, där mätstrålen delas i två så att en träffar

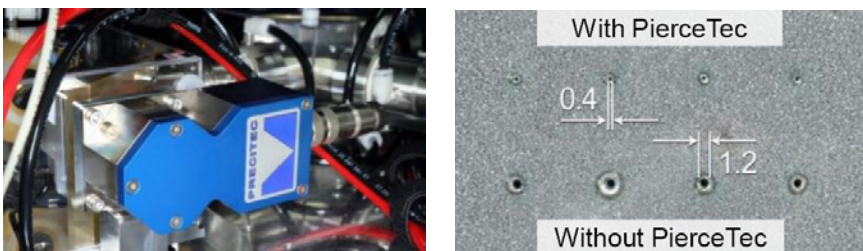
nyckelhålsbotten och den andra plåtens toppyta. På så sätt får man ett absolut mått på penetrationen som också tar hänsyn till variationer och vågigheter i plåtytan. Med IDM menade Markus att variationen i penetrationsdjup kan reduceras med 50%. Några andra verktyg som Dr. Kogel-Hollacher lyfte fram var en "smart" strålkontroll utvecklad i samarbete mellan Trumpf och PRIMES, IWS:s EMAq-S för processkontroll vid laserhårdning samt Precitecs lösning för initialt genomslag vid laserskärning via effektreglering [Fig. 34].

Dr. Balthasar Fischer från XARION Laser Acoustics GmbH presenterade en intressant lösning som man valt att kalla "optisk mikrofon". Företaget är relativt ungt och grundades 2012 med Porsche AG och Trumpf som de huvudsakliga investerarna. Tekniken fungerar sålunda att man med laser mäter ljudvågor som alstras i en luftspalt mellan två speglar. Mätområdet sträcker sig mellan 5 Hz ända upp till 1 MHz, vilket skall jämföras med konventionella mikrofoner vars maximala frekvensupptag ligger under 100 kHz, och därmed blir det möjligt att som Dr. Fischer uttryckte sig "se under ytan" [Fig. 35]. Metoden kan användas för analys vid lasersvetsning av glas och metaller [Fig. 36], men även vid utmattnings- och korrosionsprovning. Som OFP [OFörstörande Provning] -instrument fungerar det vid kvalitetskontroll av punktsvetsar förutsatt att ljudet genereras av en annan laserkälla. Alltså något som överensstämmer med det LUS [Laserinduced Ultra Sound] -projekt som nyligen genomfördes av SwereaKIMAB tillsammans med ett antal industripartners. Ytterligare användningsområden kan vara detektering av sprickor i CFRP [Carbon Fibre Reinforced Plastic], kontroll av fokuspunktsläget vid laserbearbetning, men också inom medicinteknik för att tidigt upptäcka förändringar i mänsklig vävnad.

Inom området fjärrlasersvetsning eller RLW [Remote Laser Welding] kunde vi lyssna till några nyheter. Således beskrev Dr. Otto Märten från PRIMES GmbH, ett företag som genom åren levererat över 15.000 instrument för stråldiagnostik, företagets nya produkt "Cube" med vars hjälp man kan analysera energifördelningen i en snett infallande laserstråle, vilket är en realitet vid fjärrlaserbearbetning. Verktöget klarar infallsvinklar upp till 20° och lasereffekter mellan 20 W och 1 kW med motsvarande exponeringstider på 2,0 respektive 0,1 sekund [Fig. 37]. Därutöver har man utvecklat en prototyp



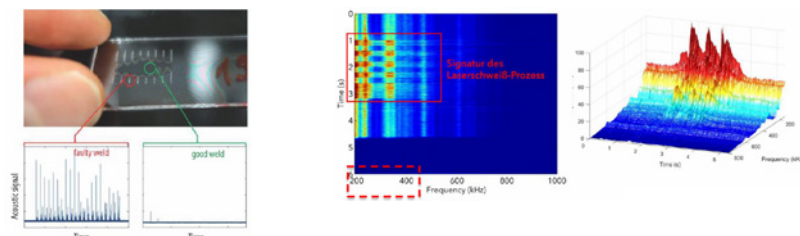
Figur 33. Det sätesreglage som lasersvetsas hos företaget Sitech GmbH och där man använder Precitecs IDM-verktyg för att i realtid kontrollera det kritiska penetrationsdjupet. Mer information kring detta går att finna i referatet från EALA-konferensen på annan plats i detta nummer av LaserNytt.



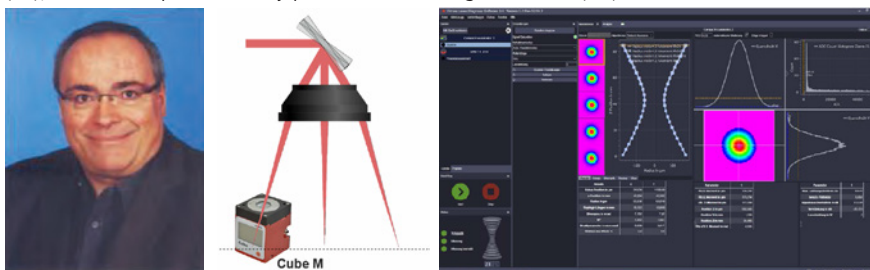
Figur 34. Med Precitecs "PierceTec" regleras effekten för initialt genomslag vid laserskärning, vilket minimerar genomslagstiden och ökar kvaliteten hos extremt små håldiametrar.



Figur 35. Med en "optisk mikrofon", där laserljusets hastighet påverkas av tryckförändringar, kan man mäta ljudvågor i ett betydligt större frekvensband än vad som är möjligt med konventionella mikrofoner.



Figur 36. Exempel på hur signalen från den "optiska mikrofonen" kan visualiseras vid glassvetsning med laser (t.v.), och beskriva penetrationsdjupet vid lasersvetsning av metaller (t.h.).



Figur 37. Dr. Otto Märten beskrev sakkunnigt Primes' nya produkt "Cube" för stråldiagnostik vid fjärrlaserbearbetning, där datan visualiseras på ett informativt sätt (t.h.)

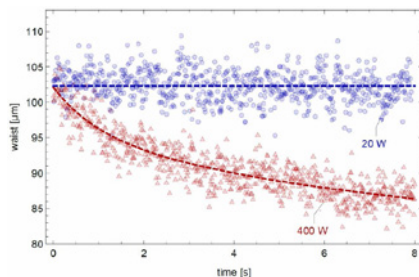
för att monitorera hela arbetsfältet vid RLW, vilken inkluderar mätning av fokuspunktsförsjutning, samt korrigering av laserstrålens infallsvinkel [Fig. 38].

Ytterligare en herre som ägnat sig åt fjärrlaserbearbetning är Dr. Andreas Wetzig, från Fraunhofer IWS. Vid institutet har man tagit fram en prototyplösning för snabb omställning av laserstrålen vid

strukturering av ytor. Maskinen består av 12 galvospelar vilka alla synkroniseras via en central kontrollenhet med beteckningen ESL2-100 [Fig. 39].

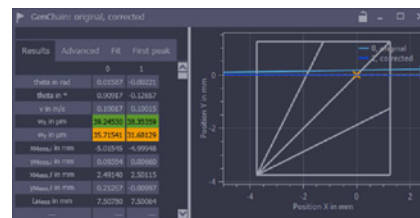
En annan innovation var den där laserstrålen manipulerades via magnetism, s.k. LMDR [Laser Magnetic Domain Refinement], med svindlande 300 m/sekund i processhastighet. Vid en sådan lösning kan upp till fyra olika laserkällor kombineras, och just detta med strål- och våglängds-kombination tycks ha fallit kollegorna på IWS "på läppen". En sådan lösning kombinerade laserstrålarna från en CO₂-laser och en fiberlaser i en specialutvecklad optik [MWO = Multi Wavelength Optics], med vilken man kunde laserskära CFRP, GFRP [Glass Fibre Reinforced Plastic], hybridmaterial och aluminium [Fig. 40]. Det hela hade genomförts i institutets MuReA [Multi-Remote-System for Efficient Large Area Laser Processing] –anläggning [Fig. 41], vilken visades upp av Frau **Klotzbach** redan vid EALA-konferensen, och där tre laserkällor kan samverka; två stycken CO₂-lasrar med 650 W respektive 4,5 kW effekt samt en SM fiberlaser om 3 kW.

Då Steffen **Stanke** från Bombardier Transportation GmbH, som var påtänkt som plenar-talare under andra konferensdagens morgon i sent skede fått förhinder, fick vi istället en repetition av Markus **Revermanns** [Ophir] och Andreas **Büntings** [Daimler] gemensamma presentation från EALA. Herrn Revermann inledde med att presentera MKS Instruments och Ophir Photonics produktportfölj av olika sensorer och poängterade att sådana är en nödvändighet om "Industry 4.0" skall kunna realiseras. Därpå beskrev han mer detaljerat verktyget "BeamWatch" avsett för stråldiagnostik och meddelade att detta kan mäta strålen från en 1 kW laser under 2 minuter utan något behov av kylning. Specialvarianten "BeamWatch Integrated" väger cirka 20 kg och utför 10 mätningar per sekund. Därpå trädde Herrn Bünting in i bilden och beskrev hur "BeamWatch"-verktyget integrerats i produktionsflödet vid tillverkning av Daimlers bakaxlar som numera är försedda med något som kallas ALM [Axle Lubrication Management] vilket genom att anpassa smörjningen efter växelläge, hastighet, vridmoment och axeltemperatur kan nedbringa bränsleförbrukningen med 8%. Lasersvetsning sågs hos Daimler som ett bättre alternativ för sammansättning än de tidigare använda skruvförbanden vilket medför en viktsparing på hela 15%. Man använder sig av Scansonics ALO3 [Adaptive Laser Optic]



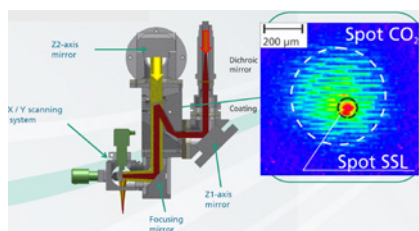
Figur 38.

Ett nytt prototypverktyg kan övervaka hela "scanning"-fältet vid RLW där det bl.a. mäter fokalpunktsförskjutningen, vilken är starkt beroende av lasereffekten (t.v.), men kan även indikera att laserstrålens infallsvinkel behöver korrigeras (t.h.).



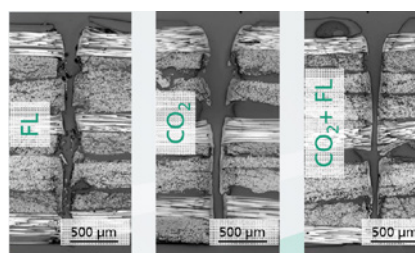
Figur 39.

Prototypanläggningen för laserstrukturering av stora ytor med 12 galvospelar som alla styrs via kontrollenheten ESL2-100.



Figur 40.

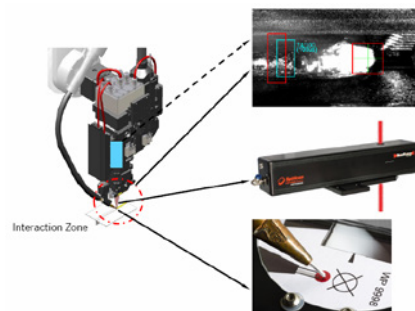
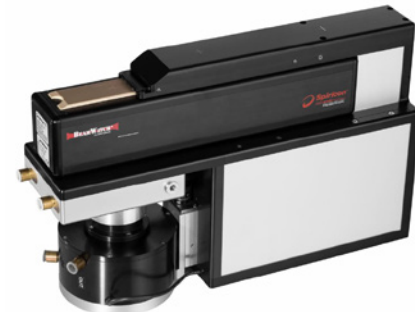
IWS' flervåglängdsoptik är idealisk vid skärning av kolfiberförstärkta polymerer, vilket framgår av tvärsnittet längst t.h. där 600 W från en CO₂-laser kombineras med 1,2 kW från en fiberlaser.



Figur 41.

Första gången MuReA-anläggningen visades var under EALA-konferensen i Bad Nauheim i februari. Den består av en portal-robot med 1,5 meter långa axlar i x-, y- och z-koordinat. Vidare finns "scanner"-verktyg med arbetsfält på 1,0x1,0 m alternativt 1,2x1,2 m, vilka kan kopplas till en SM fiberlaser på 3 kW eller till SM CO₂-lasrar på 650 W eller 4,5 kW.

-verktyg kombinerat med Lessmüllers "WeldEye"® för processövervakning, och som sagt Ophirs "BeamWatch" för kontroll av laserstrålens status [Fig. 42]. Med en optimerad process svetsar man näst intill sprutfritt, men detta beror till viss del på de operationer som föregår lasersvetsningen. Dessa består av rengöring av artiklarna med laser samt tredimensionell



Figur 42.

"BeamWatch Integrated" (ovan) används tillsammans med andra övervakningssystem som "WeldEye"® och "OptikCheck" av Daimler vid tillverkning av komponenter för drivlinan i nya Freightliner-modellen.

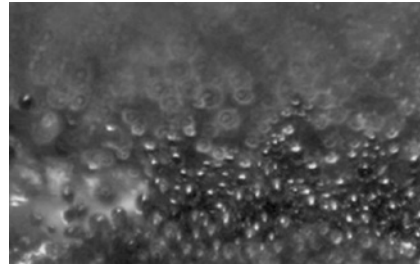
geometriuppmätning av dem, något som även det sker med laserteknik!

Additiv tillverkning

Min känsla var att den här laserkonferensen inte adresserade additiv tillverkning i lika hög grad som vi varit vana vid från senare års evenemang. Kanske börjar området nå en viss mättnadsgrad då det gäller intresset för dylika tekniker. Dock var andra konferensdagens plenar-session avsatt för additiv tillverkning och förste talare var Dr. Wayne King från Lawrence Livermore National Laboratory [LLNL] i Livermore, vars tidigare redogörelser jag har avnjutit med stor behållning. Även denna gång var hans presentation imponerande och handlade om hur man snabbt kunde kvalificera additivt tillverkade komponenter, vilka ofta används i kritiska applikationer inom flyg- och rymdindustrin.

Bla. har FAA [Federal Aviation Administration] uttryckt skepticism då det gäller SLM [Selective Laser Melting] -tillverkade komponenters utmattningsegenskaper. Enligt Dr. King är det bästa sättet att säkra kvalitén genom att ha fullständig kontroll över tillverkningsprocessen, vilket han illustrerade med några höghastighetsfilmer tagna med 1.000.000 fps [frames per second] vid pulverbäddstillverkning. Med en sådan bildfrekvens kan man tydligt se hur en stråle bestående av förångad metall ger upphov till en rörelse i Argon-skyddsgasen, och där denna rörelse i sin tur flyttar pulverpartiklarna och även får dessa att gröta sig samman [Fig. 43].

Processövervakning med återföringskontroll av processparametrar har visat sig vara otillräckligt då detta endast fungerar vid mindre avvikelser från inställda "börvärden". Sådan processkontroll måste därför kompletteras med vad Dr. King kallar intelligent "feed forward" som inkluderar processsimulering och datainformation från tidigare tillverkning. Med simuleringar visade han hur man kan undvika kollaps då man bygger strukturer med ett mittre s.k. överhäng genom att momentant sänka lasereffekten då man passerar ett sådant överhäng. Andra problem som kan övervinnas genom processsimulering är exempelvis då påläggningsmunstycket vänder 180° och processhastigheten i princip blir noll, vilket innebär att sträckenergin blir så hög att ett nyckelhål bildas om man då inte kompenserar för detta genom att minska lasereffekten [Fig. 44]. För att prediktera sådana situationer har man vid laboratoriet utvecklat ett mjuk-

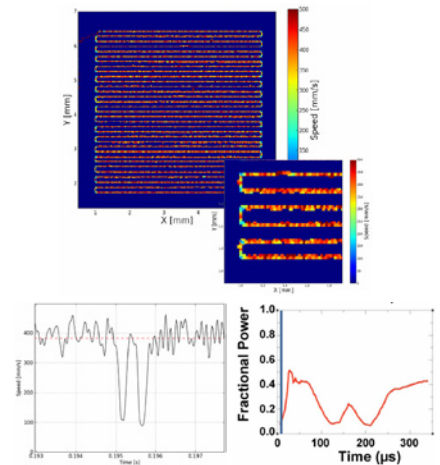


Figur 43.

Vid LLNL basar Dr. Wayne King för forskningen kring additiv tillverkning, och har bl.a. observerat hur rörelser i Argon-skyddsgasen får pulverpartiklarna att flytta sig och sammangrötas vid SLM-tillverkning.

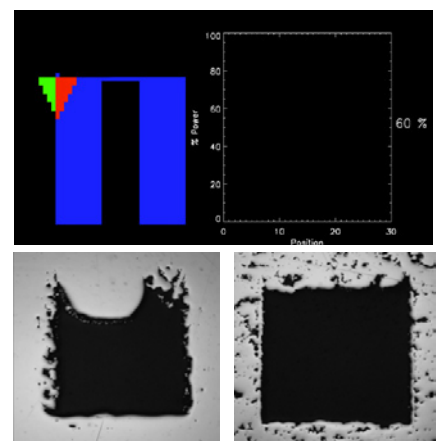
varuprogram benämnt ALE 3D. Detta kan även användas då man vill minimera slaggbildning vid överhäng genom att öka lasereffekten i små steg för varje pålagt skikt. Detta jämfördes med konstanta effektinställningar, där en för hög effekt resulterade i att överhängen sjönk ned eller där en för låg effekt ledde till porbildning [Fig. 45]. Dr. King avslutade sin intressanta presentation med några ord kring maskininläring där processinformation från det tidigare pålagda skiktet kunde användas för att optimera parametrarna för nästa.

Roy Orbon från Bosch Rexroth B.V. berättade om laserpåläggning av hydrauliska kolstänger som används inom off-shore, vilka är tämligen stora objekt med diametrar kring 200 mm och längder upp till 19 meter [Fig. 46]. Han inledde med ett lite filosofiskt resonemang kring att kundens förväntningar ofta är högre än vad kravspecifikationen anger. Produkterna i fråga skall uppfylla en mängd egenskapskrav bland vilka kan nämnas; slagseghet, böjmotstånd, slittålighet, korrosionsbeständighet samt minimalt underhåll. De faktorer som driver kostnaderna vid påläggningsoperationer är pulvermaterialet, påläggningsprocessen och graden av efterbearbetning, men där processdelen är mest avgörande. Därför hade man studerat tre alternativ; påläggning med pulverbåge, laser och PTA [Plasma Transferred Arc]. Det man i första hand eftersträvade var inte höghastighetspåläggning då denna per automatik ger ganska tunna skikt, och för de här komponenterna krävs tjockare skikt för att under längre tid kunna motstå korrosionsangrepp. Därför ville Herrn Orbon istället tala om påläggning med hög prestanda, och då blev pulvermatningen den



Figur 44.

Med avancerad processsimulering kan man validera den risk för nyckelhåseffekter som uppstår då påläggningsmunstycket vänder 180°, något som kan motverkas med en momentan sänkning av lasereffekten.



Figur 45.

Genom simulering vid LMD-uppbyggnad med överhäng kan lämplig effektnivå fastläggas, annars leder för hög effekt till nedhäng (t.v.) eller för låg till uppkomst av porer (t.h.).

viktigaste processparametern. Valet föll till slut på en 20 kW diodlaser från Laserline med koaxiell pulvermatning genom en rektangulär munstycksöppning. Avslut-

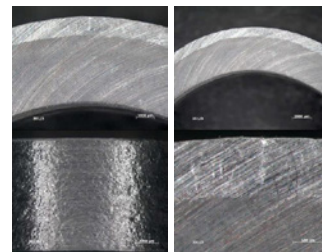
ningsvis resonerade han kring de olika krav som gäller för en laboratoriuminstallation med begränsad användning och en produktionsanläggning som kanske används dygnet runt.

Temat för Dr. Andreas **Wank** från GTV Verschleiss-Schutz GmbH var sensorteknik vid laserpåläggning för att minimera inlösnings i grundsubstratet och begränsa HAZ [Heat-Affected Zone]. Hans presentation beskrev två verktyg varav det första kallas LPowC [Laser Power Control], och där en CCD [Charge Coupled Device]-kamera används för bildanalys genom att mäta intensitet i processljuset inom ett område av två koncentriska cirklar [Fig. 47]. Ett praktikfall handlade om beläggning av ett rör i rostfritt 316-material med en diameter på 28 mm och en väggjocklek på 1,2 mm, där tre olika pulvermaterial användes; FeCr, NiBSi och Stellite6. Det pålagda skiktet varierade i tjocklek mellan 0,6 och 1,0 mm. Vid beläggning med Stellite6 fallerade emellertid processövervakningen vilket resulterade i en 50%-ig inlösnings i grundmaterialet med tillhörande sänkning av hårdheten i det pålagda skiktet.

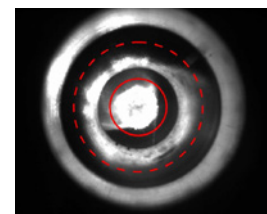
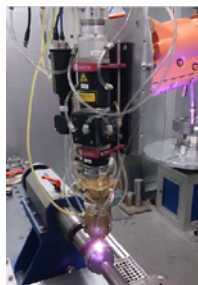
Det andra processverktyget kallas LPosC [Laser Position Control] och här är CCD-kamerans funktion att tjäna som följare genom att kartlägga ett område [ROI = Region Of Interest] nära fokuspunkten. Praktikfallet var här en verklig utmaning då det gällde att belägga gängan på en skruv vilken dessutom förvärmades till 500°C, något som resulterade i distorsioner som försvårade följningen [Fig. 48]. Här registrerar CCD-kameran avvikelser i ljusintensitet och översätter dessa till information i form av gråskalebilder vilka sedan analyseras i realtid. Resultatet återkopplas sedan till robotens styrprogram och därmed kan fokuspunktsläget justeras efter behov. En nackdel med systemet var enligt Dr. Wank att i vissa fall kan en extra laser krävas för belysning av den aktuella ROI.

Laserskärning

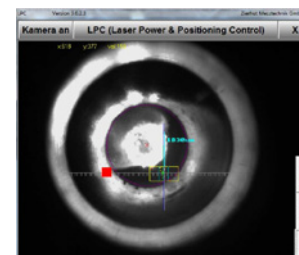
Laserskärning tilldrar sig fortsatt intresse inom forskningen, och i en dedikerad session kunde vi lyssna till tre intressanta fördrag. Inledde gjorde Daniello **Colombi** från BLM Group, som bl.a. tillverkar maskiner för laserskärning av upp till 12 meter långa rör [Fig. 49]. Han berättade om några maskinfunktioner som alla började med ordet "active". Vid "Active Piercing" regleras tiden mellan laserpulserna för att på så



Figur 46. Hos Bosch Rexroth B.V. belägger man hydrauliska kolvar för off-shore där höga krav på slitstyrka och korrosionsskydd föreligger. T.h. tvärsnitt och yta hos en belagd cylinder före respektive efter genomförd ytfinishoperation.

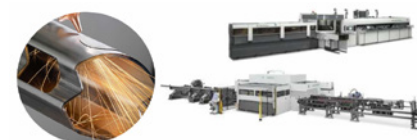


Figur 47. För att minimera inlösnings i grundsubstratet kan man använda verktyget LPowC som med CCD-kamera avläser intensiteten i processljuset inom två koncentriska cirklar och anpassar laser-effekten därefter.

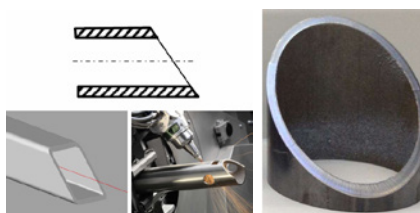


Figur 48. En verklig utmaning kan vara att ytbelägga artiklar med extremt komplexa geometrier som skruvgängan ovan utan att påverka dess geometri. Här kan verktyget LposC vara till hjälp, vilket tjänar som följning och vid variationer i ljusintensitet kan justera fokuspunktens läge för att på så sätt undvika distorsioner

Figur 49. Exempel på några rörskärnings-anläggningar från BLM Group.



Figur 50. Med funktionen "Active Speed" kan skärhastigheten anpassas så att man inte riskerar att skada den motstående väggen vid rörskärning, liksom då "tjockare" material måste penetreras om laserskärningen inte sker vinkelrätt mot mantelytan.

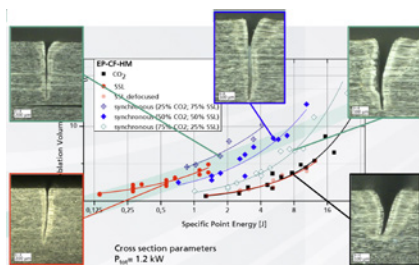


sätt optimera skärsnittets kvalitet. "Active Speed" används för att undvika skador på den motstående, inre rörväggen, men hastighetsanpassningen kan också användas vid fasskärning då ju plättjockleken "ökar" i jämförelse med då laserstrålen faller in vinkelrätt mot rørets mantelyta [Fig. 50]. Positioneringen av fokuspunkten i rummen bestäms via funktionen "Active Scan" och denna kombineras lämpligtvis med Precitecs kapacitetssensor för kontroll av skärmunstyckets avstånd till mantelytan.

"Active marking" är ytterligare ett BLM-verktyg och signore Colombi visade en helhetslösning där ett mjukvaruprogram kombinerade alla dessa funktioner så att de kunde utbyta information sinsemellan. För att utvärdera snittkvalitén var mjukvaran försedd med en algoritm för självinlärning hos maskinen. Det hela exemplifierades med en video där de olika funktionerna användes vid laserskärning av den bärande konstruktionen till ett bord. Närmast på önskelistan hade

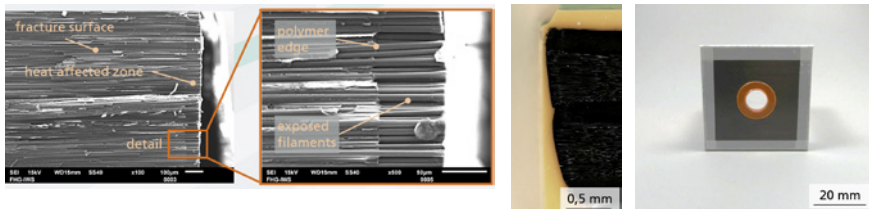
signore Colombi ett system där olika tillverkningsprocesser kunde kommunicera med varandra, exempelvis hur resultaten från en rörböckningsoperation kunde återkoppla och justera parametrarna vid den efterföljande laserskärningen.

Temat för Dr. Jan **Hauptmann** från Fraunhofer IWS var laserskärning av polymera material. Vanligtvis passar längre våglängder bäst för detta ändamål, och initiala försök hade genomförts med CO₂-lasrar med 10,6 och 9,3 µm våglängd och maximala effekter på 3,5 respektive 1,5 kW, samt en CO-laser på 1,5 kW med våglängdsområdet 5,2-5,6 µm. Dock visade sig laserskärning av kolfiberförstärkta polymerer vara ett svårbemästrat område, mycket beroende på de ingående komponenternas skilda termiska egenskaper. Sålunda förångas kolfibrerna vid cirka 3.800 °C medan det epoxibaserade matrismaterialet smälter redan vid 400 °C. Därför hade Dr. Hauptmann och kollegorna vid IWS använt sig av en form av våglängdskombination genom att sammankoppla laserstrålarna från en CO₂- och en fastkroppslaser i en speciell optik [MWO = Multi-Wavelength Optics]. Därifrån gick den resulterande laserstrålen vidare till ett "scanner"-verktyg benämnt "remocut®FRP" avsett för fjärrlaserskärning av CFRP. Materialet hade laserskurits med en sammanlagd lasereffekt på 1,2 kW och en skärhastighet kring 1 m/sek, vilket gjorde att det krävdes 20 repetitioner för att komma igenom den kolfiberförstärkta plastkompositen. Det bästa skärnittet, med minst materialavverknings, fick man om den totala lasereffekten fördelades med 75% på fastkroppslasern och 25% på CO₂-lasern, där den sistnämnda är nödvändig för att kunna sönderdela kolfibrerna [Fig. 51].



Figur 51. Att superpositionera strålarna från en fastkroppslaser och en CO₂-laser ger en förbättrad snittkvalitet vid skärning av kolfiberförstärkta polymerer.

En jämförelsestudie hade även gjorts mellan kontinuerlig och pulsad fjärrlaserskärning samt konventionell gasunderstödd laserskärning. Ett stort problem vid laserskärning av fiberförstärkta polymerer



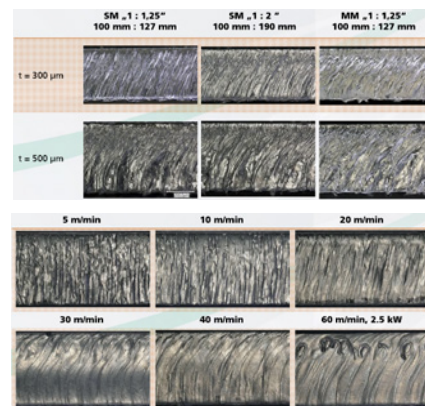
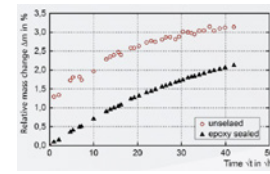
Figur 52. Ett problem vid laserskärning av CFRP är att fiberändarna lämnas öppna så att fukt kan absorberas i materialet genom kapillärverkan. Därför har IWS utvecklat ett verktyg med vars hjälp man kan efterteta snittytan vilket leder till ett avsevärt reducerat fuktpåtag.

är att fiberändarna lämnas öppna och på så sätt kan fukt absorberas i materialet genom kapillärverkan. Därför avslutade Dr. Hauptmann med att visa ett verktyg som utvecklats vid institutet med vars hjälp man kunde efterteta fiberändarna med en epoxiplast [Fig. 52].

Siste talare i sessionen var gamle Dr. Wolfgang **Rath** från Coherent/RofinSinar, som här fick agera "stand-in" för Dr. Wieland **Klein** [Heinrich Georg GmbH Maschinenfabrik], vilket var synd då föredraget handlade om laserskärning för lagerhållna produkter hos just företaget Georg. Idag förfogar man där över en tvådimensionell planskärningsmaskin till vilken man kan koppla endera av två RofinSinar-lasrar; en FL020 SM-laser och en FL040 MM [Multi Mode] -laser. Vanliga material som skärs är elektriska stål, aluminium och zinkbelagt kolstål som t.ex. DOCOL-kvaliteter från SSAB. Skärlängderna uppgår som mest till 500 mm och den hittills högsta uppnådda skärhastigheten ligger kring 150 m/min [Fig. 53]. Typiska värden för skärspalten är 40-100 µm, och den värmepåverkade zonen kan begränsas till blott 10 µm. En stor framgång, som Dr. Rath lyfte fram, var den att man lyckats skära aluminium tämligen slaggfritt. Beträffande framtida laserskärning ansåg han det inte vara någon utopi att framgent kunna skära i hastigheter upp till 500 m/min om man använde en 10 kW-laser ur RofinSinars, eller numera Coherents, sortiment.

Multi-Material Design

Redan under EALA-konferensen i februari presenterades en grundlig genomgång av hur olika lasertekniker kan användas vid "multi-material"-tillverkning av Frau Annett **Klotzbach** [Fraunhofer IWS]. Här fick vi nu en uppdatering med inslag av några nyheter. De senare handlade mest om något som kallades HPCI [Heat Press Cool Integrative, Fig. 54] och utgjordes av en punktsvetsliknande tång,



Figur 53. Slaggfri laserskärning av aluminium (överst) med en hastighet av 150 m/min, och t.h. snittkanter för laserskuret 0,8 mm tjockt DOCOL-material.

men där laserljus användes i stället för en elektrisk strömkrets för att ge en momentan vidhäftning mellan en polymer och en metall. Själva den lastbärande kraftöverföringen tänktes sedan ske via ett tidigare applicerat värmehärdande lim mellan komponenterna. Som laserkälla hade Frau Klotzbach använt en single-mode fiberlaser från IPG [YLS 2000-SM] där laserstrålen defokuserades till en 5 mm stor fokuspunkt. Den punktsvetsliknande tången kunde ställas med en tryckkraft i intervallet 0,25-10 N/mm², och det optimala värdet fastställdes genom mekaniska simuleringar i ABAQUS. Denna tång hade använts för att sammanfoga galsfiberförstärkt PA6 [PolyAmid] med E355-stål alternativt aluminium i legeringen AW6082. Den lokala uppvärmningen sker väldigt snabbt, eller med 500 °K per sekund, vilket gjorde att det tog < 2 sekunder att skapa "punktsvetsen" i stålkombinationen och < 4 sekunder i aluminiumfallet.

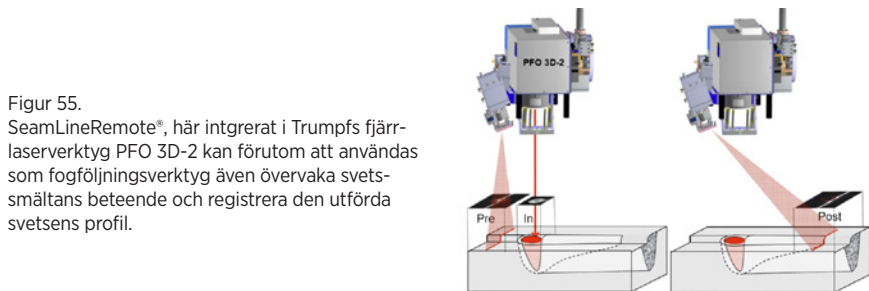
Mark **Kirchhoff** från Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH var en annan talare under sessionen kring multi-material och design där han passade på att lyfta fram några av företagets produkter. Att reducera svetsflänsar i bilkarosser har ju under många år varit ett sätt att minska vikten hos dessa eftersom laserstrålen har en lättare åtkomst till fogområdet än en

punktsvetsstång. Den ultimata kortaste flänsen får man om lasersvetsen positioneras på plåtkanten, men för detta krävs någon form av sensorbaserat följningssystem. Ett sådant är Trumpfs "SeamLineRemote"® [Fig. 55] för fjärrlasersvetsning, som består av en form av kameraövervakning och används nu hos bl.a. Daimler för svetsning av sidodörrar i aluminium. Ett annat Trumpf-verktyg är företagets "BrightLineWeld"® där laserstrålen från en singular laserkälla delas upp i två genom en i fibern integrerad optik [2in1-fiber] och därmed möjliggör aluminiumsvetsning utan tillsatsmaterial [Fig. 56]. Ett annat användningsexempel som togs upp av Herrn Kirchhoff handlade om hur man kunde förstärka en komponent i vissa lokala områden med hjälp av LMD [Fig. 57]. Slutligen fick vi på nytt höra hur lasertekniken används för att foga samman plaster med metaller. Först struktureras metallytan med en pulslaser med 1 kW medeleffekt. Därpå är normalt nästa steg att en laserstråle ansätts från metallytan, och genom värmeledning genom metallen uppvärms och smälter polymeren varpå den flyter in i det strukturerade metallmönstret. Det nya i den nu presenterade lösningen var att inte använda laser utan andra typer av värmekällor, som exempelvis ugn eller induktion, för att smälta polymeren.

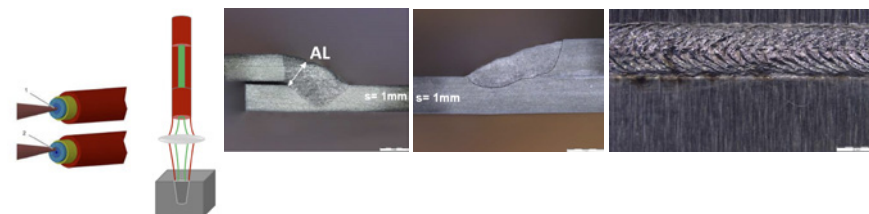
Sammanfattningsvis vill jag säga att det var två väl använda arbetsdagar att bevista det här evenemanget som med typisk, tysk precision genomfördes på ett smidigt och exemplariskt sätt. Även om huvudtemat för konferensen var "Industry 4.0" tror jag inte så många av åhörarna blev särskilt mycket klokare på vad begreppet innebär, men jag tror inte heller att något sådant hade förväntats. Inte helt oväntat redovisades många forskningsresultat från diverse IWS-medarbetare, och som deltagare gavs man även möjlighet att besöka institutets lokaler på Winterbergstrasse dagen innan lasersymposiet startade. Då fick man möjlighet att bekanta sig med de utrustningar som finns tillgängliga, och vilken experimentell lasersverksamhet som kan utföras där. Konferensen börjar få en del internationella inslag, vilket motiverar den simultantolkning av föredragen som numera förekommer under de tekniska presentationerna. Detta tillsammans med den ytterst givande "table-top"-utställningen gör att jag varmt kan rekommendera ett deltagande vid nästa evenemang som kommer att gå av stapeln i Dresden 11-12 mars 2020. ■



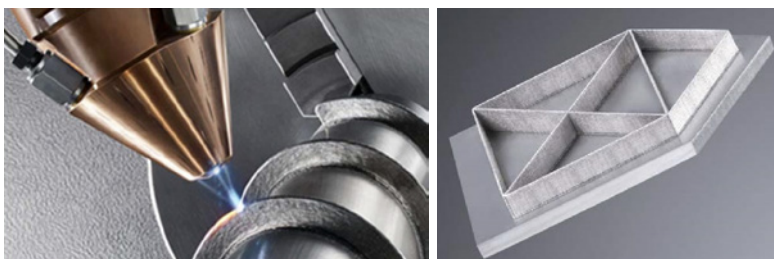
Figur 54. Frau Annett Klotzbach presenterade en av många IWS-innovationer; HPCI, vilken är en punktsvetsliknande tång med integrerad distribution av en laserstråle, och med vars hjälp man exempelvis kan foga glasfiberförstärkta artiklar till metall i en karosstruktur.



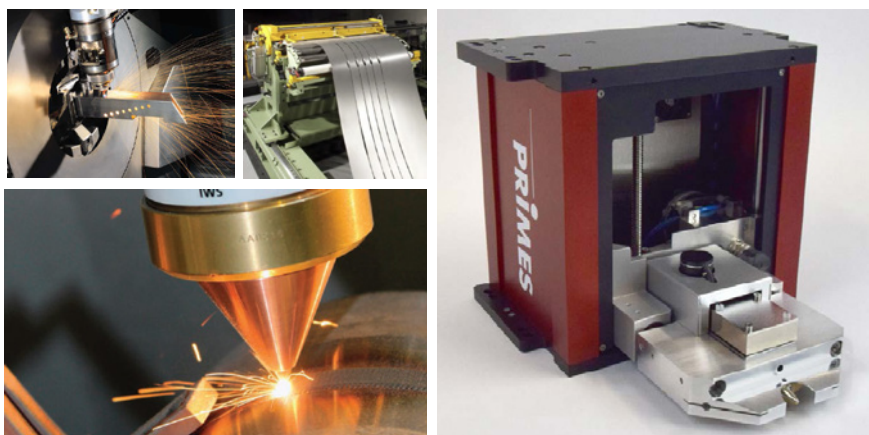
Figur 55. SeamLineRemote®, här integrerat i Trumpfs fjärrlaserverktyg PFO 3D-2 kan förutom att användas som följningsverktyg även övervaka svetsmåltans beteende och registrera den utförda svetsens profil.



Figur 56. T.v. principen för Trumpfs BrightLineWeld®, vilken ger kvalitativa laser-svetsar i aluminium. Plåtarna ovan är svetsade med 2,4-4,4 kW och en strålkvalitet på 4 mm*mrad. Processhastigheten låg mellan 3,5-4,0 m/min.



Figur 57. Några exempel där LMD använts för att lokalt förstärka komponenter.



Fråga laserdoktorn

Fråga

Jag har en fråga som indirekt berör laserskärning. Vid installationen av lasermaskinen krävs en reglering av gastrycket innan gasen går in i maskinen. Nu nämnde någon att det är en fördel att använda en tvåstegsreglering av gastrycket. Hur kan det komma sig? Hur fungerar en regulator egentligen?

Svar

Som svar på din fråga kan jag berätta att en regulator, precis som du nämnde, primärt används för att reducera det ingående trycket från flaska eller tank. I fallet med flaskor/paket handlar det om att minska trycket från 2-300 bar ner till lämpligt tryck (I många fall 30 bar för skärnitrogen och 5 bar för resonatorgas). Tankarna har en inbyggd regulator som reducerar trycket till lämpligt nättryck. En regulator innan anslutningen till maskinen är här en garanti för att få ett stabilt tryck in i maskinen.

I en regulators karakteristik ingår att det s.k sekundärtrycket, dvs det reducerade trycket hos en enstegsregulator stiger med typiskt 0,1 bar då flasktrycket sjunker med 10 bar. I praktiken innebär detta att sekundärtrycket stiger med nästan 2 bar då flasktrycket sjunker från 200 bar till tom flaska, **bild 1**.

En tvåstegsregulator är egentligen två regulatorer hopbyggda till en. Den första regulatorn är fast inställd på ett givet sekundärtryck, och den andra regulatorn är reglerbar ner till önskat tryck. Genom tryckreduceringen i den första skapas en mindre variation i ingående tryck för den andra regulatorn. Genom detta minskar tryckvariationen då flaskan töms. Ett

typiskt värde på ökningen i utgående tryck då flasktrycket sjunker 10 bar är 0,01 bar. Resultatet blir då att utgående tryck stiger med 0,2 bar då flasktrycket sjunker från 200 ner till tom flaska.

I installationer med gascentraler reduceras trycket i ett första steg i själva centralen och i ett andra steg i regulatorn vid maskinen. Här fås också en annan fördel än det som beskrivs ovan, de flesta gascentraler med automatisk växling styrs av ett s.k differenstryck som behövs då centralen växlar från tom till full sida. Differenstrycket kan, beroende på vilket driftryck som behövs i vissa fall uppgå till 4-5 bar. Regulatorn vid maskinen utjämnar differenstrycket och lasern får en stabil tryckmatning. I många maskiner är det också specificerat vilken tryckdifferens som är tillåten. Här kommer tvåstegsreduceringen in som en naturlig lösning.

En regulators funktion är inte så lätt att förklara på ett kortfattat sätt, men enkelt sett fungerar en regulator enligt **bild 2**. Högtryck matas in I den högra delen på bilden. Gasen leds i regulatorn som styrs av ventilen i nederkant på bilden. När trycket stiger lyfts membranet och ventilen stänger gastillförseln. Utgångstrycket och ingångstrycket balanseras mot kraften på fjädern med vilken önskat tryck ställs. När gas strömmar ur regulatorn sjunker trycket i huset, ventilen i nederkant öppnas och ny gas flödar in i regulatorhuset tills jämvikt uppnås. Om fjädern spänns ökar sekundärtrycket eftersom ingångstrycket sjunker, detta för att kunna balansera membranet mot fjäderkraften. Det här är också orsaken till att sekundärtrycket stiger då flasktrycket sjunker. Membran tillverkas i gummi för industrigasregula-



Bild 1.
Enstegs flaskregulator

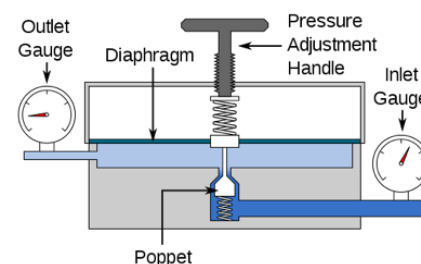


Bild 2.
Schematisk skiss 1-stegregulator. (Källa Mintrick, English Wikipedia)

torer och i rostfritt material för gaser med hög renhet. Om kraven på tryck är höga räcker inte membranet till, istället används en kolv. Funktionen är dock densamma.

Jag hoppas du fick svar på dina frågor i och med detta. Regulatorer är en vetenskap i sig och skulle egentligen behöva en hel artikel i utrymme för att ge en fullständig förklaring till hur de fungerar. ■



Lasersvetsning bidrar till högkvalitativa mässingsinstrument

Johnny K Larsson,
Autokropolis Engineering

Amati-Denak tillverkar blåsinstrument i trä och mässing, och erbjuder produkter i olika prisklasser, men satsar i första hand på högkvalitativa lyxmodeller. Även om företaget har en rik historia som sträcker sig ända tillbaka till 1600-talet ställer man sig inte främmande för nya tillverkningsmetoder.

Nyligen genomförde man en dramatisk teknologiförändring vid produktionen av trumpeter och saxofoner [Fig. 1]. Vad som tidigare utfördes som manuella mjuklödningsoperationer har nu ersatts av robotiserad lasersvetsning, speciellt för de mer lyxinriktade varianterna av instrument.

Amati-Denak, som har cirka 200 anställda, är marknadsledande då det gäller variantflora och kvalitet, och som ett resultat av detta är man en av de största instrumenttillverkarna i Europa.

Företagets samtliga produkter tillverkas i huvudfabriken i Kraslice i Tjeckien där man har en stark tradition då det gäller att tillverka trä- och mässingsblåsinstrument. Alla instrument tillverkas i material av högsta kvalitet och med ett stort inslag av hantverksmässighet kombinerat med modern teknologi. Amati-Denaks instrument efterfrågas p.g.a. sina prisvinnande egenskaper som vacker och mogen ljudkvalitet, god intonation, funktionell tillförlitlighet, perfekt yrkesskicklighet och en överkomlig prisbild.

Även om Amati-Denak är ett mycket traditionellt företag har man alltid hållit utkik efter innovationer och bästa tillgängliga teknik, så att deras instrument kan tillverkas med högsta kvalitet vad gäller design och ljudbild. För inte så länge sedan identifierades ett tekniskt problem vid sammansättningen av trumpeter och saxofoner. Ett antal förutsättningar och krav gör att dessa måste sättas samman av

ett flertal detaljer i olika mässingslegeringar. Dessa hade traditionellt utförts som lödfogar med blybaserat lodmaterial eller plasmasvetsats [PTA = Plasma Transferred Arc = PTA]. Dessa metoder är enkla och passar väl vid manuell tillverkning, men det uppstår alltid en liten grad på instrumentets invändiga yta, vilket kan leda till ett visst missljud.

Då svetsförsök med konventionella metoder misslyckades med att skapa tillförlitliga fogar vände sig Amati-Denak till företaget MATEX Lasers & Automation Pvt. Ltd. [Panjagutta-Hyderabad, Indien] för att få hjälp. Dess svetsexperter arbetade tillsammans med tekniker från Amati-Denak med att utveckla svetsfixturer som skulle möjliggöra lasersvetsning med hög kvalitet. Efter ett flertal försök lyckades man hitta de rätta svetsparametrarna och kunde därmed presentera lasersvetsade instrument [Fig. 2].

MATEX använde en av sina robotise-



Figur 1.
Exempel på lasersvetsade artiklar till saxofoner, där en lättare polering av svetsrågen innebär en näst intill osynlig fog.

rade laserceller för att utföra lasersvetsning åt Amati-Denak. Cellen baseras på en KUKA-robot och Laserlines diodlaser med stråldistribution via fiber. Tillgänglig effekt är 5 kW och kan användas såväl i cw [continuous wave] som i pulsad mode. Man provade också ett flertal olika skyddsgasblandningar. Vid konstruktionen av mässingsinstrument används olika legeringskvaliteter med skilda godstjocklekar, och man fruktade att materialets höga reflexionsfaktor skulle äventyra svetsprocessen. Detta visade sig emellertid vara hanterbart, utan den stora utmaningen låg i att konstruera en fixtur med hög precision i vilken det blir möjligt att placera instrument med komplexa former i exakt position inför svetsoperationen.

Alla Amati-Denaks processkrav uppnåddes med hjälp av lasertekniken, då olika mässingslegeringar låter sig svetsas, metallytan kan förbli i blänkande, polerat skick, samtidigt som inget tillsatsmaterial behöver användas. Enbart svetsar med högsta kvalitet godkänns, vilket innebär släta ytor, ingen porförekomst, och minimal efterbearbetning av instrumentens inner- och ytterytor. Innan lasersvets-

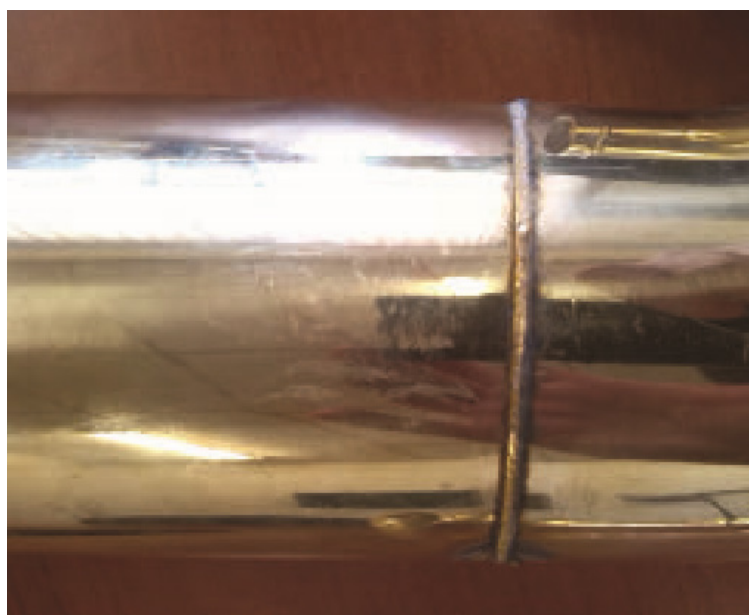
ningen förekommer inte någon särskild ytbehandling av mässingen och förvärmning inför denna är inte tillåten.

Svetsningen utförs i stumfogsgeometri, utan tillsatsmaterial och poleras efteråt mekaniskt för att göra svetsfogen så gott som osynlig. Svetshastighet och kostnaden per meter svets är av underordnad betydelse då det är uppenbart att lasersvetsningen är mycket snabbare och mer kostnadseffektiv i jämförelse med andra produktionssteg. Det viktigaste är instrumentets visuella kvalitet. Laserkällans våglängd tycks inte ha någon större betydelse för svetsresultatet då diodlaserns våglängd ligger nära den hos en Nd:YAG-laser. Däremot kan man med diodlasern kombinera optimal pulslängd med den förhandenvarande plåttjockleken, svets-hastigheten och vald skyddsgasatmosfär.

Eftersom MATEX-personalen mest var van vid laserhårdning av komponenter till bilindustrin och tunga maskiner, var dess laseroperatörer i början skeptiska inför uppgiften att lasersvetsa mässingsinstrument, men såg det samtidigt som en utmaning att bevisa sin yrkesskicklighet. Det visade sig nödvändigt att utföra mängder

av svetsförsök, analyser av svetskvaliteten och varianter i fixeringen av detaljerna, varför det tog lång tid att fastlägga de korrekta parametrarna. Men sedan de första instrumenten hade lasersvetsats med framgång kunde man tydligt se operatörernas stolthet inför denna from av tekniskt genombrott. Det skulle aldrig ha varit möjligt att lösa alla tekniska problem utan deras entusiasm och skicklighet.

Idag används lasersvetsningen med självklarhet vid tillverkningen av instrument i toppklass, vilket är något helt annat än volymproduktion av personbilar, som är ett typiskt applikationsområde för lasersvetsning. Det här användningsområdet är mer att likna vid prototyp-tillverkning, men både Amati-Denak och MATEX är övertygade om att lasertekniken bidrar till att skapa mästerverk med en unik design och överlägsen ljudkvalitet. Robotiserad lasersvetsning, istället för konventionella löd- och svetsprocesser, är nu förstahandsvalet vid tillverkning av mässingsinstrument, då metoden uppfyller Amati-Denaks högt ställda krav på att åstadkomma en perfekt hopfogning av mässingsartiklar. ■



Figur 2. Med rätt parameterval, i form av lasereffekt, svets-hastighet, fokalpunktsläge och optimalt val av skyddsgasblandning, får man en hög kvalitet vid svetsning av mässingslegeringar.



Fiberlasern börjar äntligen användas vid industriell produktion konstaterar Frank Gäbler

Johnny K. Larsson,
Autokropolis Engineering

En återkommande besökare vid den årliga ICALEO [International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics] -konferensen är Frank Gäbler, som jag haft många och djuplodande laserdiskussioner med genom åren. I sin roll som europeisk marknadschef för den nya konstellationen Coherent/RofinSinar har han kunnat konstatera att efterfrågan på fiberlasrar från industriföretag ökat kraftigt under den senaste tiden. Inledningsvis var ju denna typ av laserälla mer eller mindre exklusivt använd för laserforskning vid universitet och laserinstitut, men börjar nu betraktas som ett moget och tillförlitligt verktyg för industriell användning. I det följande låter jag sympatiske Frank själv få beskriva den dynamiska utveckling och acceptans från industrins sida som skett under senare år beträffande fiberlasertekniken.

Skärning och svetsning av grovplåt kräver högre lasereffekt än nästan varje annan typ av laserbearbetning. Inom oljeindustrin är en viktig applikation för grovplåtskärning den som skapar de smala slitsar i insatser avsedda att separera oljan från olika sediment i form av sand och grus. Traditionellt har detta mest gjorts med diffusionskylda CO₂-slablasrar, men nu börjar fiberlasrar med flera kilowatts effekt att penetrera detta marknadssegment.

Med grovplåt i dessa sammanhang menas tjocklekar på åtskilliga millimetrar där högeffektlasrar konkurrerar med mer traditionella metoder som sågning, fräsning, plasmaskärning eller abrasiv vattenskarvning [AWJ = Abrasive WaterJet]. Lasern är i många grovplåtsapplikationer förstahandsvalet p.g.a. fördelar som går att härleda till kombinationen av en liten

fokalpunkt med hög energitäthet. Dessa fördelar innefattar en smal värmepåverkad zon [HAZ = Heat Affected Zone], minimala värmedistorsioner, högkvalitativa snittytor, smal skärspalt, förmågan att skära skarpa hörn med liten radie, snabb och enkel initialpenetration, samt hög dimensionsnoggrannhet såväl i början som i slutet av snittet. Dessutom, eftersom det inte förekommer något verktygsslitage vid laserbearbetning, är sådana fördelar oförändrade över tiden.

Laserskarvning är också en flexibel process som lämpar sig väl för automatisering med digital kontroll och programmering för att skära svåra och komplexa tredimensionella geometrier. För att skära ”slutna” geometrier som slitsar och hål, vilka kräver en initial penetration, kan samma laserälla användas för såväl sagda penetration som själva skäroperationen med bibehållen storlek på skärspalten.

I motsats till detta ger plasmaskärning sämre kvalitet på såväl snittyta som dimensionsnoggrannhet. Sågning och fräsning är långsamma metoder vilka knappast klarar alltför komplexa geometrier samtidigt som deras prestanda försämras över tiden. Slutligen är den abrasiva vattenstråletekniken även den långsam, samtidigt som den medför mindre miljövänliga effekter i form av en otroligt hög ljudnivå och tiotals kilo förbrukning av slipsand per timme. AWJ saknar också den kontroll av skärdjupet som en fokuserad laserstråle erbjuder. Man kan m.a.o. inte skära hål i ett rör utan att skada rörets motsatta sida.

Stålrör försedda med slitsar, i dagligt tal kallade insatsfilter, används vid oljeprospektering och produktion. Medan hög-

kvalitativ råolja har låg viskositet produceras tyngre råolja ur många oljefält världen runt som i exempelvis Venezuela, Ryssland och USA. Denna oljetyp är mer högviskös och innehåller en avsevärd mängd sand och gruspartiklar.

Därför har oljeindustrin utvecklat dessa med slitsar försedda stålrör för att på så sätt kunna filtrera råoljan [Fig. 1]. Rören används främst i den s.k. produktionszonen där råoljan flyter genom slitsarna in i distributionsröret eller ”pipelinen” och upp till markytan. I normalfallet fungerar slitsarna som en form av sil och sällar bort ungefär 95% av de oönskade partiklarna.

Rörinsatserna förväntas hålla under hela oljekällans livslängd, vilket i tid kan röra sig om flera års drift. För att kunna stå emot uppkomna tryck och förslitning under så långa tidsperioder tillverkas de typiskt av stålrör med 10 mm vägg tjocklek. Rördiametrarna varierar mellan 20-30 cm och längderna mellan 5-12 meter. Lyckligtvis är rost inget speciellt problem i den anoxiska miljö som en oljekälla utgör varför det går utmärkt att använda obelagda stålrör i mjukt material.

Kritiska parametrar under långvarig oljeutvinning är slitsarnas dimensioner, dess antal och i vilket mönster de är orienterade, samt slitsarnas tvärsnittsprofil. Vid konventionellt tillverkade slitsar kan partiklar fastna inuti dessa, och allt eftersom denna form av blockering byggs upp minskar oljeflödet till en oacceptabelt låg nivå. För att minska detta fenomen försöker man ge slitsarna en konisk tvärsnittsform så att deras bredd på utsidan av röret är smalare än bredden på rörväggens insida [Fig. 2]. Att göra detta med mekaniska metoder, som exempelvis fräsning,

har begränsningar och är i vissa fall mer eller mindre omöjligt, men med laserskärning kan man enkelt åstadkomma vilken konisk form som helst. Slitsarnas dimensioner väljs så att de matchar de förväntade föroreningspartiklarnas storlek, och för tyngre råoljor kan bredden variera från 0,25 mm upp till och ibland över 6 mm, och med en typisk längd på 100 mm.

För varje rör är det totala antalet slitsar per rörlängd tämligen imponerande då industristandarden för tung råolja kräver minst 3% öppning av den totala mantelytan hos rören i produktionszonen. För ett 12 meter långt rör kan detta innebära uppemot 10.000 individuella slitsar. Oljeindustrin kräver också flera olika mönster som slitsarna skall arrangeras i beroende på typen av oljekälla.

Dylika perforerade rör används också för att utvinna extremt tungflytande oljor, typ bitumen, ur horisontella källor genom aktiva utvinningstekniker såsom cyklisk ångstimulering [CSS = Cyclic Steam Stimulation] eller ångunderstödd gravitationsdränning [SAGD = Steam-Assisted Gravity Drainage]. Dessutom kan de användas för att extrahera kolbunden metangas [CBM = CoalBed Methane] ur horisontella oljekällor. Användningen av slitsade rör förekommer även inom andra branscher än oljeindustrin. Sålunda använder man ibland sådana vid vattenrening, för geotermiskt drivna kraftstationer samt vid provborrningar. Därför är det inte överdrivet att betrakta denna form av bearbetning av rör som en högvolummarknad.

Laserskärning av de beskrivna rörslitsarna övervägdes redan för flera år sedan som ett alternativ till sågning eller fräsning. Emellertid kräver väggjockleken och antalet slitsar att det krävs flera kilowatt från en cw [continuous wave] –laser för att åstadkomma en ekonomiskt konkurrenskraftig produktivitet. Under många år saknade lasermarknaden emellertid källor som kunde leverera såväl hög effekt som en utmärkt strålkvalitet, samt fungera i 24/7-operation med minimalt underhåll.

Den diffusionskylda slablasern av CO₂-typ kom att ändra på detta när den lanserades på 1990-talet. I detta koncept används en minimal mängd, lågt trycksatt lasergas som i resonatorn befinner sig mellan två kopparelektroder med stor ytutbredning och placerade nära varandra. Ett stabilt plasma upprätthålls genom radiofrekvent [RF = Radio Frequency] excitering genom dessa elektroder, vilka är

vattenkylda för att effektivisera kylningen av den lasrande gasen och därigenom maximera laserns verkningsgrad. Detta innebar att den här lasertypen kom att få något av ensamrätt då det gällde den ovanbeskrivna slitsningen av oljerör.

På senare år har emellertid fiberlasernas prestanda kontinuerligt förbättrats, inte minst då det gäller möjligt effektuttag. Således erbjuder Coherent nu fiberlasrar med upp till 10 kW effekt, vilket är tillräckligt för att laserskära mjukt stål i tjocklekar upp till 30 mm.

Den ovan nämnda rörskärningen är endast en av många grovplåtsapplikationer som befinner sig på olika utvecklingsstadium beträffande godkännande och utvärdering av fiberlasern som ett alternativ till klassiska CO₂-lasrar och andra lasertyper. Eftersom vi på Coherent kan erbjuda högeffektsvarianter av båda lasertyperna har vi på senaste tiden fått många uppdrag då det gäller att göra jämförande utvärderingar av de två lasertyperna, berättar Dr. Gäbler, något som pågår för fullt i vårt applikationslaboratorium i Hamburg. Vi har samarbetat med olika maskinbyggare som är verksamma i rörskärningsbranschen och framgångsrikt lyckats kvalificera en 2,5 kW fiberlaser, vilken skär lika snabbt som en 3 kW CO₂-slablas.

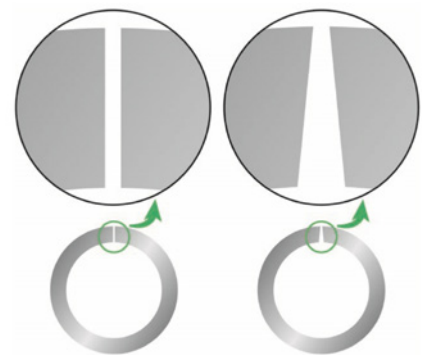
Det finns flera faktorer som gör att maskinbyggarna intresserar sig för högeffektsfiberlasrar. En sådan är den avsevärda skillnaden i våglängdsområde som de två lasertyperna arbetar i. CO₂-lasern har en våglängd på 10,6 µm i det infraröda området. Laserstrålen distribueras till skärverktyget via spegeloptiker inneslutna i tubliknande robotarmar, vilka kontinuerligt måste rengöras för att undvika skador på spegeloptiken. I motsats till detta arbetar fiberlasern med en våglängd kring 1 µm vilket gör att laserstrålen på ett effektivt och flexibelt sätt kan skickas genom en optisk fiber till arbetsstycket. Den flexibla fibern förenklar robotintegrering och eliminerar även de rumsliga begränsningar som de teleskopiska robotarmarna medför. Därutöver kräver fiberlasern mindre underhåll i jämförelse med CO₂-slablasern, samtidigt som den uppvisar högre elektrisk verkningsgrad. Alltså sänks såväl underhålls- som elkostnader vid fiberlasernvändning. Sammantaget innebär detta en lägre ägandekostnad och minskade kostnader per tillverkad enhet.

P.g.a. detta kan vi i framtiden räkna med att se en ökande användning av fiberlasrar vid skärning av rör med kraftiga väggjocklekar, även om CO₂-lasrar

fortfarande används för ändamålet då äldre varianter av fiberlasrar inte kunnat uppfylla ställda krav. Laserskärning av slitsar i filtterrör till oljeindustrin tydliggör hur viktigt det är att arbeta med leverantörer med erfarenhet och supportmöjlighet för båda laserteknikerna. På så sätt blir det möjligt att välja den ultimata laserkällan för varje enskild applikation. ■



Figur 1. Insatsrör som används för att separera sediment i tung råolja kräver tusentals laserskurna slitsar. Därför behövs laserkällor med hög effekt så att satta produktivitetskrav kan innehållas.



Figur 2. En lösning med slitsar som har en konisk tvärsnittsform eliminerar risken för att sedimentpartiklar fastnar i dessa. Sådana geometrier är näst intill omöjliga att skapa med andra tekniker än laserskärning.

Additive Manufacturing: by TRUMPF

LMD: Laser Metal Desposition &

LMF: Laser Metal Fusion: only by TRUMPF

svenscommln.se



Laser Metal Deposition

TruLaser Cell 3000

Laser Metal Fusion

TruPrint 1000



Vi förser tillverkande industri med
nyckelfärdiga robotceller för lasersvetsning

PERMAFLEX
samlad kunskap i en robotcell



Kvalitet. Produktivitet. Lönsamhet.
www.permanova.se

www.se.trumpf.com
info@se.trumpf.com

