

Lasernytt



2-2017

KALENDARIUM 2017

OKTOBER

4	LaserNytt 2-2017	
5	Laserdag Volvo AB, Umeå	Per Westerhult

NOVEMBER

9 eller 16	Seminarium Additiv tillverkning, Swerea IVF, Göteborg	Per Westerhult
------------	---	----------------

DECEMBER

8	LaserNytt 3-2017	Per Westerhult
---	------------------	----------------



LASERNYTT NR 2-2017

Höjdhållning – en oundgänglig teknik



LASER
LASERGRUPPEN



Additiv
tillverkning
LAM 2017



Rapport
från LANE 2017
- del 3



EALA 2017

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

3D-laserskärning med Precitec
SolidCutter och robot.

Produktion: BrandFactory

Tryck: BrandFactory, Stockholm
www.brandfactory.se



INNEHÅLL

LASERDAG HOS ALFA LAVAL I LUND

En veteran inom lasersvetsning

2

REKORDHÖGT DELTAGANDE VID EALA 2017

Indikerar att lasern fortfarande är ett viktigt verktyg för bilindustrin

6

UTVECKLINGSTRENDERNA INOM LASERBASERAD ADDITIV TILLVERKNING

På båda sidorna av Atlanten beskrevs vid LAM 2017

17

Nya seniorforskare vid Luleå tekniska universitet

25

SÄVÅL TRADITIONELLA SOM NYA ANVÄNDNINGSMRÅDEN FÖR LASERTEKNIKEN

Presenterades vid LANE 2016

26

LASER PROCESSING AROUND THE WORLD - DEL 5

Laserskärning vid tillverkning av lagersystem

33

SAMTAL KRING LASERTRENDER DEL 27

Hideki Taoka-san berättar om Hondas nya, laserbaserade höghastighetsklipplinje

35

SECO ÖKAR PRODUKTIVITET

Och minskar kassationer med laserhårdning

37

DIREKT DIOD:

Lovande framtid

38

PRODUKTIVITET

vid Laserpåsvetsning

40

2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADDITIVE MANUFACTURING,

ISAM, Dresden Februari 2017

42

HÖJDHÅLLNING

En outhärlig teknik för industriell laserskärning

45

Inspiration

Med en avslutad semesterperiod i bagaget inväntar vi nu den mörkaste perioden på året. Men allt är inte bara mörker, laserbranschen strävar oförtrutet mot nya mål. Den klassiska laserskärningen har fått ny luft under vingarna tack vare fiber/disk-lasersns genombrott. Vad väntar runt hörnet? Nya laserkällor som kan lyfta skärningen till ännu högre nivåer? Lasersvetsning- en utvecklas fortfarande, om än i en makligare takt. Utvecklingen på konstruktions- och materialsidan skapar nya behov, t.ex. utveckling av lasersvetsning i aluminium. Som lök på laxen ser nu additiv tillverkning ut att få sitt stora genombrott. Designfrihet och flexibilitet skapar nya möjligheter. Chalmers startar nu upp ett kompetenscentrum på temat, men även andra intressenter är också aktiva inom området, t.ex. Swerea/Kimab och Högskolan Väst. Additiv tillverkning är för övrigt ett övergripande begrepp. Etablerade metoder som t. ex. laser cladding ingår i benämningen, men i dagligt tal är det oftast 3d-printing som avses. Utvecklingen på pulversidan går rasande snabbt, och listan över tillgängliga material blir allt längre. Något som skapar nya möjligheter för produkter designade för möta krav på egenskaper som korrosionsbeständighet, hållfasthet, vikt mm. Det ska onekligen bli spännande att delta i, och följa utvecklingen inom området.



TANKAR FRÅN STYRELSEN

BO WILLIAMSSON, AGA GAS AB



Laserdag hos Alfa Laval i Lund -en veteran inom lasersvetsning

Hans Engström
Levitronics Lasersystem AB

Alfa Laval AB i Lund var värd för årets första Laserdag en gråkulen dag i slutet av mars, när den skånska våren ännu låg i sin linda. Dagen blev en succé med hela 35 deltagare som fick en god inblick i hur ett internationellt framstående företag arbetar med laser- och produktionsteknik.

Alfa Laval i Lund är en av laserpi-onjärerna i den svenska laserhistorien. Redan i slutet av 1980-talet så införde man lasersvetsning i sin produktion av värmeväxlare igenom ett tätt samarbete med bl. a. Tore Salmi vid Permascand i Ljungaverk. Jag vill anse att detta har varit av stor betydelse för utvecklingen av laserteknik i Sverige, eftersom den visade att lasersvetsning i volymproduktion för krävande tillämpningar gick att utföra med svenskutvecklad lasersystemteknik.

Värdar för dagen var Jonas Törnqvist, linjechef lasersvetsning och Daniel Björkström, svetsingenjör.

Korta ledtider och hög flexibilitet är ledord i produktionen

Anna Wieslander, produktionschef, inledde dagen med att presentera Alfa Lavals verksamhet

Produktionschef Anna Wieslander berättade om Alfa Lavals verksamhet där 100 % av tillverkningen är kundorderstyrd och man stävar oförtrutet mot korta ledtider och hög flexibilitet inom produktionen. Man har utvecklat ett eget leaninspirerat produktionssystem, ALPS (Alfa Laval Production System) som ett

Anna Wieslander berättar att Alfa Laval har som mål att optimera kundernas pro-



Figur 1.
Värdar för laserdagen hos Alfa Laval i Lund var Jonas Törnqvist och Daniel Björkström.

cesser över tid inom nyckel teknologierna:

- värmeöverföring där man har ca 30 % av världsmarknaden
- separation (25-30 % av världsmarknaden)
- flödeshantering (10-12 % av världsmarknaden)

Man arbetar inom områdena:

- Energi (olja gas, kemikalier) där energi-effektivitet och hållbarhet är nyckelord
- Livsmedel och vatten (tillverkning och avsättning)
- Marin teknologi, (rening rökgaser, kylsystem, separation av oljor)

- Vi har 42 produktionsenheter och 100 serviceenheter med egna säljbolag i 55 länder och representation i ytterligare 45 länder, fortsätter Anna. Totalt har Alfa Laval ca 18 000 anställda varav 6200 inom tillverkning. I Lund arbetar 450 personer. Omsättningen 2015 var ca 40 000 miljoner SEK.

Fabriken i Lund byggdes i mitten av 1970-talet och där tillverkas ca 19 000 enheter/år. Man pressar 4.2 miljoner värmeväxlarplattor per år, vilka även



Figur 2.
Produktionschef Anna Wieslander

exporteras till andra produktionsenheter. Hela fabriken omfattar 55 000 m2. Lund är också utvecklingscentrum för plattvärmeväxlare.

Man har sex presslinjer varav två är helautomatiska där man pressar plattor direkt från coils. Två lasersvetsmaskiner sörjer för svetsning av plattorna.

- Vi strävar hela tiden mot korta ledtider och hög flexibilitet i vår produktion och

som ett medel att uppnå detta arbetar vi efter vårt eget produktionssystem, ALPS, avslutar Anna Wieslander.

Lasersvetsning har ersatt TIG-svetsning

En plattvärmeväxlare är uppbyggd av ett antal plattor där de staplas i par om två på varandra. Tidigare så tätades plattorna med gummipackningar men det innebar begränsningar i temperatur till max 150 grader C, samt även begränsningar i tillåtet tryck och kemisk resistens, berättar Mats Nilsson, som arbetar med teknologiutveckling inom företaget. Därför började man TIG-svetsa plattorna men när lasersvetsningen utvecklats till industriell nivå så blev det naturligt att använda denna. Högre svets hastigheter och väsentlig mindre deformationer är de stora fördelarna med den tekniken.

- I samarbete med bl.a. Tore Salmi vid Permascand i Ljungavärk så infördes lasersvetsning av värmeväxlarplattor i Lund 1989, säger Mats Nilsson. Nu är samtliga plattor i AlfaRex modellen lasersvetsade.
- Nu är hälften av alla plattor svetsade eller lödda. Kvalitetskontrollen vid lasersvetsningen görs för närvarande manuellt genom visuell kontroll och man gör all kontroll av tätheten. Alfa Laval köper varje år 35 000 ton rostfri plåt och 2000 ton titan till sin värmeväxlare tillverkning avslutar Mats Nilsson.

ALPS – utvecklar verksamheten och förändrar kulturen

Alfa Laval har infört ett eget produktionssystem. ALPS, Alfa Laval Production System, som ett metodstyrt system för hur man ska jobba inom koncernen.

- ALPS stödjer oss i vår vision att vara nummer ett i tid och kvalitet, säger Tobias Augustsson, som arbetar med produktionsutveckling. Målet med ALPS är att uppnå en stabil och förutsägbart resultat i vår verksamhet. Detta ger sedan möjligheter att förbättra processerna.

Varför genomför man då ALPS?

- Det handlar om att skapa ett globalt språk för verksamheten och att utveckla ett gemensamt ramverk för att fatta beslut, säger Tobias. Vi vill också undvika att ”uppfinna hjulet” igen och hitta ”best practice” för våra processer, allt i syfte att vinna order och ha nöjda kunder.

Alfa Laval började införa ALPS 2008 efter att han arbetat med flödesorienterad produktion sedan början av 1980-talet och Sex Sigma som förbättringsmetodik



Figur 3.

Mats Nilsson arbetar med teknologiutveckling inom Alfa Laval och berättade om tillverkningen av värmeväxlare. T.h. AlfaRex värmeväxlare där samtliga plattor är lasersvetsade.



sedan 2001. Men man upplevde att man behövde ett verktyg som satte metoderna i ett sammanhang så att man fick ett ”kitt” som höll samman alla delar och det blev ALPS. Man började först med att införa daglig styrning och standardiserat arbete.

Tobias Augustsson beskriver ALPS som en typ av och Lean och Sex Sigma där strategin är att uppnå flödeseffektivitet framför resurseffektivitet; att eliminera slöserier dessutom att uppnå resurseffektivitet.

ALPS stöds av våra fyra principer fortsätter Tobias:

1. Vi följer våra prioriteringar: Säkerhet, kvalitet, leverans och kostnad
2. Vi agerar snabbt i en resultatfokuserad kultur
3. Vi visar ständigt våra resultat i visuella

(Sex Sigmas förbättringsmetodik). Vi har också utbildat 150 svarta bälten och 700 gröna bälten inom Sex Sigma. ALPS införs också inom andra delar av verksamheten, t.ex. F&U.

- ALPS handlar mycket om att förändra vår kultur inom koncernen och här har ledarna en nyckelroll att driva förändringar. Men vi är alla ansvariga, avslutar Tobias Augustsson.

LaserDagen hos Alfa Laval innehöll också ett paket av föredrag från välkända medlemmar i LaserGruppens styrelse: Bengt Johansson, Mikael Ohlsson, Thomas Hägglund och Johnny Larsson.

Direktdiodlaser för laserskärning

Bengt Johansson, Teknikcentrum AB, berättade om utvecklingen av skärlasrar



Figur 4.

Tobias Augustsson arbetar med att införa Alfa Laval's produktionssystem ALPS vid Lundfabriken.

- processer
4. Vi identifierar avvikelser genom standardiserat arbete
- Vi arbetar nu med att införa ALPS i alla våra fabriker där vi börjar med en grundutbildning i ALPS. Hittills har vi uppnått bl.a. certifiering av mer än 260 statustavlor, mer än 10 000 problem är identifierade där 65 % har lösts inom 24 timmar och 10% genom DIMAC

från CO₂-lasrarna till dagens fiber- och disklasrar. Nästa steg kan bli att direktdiodlasern introduceras som skärlaser på en bredare front. Nu också en ny variant av direktdiodlaser på marknaden, TeraDiode, som utvecklats och säljs av TeraDiode Inc, USA, numera ägt av Panasonic.

- Det unika med TeraDiode är att det är möjligt att kontinuerligt ändra stål-kvaliteten, säger Bengt Johansson. Det

ger möjlighet att optimera skärkvalitet beroende på t.ex. olika tjocklekar som man skär

TeraDiod utnyttjar sk. Multi Wavelength Beam Combining, (WBC) dvs. att man kombinerar laserstrålar med olika våglängd från enskilda laserdioder. Det gör det möjligt att behålla strålkvaliteten på den utgående laserstrålen från de enskilda diodelementen medan uteffekten är skalbar med antalet diodelement i diodarrayen. Detta är grunden för den höga strålkvaliteten som kan uppnås.

- TeraDiod finns nu på marknaden i en 2 kW laserskärmaskin från Mazak, avslutar Bengt Johansson.

LaserNext – snabb 3D-maskin för presshärdat

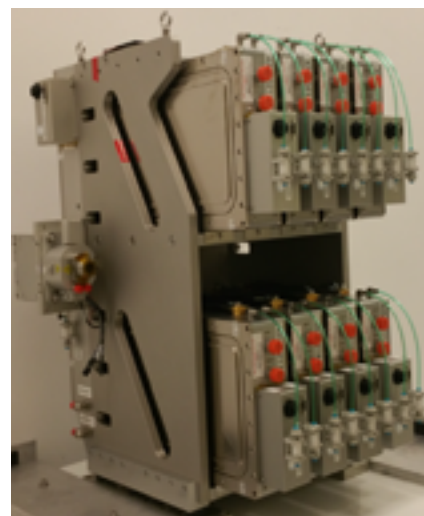
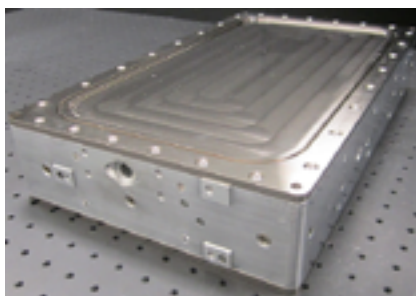
Thomas Häggglund, Din Maskin AB, presenterade Prima Powers fiberlaser Prima Power CF och skärmaskinen LaserNext som är anpassad för 3D-skärning av presshärdade plåt detaljer. Primas Fiberlaser ger 4 kW i en 100 μ m 3 mmxmråd i strålkvalitet. Lasern har en patenterad elektrisk slutare och alla lasrar testas med kollimator och skärhuvud innan leverans.

LaserNext är som sagt speciellt avpassad för 3 D-skärning av presshärdade komponenter där man har fokuserat på att uppnå korta cykeltider och 24/7 produktion. LaserNext klarar 208 m/min skärhastighet och har accelerationen 2.1 g.

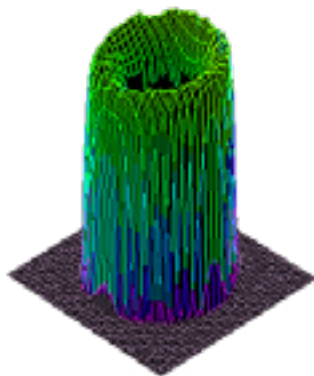
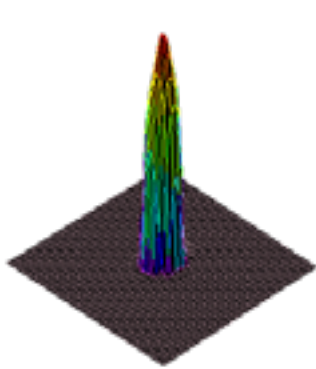
LaserNext är utrustad med linjärmo-



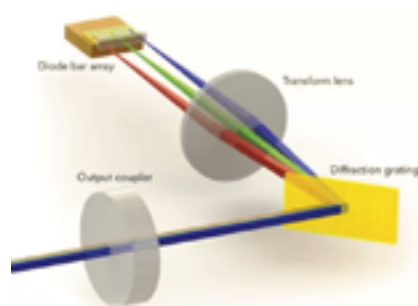
Figur 5.
Fr.v. Bengt Johansson, Teknikcentrum AB, Mikael Ohlsson, Trumpf Maskin AB, Thomas Häggglund, Din Maskin AB och Johnny Larsson, Autokropolis kompletterade Laserdagen med sina presentationer.



Figur 6.
TeraDiod direktdiodlaser är en relativt ny lasertyp som finns i effekter upp till 8 kW med en strålkvalitet på 7 mmxmråd. Lasern är moduluppbyggd med sk. TeraBlade-moduler om 1 kW och den centrala våglängden är 970 nm.



Figur 7.
TeraDiod direktdiodlaser har som option en möjlighet att kontinuerligt ändra strålkvaliteten från 4 till 20 mmxmråd med en "Dynamic Beam Shaper". Det gör det möjligt att få optimala skärresultat i olika materialtjocklekar.



Figur 8.
TeraDiod utnyttjar s.k. Multi Wavelength Beam Combining och med denna teknik uppnås den höga strålkvaliteten vid höga lasereffekter. Detta gör det möjligt att använda TeraDiod för skärning och svetsning med prestanda likvärdig med eller bättre än fiber- och disklasrar.

torer med direktdrift. Maskinen är också avpassad för att ta upp liten yta och upp till tre maskiner kan kopplas ihop till en enhet. Underhållet sker bakifrån och det är lätt att komma åt underhållspunkterna. LaserNext kan utrustas med Prima Power

CF 3000 eller CF 4000 på tre respektive fyra kW.

Din Maskin AB ingår i Liljedahls Machine Tool AB (ingår i Liljedahls Group) där också Ravema AB ingår

Ny maskiner för additiv tillverkning

Mikael Ohlsson, Trumpf Maskin AB, bytte tema och presenterade en del av Trumpf satsning på additiv tillverkning. Trumpf var inne och nosade på den marknaden redan 1999 men drog sig tillbaka.



Figur 9.

Primas ny maskin LaserNext är speciellt anpassad för 3D-skärning av presshårdade komponenter och kan utrustas med tre- eller fyra kW fiberlaser också dessa från Prima. Upp till tre maskiner kan kopplas ihop. T.h. visas en automatiseringslösning med robot.

Nu återkommer man med tre maskiner för Laser Metal Fusion eller 3D-printing.

TruPrint 1000 är en plug-and-play maskin för små serier, TruPrint 3000 är för mellanformat och TruPrint 5000 lanseras nu i augusti.

TruPrint 3000 har en arbetsyta på 300x400 mm och har ett kassettsystem både för pulvret och byggnationen vilket reducerar dö tid och effektiviserar produktionen. Maskinen arbetar med skiktjocklekar på 20-150 µm med en 500 W laser.

TruPrint 5000 har arbetsytan 300x400 mm och har tre 500 W lasrar som kan arbeta över hela ytan. Den har samma cylindersystem för pulver och arbetsstycksbyte som TruPrint 3000 men har också förvärmning upp till 500 grader C. Maskinen ska också ha en speciell upppackningsstation för att minimera ställtiden. Överskottspulvret kan silas och återvinas. Maskinen utrustas också med processövervakning för kontroll av maskindata, kammare, temperatur, pulverbädd, oxygenhalt samt bildanalys av lager.

Trumpf har också utvecklat egna pulver med kornstorlek 30-60 µm för sina TruPrint-maskiner.

System för laserhårdning installerat i Strömsund

Laserhårdning är en teknologi som har funnits industriellt sedan 1980-talet men den har ännu inte slagit igenom i någon större skala. Men Permanova Lasersystem AB har nu installerat ett robotiserat system hos Kvalitetslego AB i Strömsund, berättar Erik Wännman. Där tillverkar man slitplåtar i olika storlekar till bl.a engcon AB. Det är för denna tillverkning man nu har investerat i en robotiserad laserhärddanläggning från Permanova. Den har bl.a. optik som gör det möjligt att variera formen och storleken på laserstrålen.

- Drivkraften för investeringen har varit högre produktivitet och kvalitet, minskad produktionsyta och förbättrad design. Kort sagt – man sparar pengar,



Figur 10.

TruPrint 3000 är en maskin från Trumpf som arbetar efter principen Laser Metal Fusion utrustad med en 500 W fiberlaser.

säger Erik Wännman.

Permanova marknadsför sina system under namnet Permaflex.

Lasergrupp Fou

Det finns sedan en tid tillbaka en grupp som verkar för att koordinera den industriella laserforskningen i Sverige vid de tre forskningsutförarna SwereaKIMAB, Luleå Tekniska Universitet och Högskolan Väst i Trollhättan under namnet Lasergrupp FoU, berättade Johnny Larsson Autokropolis Engineering.

Avsikten är att forskningen skall utgå från ett reellt, uttalat behov från Lasergruppens medlemsföretag, och där finansieringen huvudsakligen sker genom ansökan om medel från statliga myndigheter såsom VINNOVA, KK-stiftelsen eller Energimyndigheten. Att som medlemsföretag i Lasergruppen engagera sig i Lasergrupp FoU innebär ett unikt tillfälle att kunna påverka svensk laserforskning, varför den intresserade uppmanas att kontakta någon av:

Johnny K. Larsson/ordförande Lasergrupp

FoU, johnny.jk.larsson@gmail.com
Kjell-Arne Persson/SwereaKIMAB, kjell-arne.persson@swerea.se
Torbjörn Ilar/Luleå Tekniska Universitet, torbjorn.ilar@ltu.se
Fredrik Sikström/Högskolan Väst, fredrik.sikstrom@hv.se

- Du kan nu medverka genom att engagera Dig och Ditt företag i Lasergrupp FoU. Deltagandet är helt gratis, men vi kan lova att "avkastningen" kommer att gagna svensk laserverksamhets konkurrenskraft, avslutar Johnny Larsson!

Läs gärna mer om LaserGrupp FoU i LaserNytt 1/2017.

LaserGruppen tackar Alfa Laval för en intressant inblick i er tillverkning och ett trevligt arrangemang av Laserdagen. ■



Figur 10.

Erik Wännman, Permanova Lasersystem AB berättade om en robotiserad laserhärddanläggning som har installerats hos Kvalitetslego AB i Strömsund.



Rapport från 18th European Automotive Laser Applications, 14-15 februari i Bad Nauheim, Frankfurt a.M.

Rekordhögst deltagande vid EALA 2017 indikerar att lasern fortfarande är ett viktigt verktyg för bilindustrin

Johnny K Larsson,
Autokropolis Engineering



En synnerligen nöjd Frau Andrea Huber från ACI [Automotive Circle International, **Fig. 1**] kunde inledningsvis konstatera att årets EALA [European Automotive Laser Applications] –konferens bjöd på ett nytt rekord i form av hela 205 deltagare. Som vanligt är tyska medborgare i klar majoritet och utgjorde i år 70% av det totala antalet åhörare [**Tab. 1**], men konferensen får en alltmer internationell prägel vilket deltagare från mer än 20 länder bevisade. 75% av deltagarna representerade leverantörsföretag, medan biltillverkarna eller OEMs [Original Equipment Manufacturer] utgjorde 22% [**Tab. 2**], och resterande 3% kom från instituts- och universitetsvärlden.

En av EALA:s viktigare delar, förutom de tekniska presentationerna, är den alltid lika intressanta utställningsdelen där i år 19 olika företag tog tillfället i akt att marknadsföra sina senaste laserverktyg

och –hjälpmedel. Dessa var:

- Automation W+R GmbH
- Bergmann & Steffen GmbH
- HIGHYAG Lasertechnologie GmbH
- Precitec GmbH & Co. KG
- Blackbird Robotersysteme GmbH
- Jenoptik Automatisierungstechnik GmbH
- Scansonic IPT GmbH
- EHR GmbH & Co. KG
- Rofin-Sinar Laser GmbH
- Laserline Inc.
- PRIMES GmbH
- TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH
- GVB GmbH
- Amplitude – Systems co Laser 2000
- KKT chillers – a brand of ait-deutschland GmbH
- IPG Laser GmbH
- ALPHA LASER GmbH
- ARGES GmbH
- HYFRA Industriekühlanlagen GmbH

Efter sitt hälsningsanförande överlämnade Frau Huber ”tackpinnen” till programkommitténs ordförande Dr.



Figur 1. Frau Andrea Huber från Automotive Circle International och Vincentz Publishing, som har ansvarat för EALA-konferensen under de senaste åren, kunde nu glädja sig åt ett rekordstort deltagande i form av hela 205 laser-entusiaster.

Jan-Philipp Weberpals från Audi AG, företaget som bidragit med denna funktion alltsedan starten för 18 år sedan, och där vi sett personligheter som Kirsten Oberschelp, Michael Niemeyer och Mattias Graudenz passerat revy. Årets inledande temablock handlade om laserns bidrag

Tabell 1.

Konferensdeltagare per nation

Nation	Antal
Tyskland	138
Japan	10
England	8
Syd Korea	7
USA	7
Frankrike	6
Schweiz	6
Sverige	6
Österrike	4
Finland	3
Italien	2
Kina	2
Belgien	1
Nederländerna	1
Polen	1
Tjeckien	1
Turkiet	1
Summa	205

Tabell 1.

Konferensdeltagare per OEM

OEM	Antal
Audi AG	6
Volkswagen AG	6
Daimler AG	4
General Motors	4
Adam Opel AG	3
BMW AG	3
Honda Motor Co.	3
Hyundai Co.	2
Jaguar Landrover	2
Volvo Cars	2
CEVT	1
Fiat-Chrysler	1
Ford Motor Co.	1
Nissan Motor	1
Peugeot-Citroën	1
Porsche AG	1
Renault SAS	1
Tesla	1
Toyota Co.	1
Summa	44

till begreppet ”Industry 4.0”, och där Dr. Weberpals menade att det fortsättningsvis kommer att vara intressant att följa den kraftfulla digitalisering som industrin nu genomlever. Härpå kunde vi lyssna till tre intressanta föredrag inom detta temablock, där välbekante Dr. Thomas **Graf** från IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge]

vid Universität Stuttgart fick förtroendet att inleda. Han talade om nätverksbyggande och intelligenta fabriker, där dessa på ett enkelt sätt kunde anpassas till de produkter som man avser att framställa. En grund för detta r universella och flexibla verktyg där man kan använda en och samma maskin till att utföra en mängd olika uppgifter. Detta r inte möjligt med konventionella mekaniska maskiner, men hr ansåg Dr. Graf att lasern kan utgöra en särställning då många bearbetningsprocesser bygger på tillförsel av värme.

Lasern kan erbjuda olika energiintensiteter vilket gr att material kan upphetas, smältas och förångas allt beroende på syftet med bearbetningen, och han talade sig varm om de mångsidiga laserkllorna [Fig. 2]. Vad gäller dessa bedriver ju IFSW en ständig frbttringsutveckling, något som Dr. Graf belyste med en nyutvecklad UKP [UltraKurzPuls] cw-laser med 2 kW medeleffekt, och han prognosticerade att man fram till r 2022 räknar med att kunna presentera en motsvarande 10 kW-enhet. Vidare torgfrde han en 1 kW ”grön” laser med en optisk verkningsgrad på hela 51,6%.

Professor Michael **Schmidt** från Frie-



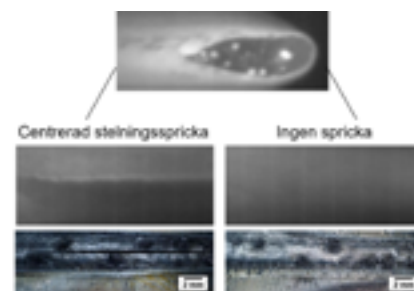
Figur 2.

Dr. Grafs vision av manöverpanelen för framtidens flexibla laserkällor där man kan välja effekt, våglängd, pulslängd, pulsfrekvens, strlmode samt -polarisering allt efter bearbetningsbehov och -metod.

drich-Alexander Universität i Erlangen, och tillika institutionsfrestndare vid BLZ [Bayerischer LaserZentrum], spann vidare på temat flexibel produktion, men nu med fokus på karosseritillverkning. Att använda en UKP-laser för att strukturera ytorna hos formverktyg och därmed kunna utföra plåtpressning utan tillsats av smörjmedel kan vara ett miljömässigt tilltalande alternativ. Beträffande svetsning slog den gode Michael ett slag fr diodlaserkllorna, vars vglngdskombinering gynnar såväl penetrationsdjup som svetsbredd vid lasersvetsning av aluminium. Dess kortare våglängd kring 800 nm blir gynnsam då aluminium-materialets absorptionsegenskaper har ett optimum just i det våglängdsområdet, något som han illustrerade med en intressant jämförelse vid aluminiumsvetsning mellan en direktverkande diodlaser från DirectPhotonics och en TruDisc 4002

disklaser från Trumpf. Inom området kvalitetskontroll visade Dr. Schmidt upp två tänkbara verktyg, varav det ena var termografisk detektering av svetsdefekter med hjälp av värmekamera, vilket möjliggör tidig upptäckt av varmsprickningstendenser [Fig. 3]. Den andra handlade om hyperspektral övervakning där man med hjälp av ett genererat strlningsspektrum kan utföra en detaljerad temperaturanalys av svetsfrloppet. Slutligen beskrevs det numera ganska uttömda ämnet att sammanfoga polymert och metalliskt material. Inledningsvis struktureras metallytan lämpligtvis med hjälp av en pulsad laser, varpå polymerkomponenten adderas och en laserstråle med någorlunda hög effekt ansts från metallsidan. Värme leds på så sätt genom metallen utan att detta material smälter, men i gränsytan mellan de icke-kompatibla materialen blir temperaturen tillräckligt hög för att polymeren skall smälta och flyta in i de skåror som r resultatet från den tidigare ytstruktureringen. När plastmaterialet sedan stelnar uppstår en fog med tämligen hög hållfasthet.

Dr. Dirk **Wagner** från Trumpf Laser



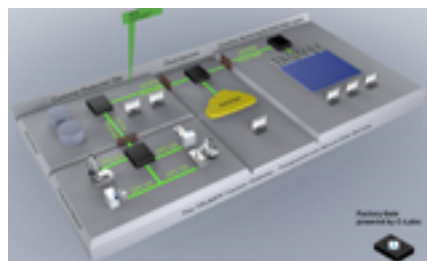
Figur 3.

Med s.k. termografi övervakas svetsmältan med värmekamera vilket möjliggör tidig upptäckt av varmsprickningstendenser.

GmbH + Co. KG beskrev integrerade tillverkningskedjor av såväl horisontell som vertikal karaktär. Ett konkret exempel som han lyfte fram beträffande det förstnämnda var laserteknikens roll vid bearbetning av presshrdade komponenter. Idag är ju konturskrning och håltagning i dessa med hjälp av laser det självklara alternativet, men lasern kan även användas vid stumsvetsning av aluminium/kiselbelagda [USIBOR] Borstlsmnen inför varmformningsprocessen. För att då uppnå en acceptabel svetskvalitet, utan aluminiumintrngning i svetsgodsets korngrnsar, avverkar man vanligtvis USIBOR-beläggningen lokalt kring klippkanterna genom att använda en pulsad laser. Andra användningsområden för lasertekniken inom denna processkedja kan vara lokal mjukgörning av de press-

hårdade komponenterna, lasermärkning av dessa, samt slutligen kan man använda laserpåläggning för att reparera slitna varmformningsverktyg. I övrigt handlade Dr. Wagners presentation om de nya tjänster som Trumpf kan erbjuda då det gäller processövervakning. Ett verktyg är s.k. Smart View Service där övervakningen sker centralt i fabriken via stora bildskärmar i stället för att varje enskild operatör sköter en sådan syssla. Men Trumpf kan även vara behjälplig med fjärranalys och felsökning av kundernas laserprocesser via intelligenta sensorer. Då transfereras data via en "Factory Gate" och analyseras i företagets högkvarter i Ditzingen [Fig. 4], något som fick Thorger Hammer från Volkswagen [VW] att ifrågasätta data-säkerheten i ett sådant system. Kvalitetsdata från tidigare produktion lagras i en "cloud"-miljö, och för detta har Trumpf skapat avknopningsföretaget Axoom, medan man har valt företaget C-Labs som IT-partner.

Applikationer



Figur 4. Via Trumpfs "Factory Gate"-lösning kan man utföra fjärranalys och felsökning av kundernas laser-processer. Till sin hjälp har man då tillgång till tidigare kvalitetshistorik vilken är lagrad i en "cloud"-miljö hos avknopningsföretaget Axoom.

Bland de intressantare föredragen vid EALA-konferenserna räknas naturligtvis applikationsexempel från de olika bilföretagen. I år beskrev Martin Mattea och Volker Bayer från Adam Opel AG laserlödning av tak och baklucka för nya Astra K-modellen, vars sidodörrar dessutom fjärrlasersvetsas. Astra K-modellen [projektbeteckning HB5] byggs på den s.k. D-plattformen vilken tillverkas globalt i 8 fabriker och på 4 kontinenter. Den sammanlagda längden av lödfogarna är 3.222 mm och motsvarande svetslängd för sidodörrarna uppgår till totalt 6.096 mm. Inledningsvis beskrev Herrn Mattea den historiska utvecklingen av takmontering i Opels karosfabriker som kan beskrivas som en trestegsutveckling [Fig. 5]. Ursprungligen punktsvetsades takpanelen till karossidorna. Därefter använde man en lösning som påminner om Volvo Cars' nuvarande koncept, nämligen kälsvets-

ning med laser efterföljd av en tätningsoperation, fram till dagens lösning med laserlödda tak där processhastigheten ligger mellan 3,5-4,5 m/min beroende på om karossvarianten är en 5-dörrars eller en "Sports Tourer", som har ett 200 mm längre tak och därför kräver en högre framföringshastighet. Lödprocessen utförs framifrån och bakåt i karossens koordinatsystem, och de relativt långa lödfogarna innebär en viss värmetillförsel som kan innebära en mindre förlängning av takpanelen, något som man måste ta hänsyn till vid dess fixering i lödcellen. Materialet i såväl takpanel som karosside är 0,65 mm tjock varmförzinkad karosseriplåt, vilket innebär ett något smalare processfönster vid laserlödning jämfört med elförzinkat material. Laserkällorna i lödcellen är diodlasrar från Laserline medan lödverktygen är Scansonics ALO3. Som processövervakning använder man Lessmüllers Weldeye®.

Det som fick åhörarna att lyfta lite

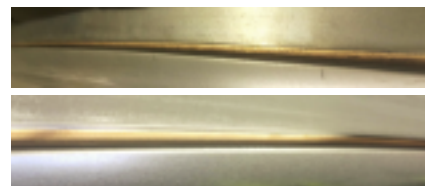


Figur 5. Martin Mattea från Adam Opel AG beskrev inledningsvis den historiska utvecklingen av takmontering i företagens karosfabriker; från punktsvetsning till laserlödning.

extra på ögonbrynen vid denna presentation var den omfattande efterbearbetning i form av slipning som utförs på varje kaross. Motivet för detta var framförallt utseendemässigt, då man vill undvika vågiga kanter på lödfogarna, men också för att få den efterföljande fosfateringen i målerifabriken att fästa mot kopparlodet [Fig. 6]! Även mikrosprut från lödprocessen kan kräva slipning, medan man inte tycker ha några problem med ytporer eller hål i lödfogen eftersom man menade att detta gick att lösa genom att använda en strålprofil av "tophat"-modell. Idag använder Opel manuell avsyning av lödfogarna, men räknar med att kunna automatisera denna kontroll i framtiden. Andra

framtidsteman sades vara att utvärdera laserlödning av ZnMg-beläggningar samt lödning med s.k. Trifokalteknik.

En annan Opel-presentation hölls



Figur 6. Den laserlödda takskarven på Opel Astras K-modell innan (överst) och efter (underst) specialiserad slipoperation.

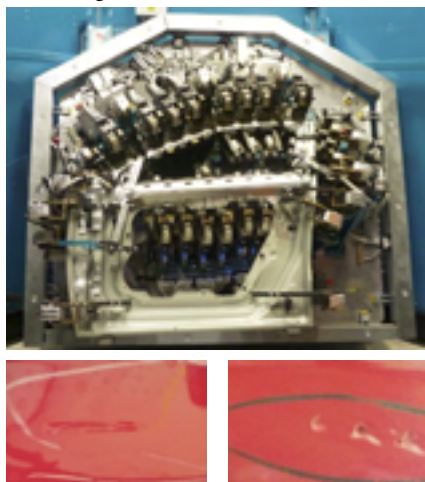
av Udo Eller och handlade om fjärrlasersvetsning av sidodörrarna till sagda Astra-modell. Valet av denna metod framför traditionell motståndspunktsvetsning berodde främst på att man med RLW [Remote Laser Welding] sparar cirka 30% verkstadsyta samtidigt som antalet robotar halverats [från 64 till 32 stycken] och svetsoperatörernas antal kunnat minskas från 54 till 36 stycken i en treskiftsoperation i fabriken i Rüsselsheim. Innerstrukturen till de främre sidodörrarna består av 10 singeldetaljer vilka sammanfogas med 76 korta svetsar, och motsvarande siffror för de bakre är 9 respektive 65. Summerar man detta blir den totala svetslängden för en sats om 4 dörrar 6.096 mm.

Materialet utgörs av zinkbelagda plåtar i tjockleksintervallet 0,65-2,2 mm, och p.g.a. zinkbeläggningen måste en distanshållande noppningsprocedur av dörrarnas innerpaneler ske i en föroperation. Denna utförs med en TruDisc 3001-laser från Trumpf medan en TruDisc 6001 används vid själva "remote"-svetsningen och innebär en maximal svetsastighet på 10,5 m/min. Fjärrlaserverktyget är Scanlabs intelliWELD och robot och styrprogram kommer från Blackbird. Vissa av svetsarna är applicerade i treplåtsförband och vissa är synligt placerade i dörrgavlarna, däremot tillåter man inga lasersvetsar i s.k. våta områden [Fig. 7]. Utmattningshållfastheten hos denna typ av svets har visat sig vara sämre i jämförelse med konventionella punktsvetsar, varför man vid varje svetsläge låter laserstrålen överfara svetsen en andra gång för att släta till dess toppyta och fylla ut start- och stoppunkter.

Även om arbetsavståndet vid fjärrlaserbearbetning är stort har man problem med svets-sprut, något som förkortar skyddsglasets livslängd. Initialt hade man ambitionen att byta skyddsglas efter 4.000 utförda svetsar men nådde då endast mellan 900-1.200 innan det var dags för ett skyddsglasbyte. I samarbete med

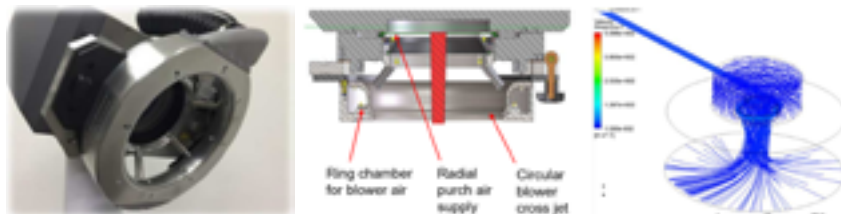
Bergmann & Steffen GmbH utvecklade man då något som fick produktnamnet "Tornadoblade". Detta beskrevs mer i detalj av företagets verkställande direktör Uwe **Bergmann**, och kan sägas vara en ringformad kammare där en fläkt skapar en virvelström framför skyddsglasat [Fig. 8]. På så sätt blev det möjligt att öka livslängden hos glasat så att detta endast behövde bytas i intervall om 6.000 utförda "remote"-svetsar även då så pass hög lasereffekt som 6 kW användes. En annan fördel är att "Tornadoblade" medger ett mer kompakt utförande av svetsverket, vars inbyggnadsmått kan reduceras med 150 mm.

En något udda konstellation av före-



Figur 7. Överst den avancerade fixturen för fjärrlasersvetsning av sidodörrar hos Opel AG. Vissa av svetsarna appliceras på ytor som är synliga då dörrarna öppnas varför defektnivån måste hållas inom rimliga gränser. Övan t.v. en godkänd svets, medan den t.h. har en oacceptabel kvalitet.

dragshållare bestod av Dr. Daniele **Bassan** från Centro Ricerche Fiat S.C.p.A. och Sullivan **Smith**, TWI [The Welding Institute] i Abington U.K. och handlade om fogning av artolika material. Dr. Bassan inledde med att beskriva de försök som utförts med att löda ett aluminiumtak till en stålkaross. För ändamålet användes en 4 kW fiberlaser från IPG och Scan-sonics ALO3-verktyg manipulerat av en Comau-robot. Initialt var taket tillverkat i en 5000-legering och kopplades till karossidan i DP [DualPhase] 600-material med hjälp av en 1,2 mm grov tillsatsstråd. Effekten av varierande gap mellan 0 och 0,2 mm, liksom olika infallsvinklar på laserstrålen, hade undersökts. I jämförelse med stål expanderar ett 4 m långt tak i aluminium cirka 8 mm mer, varför det kan vara meningsfullt att istället använda ett 6000-material med högre sträckgräns för att minimera potentiella deformationer.



Figur 8. Med produkten "Tornadoblade" från Bergmann & Steffen skapas en virvelström i en ringformad kammare framför skyddsglasat, vilket gör att det senare skyddas från svetsstrut.

ner.

Därefter beskrev Mr. Smith hur man vid TWI experimenterat med att lasersvetsa koppar till aluminium för elektroniska kopplingar. Erfarenhetsmässigt har det vid dylika materialkombinationer visat sig vara fördelaktigt att använda en laser i det gröna våglängdsområdet kring 532 nm för att få en bättre inkoppling och absorption i kopparmaterialet, liksom att det är bäst att positionera aluminiumpartnern överst för att undvika turbulens i smältan. I de refererade exemplen hade man dock använt en konventionell Yb-baserad fiberlaser på 5 kW och använt 600 W cw [continuous wave] fokuserat till en 150 µm stor fokuspunkt. Vid överlappssvetsning av 300 µm tunna folier i sagda materialkombination kunde man då uppnå en svetshastighet på 12 m/min. Linjär svetsning, utan någon form av pendling, hade använts då man ville undvika alltför stor uppblandning av de båda materialen i svetsgodset, och då aluminiumfolien är placerad överst ligger uppblandningen i kopparn under 20% varför det inte uppstår några spröda Θ-faser [Fig. 9].

En annan metod som den gode Sulli-

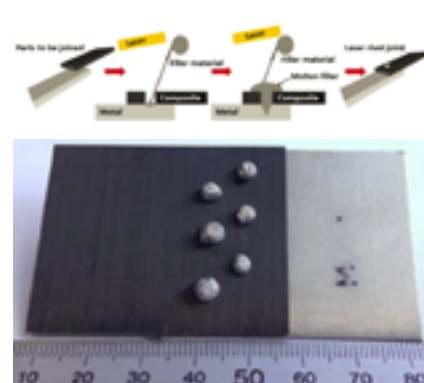


Figur 9. Vid överlappssvetsning av tunna aluminium och kopparfolier undviker man uppblandning av materialen i svetsgodset då aluminiumfolien är placerad överst. Vid det omvända förhållandet bör aluminiumpartnern väljas tjockare för att undvika full penetration och att därmed en större turbulens uppstår i svetssmältan.

van valt att kalla "Laser Riveting" handlade om att foga metaller till plastkompositer [Fig. 10]. Det hela gick till så att man först åstadkom hål i polymeren varpå man fyllde dessa genom att smälta ner ett tillsatsmaterial som svetsades till metallpartnern samtidigt som man genom att "scanna" laserstrålen utformade en form av nitskalle som pressade mot polymerens ovansida. Processtiden för att utföra en så-

dan "lasernit" låg under en sekund och för att begränsa värmepåverkan utgjordes tillsatsstråden av AlSi12. TWI håller just nu på att patentsöka metoden [GB1609651.1].

Sebastian **Gonsior** från Daimler AG

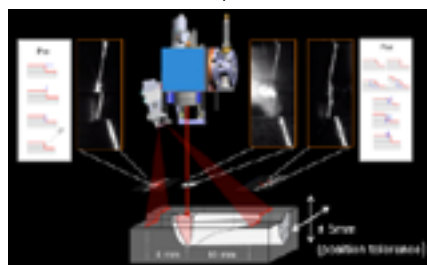


Figur 10. Övan principen för TWI:s "Laser Riveting" som kan användas vid fogning av polymerer till metaller, och t.h. det fysiska resultatet.

beskrev det flexibla svetsverket "ScanTec" för svetsning med/utan tillsatsmaterial och med inbyggd processövervakning för fjärrlasersvetsning. Att kunna svetsa utan tillsatsstråd innebär en viktsbesparingspotential, då en tumregel säger att det åtgår 60 g tråd för att i tunnplåt svetsa 1 meter! "ScanTec"-verktyget är en förädling av Daimlers "Robscan"-teknik och har integrerats i ett IPFO-verktyg. Det tillför en fogföljningsfunktion byggd på triangulering som också kan detektera varierande spalt mellan de plåt detaljer som skall sammansvetsas och anpassa fokuspunktens storlek därefter. Vidare processövervakning i form av kontroll av fokuspunktens läge, samt en efterkontroll av svetsens geometri och eventuell porförekomst [Fig. 11]. "ScanTec" används i produktion sedan april 2016 vid svetsning av sidodörrarna till S-Klasse-modellens Maybach-variant. På ståldörrsvarianten finns sammanlagt 8 lasersvetsar kring rutöppningen per dörr, och produktionsupplägget för de fyra dörrvarianterna består av 97 robotar, 10 laserkällor samt 10 laseroptiker som arbetar på 500 mm långt avstånd från dörrarna, och där cykeltiden är satt till 111 sekunder per dörrsats. Det

rör sig om kälsvetsar där fokalpunkten är positionerad 0,2-0,3 mm in på topplåten. Lasereffekten ligger på 5,8 kW med en 25°-ig infallsvinkel på laserstrålen, och svetshastigheten uppgår till 8 m/min. Hittills har man tillverkat över 3.000 Maybach-dörrar. Men man producerar även aluminiumdörrar i 5000-legeringar med "ScanTec"-verktyget och då använder man sig av typiskt korta fjärrlasersvet-sar positionerade såväl på plåtkant som utförda som överlappsfogar. För de senare använder man dessutom "scanning"-funktionen för att jämna till svetsrågen. Avslutningsvis fick vi se två parallella videosekvenser där en beskrev taktill svetsning av dörrarna och den andra visade upp hur "ScanTec"-verktyget användes. Den totala svetsstiden för den förstnämnda uppgick till 38 sekunder, medan "ScanTec" klarade samma jobb på blott 18 sekunder!

Men annars är det ju Audi AG som var

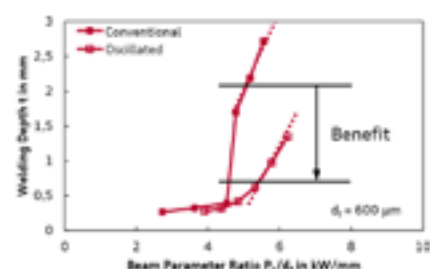
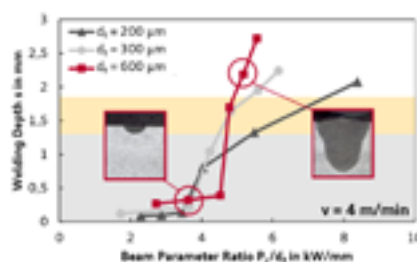


Figur 11. Daimlers flexibla svetsverktyg "ScanTech" med fogföljning byggd på triangulering, övervakning av svetsmältan samt efterkontroll av svetsens geometri och förekomst av eventuella defekter.

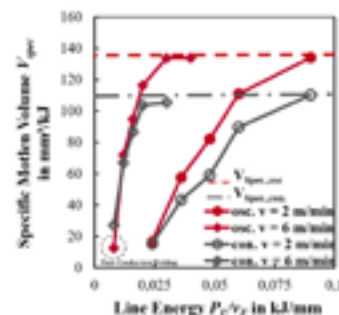
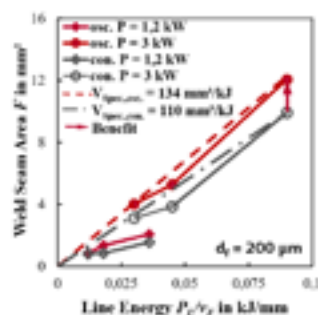
tidigast med att använda stråloscillering vid aluminiumsvetsning utan tillsatsmaterial, och nu fick vi en uppdatering i ämnet av Martin **Sommer**. Man använder sig av Precitecs "Scan Tracker" vid svetsning av aluminiumsidodörrarna [legering AlMgSi1] till A8-modellen, samt Laserlines konverterade diodlaser på 4 kW med 6 mm*mrad i strålkvalitet. Hemligheten med att kunna avvara tillsatsmaterial är att man försöker undvika nyckelhålsvetsning och istället strävar efter en värmelednings-svetsprocess, där tröskelvärdet mellan de två metoderna teoretiskt skulle kunna sänkas till en lägre temperatur genom att förvärma detaljerna som skall samman-svetsas. Angreppssättet kräver emellertid att man har kontroll på penetrations-djupet och detta underlättas genom att oscillera laserstrålen, något som generellt ger en lägre och stabilare penetration [Fig. 12]. Men dessutom visade sig denna metod ha en högre verkningsgrad då det gäller andelen nedsmält material. Vid svetsning utan oscillering uppnår man en mättnad vid 110 mm³/kJ, medan mot-

svarande värde vid pendling ligger på 134 mm³/kJ, vilket innebär en effektivitetsökning med 21% [Fig. 13]. Oscilleringen sker vinkelrätt mot svetsriktningen, men metodiken som sådan är begränsad till tunnplåtssvetsning och fungerar upp till 1,8 mm i total plåttjocklek. Oscillerings-frekvensen har stor betydelse för resultatet och Audi har undersökt olika värden upp till 1 kHz, men vilken frekvens som verkligen används i produktion var Herrn Sommer ytterst förtegen om.

Under de senaste årens EALA-kon-



Figur 12. Lösningen för att kunna lasersvetsa aluminium utan tillsatsmaterial är att undvika nyckelhålsvetsning (t.v.) och begränsa penetrationsdjupet vilket underlättas genom oscillering av laserstrålen (t.h.).



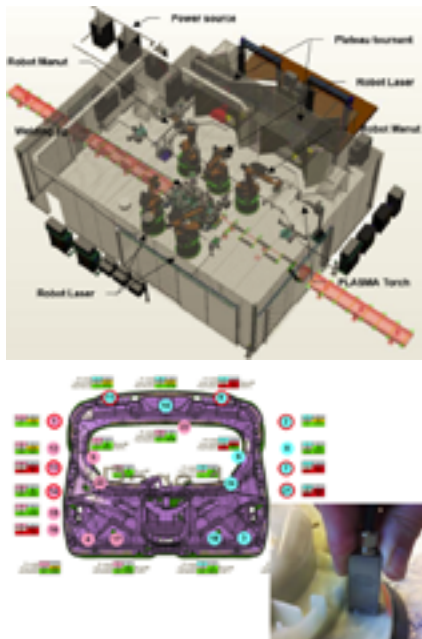
Figur 13. Både beträffande uppmätt svetsbredd som volymen uppsmält material uppvisar strål-oscillering en högre effektivitet jämfört med konventionell lasersvetsning vid samma sträckenergi.

ferenser har vi vant oss vid att lyssna till Hichame **Roumadni** från Renault SAS då han berättat om plastlasersvetsning av bakdörrar. Idag tillverkar man sex modeller som har en plastbakdörr, varav den senaste är Renault Espace med tillverkning i Douai och Palencia. Drivkraften för att introducera plastmaterialet är att detta tillåter ett helt annat designspråk, som inte är möjligt att åstadkomma i en metallisk bakdörr. Monsieur Roumadni framhöll speciellt att all tillverkning sker inom företagets väggar och man vid formsprutning av plastdörrens inner- och ytterdetalj använder en 3.200 ton kraftfull press. Den 3 mm tjocka inre delen utgörs av en med 40% glasfiber förstärkt PP [PolyPropylen] –artikel, medan den exteriöra, synliga delen är ren PP. Detta plastmaterial har ett smältområde mellan 175-300 °C, vilket innebär att lasereffekten kan hållas så pass låg som 500 W. Som laserkälla använder

Svetslängden ligger på mellan 3,2-3,7 meter beroende på dörrvariant och svetshastigheten uppgår till cirka 5 m/min. Som processövervakning "on-line" använder man ett verktyg från Servo-Robot som bygger på kontroll med hjälp av en pyrometer, medan efterkontroll utförs med hjälp av ultraljud. Undantagsvis görs stickprov i form av förstörande provning och då är kravet att en svetslängd på 38 mm skall klara en brottlast på minst 200 daN.

Laserverktyg

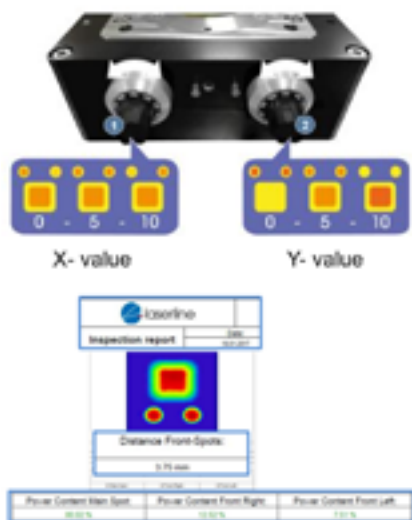
Vid fjolårets EALA-konferens var ju trifokal-lösdning av varmförzinkad stålplåt ett av de stora huvudnumren med verktygslösningar från såväl IPG som Laserline. Nu fick vi en uppdatering från det sistnämnda företaget genom en presentation som hölls av välbekante Dr. Axel Luft. Trifokal-lösningen kan man numera



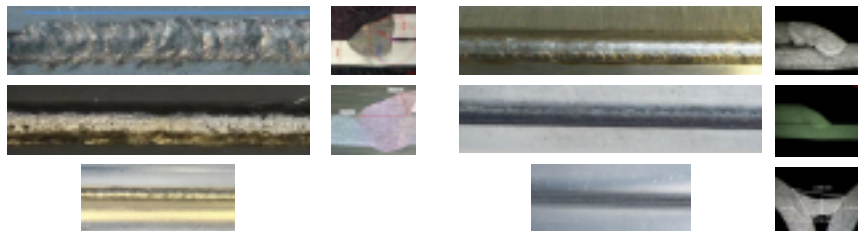
Figur 14. Överst principskiss över robotcellen för lasersvetsning av Renault Espaces plastbakdörr, där de drygt 20 svetsarnas kvalitet efterkontrolleras med ultraljud.

få integrerad i Scansonics ALO3-verktyg avsett för laserlödning och -svetsning, och en patentansökan för optikmodulen är inlämnad. Energifördelningen i x/y-planet kan varieras mellan de tre fokalpunkterna [Fig. 15] och i vertikalled justeras fokalpunktsläget via en autofokus-funktion. Avståndet mellan de två mindre förlöpan- de fokalpunkterna kan också varieras.

Sympatiska Axel visade på resultat från aluminiumsvetsning där 5000-material svetsats med AlMg4,5-tillsatstråd och 6000-material med AlSi12-tillsats i såväl överlappsfog som dubbelflänsad stumfog. Konventionell nyckelhålssvetsning med en 0,6 mm stor fokalpunkt hade jämförts



Figur 15. Energifördelningen mellan de tre fokalpunkterna kan varieras med reglaget t.v. och även avståndet mellan de två främre foki är valbart.



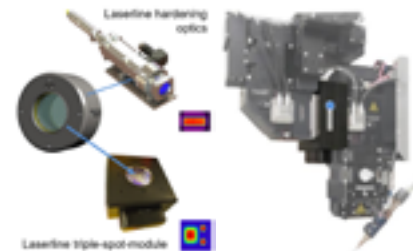
Figur 16. Konventionell lasersvetsning (t.v.) och trifokaldito (t.h.) av 5000- (överst) och 6000-material (underst), den senare utförd i såväl kälfgom som dubbelflänsad stumfog.

med trifokal-svetsning med en 2,4 mm stor huvudfokalpunkt, och skillnaderna i svetskvalitet var uppenbart till fördel för den sistnämnda metoden [Fig. 16].

Med den senaste optikgenerationen, som bygger på Laserlines välbeprövade homogeniseringsmodul vilken ursprungligen utvecklats för laserhårdning [Fig. 17], kan fokalpunkternas form varieras, men också göras betydligt mindre jämfört med tidigare. Optiken har visat sig klara lasereffekter upp till 10 kW med effektför- luster vid långtidsanvändning som under- stiger 1%! Trifokal-tekniken har visat sig vara ytterst stabil över tid, och Laserline håller nu på att bygga upp en databas för att kunna optimera parameterinställning- ar vid såväl svetsning som lödning med denna metod.

Jochen Schanz från IPG informerade om vidareutvecklingen av företagets "SeamStepper". Detta svetsverktyg erbjuds numera både i form av en C-tång eller en s.k. picker för enkelsidig åtkomst [Fig. 18]. Vikten hos dessa varianter är 60 respektive 45 kg och anliggningskraften mot arbets- stycket uppgår till 3 kN.

Nyheten låg i att laserljuset tillförs verktyget via en fiber med tre kärnor, varför man erhåller ett speciellt fokalpunktsmönster som visat sig resultera i en utmärkt svetskvalitet även då överlappsfo- gar i varmförzinkad stålplåt svetsas med nollspalt [Fig. 19]. IPG kan idag erbjuda fibrer med upp till 7 separata kärnor med en maximal uteffekt på 1.200 W per fiber, och med fiberdiametrar i intervallet 25-300 µm. Med en dylik multi-fiber kan man skapa en form av laserpunktsvetsar där exponeringstiden är så pass kort som 270 ms, men vanligtvis använder man 500 ms vid överlappssvetsning av två plåtar med tjocklekar mellan 1,0 och 1,2 mm. Verktøget LSS-5M har en kontaktyta på 60x10 mm, men Herrn Schanz visade nu upp en prototyp med en mindre kontaktyta [20x14] och en integrerad evakueringsfunktion som tar hand om förekommande svetssprut. LSS-5M kan idag också tillhandahållas med en pro- cessövervakningsfunktion. Avslutningsvis



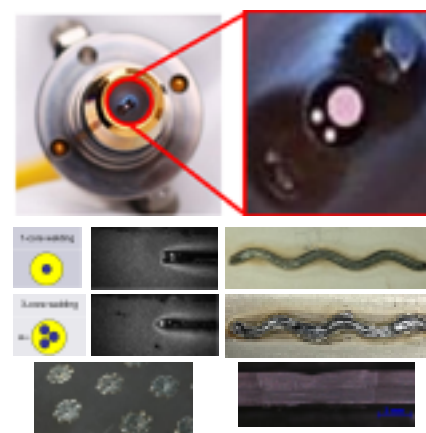
Figur 17. Laserlines homogeniseringsmodul, som möjliggör trifokalbearbetning, är numera kommersiellt till- gänglig och integrerad i Scansonics välbeprövade ALO3-verktyg.



Figur 18. IPG:s "Seam Stepper" går numera att få i såväl C-tångsutförande som s.k. picker för enkelsidig åtkomst.

presenterades en idé där "SeamSteppern" användes beröringsfritt "on-the-fly", och där robot och verktygets linjärmotor hade motsatta rörelseriktningar.

En handhållen utrustning från Alpha- Laser för reparation hos BMW av svetsar och lödfogar på påhångsdetaljer presen-



Figur 19. Med IPG:s multi-fiber med tre fiberkärnor går det att sprutfritt svetsa överlappsfogar i varm-förzin- kad stålplåt med nollspalt (överst), men även att utföra "laserpunktsvetsar".

terades av diplomingenjörerna Georg **Meyndt** [AlphaLaser GmbH] och Markus **Lachenmaier** [BMW AG]. Kravspecifikationen hos det bayerska bilföretaget säger att ytporer med en storlek över 0,3 mm inte tillåts. Porer upp till 1,0 mm:s storlek repareras, som hos de flesta andra biltillverkare, med det UV-härdande limmet "Vitalit", men för större defekter har man hittills använt gasmetallbågsvetsning/lödning, vilket emellertid riskerar att introducera tämligen stora deformationer hos de reparerade komponenterna. Därför har man utvecklat verktyget ALM250 vilket arbetar med en pulsad laser med 450 W medeleffekt och där en första version togs i bruk av BMW redan 2013 för att reparera påhångsdetaljer i aluminium. Detta verktyg visade sig ha en hel del begränsningar, varför en nyutvecklad variant [AL-ARM250, **Fig. 20**] numera kan visa upp en automatiserad framföringshastighet där trådmatningen korreleras till denna i fallet med lödning. Vidare har verktyget en integrerad skyddsgastillförsel och säkerhetskrets. För operatören har man utvecklat säkerhetsglasögon med djupverkan som ger en förstoring av svetsområdet. Verktyget kan aktiveras först då det kommer i kontakt med arbetsstycket och är säkerhetsgodkänt av TÜV [Technischer ÜberwachungsVerein] enligt EN ISO 13849-1. Idag använder BMW dylika verktyg för reparation av lasersvetsade sidodörrar i såväl stål som aluminium, samt laserlödda bakdörrar. Framtida användningsområden kan vara reparation av andra fogmetoder, reparation av pressverktyg, för lågvolymtillverkning samt "in-line"-reparation med mobila enheter.

Nikolai **Speker** från Trumpf berättade om företagets "BrightlineWeld" som kan

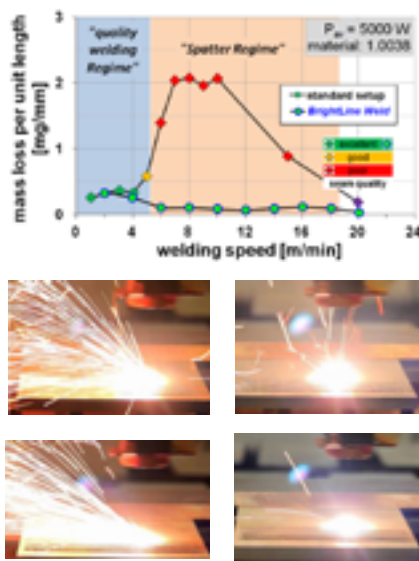


Figur 20. Med ett handhållet verktyg från AlphaLaser kan BMW idag reparera svetsar och lödfogar på påhångsdetaljer. Laserkällan har 450 W medeleffekt och i utrustningen ingår speciella säkerhetsglasögon vilka ger en förstörd bild över arbetsområdet.

reducera svetssprut. "Brightline"-konceptet, där två laserstrålar superpositioneras över varandra genom två koncentriskt orienterade fiberkärnor, utvecklades ursprungligen för att ge kvalitativa skärnitt vid laserskärning av tjockare material. Vid svetsning med 5 kW och våglängder kring 1 μm har man kunnat fastlägga ett sprutbenäget intervall vid svets hastigheter mellan 6–20 m/min. I en jämförelse mellan standardfiber och "Brightline" vid svetsning av mjukt stål 1.0038 och rostfritt 1.4301 kunde man med "Brightline" öka svets hastigheten med 300% till 20 m/min respektive 100% till 10 m/min och trots detta åstadkomma en helt sprutfri process [**Fig. 21**]. Ett praktikfall visade hur man svetsade kugghjul med 3 mm penetration, och där "Brightline" innebar en ökning av svets hastigheten från 5/min till 16 m/min i jämförelse med konventionell lasersvetsning. Kostnads mässigt innebär detta även avsevärda besparingar då "Brightline"-svetsning innebär lägre sträckenergi och därmed mindre energiförbrukning. Andra fördelar som nämndes var förbättrad svetskvalitet, mindre efterbearbetning och högre maskintillgänglighet.

Jan **Musiol** från Blackbird Roboter-systeme GmbH inledde med att presentera Scanlab-verktygen intelliSCAN för tvådimensionell "scanner"-svetsning och intelliWELD för tredimensionell dito [**Fig. 22**]. Dessa verktyg är kompatibla med industrirobotar av märkena ABB, Comau, Fanuc, KUKA och Yaskawa, och kommer snart att även kunna integreras i robotar från Kawasaki.

Därefter beskrev han den processövervakning i form av OCT [Optical Cohe-

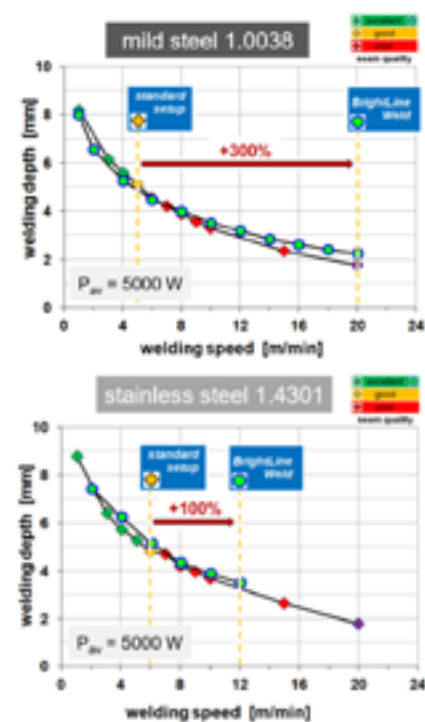


Figur 21. Trumpfs "BrightlineWeld" med två superpositionerade laserstrålar medger nästintill sprutfri svetsning av såväl 1.0038-stål som rostfritt 1.4301. Fotona visar svetsning vid 10 m/min, konventionellt t.v. och "BrightLine" t.h., kolstål överst och rostfritt underst.



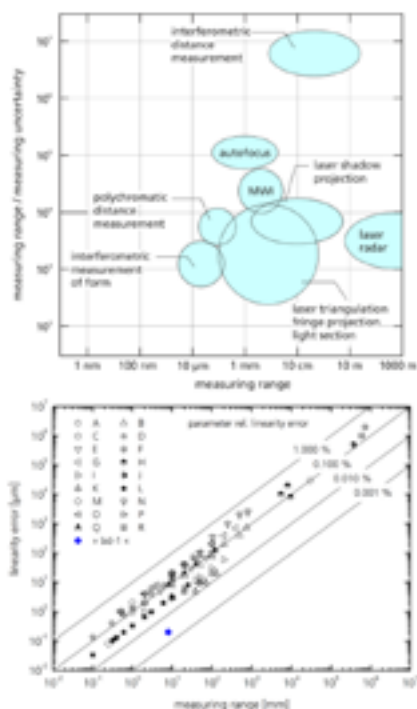
Figur 22. Scanlabs verktyg intelliSCAN (närmast) och intelliWELD för 2- respektive 3-dimensionell "scanner"-svetsning.

rence Tomography] som nu finns inbyggd i prototypversioner av dessa "scanner"-verktyg, som har en koaxiell, kamerabaserad fogföljning från Lessmüller, och där OCT-funktionen bl.a. kan registrera höjdavvikelse i fogen. Tillsammans med BMW hade man utfört svetsförsök på zinkbelagd plåt i både överlapps- och kälfog, där bilder från höghastighetsfilm-



ning jämförts med OCT-signalen [Fig. 23]. Vid överlappssvetsningen hade man använt 1,5 kW lasereffekt, 1 m/min i framföringshastighet och med en frekvens hos OCT-sensorn på 33 kHz, vilket gav en upplösning på 50 µm såväl längs som tvärs svetsen. För kalsvetsarna använde man 2,6 kW vilket gav 3 m/min i svetshastighet med laserstrålen vinklad 20° i förhållande till plåttan. Man nyttjade samma frekvens som vid överlappssvetsningen, men upplösningen i svetsriktningen blev här något sämre eller 145 µm. En kommersiell produkt med integrerad OCT-funktion beräknas föreligga i slutet av året, vilken man då räknar med skall ha en upplösning mellan 70-100 nm(!), och kunna övervaka ett område inom 20 mm relativt till fokuspunktsläget.

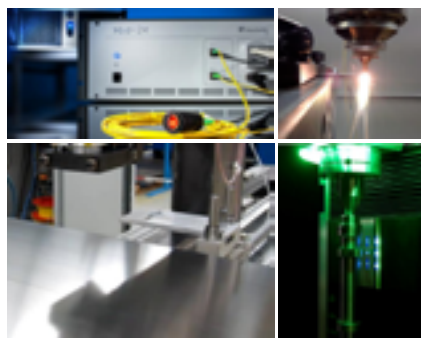
I samband med detta kan det vara värt att nämna den presentation som hölls av Dr. Reinhard Noll, Fraunhofer ILT [Institut für Lasertechnik] i Aachen där han beskrev olika metoder för att detektera ytvariationer men med ett fokus på s.k. MWI [Multi-Wavelength Interferometry, Fig. 24], som han menade är mer tillförlitlig jämfört med klassisk interferometri som förlorar resonansfrekvenser så snart laserstrålen av någon anledning störs. Vid ILT har man utvecklat ett verktyg som kan arbeta i två riktningar och kallas "bd-1", där mätsonden har en diameter på 12 mm och täcker ett mätområde på 8 mm. Datasamlingen sker med en frekvens av



Figur 24. MWI-metoden i jämförelse med andra mätmetoder beträffande mätområde och -noggrannhet (ovan). I jämförelse med klassisk triangulering är mätfehlen med MWI en tiopotens lägre (nedan).

80 kHz. I jämförelse med triangulerings-sensorer är "bd-1" betydligt mindre och därför användbar vid mätning i svåråtkomliga områden. Dessutom visade Dr. Noll att mätfehlen är nästan en tiopotens lägre jämfört med triangulering.

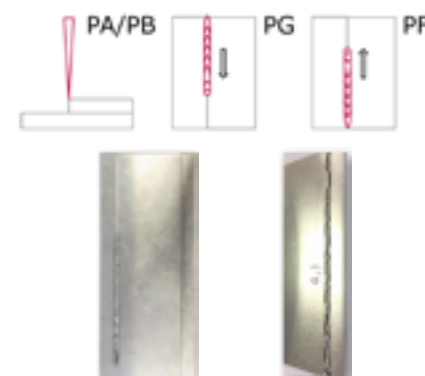
Ytjämnhetsmätning är ett vanligt användningsområde för denna sensortyp som kan registrera Ra- och Rz-värden, de förstnämnda i intervallet 0,1-10 µm, men en nyutvecklad variant kallad "bd-2" kan även användas till att kontaktlöst mäta plåttjocklekar från ett avstånd på maximalt 150 mm och med en felmarginal i mätvärdena på ± 300 nm [Fig. 25]! Verktyget kan även användas för att bestämma de optimala lägena för kammarna på en kamaxel. Annars används interferometritekniken idag som ett processövervakningsinstrument för fogföljning och penetrationsdjup vid svetsning, och här nämnde Dr. Noll några av de kommersiella produkter som finns på marknaden, såsom Lessmüllers OCT, Precitecs IDM [In Depth Monitoring] och Laser Depth Dynamics' LD-100. Avslutningsvis fick vi se några praktikfall där interferometri användes som exempelvis avståndshållning vid laserskärning av GFRP [Glass Fibre Reinforced Plastics], registrering av skiktuppbbyggnaden vid laserpåläggning samt kontroll av penetrationsdjupet vid lasersvetsning.



Figur 25. Några exempel där det hos ILT utvecklade mätverktyget "bd-2", baserat på interferometri, kommit till användning; fr. v. kontaktlös mätning av plåttjocklek, geometribestämning av en kam-axel och avståndshållning vid laserskärning av GFRP.

Christoph Franz från Scansonic är en annan regelbunden besökare vid EALA-evenemangen. Han har ju tidigare visat på förmågan att överbrygga spalter med företagets "scanner"-verktyg RLW-A. Därför inledde han med en repetition där han jämförde spaltöverbrygnadsförmågan vid svetsning med ALO3-verktyget och tillsatsstråd med oscillerande svetsning med RLW-A och då utan tillsatsmaterial. I det förstnämnda fallet ligger överbrygnadsförmågan mellan 0,4-0,7 mm för

aluminium och 0,9 mm för stål, men vid "scanner"-svetsning klarar man mellan 0,6-0,9 för aluminium och mellan 0,7-1,1 mm för stål. Dock har all denna svetsning utförts i de gynnsammare svetslägena PA och PB, och den gode Christoph hade därför velat undersöka hur fjärrlasersvetsning i PF- och PG-lägen fungerar. Vid svetsning av kall- och varmformade stål tycks oscilleringen fortfarande fungera, medan det visade sig vara en grannlaga uppgift vid svetsning i aluminium där resultaten inte blev alltför upplyftande. I PF-fallet ["stigande"] klarade man visserligen att överbrygga spalter mellan 0,1-0,4 mm, men med en undermålig svetskvalitet. Vid svetsning i PG ["fallande"] var spaltöverbrygnaden inte konstant, och man fick en ökad penetration som i vissa fall ledde till genombränning [Fig. 26]. Både vid svetsning i PF- som FG-läge uppstod droppar som ett resultat av gravitation, viskositet och ytspänning i kombination. Då vi vet att Peugeot-Citroën är intresserat av att laserlöda aluminium till stål var det föga överraskande att Dr. Matthieu Kielwasser ställde frågan om huruvida "scanner"-svetsning av dylika materialkombinationer är möjlig. Dr. Franz menade att det borde finnas en viss potential i detta, men att det fordrar utförliga provningar.



Material	Tjocklek (mm)	ALO3 (mm)		RLW (mm)	
		PA	PB	PF	PG
aluminium	1,0 / 1,0	0,5	0,6	0,1	-
	1,0 / 1,5	0,45	0,6	0,2	-
	1,5 / 1,0	0,4	0,5	0,2	-
	1,5 / 1,5	0,7	0,9	0,4	-
stål	0,8 / 0,8	0,6	0,7	0,7	0,7
stål	0,8 / 1,5	0,7	0,9	0,85	0,85
aluminium	1,5 / 1,3	0,9	1,1	1,1	1,15

Figur 26. Att oscillera laserstrålen vid fjärrlasersvetsning av aluminium i svetslägena PA och PB har visat sig vara gynnsamt för processens spaltöverbrygnadsförmåga, däremot fungerar detta angreppssätt dåligt i svetslägena PG och PF.

Sist i raden att presentera intressanta laserverktyg var herrarna Sebastian Jürschik & Torsten Reichl från Jenoptik

som visade hur BMW på ett framgångsrikt sätt använt Jenoptik-konceptet Votan-BIM [Beam-in-Motion, där strålgången är integrerad i robotarmen], (Fig. 27), för att laserskära hydroformade artiklar i form av taksvällare [internbeteckning L503] till sin i3-modell. Komponenterna är stora och täcker en projicerad yta på 2,0x0,5 meter och där taktidskravet för skäroperationen ligger på 45 sekunder. Därför försågs den slutgiltiga produktionscellen med två stycken robotar, var och en kopplad till en fiberlaser. Men för att kunna sänka cykeltiden ytterligare är en andra skärcell nu under uppbyggnad i Landshut. Skärverktygen väger mindre än 5 kg, är ytterst kompakta och försedda med höjdhållningsfunktion, kollisionsskydd och klarar en noggrannhet på $\pm 50 \mu\text{m}$ vid processhastigheter upp till 300 mm/s. BMW tillverkar cirka 450 taksvällare per skift där skärhastigheten ligger över 200 mm/s för raka snitt och 130 mm/s vid konturskärning. Tiden för håltagning är ungefär 1 sekund/hål och variansen på hålstorleken över tid är näst intill försumbar. BMW har framtida planer på att även använda Votan-BIM för skärning av CFRP [Carbon Fibre Reinforced Plastics] –artiklar, och överväger även att installera kombinationsceller för skärning/härdning av UHSS [Ultra High Strength Steel] –artiklar samt skärning/svetsning av



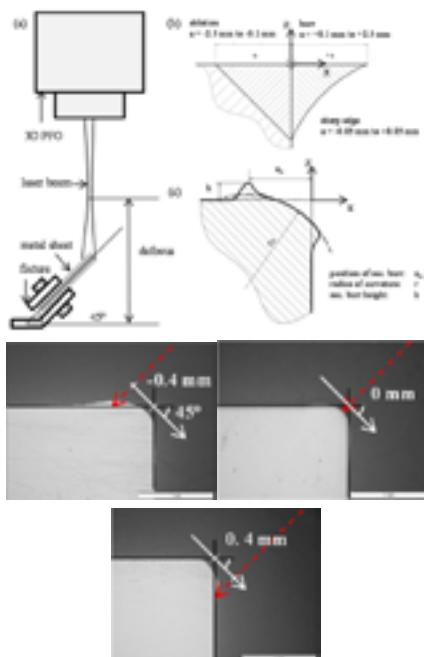
Figur 27. Håltagningen i de hydroformade taksvällarna till BMW:s i3-modell sker medelst laserskärning, där det cirka 5 kg lätta skärverktyget integrerats i Jenoptik-konceptet Votan-BIM.

stöttfångarskenor.

Lite annat "smått och gott"

Georg Cerwenka från LaserZentrum Nord [LZN] presenterade resultaten från en studie kring plåtkantsgradning med hjälp av laser, som minnesgoda läsare må känna igen från min rapportering från LANE [Laser Assisted Net Shape Engineering] –konferensen i Fürth förra året. Han

inledde med att konstatera att gradning av skurna kanter inom metallproduktionen står för 9% av tillverkningskostnaden vilket skulle innebära runt 500 miljoner euros/år bara i tysk plåtindustri. Därför har man vid LZN utvecklat en metod som man valt att kalla SSLD [Scanner-based Selective Laser Deburring], och där man genom lokal ablation och omsmältning av klippgrader i storleksordningen $50 \mu\text{m}$ till 0,2 mm inte bara kan eliminera dessa utan även skräddarsy klippkantens form med t.ex. rundade hörn. Experiment hade utförts med hjälp av en 5 kW Nd:YAG-laser [TruDisc5001] och ett PFO-verktyg



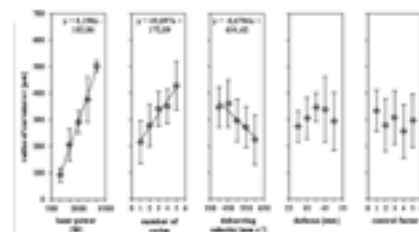
Figur 28. T.v. principen för "lasergradning" där man får den bästa avrundningen av klippkantens hörn om laserstrålen positioneras i 45° relativt detsamma, och sekundärt "klippskägg" undviks bäst när laserstrålen träffar exakt på hörnet.

från Trumpf på materialen AlMg3, S235 och 1.4301 i tjocklekar mellan 1–4 mm. Ett antal olika parametrar hade undersökts vilka gav följande resultat och slutsatser; Genom att låta laserstrålen falla in i 45° relativt klippkanten får man bäst avrundning av hörnet, och för att undvika sekundärt skägg som uppstår genom denna operation minimeras detta om laserstrålen positioneras så exakt som möjligt på plåtkanten [Fig. 28].

Fokalpunktens storlek tycks inte ha nå-

Tabell 3. Processparametrar för olika material

Material	Lasereffekt [W]	Defokusering [mm]	Processhastighet [mm/sek]	Antal repetitioner
AlMg3	3.000	40	500	5
1.4301	3.000	40	400	1
S235	4.000	40	400	1

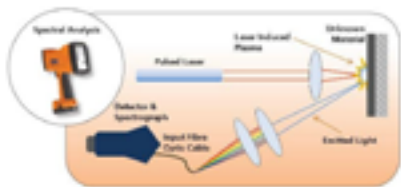


Figur 29. Effektdiagram som visar olika parametrar, såsom lasereffekt, antal repetitioner och processhastighet vid SSLD-bearbetning, och hur dessa påverkar plåthörnens radie

gon speciell inverkan vid denna omsmältning. Däremot innebär en högre lasereffekt större kantradier, vilket även blir en effekt av ett större antal repetitioner, medan en högre processhastighet medför mindre kantradier [Fig. 29]. De optimala processparametrarna vad gäller "lasergradning" av de tre material som ingick i försöken framgår av tabell 3

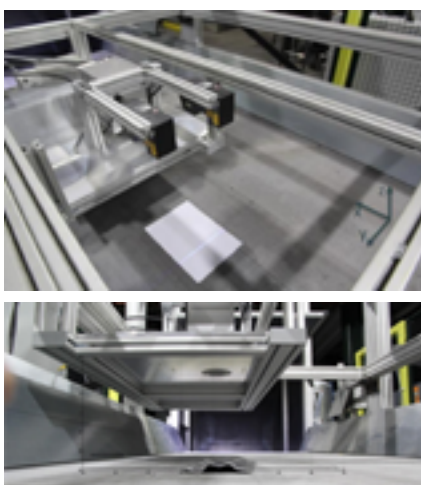
Åtskilliga lyfte nog på ögonbrynen då Edwin Büchter från CleanLaser presenterade det s.k. COLA [COLlaboration of Laser Ablation and LIBS] -projektet. Företaget, som grundades 1997 som ett avknopningsföretag från ILT, har specialiserat sig på rengöring och modifiering av plåtytor, och lanserat produkter som cleanCELL, cleanROBOT och cleanBOX. Det som Herrn Büchter nu emellertid visade upp var något som man valt att kalla cleanSORT, vilket är en lösning för att kunna sortera aluminiumskrot av olika legeringssammansättning. Det finns ett klart miljöincitament för att kunna återanvända aluminium då framställning av nytt material kräver 15.700 kWh per ton medan endast 5% så mycket energi krävs då man utgår från recirkulerat aluminium. Tekniken bygger på s.k. LIBS [Laser Induced Breakdown Spectroscopy, Fig. 30] där en pulsad laser förångar det yttersta atomlagret från ytan och skapar ett plasma. Detta plasma sänder ut ett ljusspektrum som fungera som något av ett fingeravtryck av materialet, och genom att analysera detta spektrum med en detektor går det att fastlägga vilken aluminiumlegering det rör sig om.

En förutsättning för att metodiken skall fungera är att aluminiumytorna är rena, och här uppstår problem då dessa ytor vanligtvis är förorenade av oxider,



Figur 30.
Ovan principen för LIBS med vars hjälp man förågrar det yttersta atomlagret på skrotdetaljen och skapar ett plasma, vars våglängdsspektrum kan analyseras och bestämma aluminium-materialelets legeringstyp.

ytbeläggningar som exempelvis anodisering, pressolja o.s.v. Därför används samma laserstråla med 100 W cw-effekt till att rengöra ett litet begränsat område där laserstrålen pulsas med 100 kHz vilket medför en processhastighet på 3 m/sek. Skrotdetaljerna, som matas fram på en bandtransportör [Fig. 31], identifieras med hjälp av lasersensorer som har ett mätområde på 400 mm, och för att få bästa resultat vid materialtransport och separering av de olika legeringarna bör skrotdetaljerna grupperas i olika storleksklasser [små 30-120 mm, medium 100-330 mm och stora 250-750 mm]. När en skrotdetalj identifierats använder man olika fläktar som blåser ner detaljen i aktuell container. Hittills har man uppnått en produktivitet på 4 ton/timme med 90%

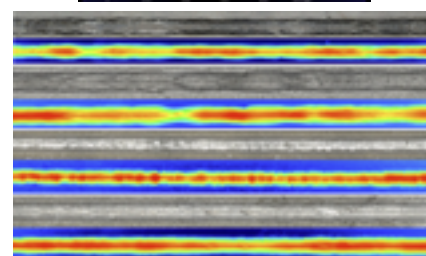
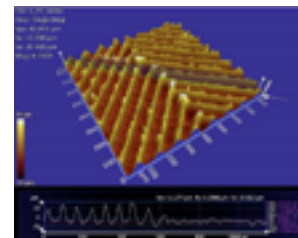


Figur 31.
Bilder från "cleanSORT"-anläggningen hos CleanLaser som har kapacitet att sortera 4 ton aluminium-skrot per timme, en siffra som man hoppas kunna öka genom att använda "twin spot"-teknik.

korrekt identifiering av legeringstyp, men Herrn Büchter menade att man med "twin spot"-teknik borde kunna komma upp i en siffra kring 6 ton processat aluminiumskrot i timmen!

Dr. Harald Riegel från Hochschule Aalen och dess ZOT [Zentrum Optischen Technologien] berättade om olika ytbehandlingsmetoder med laser. Bland annat har man genomfört ett projekt som handlade om laserpolering av additivt tillverkade objekt i aluminium AlSi10Mg där man genom att omsmälta ytan med hjälp av laser kunde minska Ra-värdet från 10 till 0,2 μm . Vidare hade man aktiverat ytan hos plåtar i AlMg3-legering för att på så sätt kunna öka vätkbarheten då lim applicerades. Fördelarna med laserbehandlingen var uppenbar vid efterföljande dragprov där dessa uppvisade en brottspänning på 25 MPa och kohesivt brott i limmet, medan provstavar rengjorda med aceton gav ett adhesivt brott med endast 8 MPa brottspänning. Tyngdpunkten i Dr. Riegels presentation handlade om hur man kunde förbättra ytjämnheten på toppytan av lasersvetsen vid nyckelhålssvetsning av AlSi10Mg genom att i en föroperation strukturera plåtytan i olika pilmönster. För denna strukturering hade man använt Trumpfs märklaser TruMark5020 med en pulsfrekvens på 70 kHz och 60 ns långa pulser. Sålunda skapade man 75 μm breda spår i ytan med ett internavstånd på 100 μm . Själva svetsningen utfördes sedan med en TruDisc4002 där den 200 mm långa fokallängden gav en 200 μm stor fokuspunkt på arbetsstycket och där 3,4 kW lasereffekt resulterade i en framföringshastighet på 8 m/min. Processgasen var Argon med ett flöde på 20 l/min. Med ett optimalt djup på strukturspårerna fick man extremt släta toppytor hos svetsarna, något som förklaras av att man med struktureringen minskar skillnaden mellan smältans ytspänning och aluminiummyntans energi, vilket i sin tur leder till en bättre vätkbarhet för svetssmältan [Fig. 32].

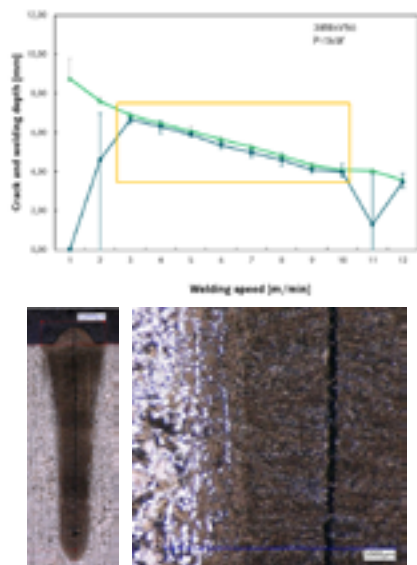
Senare hade man utfört liknande prov på S235JR-stål där man fick liknande förbättringar, men så snart man använde någon form av skyddsgas, Argon eller Helium, blev resultatet nästan det omvända. Man erhöill fortfarande en slätare toppyta hos de strukturerade objekten, allra helst om man använde sig av ett överlappande pilmönster, men detta var då tryckluft användes som skyddsgas. Med Argon eller Helium fick man en något slätare svets vid de ostrukturerade objekten jämfört med de strukturerade.



Figur 32.
Genom att innan svetsning strukturera ytan på aluminiumlegeringen AlSi10Mg i ett pilmönster (t.v.) kan man få en slätare toppyta på svetsen. T.h. ses uppifrån och ned resultatet vid ingen strukturering, understrukturering, överstrukturering samt längst ner optimal strukturnivå.

En verklig "trotsjånare" vid EALA-konferenserna är Christian Elsner från Daimler AG, som denna gång föredrog ett något annorlunda tema, nämligen hur man på ett kontrollerat sätt spräcker kolvar för bilmotorer med hjälp av laser. Vid konventionell tillverkning av kolvar initierar man en spricka med hjälp av en pulsad laser varpå man spräcker kolvringen med ett kilformat verktyg för att sedan med precision kunna montera kolvringen mot kamaxeln. Detta har visat sig vara ett effektivt sätt som ger snävare toleranser vid monteringen jämfört med om kolvringen skulle utföras som två separata delar. Dock finns risker för att de höga separationskrafterna deformerar kolvringen. Nu kunde emellertid den gode Christian visa hur man med blindsvetsar med laser kunde introducera kontrollerade och repeterbara sprickor med en bredd < 50 μm , och därmed eliminera den mekaniska delen i särtagningsprocessen [Fig. 33]. Grundläggande försök visade på ett linjärt samband mellan svetsdjup och sprickornas djup. Lasertechniken innebär också en större frihet vid positionering av lägena för särtagning samt att brottytornas geometri kan skräddarsys till exempelvis en V-form [Fig. 34]. Andra tillämpningsområden kan t.ex. vara att dela gjutna knutar eller noder för "spaceframe"-tillverkning av karosstrukturer, eller att separera gjutformar för att avlägsna inre kärnor. Upp till en godstjocklek till 10 mm kan man klara separeringen enbart med hjälp av laser, men att använda tekniken även vid grövre gods är försvarbart då den kraft som krävs för den efterföljande

mekaniska separeringen kan reduceras till hälften. Däremot tycks gjutgods, av såväl stål som aluminium, vara för duktilt för att separation med hjälp av laser skall fungera, såvida tekniken inte komplet-



Figur 33. För att späcka kolvar på ett kontrollerat och repeterbart sätt kan man använda laserblindsvetsar som skapar stelningssprickor med en bredd kring 50 μm . Överst framgår att det finns ett linjärt samband mellan svetsdjup och sprickdjup.



Figur 34. Att använda laserteknik för att spräcka kolvar innebär en större frihet vid positionering av lägena för särtagning samt att brott-ytornas geometri kan skräddarsys till exempelvis en V-form.

teras med ett pålagd yttre last som verkar samtidigt med lasersvetsningen.

OEM Round Table

Jag väljer att avsluta min rapportering från årets EALA-konferens med några av de trender som pågår bland de olika biltillverkarna:

Matthieu **Kielwasser** [PSA-Citroën]; Aluminium är förstahandsvalet då det gäller lättvikt, medan kompositerna kommer först senare.

Oscar **Andersson** [Volvo Cars]; Fortsätter lösningar med höghållfast stålplåt, men integrerar påhångsdetaljer i aluminium.

Thorge **Hammer** [Volkswagen AG]; Kvalitetskontroll som OCT och övervakningsfunktioner integrerade i "scanner"-verktyg. Laseranvändningen måste bli konstruktionsdriven, och extremt smala flänsar går inte att sammanfoga med motståndspunktsvetsning. Dessutom agerar de större biltillverkarna globalt, varför valda svetsmetoder måste harmoniseras mellan olika fabriker i olika delar av världen.

Anja Deblon-**Rosiak** [Ford Motor Co.]; Instämmer i ovanstående: Konstruktionsdrivna laserlösningar och oförstörande provmetoder för lasersvetsar.

Martin **Mathea** [Adam Opel AG]; Lasersvetsning konkurrerar med motståndssvetsning av dörrar. Framtiden kan vara en lösning där båda metoderna ingår. Dock kan mesta flänsbreddsreduktion åstadkommas med kälsvetsar utförda med laser. Utbyte av föråldrade laserkällor kommer alltid att vara en realitet varför investeringskostnaderna kommer att vara viktiga.

Florian **Oefe** [BMW AG]; Erfarenheter från multimaterialkonstruktion är fortfarande bristfällig. Framtiden kommer att kräva superflexibla lasrar, och där fixturer är nödvändiga och fixturutformningar viktiga.

Christian **Elsner** [Daimler AG]; Klassiska fognings- och svetsmetoder är fortfarande billigare än lasersvetsning, varför det måste finnas starka incitament från produkt- och processlösningar för att rättfärdiga lasersatsningar. Med "Industry 4.0" följer en utökad IT-användning, något som ställer nya säkerhetskrav på produktionen.

Jan-Philippe **Weberpals** [Audi AG]; Samtidigt blir produktionen i karosfabrikerna alltmer komplex.

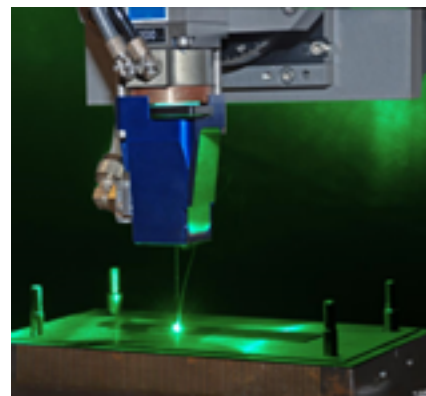
Rüdiger **Brockmann** [Trumpf GmbH]; Tyckte att diskussionen blev för negativ

och ville slå ett slag för lasertekniken.

Laserlödning av takpaneler har visat sig vara en kostnadseffektiv lösning. Om inte de traditionella biltillverkarna anammar lasertekniken kan man se andra exempel som t.ex. de nya bilarna till Deutsche Post. Här har man skapat en lättviktsstruktur genom att utnyttja laserns möjligheter till helt flänslösa designutformningar. Dessutom är lasersvetsning att betrakta som State-of-the-Art då det gäller sammansättning av stommar till personbilssäten.

Klaus **Koglin** [tidigare Audi AG]; Då det gäller miljöbelastning är det viktigt att inte bara beakta bilarnas driftcykel. 25% av CO₂-belastningen har visat sig komma från tillverkningsprocesserna, varför det är ytterst viktigt att dessa blir så effektiva och energisnåla som möjligt.

Att EALA-konferenserna är "ett måste" för alla som arbetar med laserapplikationer och -installationer i bilindustrin har vi ju länge kunnat konstatera. Frågan är om inte detta kom att ytterligare accentueras under årets evenemang, ty om man skall vara uppriktigt skvallrade ju inte agendan i förväg om några direkta nyheter. Att man trots detta lyckats attrahera en rekordpublik på över 200 deltagare indikerar ju att deltagarna kanske inte i första rummet kommer för att lyssna på de tekniska presentationerna, utan prioriteringen ligger främst på "nätverkande" och "laserskval" kollegor och konkurrenter emellan. Glädjande var förstås det stora svenska deltagarantalet med hela sex delegater på plats, vilket innebar att endast länder som Tyskland, Japan, England, Sydkorea och USA var kraftigare representerade. Förhoppningsvis har mina positiva summeringar från tidigare års EALA-konferenser kunnat bidra till detta, och kanske kommer vi att få se ännu fler svenskar på plats i Bad Nauheim 5-7 februari nästa år då det är dags för den 19:e upplagan av detta populära arrangemang. ■





Rapport från 9th LAM Conference,
Houston, TX, USA, 21-22/2, 2017

Utvecklingstrenderna inom laserbaserad additiv tillverkning på båda sidorna av Atlanten beskrevs vid LAM 2017

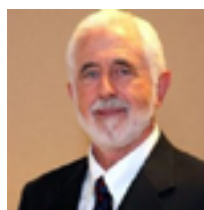
Johnny K Larsson,
Autokropolis Engineering

Additiv tillverkning tycks vara ett ord på varje laserentusiasts läppar idag, och därför kändes det naturligt med en bred bevakning av LAM [Laser Additive Manufacturing] –konferensen, som i år gick av stapeln i Houston, TX.

Lasergruppen representerades således av såväl undertecknad som Dr. Conny **Lampa** [Hoganas], och vi fick en hel del matnyttig information under två fullspäckade konferensdagar. LAM organiseras, liksom den kanske mera kända ICALEO [International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics] –konferensen, av Laser Institute of America [LIA], och därför hälsades vi 110 delegater välkomna av organisationens verkställande direktör Peter **Baker** [Fig. 1]. Detta blev även sympatiske Peters sista officiella åtagande då han fr.o.m. april drar sig tillbaka efter lång och trogen tjänst. Dock lovade han att även fortsättningsvis delta vid LIA:s olika arrangemang, samtidigt som en s.k. säker källa meddelade mig att man utvärderar 14 goda kandidater för att finna en ersättare till Peter Baker. Denne fortsatte med att introducera konferensens huvudordförande Dr. Milan **Brandt** från RMIT [Royal Melbourne Institute of Technology, Fig. 1] och dennes bisittare Dr. Minlin **Zhong** [Tsinghua University, Fig. 1]. En särskild eloge gavs också åt trotjänaren Dr. Bill **Shiner** [IPG Photonics, Fig. 1], för dennes arbete med att skaffa sponsorer till konferensen. Dessa presenterades sedan av LIA:s konferensansvarige Jim Naugle. Platinumsponsor var som tidigare år Alabama Laser, som guldspansorer medverkade IPG Photonics



och American Cladding Technologies, på silvernivå hittade vi Laserline Inc. och Fraunhofer USA, samt slutligen var Praxair Surface Technologies, Polymet Corporation, LPW Technology Inc., Trumpf Inc., OR Laser Technology och Optomec bronssponsorer.



Figur 1. Konferensens huvudordförande Milan Brandt (t.v.) ledde evenemanget på ett förtjänstfullt sätt, med benäget bistånd av Minlin Zhong och "äldermännen" Peter Baker och Bill Shiner.

Årets "keynote"-talare var Greg **Morris** från GE Additive [Fig. 2], en snabbt växande enhet inom den globala GE [General Electric] –koncernen med idag 130 medarbetare. Verksamheten startade redan 1994 i form av s.k. rapid prototyping med metoder som stereolitografi och LOM [Laminated Object Manufacturing]. Att GE tror på additiv tillverkning som en framtidsteknologi bevisar ju fjolårets förvärv av Concept Laser och Arcam,

vilket representerar investeringar på drygt 1,5 miljard dollars. Därmed är laboratoriet välförsett med Concept Laser-produkterna MLab, MLine, M2 och XLine, samt Arcam-maskinerna Q10, Q20 och A2X. Nu fick vi dessutom höra från Luke **Boyer** att företaget som han representerar, Baker Hughes Inc. med 35.000 anställda, är föremål för uppköp av GE.

En idag välkänd LAM-applikation är bränsleinsprutningsmunstycken till

företagets LEAP [Leading Edge Aviation Propulsion] –jetmotorer [Fig. 3]. Här har 20 separata detaljer kunnat ersättas med en enda genom SLM [Selective Laser Melting] –teknik, vilket är liktydigt med att 20 maskiner ersatts med en SLM-dito. Egen-skapsmässigt uppvisar de additivt tillverkade insprutningsmunstyckena en fem gånger längre livslängd jämfört med sina föregångare, samtidigt som vikten kunnat reduceras med 25%, och idag tillverkar man mellan 35.000-40.000 enheter per år med SLM. Andra rationaliseringsexempel var en mellanram där 300 singeldetaljer ersatts med en enda SLM-tillverkad komponent, och en s.k. ATP [Advanced Turbo Prop, Fig. 3] där 12 SLM-detaljer ersatte 855 konventionellt tillverkade delar med en viktsbesparing på cirka 5%, samtidigt som verifierande provning reducerats från 12 till 6 månader. Detta har möjliggjorts genom att 5 ingenjörer samgrupperats i en s.k. skunk-grupp med det enda målet att konstruera olika motordetaljer så att dessa lämpar sig för additiv tillverkning. För att säkra återväxten då det gäller kompetensen att kunna konstruera för LAM investerar GE årligen 2 miljoner dollars till utbildning på mellan- och högstadienivå och ytterligare 8 miljoner till universitet och högskolor.



Figur 2. Greg Morris var årets "keynote"-talare, och representerar den aggressivt växande enheten GE Additive inom den globala GE-koncernen.

Just möjligheten att kunna reducera antalet ingående detaljer i en konstruktion adresserades i flera presentationer. Sålunda berättade Helge **Hoch** från LZN [LaserZentrum Nord, Fig. 4] i Hamburg om en kopplingsenhet till Airbus A380 som sammanbinder bränsletankarna i höger och vänster flygplansvinge. Här har man med additiv tillverkning kunnat ersätta 14 detaljer med en och därmed även minskat antalet tillverkningssteg från 18 till 5, vilket gör att tillverkningskostnaden gått ner med 5%. Vid LZN tänker man gärna i termer av "bionic design" supporterad av topologioptimering, vilket exemplifierades med ett rotorblad till en helikopter utvecklad i samarbete med Airbus och Liebherr. Komponenten som tillverkas i Titan



Figur 3.

En av de stora fördelarna med SLM-tillverkning är att antalet ingående detaljer kraftigt kan reduceras. För bränsleinsprutningsmunstycket till LEAP-motorer (t.v.) innebär detta att 20 enskilda komponenter kan ersättas med en enda, och för en ATP-motor (t.h.) har 855 olika komponenter kunnat ersättas med blott 12 stycken SLM-tillverkade.

hade optimerats ur styvhetssynpunkt med hjälp av simuleringsverktyget "Optistruct" från företaget Altair, men det som störde Herrn Hoch var att man måste använda sex olika mjukvaruprogram för att kunna simulera hela tillverkningskedjan och ett sjunde för datalagring. M.a.o. var önskemålet att i framtiden nå fram till ett enda integrerat simuleringsverktyg. Just "bionic design" och "bionic production" har blivit något av en kärnkompetens vid LZN där man tagit fram en katalog över olika bioniska strukturer. Genom ett egen-utvecklat mjukvaruprogram väljes den för komponenten lämpligaste strukturen och integrerar densamma automatiskt i konstruktionen. Vidare har man skapat ett "form-index" och ett "vikt-index", vilka skall hjälpa till med att utvärdera huruvida konstruktionen lämpar sig för additiv tillverkning eller inte.



Figur 4.

Interiörbild från det synnerligen välutrustade laboriet för additiv tillverkning vid Laser Zentrum Nord, strax utanför Hamburg.

Gamle bekantingen Dr. Ingomar **Kelbassa** [Fig. 5], som för ett år sedan lämnade den akademiska världen vid RWTH [Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule] för en anställning vid

Siemens AG, tog också upp aspekterna med ledtidsreduktion och simulering. Liksom Herrn Hoch var målsättningen att kunna täcka in hela tillverkningskedjan med ett enda mjukvaruprogram. Siemens huvudintresse är att kunna LAM-tillverka komponenter till sina stora gasturbiner, vilka kan generera effekter mellan 100-400 MW. För inte så länge sedan förvärvades det i England baserade företaget Material Solutions Ltd. i akt och mening att tjäna som ett forskningscentrum för additiv tillverkning, och idag förfogar man över 24 stycken SLM-maskiner. Bland praktfallen nämndes en blandare där ledtiden reducerats med sex månader genom additiv tillverkning. Vidare reparation av en gasbrännare där additiv tillverkning gjort det möjligt att minska ledtiden med 90% och reparationskostnaderna med 30% genom att endast behöva reparera spetsen av detaljen. Vid tillverkning av locket till en sådan brännkammare med SLM, istället för att gjuta detsamma, kunde man förbättra precisionen så att detaljnoggrannheten hamnade under 0,2 mm! Som en anekdot till detta menade Dr. Kelbassa att man nödgats tillverka SLM-detaljer med sämre precision än vad metoden kan erbjuda enbart för att erhålla acceptans av kunden i en tämligen konservativ bransch.

Gasturbinblad opererar vanligtvis mellan 3.000 och 3.600 rpm [revolutions per minute] och måste klara belastningar på 10.000 gånger sin egen vikt. Därför är de försedda med en mängd kylkanaler vilket gör att SLM-tillverkning är en ytterst lämplig metod [Fig. 5]. I och med att Siemens nu applicerar denna tillverkningsteknik på rörliga komponenter, från att tidigare enbart arbetat med stationära sådana, kommer det att bli intressant att följa utvecklingen. Dr. Kelbassa påpekade dock att det hittills endast rör sig om

prototyper, men han såg den inte som någon omöjlighet att ha de första produktionsdetaljerna framme inom två år. Han avslutade med att konstatera att produktiviteten vid SLM-tillverkning fortfarande är låg, samt att det saknas tillförlitliga metoder för oförstörande provning.



Figur 5. Som vanligt beskrev Dr. Ingomar Kelbassa, numera Siemens AG, initierat några intressanta praktiska fall, som exempelvis gasturbinkomponenterna t.h. tillverkade i nickelbaserade super-legeringar och där SLM-tekniken är en synnerligen lämplig tillverkningsmetod med tanke på det stora antalet ingående kylkanaler.

Hybridprocesser

Vi börjar se allt fler exempel där den additiva tillverkningen kombineras med andra bearbetningsmetoder i s.k. hybridprocesser. John Barnes från företaget Arconic, som tillhör Alcoa-gruppen, torgförde en innovation som man valt att kalla Ampliforge™ [Fig. 6], där en pulverbäddstillverkad komponent genomgår en efterföljande smidesoperation för att på så sätt förbättra dess egenskaper, främst i form av en ökad livslängd. Bland praktiska fallen visade han upp en ribbförstärkning till en flygplansvinge tillverkad i Ti6Al4V, och kunde konstatera att användningen av titanbaserade metallpulver ökar kraftigt. Andra exempel handlade om en distansring där man gått från subtraktiv till additiv tillverkning, en lagerkonsol vilken hade utformats med hjälp av topologioptimering samt ett SLM-tillverkat gångjärn för rymdfarkosten "Juno" vilket medförde en 35%-ig viktreduktion jämfört med tidigare lösning. Nyligen erhöll Arconic också en order om 1.000 produktionsdetaljer från Airbus. De vanligaste defekterna vid SLM-tillverkning är olika former av bindfel, och därför använder man oförstörande provmetoder som ultraljud och radiografi. Mr. Barnes menade att det idag saknas konstruktionsriktlinjer för additiv



Figur 6. John Barnes fångade åhörarnas intresse då han beskrev Arconics patenterade Ampliforge™-process. Denna möjliggör att de SLM-tillverkade komponenterna får en hållfasthet vilken vida överstiger de nivåer som vanligtvis blir resultatet vid 3D-printning.

tillverkning, och där han även trodde att kvinnor med sitt annorlunda tankesätt kan se andra möjligheter med denna form av tillverkning. En sådan kan t.ex. vara att bygga lager med olika pulvermaterial så att man får inneslutna former som är osynliga från ytan, men framträder vid en röntgenanalys.

Frank Brueckner från IWS [Institut für Werkstoff und Strahltechnik] i Dresden, och för tillfället tillika deltidsarbetande hos professor Alexander Kaplan vid Luleå Tekniska Universitet, inledde med ett lite annorlunda skäl till att använda sig av additiv tillverkning. Exemplet handlade om en propeller där kunden avsåg att byta material från stål till nickel. Detta skulle med gängse tillverkningsteknik innebära en ökad efterbearbetning i form av slipning, vilket gjorde att detaljkostnaden gick upp med 6.000 euros! Därför menade han att additiv tillverkning totalt sett kunde bli ett bra ekonomiskt alternativ. Därpå gick han över till att beskriva en kombinationsmaskin som man använder i laboratoriet i Dresden. Denna kommer från företaget Lasertec och är en fräsmaskin med integrerad laser. Vid tillverkning av ett

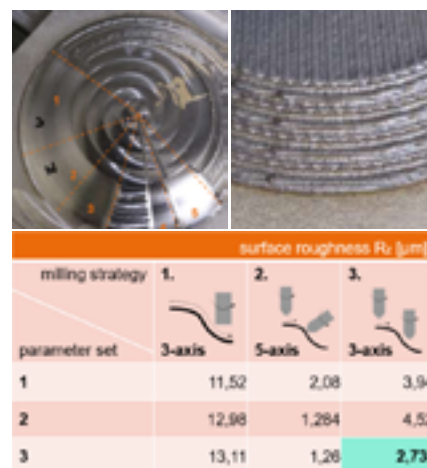


Figur 7. I en kombinationsmaskin från företaget Lasertec har man vid IWS byggt upp vidstående förbrännarenhet med LMD, vars yta därpå slipats för att ge ett bra underlag för den därpå följande LMD-beläggningen med olika, prestandahöjande material.

munstycke i rostfritt 316L-pulver hade man använt sig av såväl LMD [Laser Metal Deposition], fräsning samt såväl laser-

skärning som –börning i en och samma maskin. Samma tillvägagångssätt hade använts vid tillverkning av en förbrännarenhet [Fig. 7].

Fördelen med SLM menade Herrn Brueckner ligger i att det går att skapa extremt komplexa geometrier med exempelvis integrerade kylkanaler, medan man med LMD kan variera materialet i komponenten med hänsyn till vilka belastningar den utsätts för samt att bygga på geometriska element på en befintlig struktur. Fräsooperationen tar slutligen hand om komponentens ytfinish. Ett annat praktiska fall handlade om att förändra designen hos ett formverktyg för en helikopterdetalj, där inverkan av olika påläggningsmönster hade studerats. Även olika tillvägagångssätt vid den avslutande fräsningen hade undersökts, där konturfräsningen hade utförts antingen med ett "fast" fräsverktyg i en 3-axlig operation eller med ett 5-axligt system där fräsverktyget alltid var vinkelrätt positionerat mot formverktygets yta. Denna konturbearbetning utfördes växelvis med en cirkulär fräsooperation som utfördes längs formverktygets omkrets. Även om den femaxliga bearbetningen som väntat gav den finaste ytan, resulterade även den 3-axliga operationen i godkända Rz-värden under förutsättning att fräsverktyget hade en av-



Figur 8. Olika "frässtrategier" hade använts för att undersöka deras inverkan på ytjämnheten hos detta formverktyg uppbyggt med LMD-teknik. Förutsatt att fräsverktyget har en avrundad topp kan man få acceptabla Rz-värden även vid en treaxlig bearbetning.

rundad topp [Fig. 8]. Genom att använda en och samma maskin med verktygsväxling för olika processer menade Dr. Brueckner att man kan uppnå en överlägsen processhastighet och hög precision hos de tillverkade detaljerna. Dock varnade han på slutet att man riskerar att få en högre hårdhet p.g.a. de temperaturgradienter som förekommer vid såväl SLM- som LMD-tillverkning.

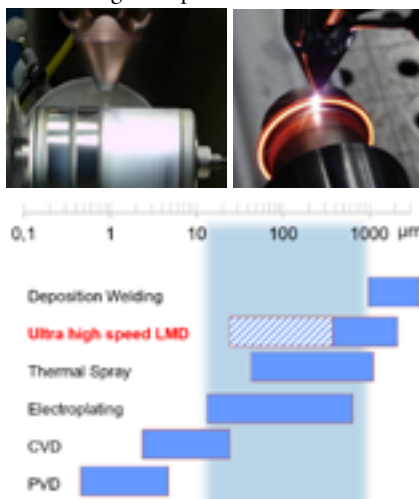
Även Oleg Raykis från Laserline Inc. presenterade en maskin för hybridtillverkning som man utvecklat i samarbete med WFL Millturn Technologies, och där man i en och samma maskin kunde fräsa, svetsa, härda och tillverka med additiv teknik. Maskinen har 12 axlar och laserkällan är en 3 kW diodlaser. Det finns tillgång till ett flertal optiker och verktyg, bl.a. COAXpowerline för laserpåläggning [Fig. 9].



Figur 9. I denna kombinationsmaskin från WFL Millturn Technologies kan man både fräsa, svetsa, härda och tillverka med additiv teknik.

dande då det är fråga om diodlasrar med hög effekt. Han beskrev dess uppbyggnad från chips som kombineras till stavar, vilka i sin tur byggs till diodstaplar som till slut kombineras i enheter som kan leverera upp till 25 kW. Man kombinerar 5 olika våglängder och garanterar en 5-årig livslängd hos dioderna samt en tillgänglighet på 99,8%. En konventionell diodlaser med 10 kW cw-effekt har en strålkvalitet på 100 mm*mrad, men för att råda bot på denna förhållandevis ”dåliga” strålkvalitet har Laserline Inc. på senare år introducerat sin konverterade diodlaser, vilken i realiteten är en förklädd fiberlaser med en strålkvalitet på 6 mm*mrad och 4 kW effekt. Huvudsakliga användningsområden för diodlasrar är 3-printning med LMD-teknik, ytbeläggning för att förbättra komponenters slit- och korrosionsskydd, reparation och slutligen höghastighets-LMD. Ett exempel på 3D-printning var en demonstrator byggd i Inconel625. Här hade man använt en LDF

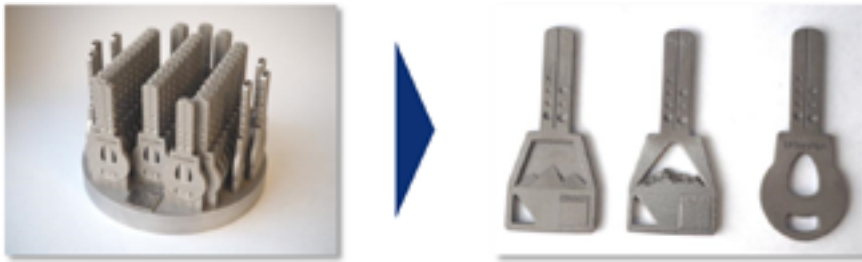
6000-100 med en 4,5 mm stor fokuspunkt, och ett pulvermunstycke från GTV med 6 utgångar. Deponeringshastigheten låg på 5,3 kg/tim, pulverutnyttjandegraden var 80% och porositeten uppmättes till att ligga under 0,2%. Demonstratorn hade en totalhöjd på 190 mm och byggdes upp i 200 lager med en processhastighet på 1,5 m/min, vilket innebar att den totala tillverkningstiden låg under 50 minuter. Ett annat intressant exempel var uppbyggnad av strukturer med artotika material i de olika skikten, s.k. graded materials. Några exempel på påläggning med höga lasereffekter illustrerades med verktygen COAXpowerline och COAX11 där man med hjälp av 20 kW lasereffekt belade rör med Inconel625 med deponeringshastigheter mellan 14,25-14,7 kg/tim eller motsvarande 1,17-1,76 m²/tim. Ett intressant tema är höghastighets-LMD vilket gör att denna laserbaserade teknik kan konkurrera med termisk sprutning då det gäller beläggning med tunna skikt [Fig. 10]. Oftast tillämpas metoden för att belägga cylinderformade objekt, vilka roteras med hög hastighet [20-200 m/min] medan påläggningsmunstycket är stationärt. Vid höghastighets-LMD åstadkommer man metallurgiskt sammanbundna skikt med en tjocklek mellan 25-250 µm, mindre än 1% inlösning i substratet och en ytråhet som understiger 10 µm. Den huvudsakliga skillnaden mellan konventionell LMD och höghastighets-LMD är att i det förstnämnda fallet sker energitillförseln till substratet medan vid höghastighets-LMD koncentreras energin till pulverflödet.



Figur 10. Vid höghastighets-LMD kan ett cylinderformat arbetsstycke roteras i hastigheter upp till 200 m/min, vilket gör att metoden blir konkurrenskraftig gentemot termisk sprutning då det gäller att åstadkomma tunna skikt ner till 10 µm tjocklek.

Ytterligare en person som vurmade för hybridtillverkning var Frank Geyer från ”familjeföretaget” Trumpf Inc. grundat 1923. Han beskrev en demonstrator som vi känner igen från tidigare och där en finmaskigare del är uppbyggd med SLM och en mer bulkliknande del med LMD. Om hela demonstratorn skulle byggas med SLM var produktionstiden 14 timmar, men genom kombinationsförfarandet kunde tiden reduceras till 8,5 timmar. Annars visade Frank några exempel där man använde LMD som en fogningsmetod. Detta känner vi också igen sedan tidigare där åtskilliga av aluminiumdetaljerna i karosser till Deutsche Post har sammanfogats genom nedsmältning av ett aluminiumpulver. En liknande teknik hade nu använts för att skapa hermetiskt tillslutna fogar mellan en gjuten aluminiumbehållare och dess lock tillverkat i pressad aluminiumplåt, där LMD-tekniken ger synnerligen goda förutsättningar för att överbrygga varierande spalter. Ett liknande angreppssätt har använts av Daimler AG och Staufermatic Maschinenbau vid tillverkning av bromsskivor, där en gjuten rotordel fogas till en pressad plåt detalj med hjälp av LMD. Påläggningstekniken hade även använts för att bygga upp flänskammar på rör avsedda att användas som rotorskruvar vid livsmedelstillverkning.

Tyngdpunkten i Mr. Geyers presentation låg emellertid på att beskriva tillverkningen av säkerhetsnycklar där tillverkningsmetoden var SLM. På detta sätt kunde nycklarna tillverkas med invändigt dolda kanaler varför de inte kan kopieras från fotografier eller i 3D-printrar för hemmabruk. Man kan bygga 46 nycklar på en och samma plattform, och genom att omkonstruera greppet behövde man inte använda några stödstrukturer och kunde därmed exkludera ett ganska tidsödande moment, nämligen avlägsnandet av sagda strukturer från de färdiga nycklarna [Fig. 11]. Detta innebar att tillverkningstiden gick ner 14% och kostnaderna kunde motsvarande minska med 20%. Dock kan varje enskild nyckel ges en individuell design och unika invändiga kanaler – ”individualization for free” är ju ett vedertaget begrepp i branschen. En ytterligare potential ligger i att man enbart 3D-printar själva insticksdelen på ett förtillverkat, laserskuret grepp. Då sjunker tillverkningstiden med 60% och tillverkningskostnaden minskar med 30%.



Figur 11.
46 stycken säkerhetsnycklar med invändiga kanaler kan byggas på en och samma plattform utan något behov av stödstrukturer, samtidigt som nycklarna kan ges en individuell utformning.

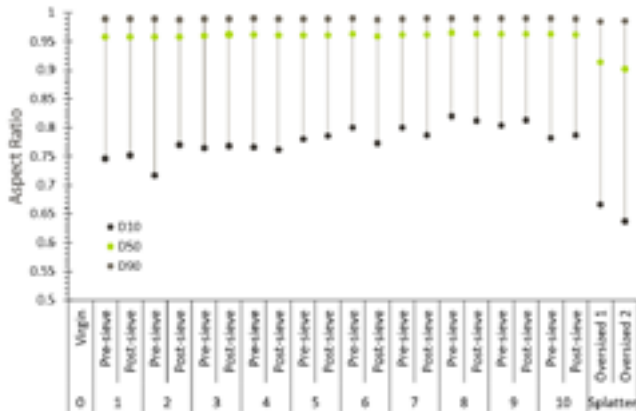
Pulver och/eller tråd

Ett antal presentationer handlade om pulver- och trådmateriell, och här inledde Nathan **Kistler** från LPW Technology. Företaget med 80 medarbetare och huvudsäte i Pittsburg, PA har specialiserat sig på att karaktärisera metallpulver. De vanligaste metoderna vid framställning av pulver är olika atomiseringsformer

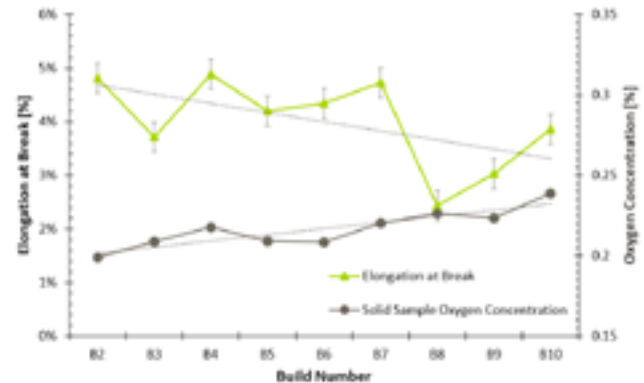
värdena liksom objektets duktilitet [Fig. 13]. Ett annat praktikfall handlade om de restspänningar som uppstår under SLM-processen p.g.a. termiska gradienter, och vilka ökar ju fler lager objektet byggs upp av. Därför menade Mr. Kistler att en efterföljande värmebehandling är nödvändig för att minska riskerna för att sprickor initieras. Ett objekt tillverkat i

Gas Atomization], PA [Plasma Atomization] och ICP [Induction Coupled Plasma Spheroidization], och för samtliga metoder låg partikelstorleken mellan 20-60 μm [Fig. 14]. Dock var storleksfördelningen olika såtillvida att ICP-metoden tenderade att ge mindre partiklar och IGA-metoden större. Dessutom resulterade PA- och ICP-metoderna i mer sfäriska partiklar och därutöver hade de PA-framställda en slätare yta, vilket visade sig ha effekter på flödesegenskaperna. Dessa kan mätas med ett flertal olika metoder, såsom "Hall-flow", "Hausner ratio" samt glidvinklar av såväl statisk som dynamisk karaktär.

Det ICP-tillverkade pulvret hade betydligt lägre syreinnehåll än de övriga, men fallerade fullständigt i "Hall-flow"-provet. Motstridigt till detta blev resultatet i "Hausner ratio" där det tillsammans med



Figur 12.
Undersökningen visade att återanvända Ti6Al4V-partiklar tenderar att få en rundare form, d.v.s. att deras "aspect ratio" närmar sig 1.



Figur 13.
Det föreligger ett närmast linjärt samband mellan pulvermaterialets syreinnehåll och det uppbyggda objektets duktilitet.

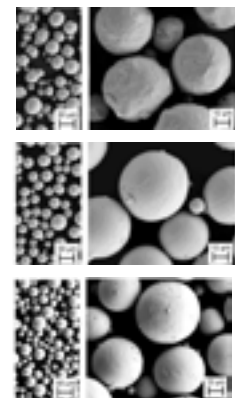
baserade på gas, plasmatråd eller plasma kombinerat med roterande elektrod, s.k. PREP [Plasma Rotating Electrode Process]. Vanligtvis ligger pulverpartiklarnas storlek i området 15-45 μm , men kan i vissa fall vara så stora som 50-150 μm , och de parametrar som registreras är partiklarnas form, specifika vikt, kemiska sammansättning, förekomsten av föroreningar som exempelvis fukt, samt partiklarnas flödesegenskaper. Ett praktikfall handlade om återanvändning av Ti6Al4V-partiklar vilka uppvisade en rundare form efter recirkulering, däremot är densitet och partikelstorlek ganska konstant, det senare beroende på den siktning som utförs [Fig. 12].

Siktningen av partiklarna medför också att deras syreinnehåll minskar eftersom stora syrerika partiklar sikts bort, något som påverkar de mekaniska egenskaperna i det SLM-bygga objektet, då det finns ett mer eller mindre linjärt samband mellan dessa och andelen syre. Lågt syreinnehåll i pulvret ökar sträck- och brottgräns-

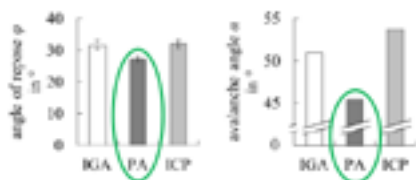
LPW-M300 maragonistål uppvisade just sprickor, men dessa kunde inte härledas till vare sig pulverkvalitet eller SLM-process. Istället var det efterbearbetning i form av avlägsnandet av stödstrukturer eller maskinbearbetning av en integrerad gänghylsa som initierade sprickan, något som understryker nödvändigheten av att ha kontroll över hela processkedjan vid additiv tillverkning.

Dirk **Herzog** från LZN [LaserZentrum Nord, Hamburg] poängterade inledningsvis hur viktigt handhavandet av pulvermaterialet är med tanke på kvalitetssäkring och reproducerbarhet av SLM-bygga objekt. Detta omfattar pulvrets tillverkning, transport och förvaring, men även återanvändning av pulver och tillämpbarhet för applikationen måste man ta hänsyn till. Föredragets huvudtema handlade om pulverpartiklars flödesegenskaper och därför hade tre Ti6Al4V-pulver med likvärdig specifikation men framställda på olika sätt jämförts med varandra. Tillverkningsmetoderna var IGA [Inert

det IGA-framställda klassificerades som "bra", medan resultatet för PA-pulvret blev "utmärkt". Sammantaget var det PA-framställda pulvret bäst, något som visade sig i de båda glidvinkelproven men också vid förenklade skjuvprov. ICP-pulvret visade sig vara sämre än det IGA-tillverkade vid det dynamiska glidvinkelprovet där pulvermassan roteras [Fig. 15].



Figur 14.
Ti6Al4V-pulver tillverkat med metoderna överst IGA, PA och ICP.



Figur 15. Undersökningen visade att plasmaatomiserat Ti6Al4V-pulver har de bästa flödesegenskaperna, något som framkom i såväl statiskt (t.v.) som dynamiskt (t.h.) glidvinkelprov, men även vid förenklade skjuvprov.

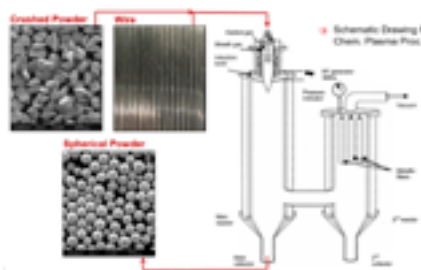
Det kanske intressantaste resultatet var att "jungfruligt" pulver har låg densitet och dåliga flödesegenskaper p.g.a. att de fina pulverpartiklarna tenderar att gyttras samman. Recirkulerat pulver får däremot en grövre partikelstorlek och högre densitet varför flödesegenskaperna förbättras [Fig. 16]. För provobjekt byggda i en M270-maskin från EOS kunde man konstatera att de som byggts med PA-framställt pulver uppvisade den högsta hållfastheten och hårdheten, medan provkroppar tillverkade med ICP-pulver var de mest duktila.



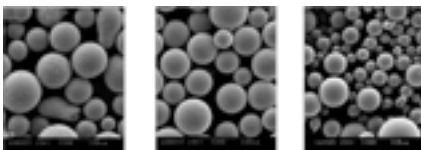
Figur 16. "Jungfruligt" pulver (t.v.) har dåliga flödesegenskaper då de fina pulverpartiklarna tenderar att gyttras samman. Vid recirkulering 6 gånger (mitten) och 12 gånger (t.h.) ökar partikelstorleken och förbättrar därmed flödesegenskaperna.

Att använda en plasmabåge för att tillverka pulver från en metalltråd är en metod som patenterats av företaget Tekna, och där processen sker i en Ar/He-atmosfär [Fig. 17]. Företaget, som 2013 förvärvades av norska Arendals Fossekompani SAS, har sitt huvudsäte i Quebec i Canada. Man har cirka 130 anställda, tillverkning i såväl Canada som Europa, och representerades vid LAM-konferensen av Jerome Pollak. Denne gentleman beskrev hur man företrädesvis tillverkar Titan-baserade pulver [Ti6Al4V, grade 5 och 23] i partikelstorlekar mellan 5-105 µm och hur partiklarna får en mer sfärisk form genom denna plasmateknik jämfört med andra framställningsmetoder. Efter framställningen tvättas pulvret så att man eliminerar de minsta partikelstorlekarna, och genom denna form av rekonditionering kan man förbättra "Hall-flow"-värdena från 46s/50g till 26s/50g. Förutom Titanpulver tillverkar man andra pulverkvaliteter i för rymdindustrin typiska material såsom Inconel718, Haynes 230, Gamma TiAl etc. [Fig. 18]. Avslutningsvis

lät Mr. Pollak meddela att man till dags dato levererat över 160 plasmabaserade pulvertillverkningssystem "world wide".



Figur 17. Principen för pulvertillverkning med s.k. ICP (Inductively Coupled Plasma) -teknik där utgångsmaterialet kan vara krossat pulver, men vanligare är trådbaserat utgångsmaterial.



Figur 18. Pulver tillverkade med Teknas patenterade plasmametod i materialen (fr.v.) Inconel718, Haynes 230 och Gamma TiAl. "Hall-flow"-värdena ligger på 13,9s/50g, 10,7s/50g respektive 26,5s/50g.

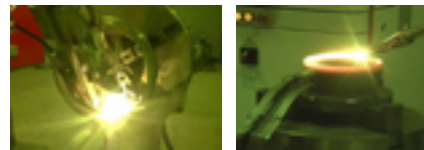
Därefter var det dags att skifta fokus från pulver till trådmateriäl, och den som då tog taktpinnen var ingen mindre är detta års LIA-president Paul Denney från Lincoln Electric. Sympatiska Paul redogjorde för denna form av additiv tillverkning där han skiljde mellan 2D-tillverkning, d.v.s. laserpåläggning och tredimensionell strukturuppbyggnad. I det senare fallet har ju processen tidigare varit riktighetsberoende, men idag finns det verktyg på marknaden där tråden matas koaxiellt vilket medför en flexiblare användning [Fig. 19].



Figur 19. Tidigare har man tvingats välja stickande eller släpande trådmateriäl beroende på aktuell applikation, men idag finns det verktyg på marknaden med koaxiell trådmateriäl vilket skapar en helt annan flexibilitet då det gäller 3D-printning med tråd.

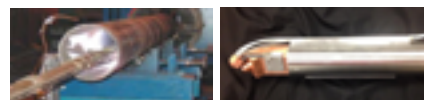
Paul beskrev vidare skillnaderna mellan "varm"- och "het"-trådstillverkning. I det förstnämnda fallet förvärms tråden i verktygets munstycke genom inställningar av strömkällans parametrar, vilket gör att

mindre lasereffekt krävs för processen. Vid hettrådsanvändning låter man strömkällan skapa en ljusbåge, vilken emellertid omedelbart undertrycks så att man istället för denna skapar en fotonbaserad process, även denna med en moderat lasereffekt. Med denna metod kan man komma upp i en påläggningseffektivitet på 5 kg/tim i kombination med en 6 kW laserälla. På en fråga från auditoriet om vilket som var bäst, stickande eller släpande trådmateriäl, menade Paul att det är helt och hållet applikationsberoende. Dock ville han rekommendera den stickande varianten vid 3D-tillverkning av små objekt. Därefter visades ett antal applikationsexempel med "hettråd" upp [Fig. 20], bl.a. påläggning med Inconel625 i PG-läge med 6 kW lasereffekt och en framföringshastighet på 1,3 m/min. Vidare Coboltbeläggning av såväl en skiva som innerdiametern på en ring med solid- respektive rörtråd, laserpåläggning "under-upp" med en pendlande robot, och även ett långtidsprov där man lade på rostfritt 420-material i en kontinuerlig process under 9 timmar! Här låg deponeringseffektiviteten på 4 kg/tim vid en skiktthocklek på 1,5 mm och en processhastighet som översteg 2 m/min!



Figur 20. Några applikationsexempel med "hettråd"; t.v. Coboltbeläggning av innerdiametern på en ring och t.h. 3D-uppbyggnad av en cylinder.

Laserpåläggning inuti rör är ju sedan länge ett kärt tema i branschen. Här visade nu Mr. Denney hur man belade ett rör med en invändig diameter på 125 mm med ett specialutvecklat verktyg från Nittany Laser som klarade ett instick på 500 mm och där deponeringseffektiviteten med Inconel625 översteg 4 kg/tim [Fig. 21].

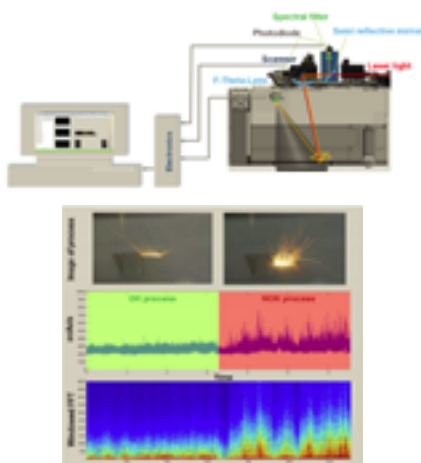


Figur 21. Laserpåläggning inuti ett rör med 125 mm diameter med hjälp av ett specialutvecklat verktyg som klarar ett instick på 500 mm från företaget Nittany Laser.

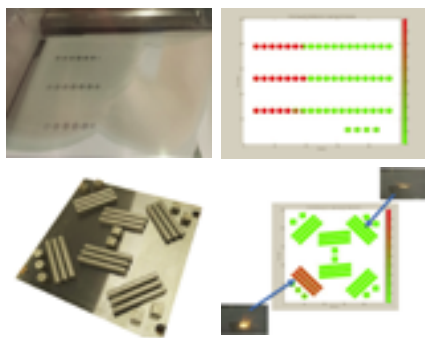
Processövervakning och -verktyg

Även då det gäller additiv tillverkning är processövervakning i någon form önskvärd, och nu kunde vi lyssna till Thomas Grünberger från PlasmO när han beskrev

företagets "Fast Process Observer". Denna är baserad på fotodiodteknik och har en insamlingsfrekvens av data på svindlande 250 kHz [Fig. 22]. Man mäter ljusintensiteten från plasmaget över tiden och jämför den med uppsatta gränsvärden. Detta sker 60.000 gånger per sekund, vilket innebär att registreringshastigheten är 10.000 gånger högre än vad ett mänskligt öga orkar med. Övervakningsfunktionens tillförlitlighet illustrerades med ett par exempel, där ett handlade om ojämn fördelning av det pålagda pulverlagret, och ett annat om avvikande fokalpunktspositionering [Fig. 23]. Herrn Grünberger menade dock att det finns en form av "självläkande" effekt vid SLM, vilket kan innebära att ett byggt objekt är godkänt även om processövervakningen säger något annat, men generellt kunde han visa på en god överensstämmelse mellan processtabilitet och objektets slutgiltiga kvalitet. "Fast Process Observer" är en option i alla SLM-maskiner från EOS och går då under beteckningen "EOSTATE Meltpool".



Figur 22. T.v. principskiss över Plasmas "Fast Process Observer" med en insamlingsfrekvens av mätdata på svindlande 250 kHz, och t.h. illustreras hur dessa mätdata presenteras på bildskärmen.



Figur 23. "Fast Process Observer" visar som synes en god överensstämmelse med verkligheten i fallen med ojämnt pålagt pulverlager (överst) och avvikande fokalpunktspositionering (underst.).

Inte en laserkonferens utan medverkan av Dr. Markus **Kogel-Hollacher** från Precitec, och detta gällde även vid LAM 2017. Han inledde med att visa några av företagets dedikerade verktyg för laserpåläggning, såsom COAXcladder XC52 och YC30 avsedda för lasereffekter på 20 respektive 6 kW. För att öka pålägghastigheten har Precitec nyligen utvecklat ett rektangulärt munstycke i vilket man integrerat företagets "scanner"-verktyg "Scan Tracker", och som illustrerades med reparation av en strukturdetalj för aerospace med Titan-pulver. Därefter gick Markus in på att beskriva de begränsningar som olika munstycksutformningar har då det gäller pulvertillförsel. S.k. ringmunstycken med pulvertillförsel längs munstycksöppningens omkrets är mindre lämpliga i de fall då påläggningsmunstycket behöver vinklas mot arbetsytan. Med pulvertillförsel från sidan blir processen riktighetsberoende, och om man använder ett munstycke med fyra diskreta utlopp ligger pulvrets verkningsgrad på föga imponerande 85%. Därför kan påläggning med tråd i vissa fall vara ett bättre alternativ, och här visade den gode Markus upp det verktyg med koaxiell trådtillförsel som ursprungligen togs fram för laserlödning men vilket även kan användas för påläggning vid lasereffekter upp till 5 kW [Fig. 24]. Med tråd har man ett garanterat 100%-igt utnyttjande av det tillförda materialet, och där optiken är så utformad att den cirkulära stråldistributionen kan "öppnas" då tråden skall positioneras i verktyget. Möjlighet finns att förvärma tråden för att på så sätt effektivisera påläggningen, vilket påvisades med några applikationsexempel utförda i samarbete med Laserline. Verktyget väger cirka 12 kg och kan utrustas med såväl pyrometer som CMOS [Complementary Metal Oxide Semiconductor] -kamera för processövervakning.



Figur 24. Precitecs variant för laserpåläggning med tråd ingår i företagets serie av COAXcladder-verktyg och väger endast 12 kg. Det kan kompletteras med både pyrometer och CMOS-kamera för processövervakning.

Något att lyfta på ögonbrynen för

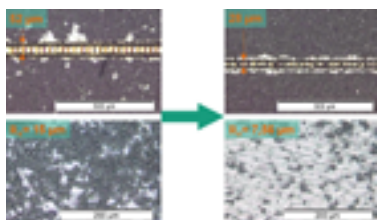
Nytt för året var att LAM-konferensen även innefattade additiv tillverkning på mikro- och nanonivå, och här bjöds vi på några intressanta presentationer där Robin **Day** från RWTH och Fraunhofer ILT [Institut für Laser Technik] i Aachen inledde med att beskriva SLM på mikronivå. Vid vanlig SLM ligger detaljupplösningen på 100-200 μm och ytjämnheten uttryckt i Rz-värden mellan 40-100 μm , men vid $\mu\text{-SLM}$ talar vi om nästintill en tiopotens lägre värden. Några imponerande skapelser var miniatyrer av Eiffeltornet, en maskros samt en huvudskalle som storleksmässigt jämfördes med ett eurocentmynt. Dessa exemplar hade byggts i en maskin av märket Realizer SLM-50, vilken klarar att bygga objekt med 70 mm diameter och 40 mm höjd, med 120 W lasereffekt och en fokalpunktsdiameter på 25 μm . Användningsområdena för $\mu\text{-SLM}$ hittar vi inom elektronikbranschen där man exempelvis kan skapa mikrokanaler för kylning. Vidare används metoden inom medicinteknik där man bygger mikrokugghjul och pumpar vilka opereras in i blodkärl för att på så sätt kunna underlätta blodflödet [Fig. 25]. Slutligen har juvelerarbranschen blivit en stor avnämare för $\mu\text{-SLM}$ -tillverkning.



Figur 25. Mikrokugghjul i mikromotorer tillverkade med $\mu\text{-SLM}$ och avsedda att inopereras i blodkärl för att där kunna underlätta blodflödet.

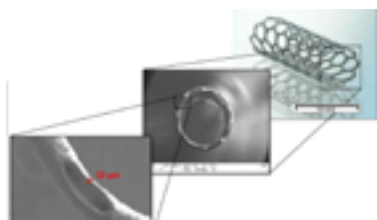
Den parameter som har störst inverkan på detaljupplösningen är fokalpunktsstorleken [$d \leq 25 \mu\text{m}$], medan ytkvaliteten främst är avhängig av de uppbyggda lagrens tjocklek [$t \leq 10 \mu\text{m}$], och vägg tjocklekarna främst bestäms av pulverpartiklarnas storlek. Dessa ligger vid $\mu\text{-SLM}$ alltid under 10 μm och är i genomsnitt 4,4 μm stora. De pulvermaterial som Herrn Day använt vid experimenten var företrädesvis rostfritt stål av kvalitén 316L, Ti6Al4V och en minnesmetall i NickelTitan [Ni 55,3% / Ti 44,5%]. P.g.a. pulverpartiklarnas minimala storlek uppstår gärna en oönskad hopgyttring av pulverpartiklarna, vilket medför att det blir svårt att styra pulverlagrens tjocklek. Detta hade man emellertid kunnat motverka genom att pulvret vibrerades under deponeringen med 8 stycken mikromotorer, och på så sätt gick

det att bygga objekt i 10 µm tjocka pulverlager. Den höga upplösningen möjliggörs genom att man kontrollerar smältans dynamik med hjälp av korta laserpulser med 50-250 ns längd och pulsfrekvenser mellan 500-5.000 Hz. Med sådana åtgärder kunde smältans bredd reduceras från 52 till 28 µm och Rz-värdet förbättras från 15 µm till 7,56 µm [Fig. 26]!



Figur 26. Med korta laserpulser på 50-250 ns och puls-frekvenser mellan 500-5.000 Hz kan smältans dynamik kontrolleras och på så sätt öka upplösningen och förbättra ytjämnheten hos de byggda objekten.

Ett imponerande exempel var ett blodkärlsförstärkande "stent" som först såg ut att vara uppbyggt av en homogen nätstruktur med 100 µm diameter, men där denna vid närmare betraktande visade sig vara ihålig med en vägg tjocklek på 32 µm [Fig. 27]! Då det gäller framtida forskning menade Herrn Day att denna kommer att rikta in sig på integrerade funktioner i de byggda objekten och en ytterligare förfining av detaljupplösningen. Man avser även att undersöka effekter av att använda sig av kortare våglängder i det gröna våglängdsområdet. Ett problem vid µ-SLM är att tillgången på pulvermaterial är begränsad och att pulvertillverkarna är föga intresserade av att leverera så fina pulver. Det fina pulvret gör att de skapade objekten får hög densitet, och här visades på siffror som nådde 99,87%, men nackdelen är att byggnationstiden ökar och att den kan ta upp till 30-40 sekunder/lager.

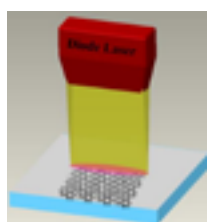
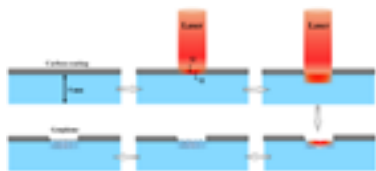


Figur 27. Ett makalöst exempel på vad som är möjligt med µ-SLM; ett blodkärlsförstärkande "stent" där den 100 µm grova nätstrukturen visar sig vara ihålig och ha en vägg tjocklek på blott 32 µm.

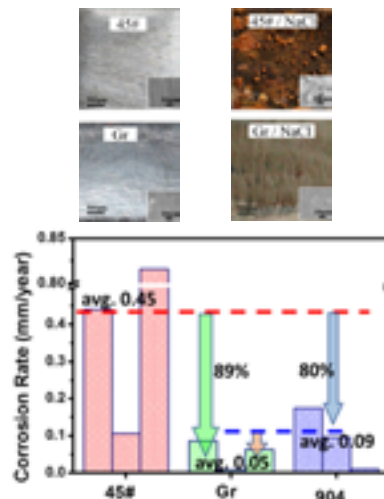
Ett steg ytterligare i miniaturisering gick professor Minlin **Zhong** från Tsinghua University, vars föredrag handlade om laserprintning av grafen på nano-nivå. På en dylik detaljnivå har man hittills främst

arbetat med polymera material i det ultraviolette våglängdsområdet och byggt strukturer med tvåfotons polymerisation alternativt multifotons litografi. Detaljnoggrannheten styrs av fokalpunktsstorleken, vilken emellertid inte kan understiga 200 nm p.g.a. laserljusets brytningsgräns. För att kunna skapa ännu finare strukturer måste man välja ett extremt tunt material, och här blir grafen, "upptäckt" av de ryska forskarna Andre **Geim** och Konstantin **Novoselov** och tilldelats Nobels fysikpris 2010, intressant då det är uppbyggt av 0,34 nm tjocka kolatomlager. Den gode Minlin uppehöll sig därvid vid detta materials unika egenskaper där han bl.a. nämnde att det är hårdare än diamant men ändå har förlängningsvärden kring 25%. Vidare att det är gastätt trots sin låga densitet på 1 mg/m², samt att dess värmeledningsförmåga är 10 gånger högre jämfört med koppar!

Därefter gick han över till att beskriva några tilltänkta användningsområden såsom printning av stora grafenytor med en effekttäthet på 1,87×10³ W/cm² och en processhastighet på cirka 30 cm²/min [Fig. 28]. Vidare visade han på exempel där man hade printat eller tryckt grafen på stål för att förbättra det senares korrosionsmotstånd [Fig. 29]. Framtida forskning vid universitetet kommer att handla om CO₂-laserfogning och ablation av grafen, samt om mikroskärning med hjälp av fs-långa laserpulser. På en fråga från auditoriet om vilka applikationer som kunde vara aktuella för grafen blev professor Zhong inte svarslös utan menade att högkänsliga sensorer för ljudupptagning kunde vara en, och att han förväntade sig många användningsområden inom exempelvis hälsovård där grafen kan vävas in i kläder. Han avslutade med ett spännande exempel där en artificiell hand i grafen kunde röra sig då den utsattes för en viss luftfuktighet.



Figur 28. Principen för mekanismerna vid laserprintning av grafen (överst) och hur denna kan tänkas utföras över stora ytor med hjälp av exempelvis en diodlaser.



Figur 29. Genom att laserprinta grafen på kolstål (45#) ökar det senares korrosionsmotstånd till nivåer som t.o.m. överträffar de som gäller för rostfritt stål (904).

Idag finns det cirka 15.000 industriella 3D-printmaskiner i världen där merparten används för polymert material medan blott 900 använder metalliska pulver, allt enligt Tim **Wohlers**' [Wohlers Associates]. Prislappen för den senare typen är idag förhållandevis hög, varför en lågprisvariant av SLM-maskin vore önskvärd, något som Dr. Tim **Biermann** och hans kollegor vid det av ILT/RWTH gemensamt drivna Aachen Center for 3D Printing tagit fasta på. Man har byggt upp en användarvänlig prototyp baserad på en 140 W diodlaser med ny optik, elektronik och processövervakning [Fig. 30]. Lasern levererar en fokalpunkt med 250 µm diameter och tillgänglig byggvolym har en diameter på 80 mm i horisontalplanet och en höjd på likaledes 80 mm. I stället för ett "scanner"-verktyg manipuleras laserstrålen av en liten portalrobot där pulveravstrykaren är integrerad i x-axeln. Lösningen innebär visserligen en långsammare process, men utförda försök med rostfritt pulvermaterial visade på en objektdensitet på 99,5%, Rz-värden mellan 30-120 µm, en detaljupplösning mindre än 100 µm och en spridning under 200 µm. Det ungefärliga priset på en sådan maskin bedömde Dr. Biermann skulle komma att ligga kring 20.000 euros, och för att kommersialisera produkten har man vid centret etablerat ett avknopningsföretag för detta ändamål.

Additiv tillverkning har verkligen blivit på modet under senare år, men fortfarande är det sparsmakat med industriella tillämpningar. Längst har man kommit då det gäller LMD, och här kan man hitta ganska många applikationer där laserpåläggning används för att förbättra kom-



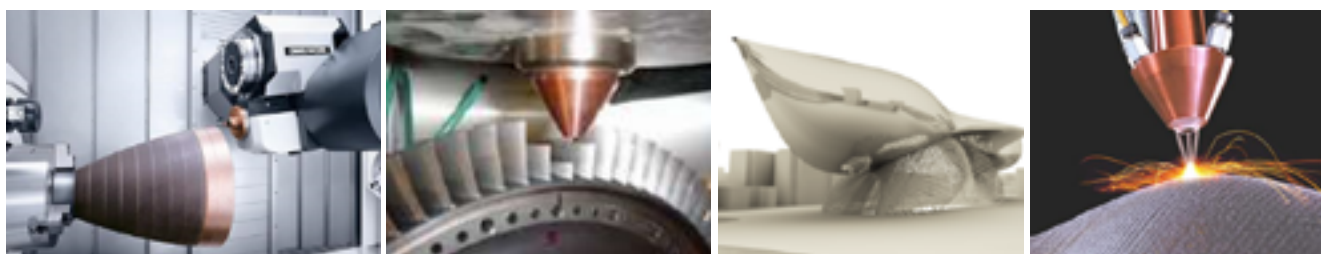
Figur 30.
Tim Biermann och hans kollegor vid Aachen Center for 3D Printing har utvecklat denna "lågprisvariant" av SLM-maskin, baserad på en 140 W diodlaser, och där laserstrålen manipuleras av en liten portalrobot med pulveravstrykaren integrerad i x-axeln.

ponenters prestanda såsom ökad livslängd eller bättre korrosionsskydd, men metoden används även vid reparation av "high value"-komponenter. Visst finns konkurrerande metoder som termisk sprutning, CVD [Chemical Vapour Deposition] och PVD [Physical Vapour Deposition], men i motsats till dessa tekniker får man inte bara en mekanisk koppling mellan pulver och substrat utan också en metallurgisk bindning.

Vad gäller SLM finns ju en konkurrent i form av elektronstrålebaserad pulverbäddsteknik, men båda metoderna dras fortfarande med långa produktionstider och låg produktivitet. I Europa pågår en hel del forskning för att råda bot på detta genom att använda simultana laserstrålar eller s.k. skin-core-teknik. För att kunna göra de riktigt stora tekniksprången här krävs nog en samsyn genom hela till-

verkningskedjan, från konstruktion, över materialegenskaper och fram till produktionsprocess och kvalitetskontroll. Här ser vi den satsning som görs inom GE-koncernen som en inspirationskälla för andra tillverkande företag att följa.

Hursomhelst kunde vi som deltog vid LAM 2017 konstatera att det inte saknas engagemang både inom industri och forskning. Det gäller bara att hitta de rätta användningsområdena, och inte tro att additiv tillverkning kan appliceras överallt. Jag kan se parallellen med lasersvetsning, som när den aktualiserades sågs som allena saliggörande för all svetsning, vilket ledde till många missgrepp och satsning på för lasersvetsning mindre lämpade konstruktioner. Låt oss bara hoppas att vi slipper se samma misstag upprepas inom den additiva tillverkningen. ■



Nya seniorforskare vid Luleå tekniska universitet

Frank Brückner anställdes i november 2016 som adjungerad professor i produktionsutveckling vid Luleå tekniska universitet, LTU. Frank är sedan 2003 forskare på Tekniska universitetet i Dresden och sedan vid Fraunhofer institut IWS i Dresden, Tyskland. Han disputerade om beräkning av laserpåsvetsprocessen och avancerade nyligen från gruppchef för Additive Manufacturing till områdesansvarig för Additive Manufacturing and Printing, vilket inkluderar fyra forskargrupper. Viktiga roller för Frank vid LTU är att skapa synergier för gemensam användning av labbutrustning (IWS har bl. a. ett antal 3D-skrivare för metaller) och att handleda doktorander vid LTU inom additiv tillverkning.

Jörg Volpp arbetar sedan juni 2017 som seniorforskare vid laserforskningen på LTU. Jörg läste maskinteknik på Universität Stuttgart, och utförde sitt examensarbete vid lasergruppen IFSW i Stuttgart. Han tillbringade ett halv r på Robert Bosch GmbH i South Carolina, USA ,och har de senaste sex åren varit forskare på institutet BIAS i Bremen, där han nyligen disputerade om modellrkning av nyckelhålet i lasersvetsning. Jörg kommer bl. a. att arbeta som biträdande handledare för doktorander inom laserbearbetning på LTU.



Figur 1.
Frank Brückner r anställd som adjungerad professor inom laserforskningen vid Luleå tekniska universitet sedan november 2016. Han är specialist inom additiv tillverkning.



Figur 2.
Jörg Volpp, med doktorsexamen från IFSW i Stuttgart, arbetar nu vid laserforskningen på Luleå tekniska universitet. Hans specialistområde r lasersvetsning.

Såväl traditionella som nya användningsområden för lasertekniken presenterades vid LANE 2016

Johnny K Larsson,
Autokropolis Engineering

I de två tidigare numren av LaserNytt redogjorde jag för mina intryck från bl.a. plenar- och avslutningssessionen vid LANE-konferensen i Fürth i september förra året, samt redogörelser från de olika tekniska sessionernas mest intressanta presentationer. Här avslutas artikeln med flera presentationer från de tekniska sessionerna.

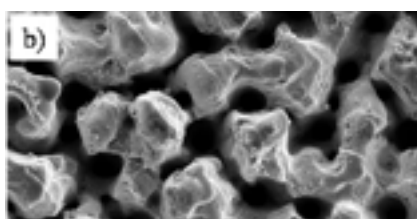
Sammanfogning av metaller till plast

Att med hjälp av laserteknik sammanfoga polymerer med metaller har med blandade resultat redovisats under ett flertal år.

Detta ämnesområde adresserades av Kira **van der Straeten** från ILT [Institut für LaserTechnik] i Aachen. Här utgjordes metaldelen av 1 mm tjockt rostfritt 1.4301 [X5CrNi18-10], vilket strukturerades med hjälp av en SM [Single Mode] –fiberlaser på 1 kW ur vilken man använde 750 W fokuserad i en 20 µm stor fokuspunkt och där processhastigheten låg på 10 m/sek [Fig. 18]. Pulslängden var 6 ps och frekvensen 800 Hz, och för att skapa tillräckligt djupa mönster krävdes mellan 4-5 repetitioner. Polymerpartnern var i det här fallet glasfiberförstärkt Macrolon [TEPEX®] i två tjocklekar, 2 och 4 mm, och för denna typ av värmeledningssvetsning lät man laserstrålen falla in vinkelrätt eller i 45° till metallytan. Här var laserkällan en 3 kW diodlaser där fokuspunkten med hjälp av optiken kunde varieras mellan 5×5 mm och 16×30 mm, och den använda lasereffekten för att skapa sammanfogningen uppgick till 525 W under 2 sekunder. Högst hållfasthet vid skjuvdragprov fick man då avståndet



mellan strukturlinjerna låg på 200 µm. Däremot var hållfastheten i fläk tämligen låg men kunde förbättras i de fall då laserstrålen föll in i en 45°-ig vinkel. Vid skjuvbelastning skedde brottet i polymeren medan brottmoden vid fläklast var den att polymeren drogs ut ur de skapade strukturräfflorna.

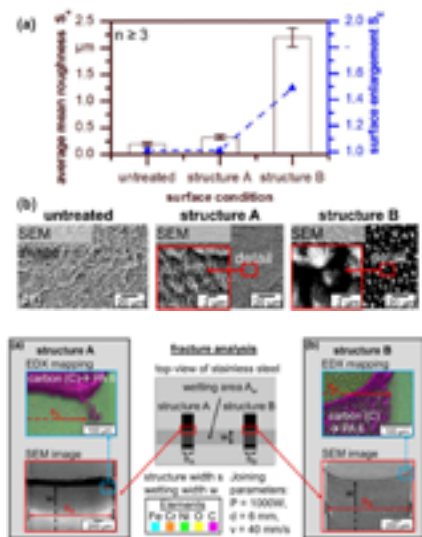


Figur 18. Processtegen vid laserfogning av polymer till metall (a), och en SEM-bild av den laserstrukturerade metallytan (b).



Philipp **Amend** från BLZ bidrog med en tredje presentation i ämnet men nu med materialen rostfritt 1.4301 mot PA6, vilket har en smälttemperatur på 218 °C. Herrn Amend var mycket nöjd med den hållfasthet som uppnåddes och delade in resultaten i vad han kallade starka fogar mellan 15-20 MPa och extremt hållfasta dito med värden mellan 20-25 MPa. Struktureringen hade här gjorts sålunda att en viss yta överfarits med 10 ps långa laserpulser, antingen en gång eller med 7 repetitioner. Det senare gav en slätare yta med ett Sa-värde på 0,32 [Typ A], medan endast en struktureringsomgång gav motsvarande 2,20 [Typ B, Fig. 19]. Svetsningen gjordes sedan med en 1 kW laser med 1.030 nm våglängd och tre olika ”scanning”-hastigheter utvärderades; 40, 50 och 60 mm/sek. Likaså gjordes jämförelser mellan olika bredd på den sammanbindande ytan; 1, 2 och 3 mm. En långsammare ”scanning”-hastighet resulterar i högre temperatur och därmed högre hållfasthet i fogen. För de objekt där den rostfria ytan bearbetats 7 gånger

skedde ett adhesivt brott mellan parterna, medan för dem, som bara överfarits med laserpulser en gång och därmed uppvisade en skrovligare metallyta, skedde brottet i polymeren [Fig. 19].

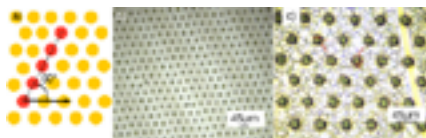


Figur 19. Då ytan endast struktureras en gång erhåller man en grövre yta (B) jämfört med sju strukturerings-omgångar (A). Detta återspeglas i brottbeteendet vid dragprov där man fick ett adhesivt brott för variant A medan brottet i B-varianten skedde i polymerdelen.

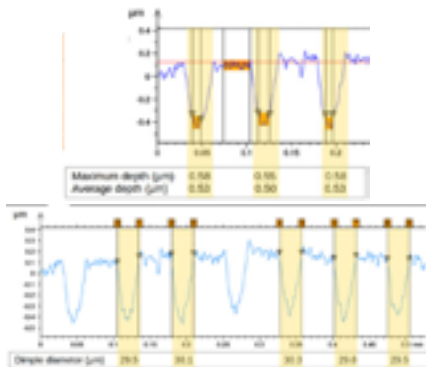
Strålomformning

Under rubriken strålomformning talade Dr. Cyril **Mauclair** från GIE Manu-tech-USD i Saint Etienne om hur man med fs-långa laserpulser strukturerade metallytor. Ablationseffektiviteten hade undersökts i förhållande till ljusintensiteten i laserstrålen vid bearbetning av DLC [Diamond Like Carbon]. Med tekniken hade man eftersträvat att nå tribologiska effekter som kan bidra till att reducera friktionskoefficienten hos ytor. Genom att skapa små gropar som kan hålla oljor och smörjmedel på plats i formverktyg skapas bättre förutsättningar vid exempelvis plåtpressning. Undersökningar har visat sig att man når bäst resultat om den skapade ytstrukturen är regelbunden. Därför hade Ms. Mauclair arbetat med optiker som genom att använda vågfrontsmodulering gav flera fokuspunkter vilka kunde positioneras i olika mönster. Bäst effekt fick man om fokuspunkterna var orienterade längs en linje 60° i förhållande till framföringsriktningen [Fig. 20]. Groparnas medeldiameter uppgick till 30 µm och deras djup till 51 µm, allt inom en varians understigande 7% [Fig. 21]. Ett praktikfall visade på hur man på 4 sekunder hade strukturerat ytan på en ventil. Bland andra områden som omnämndes var skärning av tunna solcellsmembran, skapandet av

V-formade mikroskåror eller skraddarsyddasådana.



Figur 20. Om man vill skapa en regelbunden ytstruktur över stora ytor använder man lämpligtvis optiska element som ger flera fokuspunkter samtidigt. Genom att gruppera dessa i en linje 60° i förhållande till processriktningen fick man ovanstående regelbundna mönster.



Figur 21. Repeterbarheten vid denna typ av ytstrukturering är extremt stabil både vad gäller groparnas djup (överst) som deras diameter (underst), med en varians mindre än 7%.

Laserkällor

Professor **Hoffmann** från BLZ ledde den session som behandlade olika laser-källor, och förste talare här var Dr. Dietmar **Kracht** från LaserZentrum Hannover. Hans redogörelse handlade om laserkällor i våglängdsområdet kring 2 µm, där såväl cw som ns-, ps- och fs-pulsning hade undersökts. Då det fysikaliskt är svårt att generera höga effekter för denna typ av laserkällor finns det lite olika tekniker för att lösa problemet. En är att kombinera flera fiberlasrar [Fig. 22], en annan att arbeta med spektrum- eller våglängds-kombinering [Fig. 23]. Den senare är bara tillämplig för SM [Single Mode] -lasrar. Inom ns-området förekommer redan idag kommersiell användning inom medicin-teknik då 2 µm våglängden har en god absorptivitet i mänsklig hud. Med en cw-källa med 38 W medeleffekt har man kunnat påvisa en optisk verkningsgrad på 70%. Herrn Kracht visade på några alternativa laserkällor med 11 W medeleffekt där man vid 10 kHz kunde generera pulsenergi på 1 mJ vid 100 ns långa pulser alternativt 350 µJ vid 10 ns pulslängd. Inom ps-området visades en enhet som pumpades med laserdioder och som även den gav en medeleffekt på 11 W. Här kunde man åstadkomma 4 µJ pulsenergi vid 100 ps långa pulser och 2 MHz frekvens.



Figur 22. Ett exempel på hur man kombinerar flera fibrer från ett antal fiberlasrar i ett knippe för att därigenom kunna skapa höga effekter även inom våglängdsområdet 2 µm.



Figur 23. Ett annat sätt att skapa högre effekter för 2 µm-lasrar är att kombinera olika våglängder som i denna principskiss. HR-FBG = High reflection fiber-Bragg grating LR-FBG = Low reflection fiber-Bragg grating WDM = Wavelength-division multiplexer

Därpå avhandlades laserkällor med pulskapacitet inom fs-området. Dessa använder som oscillator en Tm [Thulium] eller Ho [Holium] -dopad fiber och en regenerativ förstärkare baserad på en Tm:YAP och Ho:YAG-kristall. Våglängden hos den förstnämnda ligger på 1.935 nm och för Holium-lasern på 2.090 nm. Strålkvaliteten för båda uttryckt i M2 ligger kring 1,5, och för att leverera en pulsenergi på 700 µJ krävs 410 fs långa pulser för Tm-lasern respektive 1,2 ps för Ho-lasern. Dr Kracht avslutade sin intressanta presentation med att peka på det generella problem man har vid denna typ av laserkällor, där mycket av laserenergin går förlorad genom absorption i de olika optiska komponenterna.

Alexander **Laskin** från AdlOptica GmbH i Berlin hade studerat hur man kunde minimera de termiska effekterna på de optiska komponenterna vid SLM-processen. Han poängterade den risk för fokalfunktsförskjutning som föreligger då man använder laserkällor med höga effekter, och som är mest utpräglad vid SM-lasrar. En annan optisk komponent som tar skada av höga lasereffekter är skyddsglasen vilka utsätts för höga temperaturgradienter. Här hade man studerat skyddsglas i såväl kiseloxid som glas [BK7, Tab. 1], vilka båda har sina begränsningar. De förra ändrar sitt brytningsindex vid stora temperaturgradienter och de senare sin geometriska form. Därför har man hos AdlOptica utvecklat produkten Therm00X som är ett självkompenserande skyddsglas, som kan skapa en "munkformig" eller reverserad Gaussisk energiför-

delning. Detta skyddsglas hade integrerats i ett "scanner"-verktyg från II-shaper och med den "munkformiga" energifördelningen kunde energitätheten ökas med 58% samtidigt som annars förekommande metallsprut minimerades.

Tabell 1.

Egenskaper hos kiseloxid och BK7-glas

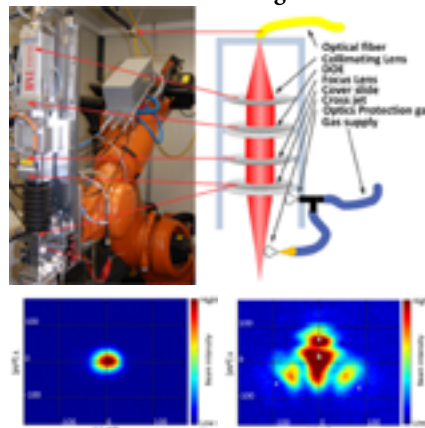
Skyddsglas-material	dn/dt [1/K] ¹	CTE [1/K] ²
Kiseloxid	$8,8 \times 10^{-6}$	$0,5 \times 10^{-6}$
BK7-glas	$1,5 \times 10^{-6}$	$7,1 \times 10^{-6}$

1) Derivat av brytningsindex som funktion av temperatur

2) Coefficient of Thermal Expansion (termisk expansion)

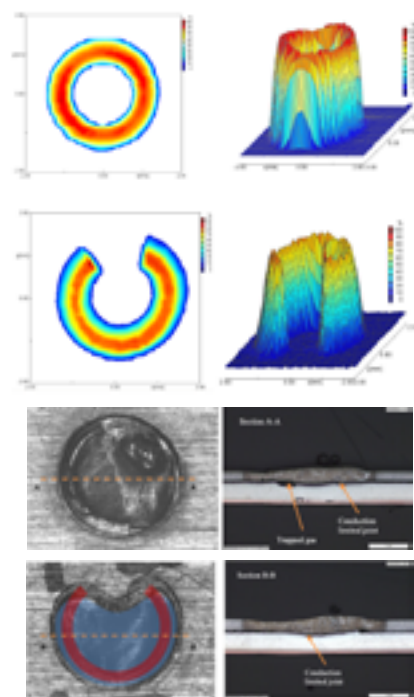
Sigurd Lazic **Willumsen** från Aalborg University redogjorde för fjärrlaser-skärning med diffraktiva optiker [DOE = Diffractive Optic Element] där man närmast studerat processtabilitet och snittkvalitet [Fig. 24]. P.g.a. denna typ av fjärbearbetning användes ingen assistgas och avståndet mellan skärverktyget från HighYag och arbetsstycket var 470 mm. Som laserkälla använde man en IPG YLS-3000 ur vilken man nyttjade 630 W vid skärningen och därmed kunde nå skärhastigheter mellan 800 och 1.600 mm/min. Materialet utgjordes av 0,5 mm tjockt rostfritt 1.4307-material. Experimenten var uppdelade i två delar; den första med laserstrålen ansatt vinkelrätt mot arbetsstycket och en andra del där laserverktyget vinklades i såväl x- som y-led för att mer efterlikna de vid fjärrlaserbearbetning relevanta förutsättningarna. Genom att använda sig av den diffraktiva optiken erhöll man en stabilare skärprocess, samtidigt som man fick en smalare värmepåverkad zon och mer vinkelräta skärsnitt.

Att arbeta med diffraktiv optik var temat även för Dr Yen **Kong** och hans kol-



Figur 24. Överst den vid experimenten använda utrustningen med DOE placerad efter kollimeringslinsen, samt ovan intensitetsprofilen för normal (t.v.) och modifierad (t.h.) laserstråle.

legor från TWI [The Welding Institute]. Här handlade det om värmeledningssvetsning av batterikopplingar med enkelpulser. Tidigare försök för dylik fogning med hjälp av laser hade påvisat att en Gaussisk strålförhållande ger en begränsad kontaktyta och därmed hög oönskad resistivitet. Samtidigt är de ingående komponenterna värmekänsliga varför svetsningen måste ske snabbt. Därför blev fjärrlaser-svetsning i kombination med diffraktiva optiker, som ger en mer ringformig energifördelning, ett tilltalande alternativ. Försöken genomfördes med en 5 kW fiberlaser från IPG med en BPP [Beam Parameter Product] kring 6 mm*mrad och Arges' "scanner"-verktyg "Elephant". Distributionsfibern hade en diameter på 150 µm och tillhandahölls av Optoskand. Olika DOEs från företaget Axiom hade utvärderats, och dessa var snabbt utbytbara genom en fiffig "byrålösning" i verktyget. Uppgiften var att svetsa ett nickelpläterat material till ett NiCu-pläterat. Cirkulära svetsar med en diameter på 2 mm kunde utföras på 45 ms, och liksom för C-formiga svetsgeometrier skedde värmeutbredningen in mot fogens centrum [Fig. 25]. En annan observation var att man fick ett stort bredd/djup-förhållande hos svetsgodset. Andra experiment hade utförts som Cu-Cu-svetsning på kretskort, samt svetsning av rostfritt 2205 duplex material, där den diffraktiva optiken skapade fyra fokalpunkter i rad.

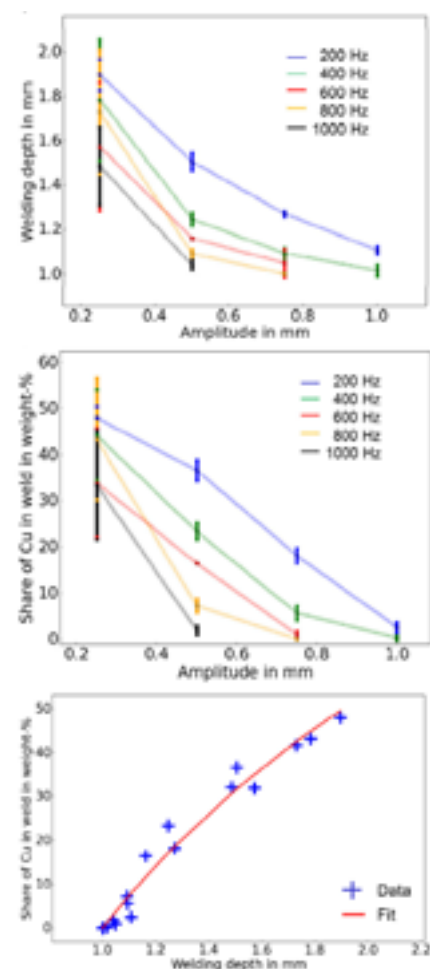


Figur 25. Med olika diffraktiva optiker med ty åtföljande energifördelning gick det att skapa såväl cirkulära som C-formade svetsar på 45 ms.

Lasersvetsning

Florian **Fetzer** och hans kollegor vid IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] vid Stuttgart Universität hade studerat svetsning av aluminium till koppar med oscillerande laserstråle. Materialen var Al99.9 som topplåt och Cu-OF som bottenplåt och tjockleken hos båda var 1 mm. Laserkällan var en diodlaser från Laserline [LDF-4000-8] kopplad till Scansonics "scanner"-verktyg RLW-A. Den använda lasereffekten uppgick till 3,25 kW, framföringshastigheten var 6 m/min, medan "scanning"-frekvensen varierades mellan 200 Hz och 1 kHz, och amplituden mellan 0,25-1,0 mm. Fokalkpunkten var placerad på aluminiumplåtens toppyta och hade en diameter på 280 µm medan Rayleigh-längden var 5 mm. Oscilleringen utfördes i form av en sinuskurva, vilken antingen utfördes i linje med eller tvärs framföringsriktningen.

Detta visade sig ge olika stora smältbad; utan oscillering var detta 13,3 mm² stort, medan det blev mindre då

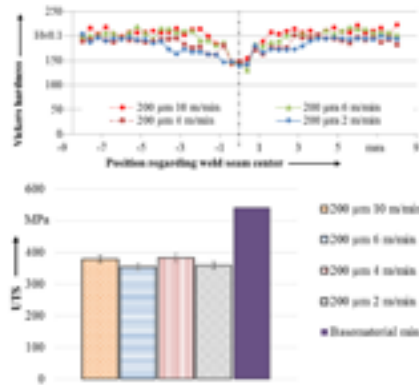


Figur 26. Amplitudens storlek vid oscillerande svetsning av aluminium till koppar (bottenplåt) påverkar penetrationsdjupet och därmed andelen uppsmält koppar, vilket medför ett näst intill linjärt samband mellan penetration och mängden koppar i svetsgodset.

oscillering användes; 8,3 mm² vid linjär scanning och 7,3 mm² vid transversell sådan. Att använda sig av större amplitud i kombination med en lägre frekvens visade sig ge bästa svetskvalitet utan förekomst av sprickor, men detta på bekostnad av en sämre penetration. Amplitudens storlek hade störst inverkan på kopparmaterialet, men nästan ingen på aluminiumet [Fig. 26]. Den grunda penetrationen i det underliggande kopparmaterialet gör att förbandet får en oönskat låg resistivitet, men denna ökar med ökande temperatur. De redovisade resultaten utgjorde delar från det BMBF [Bundesministerium für Bildung & Forschung]-finansierade projektet "ReMiLas" [Remotefähiges Fügen von leichtbaurelevanten Mischverbindungen mit effizienter Lasertechnik].

Att lasersvetsa sprickkänsliga aluminiumlegeringar såsom AA7075 tycks vara ett intressant tema, så också hos BLZ. Nu fick vi lyssna till Matthias **Holzer** som redogjorde för de försök som hade utförts vid institutet. Fokus hade legat på att studera hur olika sträckenergi påverkar sprickkänsligheten och som laserkälla hade man använt en 4 kW disk laser med 1.030 nm våglängd som gav en fokuspunkt på 200 µm som positionerades i stumfogen mellan två 2 mm tjocka aluminiumplåtar av legeringstypen AA7075-T6. Genom att variera svets hastigheten mellan 10-2 m/min fick man ett energifönster som sträckte sig mellan 17-36 kJ/m, och som skyddsgas användes Argon på såväl topp- som botten sida. Analysen av svetsgodset gav vid handen att andelen Zn och Mg minskar vid förhöjd sträckenergi samtidigt som stelningstemperaturen går ner. Detta beror på att såväl viskositet som termisk expansion i svetsmältan minskar med ökande sträckenergi, vilket i sin tur leder till en minskad risk för sprickinitiering, något som validerades genom uppmätning av RHCL [Relative Hot Cracking Length]. Hårdheten i svetsgodset hamnade på 150 Hv att jämföras med grundmaterialets 190 Hv, medan brotthållfastheten i svetsgodset låg strax under 400 MPa, vilket gjorde att brottet vid dragprov alltid skedde i svetsgodset och att man hållfasthetsmässigt inte såg någon inverkan av olika sträckenergi [Fig. 27]. På en fråga om förvärmning av aluminiumsubstratet kunde förbättra sprickkänsligheten blev svaret att detta inte är någon lösning då en sådan uppvärmning i stället skulle försämra materialets mekaniska egenskaper.

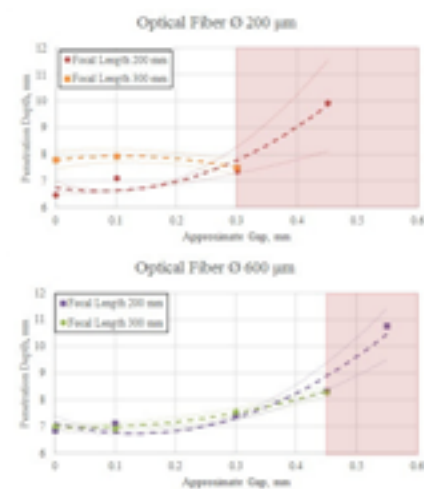
Antii **Salminen** från Lappeenranta University of Technology redogjorde för



Figur 27.

Även om risken för sprickinitiering vid svetsning av AA7075-T6 minskar vid ökande sträckenergi hade detta föga inverkan på svetsgodsets hårdhet eller hållfasthet, och brottet vid dragprov skedde alltid i svetsgodset.

stums svetsning av 14 mm tjockt skeppsbyggnadsstål [AH36]. Här hade man undersökt spaltöverbrygningsförmågan genom att arbeta med olika optiska fiberdiametrar, 200-600 µm, och fokallängderna 200 respektive 300 mm, där laserkällan var en IPG YLS-10000. Med en 200 µm grov distributionsfiber kunde spalter på upp till 0,3 mm överbryggas vid fokallängder på 200 och 300 mm, men där den senare gav cirka 1 mm djupare penetration vid i övrigt identiska parameterinställningar. Det mest robusta resultatet fick man med en 600 µm grov fiber och 300 mm fokallängd vilket gav acceptabla svetsar vid en så pass stor spalt som 0,45 mm [Fig. 28]. Konklusionen var emellertid att den större fokuspunkten kan kompensera för större luftspalter, men har ingen förmåga att förbättra penetrationsdjupet. Detta blev som störst [8 mm] vid 5 kW lasereffekt och en svets hastighet på



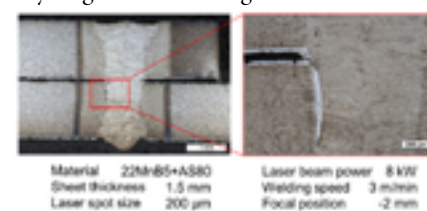
Figur 28.

Spaltöverbrygningsförmågan vid stums svetsning av 14 mm tjockt skeppsbyggnadsstål är större då en distributionsfiber med 600 µm diameter används jämfört med en 200 µm grov sådan.

1 m/min.

Även Helge **Kügler** från BIAS [Bremer

Institut für Angewandte Schweißtechnik] i Bremen hade studerat sträckenergens inverkan på svetskvaliteten, men i hans fall rörde det sig om presshärdat, Borlegerat stål, något som blivit ett signum för den gode Helges forskning vid institutet. Som korrosionsskydd för detta speciella material används en AlSi-beläggning [USI-BOR®, Arcelors produktnamn], vilken har den nackdelen vid svetsning att man får aluminiumföroreningar i svetsgodsets korngränser, något som försämrar hållfastheten hos detsamma [Fig. 29]. Överlappsfogar med en plättjocklek på 1,5 mm hade utförts med hjälp av en TruDisc8002 från Trumpf där svets hastigheten sattes konstant till 3 m/min. Fokalpunkten var placerad 2 mm ner i materialet och som skyddsgas användes Argon med ett flöde

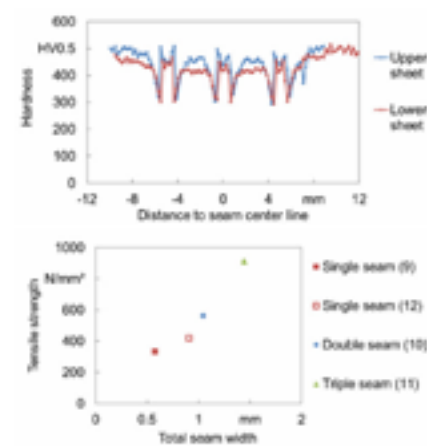


Figur 29.

Vid lasersvetsning av USIBOR, som har en korrosionsskyddande AlSi-beläggning, uppstår aluminiumföroreningar i svetsgodset vilket försämrar hållfasthetsegenskaperna i fogen.

på 20 l/min.

Hög sträckenergi ger bredare svetsar, vilket borde vara gynnsamt för hållfastheten, men samtidigt ökar den mjuka värmepåverkade zonen, varför hållfastheten för en 1,0 mm bred svets endast marginellt uppvisar en högre hållfasthet jämfört med en dito med 0,5 mm svetsbredd. Därför var Herrn Kuglers idé att istället för en bred svets utföra två alternativt tre 0,5 mm breda svetsar [Fig. 30]. Man fick

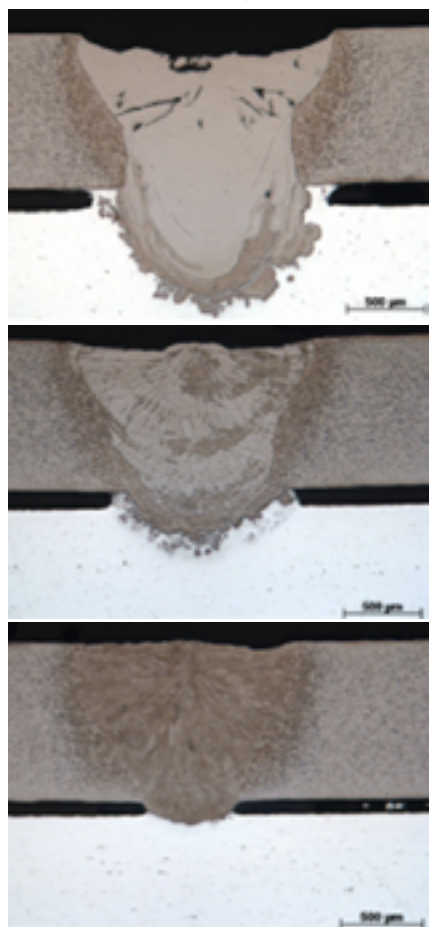


Figur 30.

De provstavar som svetsats med tre stycken 0,5 mm breda svetsar får sex områden med kraftigt reducerad hårdhet, men detta har ingen signifikant inverkan på hållfastheten, vilken är avsevärt högre i jämförelse med de provstavar som sammanfogats med en enda 1 mm bred svets.

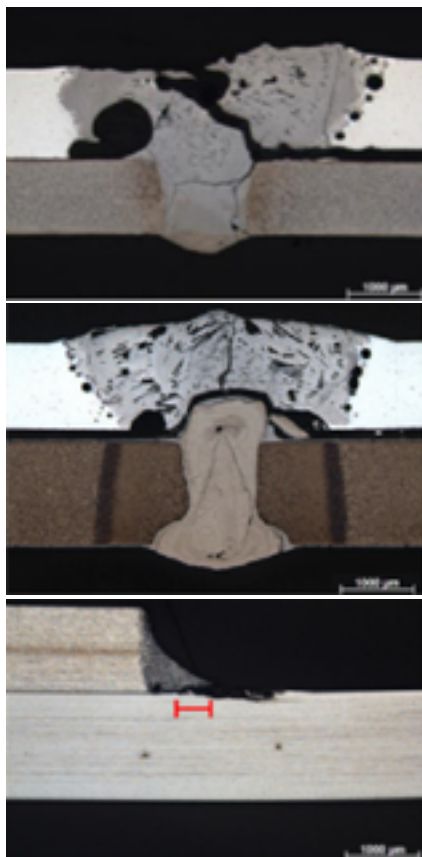
fortfarande ett hårdhetstapp i svetsgodset, men däremot kunde man se en minskad utfällning av aluminium i korngränserna vid dessa smalare svetsar. Vid efterföljande dragprov var fogytbrottet den dominerande brottmoden för provstavar svetsade med enbart en enskild bred svets, medan i fallet med tre parallella smala svetsar brottet skedde i HAZ [Heat Affected Zone] för en tredjedel av proven.

Oliver Seffer från LZH hade undersökt sträckenergens inverkan vid överlapps-svetsning av mixade materialfogar i form av aluminium till kolstål respektive rostfritt material. Aluminiummaterialen var AA6016-T4 i tjocklek 1,15 mm, vilket kombinerades med antingen 1 mm tjockt HX220LAD, 1,5 mm tjockt 22MnB5 eller rostfritt 1.4301 i tjockleken 1,5 mm. Problemet vid dylika blandkombinationer är uppkomsten av spröda intermetalliska faser såsom Fe_2Al_7 , FeAl_2 och Fe_2Al_3 . Den utrustning som använts vid experimenten utgjordes av en laserkälla från Trumpf [TruDisc16002] ur vilken man nyttjade 3,75 kW samt Scansonics svetsverktyg BO-SF med en fokallängd på 250 mm



Figur 31.
Relativt små förändringar i sträckenergi får stor inverkan på materialuppblandning och svetsbredd i denna mixmaterial-kombination med HX220LAD som topplåt och AA6016-T4 som bottenplåt. Energinivåerna fr.v. är 45,00 kJ/m, 43,27 kJ/m och 41,67 kJ/m

och en kollimeringsdito på 120 mm. Laserstrålens distribuerades via en 400 µm grov optisk fiber och fokuspunkten på topplåtens ovansida hade en 830 µm stor diameter. Då aluminium utgjorde bottenplåten kunde man konstatera att med högre sträckenergi fick man en ökad uppblandning av materialen samtidigt som svetsbredden ökade [Fig. 31]. Detta visade sig vid dragprov där hållfastheten ökade upp till en viss sträckenergi varefter den drastiskt avtog p.g.a. en alltför hög uppblandning. För att nå en acceptabel hållfasthetsnivå i dessa fall var rekommendationen att undvika full penetration. Då aluminiumet placerades som topplåt uppstod stora svetsdefekter främst i form av hög porositet. Detta kunde undvikas genom att ändra foggeometrin från att vara en överlappsfog till att bli en kälffog [Fig. 32]. Om då laserstrålen positionerades i spalten mellan plåtarna fick man en mycket god svetskvalitet med en märkbar reduktion av intermetalliska faser och sprickor. De redovisade resultaten härstammade från det BMBF-finansierade



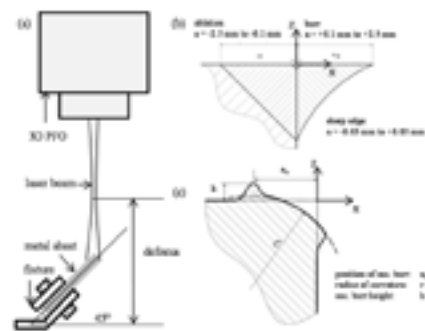
Figur 32.
Med aluminium som topplåt blir svetskvaliteten undermålig, men detta är något som kan motverkas om svetsen positioneras som en kälffog i stället för en överlappsdito

projektet "Photonic Lightweight".

Skärning och borrar

En intressant studie var den som ge-

nomförts vid LaserZentrum Nord [LZN] i Hamburg, i samarbete med HAIMERL Lasertechnik GmbH, under överinseende av min gamle vän Dr. Klaus Emmelmann och nu presenterad av Philipp Surrey. Han inledde med att konstatera att gradning av skurna kanter inom metallproduktionen står för 9% av tillverkningskostnaden vilket skulle innebära runt 500 miljoner euros/år bara i tysk plåtindustri. Därför har man vid LZN utvecklat en metod som man valt att kalla SLD [Selective Laser Deburring] och där man genom lokal ablation och omsmältning av klippgrader i storleksordningen 50 µm till 0,2 mm inte bara kan eliminera dessa utan även skräddarsy klippkantens form med t.ex. rundade hörn. Experimentet hade utförts med hjälp av en 5 kW Nd:YAG-laser [TruDisc5001] och ett PFO-verktyg från Trumpf på materialen AlMg3, S235 och 1.4301 i tjocklekar mellan 1-4 mm. Ett antal olika parametrar hade undersökts vilka gav följande resultat och slutsatser;



Figur 33.
Överst principen för "lasergradning" där man får den bästa avrundningen av klippkantens hörn om laserstrålen positioneras i 45° relativt detsamma, och sekundärt "klippskägg" undviks bäst när laserstrålen träffar exakt på hörnet.

Genom att låta laserstrålen falla in i 45° relativt klippkanten får man bäst avrundning av hörnet, och för att undvika sekundärt skägg som uppstår genom denna operation minimeras detta om laserstrålen positioneras så exakt som möjligt på plåtkanten [Fig. 33].

Fokalpunktens storlek tycks inte ha någon speciell inverkan vid denna omsmältning. Däremot innebär en högre lasereffekt större kantradier, vilket även blir en effekt av ett större antal repetitioner, medan en högre processhastighet medför mindre kantradier [Fig. 34]. De optimala processparametrarna vad gäller "lasergradning" av de tre material som ingick i försöken framgår av **tabell 2**.

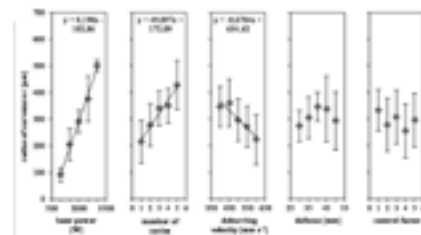
Ett något annorlunda användningsområde för lasertekniken togs fördes av Fredrik **Bukstegge** från BLZ, där grundtanken var att avlägsna material från klippblock. Fem olika bergarter med densiteter mellan 2,51-3,73 g/cm³ ingick i studien [Fig 35]. Dock visade det sig att för att nå en acceptabel avverkningsgrad på 5 m³/tim skulle det krävas 55,56 MW(!) lasereffekt, varför man fick ändra inriktning på undersökningen. Om man istället lät en laserstråle överfara klippblocken introducerades chockvågor i dessa, vilka ledde

Tabell 2.
Processparametrar för olika material

Material	Lasereffekt [W]	Defokusering [mm]	Processhastighet [mm/sek]	Antal repetitioner
AlMg3	3.000	40	500	5
1.4301	3.000	40	400	1
S235	4.000	40	400	1

till stora sprickor. Eftersom detta underlättade uppbrytning och bortförel av stenmaterialet, menade Herrn Bukstegge att ett mer realistiskt angreppssätt vore att kombinera laserteknik med konventionella mekaniska metoder som kapning och borrar. I försöken hade man använt en diskaser med nyttjad effekt mellan 400 W och 4 kW beroende på stenmaterialet och defokuserat laserstrålen till en brännfläck med 5 mm diameter. Denna "scannades" sedan över stenytan i ett cirkelmönster med en hastighet på 100 mm/sek, varvid man åstadkom de önskade sprick- och spröhetseffekterna.

Med denna "efterskörd" av intressanta presentationer avslutas min redogörelse från fjolårets LANE-konferens, som sammantaget kom att visa på några nya användningsområden för olika laserprocesser. Även om de akademiska presentationerna fortfarande är i majoritet vid denna konferens utökas de industriella



Figur 34.
Effektdiagram som visar olika parametrar, såsom lasereffekt, antal repetitioner och processhastighet vid SLD-bearbetning, och hur dessa påverkar plåthörnets radie.

bidragens andel, vilket naturligtvis borde vara av intresse för Lasergruppens medlemsföretag. Låt mig som avslutning också nämna att priset för årets bästa teknikpresentation tillföll Raya **Mertens** från Katolische Universität Leuven för hennes studium av förvärmningstemperaturens inverkan vid SLM-tillverkning av verktyg i H13-material. ■



Figur 35.
De bergarter som ingick i den vid BLZ genomförda undersökningen med att sönderdela dessa med hjälp av laserteknik. Fr.v. kalksten typ 1, järnspar, kalksten typ 2, Carrara-marmor och Jura-marmor.



STEELO I BREDARYD INVESTERAR I KOMBILASER

Steelos passion är inredningar och förvaringslösningar för professionell miljö. Hyllsystem, däckställ, butiksdisplayer, shop-in-shop-lösningar för att nämna några. Hos dem föds idéer, lösningar förädlas, utvecklas och konstrueras. Kvalitet, nytta och effekt är slutmålen. Antingen det handlar om inredningar för lager, arkiv, butik eller andra utrymmen. Kunden väljer fritt mellan standard- eller skräddarsydda lösningar, det mesta är möjligt, eftersom allt sker i Steelos egen regi. Egen tillverkning via tekniskt avancerad maskinpark och kompetent personal, i en och samma byggnad. Därför har man unik kontroll över samtliga moment.

Sedan 2011 ägs Steelo av Lagercrantz Group, en koncern med verksamhet i åtta länder och som sedan 2001 är börsnoterat på OMX Stockholm och Nasdaq.

Håkan Davidsson, VD på Steelo, berättar hur tankarna gick inför köpet; STEELO har det senaste året genomgått stora förändringar där den strate-

giska inriktningen delvis har ändrats. Vi vidareutvecklar nu vårt helhetserbjudande som vi har valt att kalla "One Stop Shop". Vi ska addera ytterligare mervärde till våra kunder genom att utveckla våra egna interna processer.

Johan Söderberg, vår kontakt på Din Maskin har varit till stor hjälp vid utformningen av den slutgiltiga lösningen och investeringen stödjer tydligt vår nya strategi där våra krav tillgodoses om en högre flexibilitet, kortare ledtider och kostnadseffektivitet. Vi får betydligt bättre förutsättningar för prototypframtagning. Kostnadseffektivitet når vi genom de bättre förutsättningar investeringen ger i form av ett effektivare flöde i fabriken. I samband med installationen passar vi också på att förändra stora delar av vår produktionslayout till en flödesorienterad arbetsmodell.

Steelo har sedan tidigare två servo-elektriska kantpressar från Safan Darley och Din Maskin. Maskinen som Steelo nu har investerat i är en Prima Power

kombilaser med fiber, LPe6f, med 30 tons stanskraft och LSR portalrobot. Det är ett helt servoelektriskt, automatiskt arbetscenter som integrerar flera processer i en maskin. Med Prima Power LPe6f kan avancerade plåtdetaljer stansas, formas, bockas och gängas för att därefter laserskäras ut och sorteras i pall med krage eller staplas med robot. Allt i en enda automatisk process och med en oöverträffad flexibilitet. Kombilasern levereras med TULUS operatörsgränssnitt som är anpassat till att förkorta ställtider till ett minimum.

Prima Power LPe6f reducerar tillverkningskostnaderna genom flexibilitet, reduktion av materialspill samt en oöverträffad produktivitet. Maskinen är utrustad med IPG 3kW fiberlaser som är en högeffektiv laser med låga service och driftkostnader.



Bildtext: Från Vänster på bilden, Produktionschef Stefan Andersson, VD Håkan Davidsson, Stansoperatör Paul Ludvigsson, Programmerare Tomasz Lewinski



Laserskärning vid tillverkning av lagersystem

Johnny K Larsson,
Autokropolis Engineering

Företaget Modula ingår som en del av System Group som har sitt huvudsäte i Fiorano Modenese i Italien

[Fig. 1]. Företagsgruppen konstruerar och tillverkar lösningar för främst keramisk industri, men också för andra industrisektorer som förpackning, elektronik och logistik, och man genomsyras av ett multidisciplinärt synsätt som innefattar mekanik, elektronik, IT, fysik och kemi. System Group är aktiva i 25 länder via 37 dotterföretag och har en årlig omsättning på 440 miljoner euros och sysselsätter



Figur 1.
Företaget Modula, som är en del i den globala koncernen System Group, har sitt huvudsäte i italienska Fiorano Modenese.

totalt 1.700 medarbetare.

Modula har fokuserat sin kompetens på tillverkning av höglagersystem där plock- och lagerlösningar konstrueras för att optimera tillgängliga utrymmen. Man har 250 medarbetare i fabriker i Italien [Salvaterra di Casalgrande och Reggio Emilia] och USA. Därtill har man 13 lokalkontor i Europa, Amerika, Asien och Afrika och ett nätverk av 45 auktoriserade försäljare.

I sin nyaste USA-anläggning som är lokaliserad i Lewiston, ME [Fig. 2] har Modula nyligen investerat 8 miljoner dollar i ny, uppgraderad automatiseringsutrustning. Beslutet ligger i linje med den



ökande efterfrågan från kunder i USA, som föredrar de korta ledtider och support, som kan erbjudas av företag som har tillverkningskapacitet i landet. För närvarande tillverkar Modula ett brett sortiment av produkter i USA, samtidigt som



Figur 2.
Modulas nya produktionsanläggning i Lewiston, ME inkluderar en helautomatiserad "job-shop".

man kan erbjuda korta leveranstider.

Fabriken är utrustad med det senaste inom automatisering, från laserskärning [Fig. 3] och svetsning till automatiska stansar och pressar. Företagets avancerade teknik garanterar optimal kvalitet, och inte minst med samarbetspartners som Salvagnini [Cincinnati, OH] och Comau [Southfield, MI] har man skapat världslidande automatiserade höglagerlösningar, konstruerade för att minimera behovet av golvyta, samtidigt som produktiviteten ökas genom förbättrade plockoperationer, vilket resulterar i en effektivare lagerhåll-



Figur 3.
Rörskärningsmaskinen i Modulas nyligen invigda fabrik i Lewiston, ME.

ning.

Den cirka 100.000 kvadratfot stora Lewiston-anläggningen är utrustad med ett AJS [Automated Job Shop] -system från Salvagnini, som garanterar hög produktivitet, flexibilitet och tillgänglighet, hela vägen från inmatning av plana plåtämnen till de färdiga produkterna. Valet mellan enstyckstillverkning och mängdproduktion är avhängigt av varje individuell order. Ett särskilt mjukvaruprogram har implementerats för att kontrollera maskiner och hanteringsutrustningar, samt att kommunicera med

system för MRP [Material Requirements Planning] och ERP [Enterprise Resource Planning], allt för att effektivisera produktionsflödena. AJS-systemet inkluderar ett stans- och skärcentrum med höglager, bockmaskin, fiberlaser och plåtpress. Varje utrustning har på så sätt introducerat ny teknik på verkstadsgolvet hos Modula. Genom att koppla samman ovan nämnda utrustningar med robotsystem och mjukvaruprogram har man kunnat reducera tillverkningskostnaderna samtidigt som produktiviteten ökats.

En kombinationsmaskin från Salvagnini har en kapacitet på mellan 76-96 aktiva stansverktyg vilket eliminerar den tid som annars skulle behövas för en robot att hämta och växla verktygen, vilket lett till minimerade cykeltider. Jämte stansverktygen finns ett skärverktyg kopplat till en fiberlaser, och denna kombinationslösning har kompletterats med ett automatiskt laddnings- och plundringssystem för att mata in plåtämnen och skicka stansade och laserskurna plåtar vidare i produktionsflödet [Fig. 4]. Efterföljande utrustningar utgörs därför av en bockningsmaskin och en servopress för formning. Plåtämnena formas till lådor eller andra tunnplåtskomponenter i bockningsmaskinen med hjälp av universalverktyg och ABT [Automated Bending Technology]



Figur 4. Bland laserskärningsutrustningarna vid Modulas produktionsenhet i Lewiston, ME hittar vi denna Salvagnini L3 fiberlaser.

–teknik.

Precisionsbearbetning garanteras genom en automatisk centrerung av detaljerna med automatkompensering m.t.p. olika materialkvaliteter och –tjocklekar, återfjädring eller andra materialförändringar som kan härledas till klimatpåverkan från industrilokalens atmosfär. Kombinationsmaskinen från Salvagnini laserskär detaljer ur en mångfald olika material, men där rostfritt stål upp till 18 mm tjocklek dominerar. Styrsystemet innehåller en mängd funktioner som kombinerar applikationens krav med processparametrar som exempelvis skärbanor, förprogrammerade skärrikt-

ningar, hastigheter och accelerationer. De elektroniska ritningarna skickas direkt till de maskiner som är aktuella för uppgifterna och allting sker med hög automatik. Några maskiner kan arbeta helt operatörlöst under mer än ett skift, vilket gör att produktionsflödet kan jämnas ut över tiden.

De 25 olika tillverkningsenheterna har dedikerade utrustningar för tillverkning av komponenter för industrigrenar som medicin och hälsa, militär, bilindustri och energisektorn. Att ha flexibilitet i produktionsprocessen blir därför ett måste då olika storlekar, varianter och volymer måste hanteras i samma maskin.

Modulas automatiserade teknologier är konstruerade och tillverkade med avsikt att vara så enkla och effektiva som möjligt då de många gånger måste verka i en tuff industriell miljö. Produkterna är försedda med grafiska ”touch screen”-gränssnitt med färgskärmar och intuitiva ikoner, vilket gör inläringen av programmen enkla för nya operatörer. Den vertikala hisslösningen från Modula [Fig. 5], karaktäriserad av de integrerade hyllorna, är idealisk då ett företag behöver hålla nere lagringsytor, samtidigt som den externa hyllan erbjuder utmärkta ergonomiska förutsättningar för operatörer som måste hantera tunga komponenter. Integrerade och externa hyllor används i den omfattning som krävs med tanke på maskinutnyttjandegrad, och tvåvägslösningen säkerställer hög produktivitet och reducerad stilleståndstid då brickorna i höglaget



Figur 5. Modulas vertikala lagerhissystem, vilket tillverkas i USA, används som lagerlösning för många industriprodukter, komponenter och reservdelar inom flera olika branscher.



Figur 6. Modulas automatiserade vertikala hissmodul, Sintes1, är speciellt konstruerad för små och medelstora artiklar. Systemet har en modern och elegant design med belagda innerytor och förlackade exterriörpaneler för ökad livslängd och korrosionsbeständighet.

när operatören omedelbart efter den föregående har laddats, vilket innebär en löpande, kontinuerlig hantering. Företagets automatiserade återställningslösning



Figur 7. Det vertikala hisslager-systemet ”OnePick” från Modula kombinerar modulär vertikalhisssteknologi med en automatiserad lösning för att plocka eller fylla på enstaka artiklar åt gången.

har intuitiva funktioner och kan arbeta utan avbrott [Fig. 6].

Modulas ”OnePick”-system kombinerar vertikalhissarnas modulära teknologi med ett automatiserat system som plockar eller fyller på enskilda produkter [Fig. 7] direkt från hyllan, vilket reducerar fel marginalen till noll och säkerställer en hög säkerhetsnivå. Produkter kan plockas och placeras helt automatiskt via ett conveyorsystem genom ett innovativt säkerhetsgränssnitt som garanterar hög noggrannhet och precision. På operatörens begäran hämtar ”OnePick” den valda produkten och placerar densamma i en säkerhetskammare. Denna är utformad så att när dörren sedan öppnas automatiskt får operatören åtkomst till den begärda produkten. Med denna funktion är lagringshallningen alltid under säker kontroll, vilket gör systemet lämpligt för förvaring av dyrbara objekt som kräver felfri och säker hantering.

En dylik kundanpassning ger användaren möjlighet att välja operativlösning från en standardiserad vertikalhisslösning med åtkomst till flera produkter från en och samma bricka till begränsad åtkomst av en enstaka komponent. ”OnePicks” mångsidiga natur gör den till det enda systemet på marknaden som har den flexibilitet som integrationen i en helautomatiserad process innebär, samtidigt som det kan samarbeta med operatörerna. Helautomatiserade tillverkningsprocesser och ”State-of-the-Art”-teknologier kommer att fokuseras då nästa generations vertikalhisslösningar konstrueras och utvecklas av Modula. ”Vi använder laserskärning i vår tillverkning eftersom denna metod erbjuder en betydligt bättre precision jämfört med mer traditionella tillverkningsmetoder. Laserskärningen gör det också möjligt för oss att skära komplexa konturer utan behovet av fysiska klippverktyg, varför vi kan tillverka ytterst komplexa och detaljerade artiklar”, säger Miguel Fabra, som är verkställande direktör vid Modula. ■



Hideki Taoka-san berättar om Hondas nya, laserbaserade höghastighetsklipplinje

Johnny K. Larsson,
Autokropolis Engineering

Under mina mer än 30 års arbete med laserprocesser i bilindustrin är det självklart att man kommer i kontakt med många intressanta personligheter.

Ett av de senaste tillskotten i denna bekantskapskrets är Dr. Hideki **Taoka**-san från Honda Engineering. Denne synnerligen sympatiska herre ansvarar för bilföretagets plåtformningsutveckling då det gäller att tillverka karosskomponenter, och vi har lärt känna varandra när vi båda medverkat i programkommittén för den årliga formningskonferens som anordnas av Automotive Circle International [ACI] i Tyskland [Fig. 1]. Nu kanske den uppmärksamme läsaren undrar vad plåtpressning har med laser att göra, men innan plåtämnen skickas in i en presslinje måste de klippas till önskvärdt format i en



Figur 1.
Hideki Taoka-san (2:a fr.v.) gör tummen upp efter den väl genomförda "Forming in Car Body Engineering"-konferensen i Bad Nauheim 2014. Övriga kommittéledamöter är fr.v. Dr. Josef Meinhardt (BMW), Dr. Dirk Meine (Automotive Circle), Dr. Hubert Verhoeven (VW) och undertecknad.

s.k. klipplinje. Hittills har detta gjorts med mekaniska klippverktyg, men ett kostnadsmissigt tilltalande alternativ kan vara laserskärning eftersom man då inte har något verktygsslitage. Dock har traditionell laserskärning haft svårt att tidsmässigt

konkurrera med mekanisk klippning, men sist vi träffades hade Taoka-san funnit en lösning på problemet genom laserskärning "on-the-fly" med ultrahög hastighet. Tekniken är nu under införande i Hondas olika pressverk, men jag föreslår att Dr. Taoka själv berättar vidare.

Våra utmaningar har legat i att utveckla portalrobotsystem som medger höga accelerationer och snabba skärförlopp, samtidigt som laserskärningsoperationen kan synkroniseras med presslinjernas taktider. Men vi har framgångsrikt lyckats med detta och nu infört metodiken i en första anläggning, vilken varit i drift sedan hösten 2015, i fabriken i Yorii. Låt mig också här få nämna våra samarbetspartners vilka har varit Fraunhofer ILT [Institut für Lasertechnik] i Aachen, Festo, Precitec och Hitachi Zosen Fukui Corporation [H&F].

Trenden har hela tiden varit att reducera antalet klippsteg i linjen från 1970-talets 5 operationer till endast ett sådant, vilket Honda kunde realisera 2014. Men nu är som sagt vår vision att skapa en klipplinje helt utan fysiska klippverktyg. Vi kallar vår lösning ILBS [Intelligent Laser Blanking System, Fig. 2], och med detta har vi kunnat göra stora ekonomiska vinster. Ett traditionellt klippverktyg tar cirka 6 månader att konstruera och tillverka, och kan kosta allt mellan 8.800-52.800 euros. Därutöver behöver ett genomsnittligt klippverktyg ungefär 300 m² lageryta, och alla dessa nackdelar elimineras om man i stället tillskär plåtämnen med laser. I fabriken i Yorii klipper man idag 18.700 plåtämnen om dagen, vilket motsvarar en totallängd på cirka 40 km! Med mekanisk klippning ligger produktiviteten på mellan 1-3

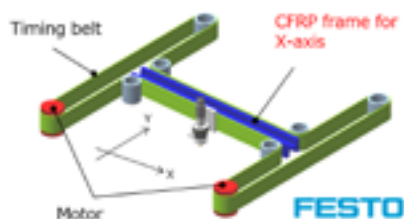
sekunder/plåtämne, medan motsvarande siffra vid konventionell laserskärning med en hastighet kring 20 m/min hamnar på 10 sek/plåt, alltså en oacceptabelt lång tid. För att laserskärning skall bli ett konkurrenskraftigt alternativ har vi räknat fram att det krävs en skärhastighet på 115 m/min och en portalrobot som klarar accele-



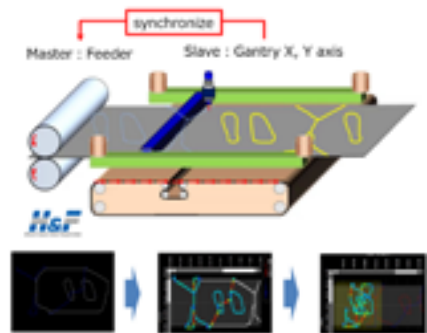
Figur 2.
En inblick i Hondas Yorii-fabrik med interiör respektive exteriör från den laserbaserade klippstationen i deras ILBS-lösning.

rationer upp till 10 g. Tre huvudingredienser ingår i konceptet. Först och främst en tillräckligt kraftfull laser som medger höga skärhastigheter av tunnplåt, i detta fall en 5 kW fiberlaser där laserstrålen fokuseras till en 50 µm stor fokuspunkt. Därtill en portalrobot av s.k. H-typ [utvecklad av Festo] som medger en accelerationsökning från dagens normala 3 g till 10 g [Fig. 3], och slutligen ett conveyor-system [utvecklat av H&F] som möjliggör kontinuerlig matning av plåtarna och därmed laserskärning "on-the-fly" [Fig. 4]. Den höga accelerationen

behövs främst vid skärning av hörnradier där momentanhastigheten tenderar att sakta ned. Eftersom accelerationen uttrycks som kvoten mellan pålagd kraft och robotens vikt skulle vi naturligtvis ha kunnat använda oss av kraftfullare motorer för framdriften, men vi har istället valt att reducera portalrobotens vikt genom att tillverka denna i kolfiberförstärkt polymaterial och på så sätt minskat dess



Figur 3. Principskiss av den 60 kg lätta portalroboten som medger accelerationer i storleksordningen 10 g.



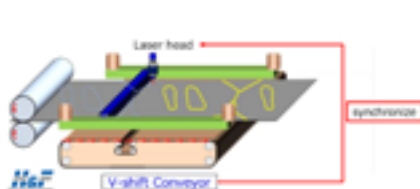
Figur 4. Övan principskiss av conveyor-systemet som möjliggör laserskärning "on-the-fly", och nedan fr.v. 2D CAD-data av plåtämnet, skärverktygets rörelser vid stillaliggande plåt, samt motsvarande robotrörelser vid skärning "on-the-fly".

vikt till 60 kg.

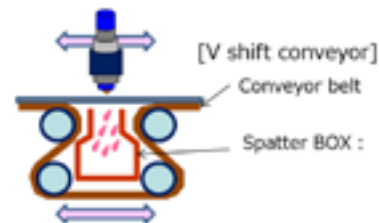
Eftersom vi inte har höga krav på snittkanternas kvalitet använder vi ett något längre avstånd mellan skärverktyg och plåt än vad som normalt är brukligt, detta för att ytterligare öka skärhastigheten. Vad som däremot är viktigt är att skärverktygets avstånd till plåten är stabil och därför använder vi en kapacitiv sensor i det lättviktsverktyg som levererats av Precitec [Fig. 5]. Detta väger blott 2 kg jämfört med ett konventionellt skärverk-



Figur 5. Skärverktyget från Precitec är utrustat med en kapacitiv sensor för höjdhållning och väger blott 2 kilo.



Figur 6. Under matningsconveyor finns en andra conveyor med en integrerad "sprutbox", vilken följer skärverktygets rörelser och tar hand om uppkommande metallsprut.



Figur 7. Makrosnitt av klippkanter vid konventionell, mekanisk klippning (t.v.) och laserskärning (t.h.) av höghållfasta stålplåt med 980 MPa brottgräns.

tyg som oftast väger det dubbla. Genom den servomotor som justerar avståndet mellan verktyg och plåt blir "follow-up"-funktionen bättre och har en tolerans kring 0,3 mm.

Matningshastigheten av plåtarna synkroniseras med portalrobotens rörelser efter att skärlinjerna inprogrammerats från en tvådimensionell CAD [Computer Aided Design] -ritning. Under matningsconveyor finns ytterligare en conveyor som följer med portalrobotens rörelser. I denna conveyor finns en "sprutbox" integrerad vilken tar hand om allt metallsprut från skärprocessen [Fig. 6].

Fördelarna med "laserklippning" i stället för mekanisk klippning ligger främst i tids- och kostnadsbesparingar. Det blir enkelt att anpassa sig efter designförändringar, och lätt att göra mindre modifieringar under löpande produktion i de fall en geometrisk förändring av plåtämnen är nödvändig för att undvika uppkomsten

av sprickor vid den efterföljande kallformningen av komponenterna. Vidare blir det möjligt att öka materialutnyttjandet, och processen är flexibel för volymförändringar. Sekundäreffekter är formbarhetsförbättringar i form av ökad sträckbarhet av flänsar samt förenklad "klippning" av höghållfasta stålqualiteter, där mekanisk klippning oftast resulterar i "klippskägg" vid hållfasthetsnivåer kring 800 MPa och högre [Fig. 7].

Just nu arbetar vi med att förädla ILBS-tekniken med syfte att implementera densamma i samtliga Hondas klipplinjer. Hittills har mottagandet bara varit positivt och det har varit lätt att "sälja in" idén hos våra högsta chefer. Och detta är ju inte överraskande då tekniken eliminerar framtagning av hårda verktyg och de investerings- och driftskostnader som är förknippade med dessa. ■

HONDA
The Power of Dreams



Seco ökar produktivitet och minskar kassationer med laserhårdning

Björn Lekander,
Permanova Lasersystem AB

Att härda detaljer med robotstyrd laser används i allt större utsträckning i verkstadsindustrin tack vare ny teknik.

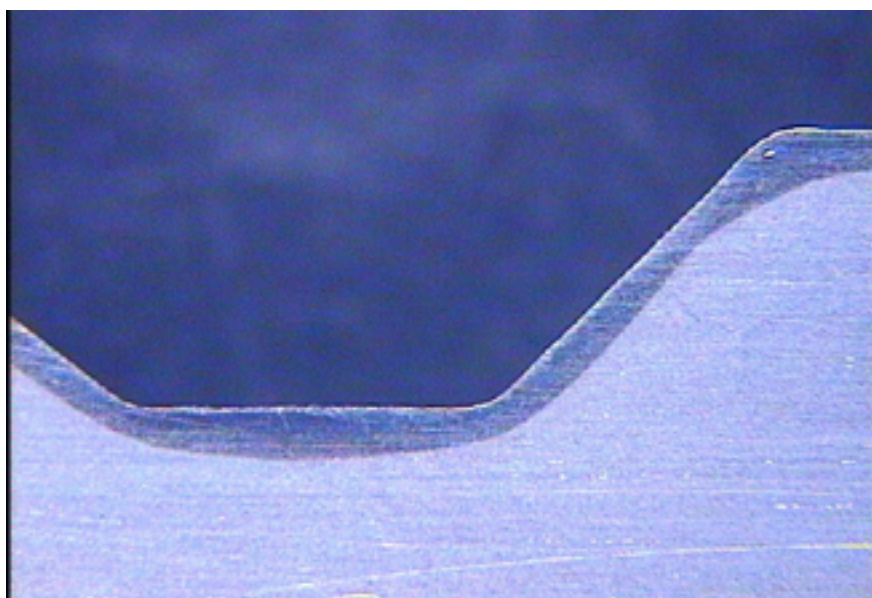
Laserljuset hettar upp materialet till mellan 800 - 1 200 grader på bara bråkdeln av en sekund. Den snabba uppvärmningstiden gör att det kringliggande materialet snabbt kyler ned och härdar det laserbehandlade området. Och eftersom laserljusets enorma energitäthet härdar med en precision ned på en tiondels millimeter gör det att hårdheten mellan härdat och ohärdat material avtar väldigt snabbt.

Fördelarna är många, Erik Vännman, som säljer robotiserade laserhårdningssystem på Permanova förklarar ytterligare:

- Hårdjupet går att ställa in med en extrem noggrannhet, från någon tiondels millimeter och uppåt. Bredden på hårdspåret varierar med optiken och effekten på lasern. Det innebär att man kan göra både smala och breda spår som antingen har stort eller litet hårdjup.

Det som gjort laserhårdning konkurrenskraftigt är att värmetillförseln är bättre begränsad än i någon annan jämförbar metod. Det innebär att den behandlade detaljen inte ändrar form och att det är fullt möjligt att härda i slutet av tillverkningsprocessen.

Att härda ett material med laser är ingenting nytt. Metoden användes redan på 70-talet av General Motors för att härda cylindrar till stora dieselmotorer. Men eftersom laserhårdning varit en relativt dyr metod sedan dess har den aldrig fått särskilt stort gehör på marknaden. Fram till för några år sedan var man tvungen att skicka verktyget som skulle laserhärdas till nischade laserföretag som framför allt



Figur 1.
Laserhårdad artikel med ca 1 mm hårdjup

hårdade hela verktyget i stället för bara en detalj. Det innebar ökade kostnader samtidigt som produktionstiden förlängdes avsevärt.

Ny teknik har gjort att verkningsgraden på lasern ökat från 5 procent till över 35 procent. Men andra ord förbrukar lasern mindre energi i dag och är billigare i drift. Dessutom har maskinerna blivit bättre i takt med att marknaden blivit större, vilket lett till att priserna sjunkit.

Permanova i Mölndal, som utvecklar robotiserade lasersystem, bygger och levererar hårdstationer till verkstadsföretag.

Seco som har infört den produktionsmetoden konstaterar att den ger fördelar för dom enligt Therése Abrahamsson – Projektledare Seco. Tidigare helhårdades produkten vilket gav mer deformationer och kassation än med laserhårdning. Det

hårdade materialet var också mer svårarbetat i Secos vidare tillverkningsprocess.

- Med en hårdstation på plats vid tillverkningen kortas ledtiderna eftersom produkterna inte behöver transporteras till annan ort för att härdas, säger Therése.

Permanova har en lång erfarenhet att ta fram fungerande driftsäkra produktionslösningar inom laserbearbetning vilket ger många fördelar för en kund som Seco, enligt henne.

- Permanova har varit flexibla och gett snabb respons under hela projektet vilket var viktigt då man behövde samarbeta med andra företag som levererade andra delar till vårt produktionsflöde. Viktigast av allt är att Seco har fått en laserhårdningsstation av hög kvalitet som ger oss fördelar jämfört med tidigare hårdningsmetod, avslutar Therése Abrahamsson. ■

Direkt diod: Lovande framtid

Av Bengt Johansson,
Teknikcentrum AB

Vi har sett ett teknikskifte där fiberlasern i huvudsak har ersatt den väletablerade CO₂-lasern inom framförallt laserskärning i metall men även Nd-YAG-lasern inom svetsning.

Ofta blir man bekväm med sin teknik när man väl lärt känna den. Inarbetade processer, certifieringar och krav på process-stabilitet gör att man ogärna byter teknik i första taget.

Vi kan ju lugnt konstatera att tekniken alltid går framåt! Men kommer fiberlasern/disklasern möta samma öde som CO₂- och YAG-lasern?

Då kan man fråga sej vad det är man önskar av en laser och vad kan bli bättre jämfört med nuvarande teknik? Snabbare process, lägre underhållskostnader och strömförbrukning och naturligtvis ett mer konkurrenskraftigt pris.

En naturlig tanke är att använda laserdioder direkt i stället för att gå omvägen via en optiskt pumpad laser (i fiberlaserns fall en ytterbiumdopad glasfiber). Laserdioder är direkt elektriskt pumpade halvledarkrystaller av vanligen galliumarsenid eller indium/galliumarsenid. Verkningsgraden ligger på mellan 40-60 % elektrisk effekt till ljuseffekt.

Nackdelen med laserdioden är dock att det inte går att göra riktigt stora laserdioder, utan man är begränsad till något tiotal watt per enskild diod. På marknaden har det dock länge funnits stora laserkällor där man summerat arrayer med laserdioder för att få höga effekter.

Problemet är dock att strålkvaliteten sjunker dramatiskt i takt med adderade dioder, något man dock undviker genom att låta dioderna pumpa en fiber eller

disklasern. Dioderna agerar då enbart som en "lampa" och själva laserljuset alstras i fibern/disken.

Därför har direktdiod först och främst används till applikationer där låg strålkvalitet inte har någon betydelse eller rent av är nödvändig. Tex cladding och härdning, där låg strålkvalitet är bra strålkvalitet för just den applikationen!

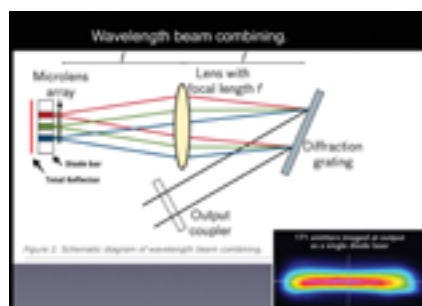
På senaste tid har det dock skett ett genombrott med diodlaserarnas strålkvalitet

Flera tekniker finns att kombinera diodlaserkällor, t.ex. att använda dioder med olika våglängd och kombinera dessa med dichroiska speglar.

Dock är den mest lovande tekniken något lite annorlunda och kallas "wavelength beam combining". Företaget bakom tekniken är Teradiode, som började som ett spinoff-företag från MIT Lincoln Laboratory.

Denna teknik kan man säga liknar mer en traditionell laserresonator som vi hittar i en CO₂-, eller YAG-laser, men som aktivt medium används en diodarray med många individuella dioder.

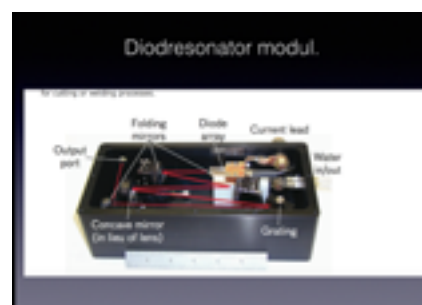
Tricket bakom det hela är att man använder ett gitter och en lins inuti resonatorn. Se **Fig. 1**.



Figur 1.
Teradiode resonatorns uppbyggnad.

Laserdioder är av naturen något så när bredbandiga och tack vare gittret kommer varje enskild diod att svänga på sin egen frekvens men nära centerfrekvensen 970 nm i detta fall. Därmed uppstår inga utsläckningar och strålarna summeras vid utgångsfönstret vilket bildar en homogen stråle med mycket bra fokuserbarhet. Här talar vi om ca 4 mm mrad.

Själva laserresonatorn är i storlek med en skokartong och finns i 1 kW eller 2 kW utförande. **Fig. 2**, Teradiode kallar dessa moduler för "blades".



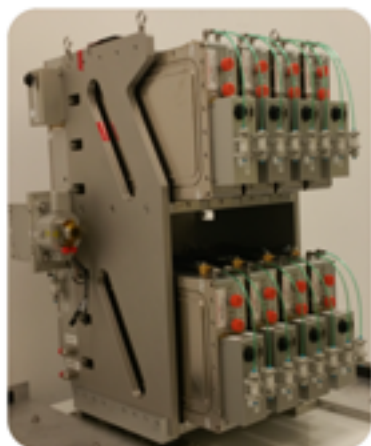
Figur 2.
1kW diod modul.

För att få ytterligare mer effekt kan flera moduler kombineras i flera steg med samma teknik. Idag har man effekter på upp till 8 kW som levereras genom en 100 um arbetsfiber upp till 6 kW. (150 um 8 kW), **Fig. 3**.

Eftersom laserdioder finns i många olika våglängder kan man även tänka sej att högeffektlasrar med ytterligare kortare våglängd kommer ut på marknaden, med tex 808 nm och 450 nm. Detta ger naturligtvis möjlighet till nya spännande applikationer.

Fig. 4, visar absorptionskurvan för olika metaller vid olika våglängder.

Kommer detta vara nästa steg inom



Teradiode engine is pictured here

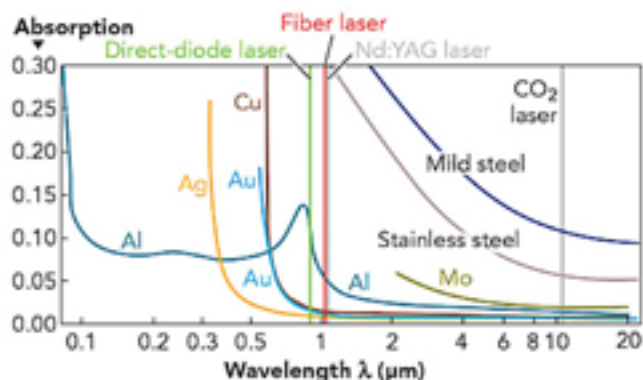
Figur 3.
Kombination av diodmoduler "blades".

lasertekniken? Vi får se! Tekniken är relativt ny och behöver några år på sej att mogna och bevisa sin driftsäkerhet och kostnadsfördel. Prisbilden är naturligtvis avgörande men tekniken är relativt enkel jämfört med det vi har idag (fiber/disk) så priset kan eventuellt bli lägre eller åtminstone likvärdigt.

Resultaten vid laserskärning ser dock mycket lovande ut. Genom att flytta ingående optiska element kan man förändra strålen mellan 4-20 mm mrad och det ger möjlighet att optimera skärresultatet vid såväl tunt som tjockt material.

Prover har visat att tjock stålplåt får samma höga snittkvalitet som med CO₂-laser, samtidigt som tunnplåt får likvär-

Figur 4.
Absorption av lasersvåglängder i olika material.



dig skärhastighet och kvalitet som med fiberlaser/disk.

Högre reflekterande material som aluminium och koppar visar t.ex. betydligt högre skärhastigheter vid diodlaserns 970 nm jämfört med ytterbiumvåglängden 1050 nm. Lasern uppges också vara helt immun mot backreflektioner.

Teradiode köptes av Panasonic i år 2017 och lasern finns nu som ett alternativ i Mazaks skärlassermaskiner i modellen Optiplex 3015 DDL med en 4 kW Teradiode-källa.

Mazak har även jämt Teradiode också IPG:s fiberlaser på upp till 8 kW och Panasonics CO₂-laserkällor på upp till 6 kW i sitt maskinprogram, **Fig. 5**.

Teradiode idag:

- Centervåglängd 970 nm.
- "Wavelength beam combining".
- Immun mot backreflektioner.
- Ställbar strålkvalitet 4-20 mm mrad
- Verkningsgrad 45 %
- Effekt 1-8 kW
- Strålen levereras via arbetsfiber.

Om direktdiod kommer att "ta över" inom skärning och svetsning i metall vet vi inte ännu men tekniken är minst sagt lovande och flera typer av "beam combining"-metoder är även under utveckling. ■



Figur 5.
Laserskärmaskin. Mazak OPTIPLEX 3015 DDL 4kW

Produktivitet vid Laserpåsvetsning

Dr Conny Lampa,
Höganäs AB
conny.lampa@hoganäs.com

Laserpåsvetsning med pulver är ett av de snabbast växande applikationsområdena för högeffektlaser. Ofta lägger man på ett dyrare och mer högpresterande material än substratet och då vill man naturligtvis att processen ska ha ett högt material utnyttjande samt vara så effektiv som möjligt.

Produktivitet

Produktiviteten vid ytbeläggning mäts oftast i hur mycket tillsatsmaterial som kan deponeras per tidsenhet, exempelvis som kg/h. För att erhålla önskad sammansättning i beläggningen kräver de flesta ytbeläggningsmetoder att flera skikt läggs på. Detta på grund av hög uppblandningen med substratet. Man behöver också belägga tillräckligt tjockt med material för att tillåta slipning och polering till färdigt mått samt ställda krav på ytfinhet. Vid laserbeläggning uppnår man emellertid oftast rätt sammansättning redan i det första skiktet. Detta innebär att produktiviteten mätt i massa / tidsenhet kan vara missvisande.

Ett bättre mått på produktivitet är att för en förutbestämd tjocklek på beläggning mäta belagd area / tidsenhet, exempelvis mm²/h. Ett jämnt belagt skikt med endast ett litet övermått gör att minimalt med material behöver bearbetas bort till färdigt mått vilket också ger en lägre materialåtgång.

Påverkan av olika parameterkombinationer

En komponent kan laserbeläggas genom att använda olika parameterkombinationer som tillsammans påverkar

produktiviteten men också beläggningens geometri och metallurgi. För att illustrera dessa samband gjordes laserbeläggning med Höganäs pulver 2537-00 (motsvarar Stellite 6) på ett substrat av lågkolhaltigt stål. Kemisk sammansättning på 2537-00 visas i **tabell 1**.

Tabell 1.
Kemisk sammansättning 2537-00

2537-00 (weight %)						
Co	Cr	C	Ni	Fe	Si	W
63,2	28,8	1,1	1,2	0,2	1,0	4,5

Tabell 2 visar de tre olika parameterkombinationerna som användes i försöken och **tabell 3** visar de resulterande värdena av interaktionstid mellan laser och material, depositions hastigheterna kg/h, mm²/min samt mm³/min och också beläggningens tjocklek.

Tabell 2.
Parameterkombinationer

Set	P W	v mm/min	m _p g/min
A	2300	650	17
B	2300	800	14
C	1600	1000	12

Tabell 3.
Resulterande värden

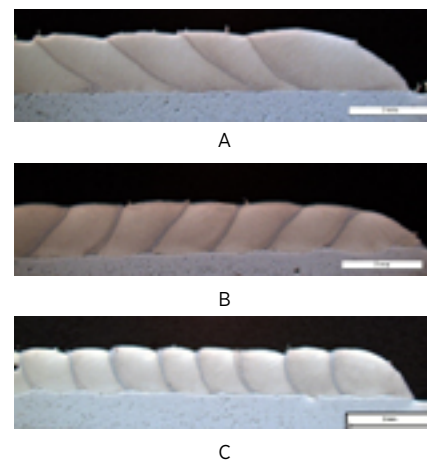
Set	t sec	mp kg/h	A mm ² / min	V mm ³ / min	s mm
A	0,37	1,02	1302,6	1953,9	1,5
B	0,27	0,84	1442,6	1731,1	1,2
C	0,12	0,72	1001,0	900,9	0,9

Parameterkombination A har den högsta depositions hastigheten mätt i kg/h och ger en beläggningstjocklek på 1,5 mm. Nästa parameterkombination, B, har

ungefär 15% lägre depositions hastighet jämfört med A men produktiviteten mätt i mm²/min för B är ca 10% högre än för A även om depositions hastigheten är lägre.

Parameterkombination C har den absolut lägsta depositions hastigheten och också lägst produktivitet mätt i mm²/min. Om emellertid ett slutmått på 0,5 mm tjock beläggning är kravet så går det åt 40% respektive 25% mer material för parameterkombinationerna A och B. Ytterligare utvärdering av beläggningarna

Figur 1. visar tvärsnitt på de olika parameterkombinationerna A, B och C.



Figur 1.
Tvärsnitt på laserbeläggning med parameterkombinationerna A, B och C

gjordes genom att mäta uppblandningen av substratet i beläggningen 0,5 mm ovanför gränssnittet mellan substrat och beläggning. Då det här använda pulvret har en väldigt låg järnhalt och substratet består av i stort sett endast järn, är järnhalten i detta område ett bra mått på

uppblandningen, **tabell 4**.

Alla beläggningar visar en uppblandning på mindre än 5% vilket är mycket bra för de flesta applikationer av laserbe-

Tabell 4.

Kemisk sammansättning i beläggningarna

Set	Co	Cr	Ni	Fe	Si	W
A	64.3	27.6	2.1	1.0	1.0	3.9
B	63.7	27.5	2.1	1.9	1.0	3.8
C	63.2	27.1	2.0	2.9	1.0	3.8

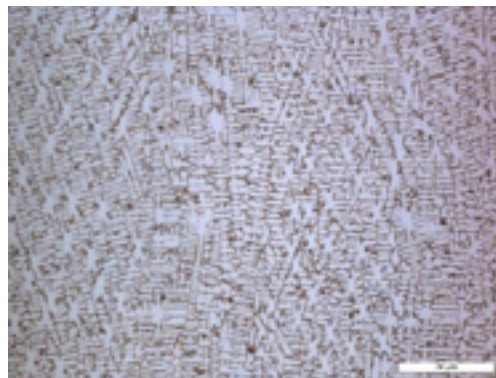
läggning. Att uppblandningen dock ökar något från A-C beror troligtvis på den reducerade pulvermatningshastigheten m_p .

Interaktionstiden mellan laserstråle och material sjunker från A-C vilket medför att de koboltrika primära dendriterna blir finare och ändrar form från främst kolumnära (A) till cellulära (C), **figur 2**.

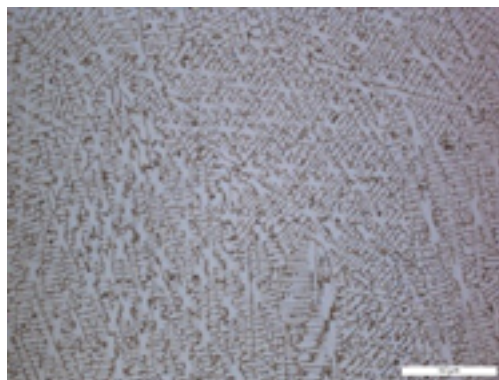
Sammanfattning

Även om alla tre beläggningarna i det här exemplet har en uppblandning på mindre än 5% är mikrostrukturerna olika. Pulverdepositionshastigheten är också väldigt olika mellan de tre exemplen. Slutligen är det också en skillnad i interaktionstiden mellan laserstråle och material för de olika beläggningarna, vilket resulterar i skillnader i svalningshastighet.

Vilken av parameterkombinationerna som är att föredra bestäms då framförallt av vilken tjocklek på skiktet som krävs vilket i sin tur styrs av hur jämnt man kan belägga med den utrustning man har, men också kostnaden på det pulver man använder. Ett dyrt pulver står exempelvis för en större del av den slutliga kostnaden vilket innebär att man eftersträvar ett mindre övermått. ■



A



B



C

Figur 2.

Mikrostruktur för de olika parameterkombinationerna A, B och C. De vita partierna är koboltrika dendriter och de mörka är karbider

2nd International Symposium on Additive Manufacturing, ISAM, Dresden Februari 2017

Dr Conny Lampa,
Höganäs AB
conny.lampa@hoganas.com

Under två dagar i februari 2017 hölls i Dresden, Tyskland, ett symposium om additiv tillverkning. Arrangörer för detta evenemang var Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik, IWS, som sedan många år tillbaka är en världsledande spelare inom området additiv tillverkning, framförallt med laserbaserade metoder. Alla föredragshållare var inviterade av arrangörerna och enligt undertecknads åsikt höll de flesta av föredragen hög klass. Stort fokus ligger fortfarande på avancerade applikationer inom rymd, flyg och medicin men avancerad additiv tillverkning börjar även nå ut till andra områden i takt med att utrustningen blir mer kostnadseffektiv och tillgängliga material ökar.

Applikationer

Av totalt 24 föredrag var en tredjedel, 8 st, direkt applikationsinriktade. Fem av dessa handlade om rymd- och flygapplikationer, två var inom medicinsk teknik och ett demonstrerade AM applikationer för gasturbiner.

Det inledande föredraget fokuserade främst på "In Space Manufacturing" (ISM) och hölls av Dr Clinton från NASA. ISM med additiv tillverkning är en essentiell teknik om yttre rymden ska utforskas då det faller på sin egen orimlighet att all tänkbar utrustning och reservdelar ska kunna tas med från jorden på långa rymdfärder. Figur 1 illustrerar hur ISM programmet är uppbyggt. Idag har man kommit till steg två där man utvärderar

additiv tillverkning på ISS (International Space Station).



Figur 1.
In Space manufacturing path to exploration.

Dr Gumpinger från European Space Agency (ESA) började redan för 10 år sedan titta på potentialen hos additiv tillverkning, framförallt med avseende på nya designmöjligheter och samtidigt minska kostnader och ledtid. För att till fullo kunna nyttja tekniken krävs dock en holistisk bild av hela processen från framställandet av råmaterial till kvalitetssäkring av färdig produkt.

Ett exempel på vad man ämnar tillverka med AM en optikhållare för rymdteleskopet Athena, **figur 2**.

Företag som Airbus och Rolls Royce utvecklar delar till deras nuvarande och framtida motorer att kunna tillverkas med additiv tillverkning. Korta ledtider från design till färdig produkt samt ökad frihet vad gäller just design nämns som de främsta orsakerna. Dessutom har man börjat titta på möjligheterna till multi-material design, dvs att medelst additiv tillverkning kombinera olika material med olika optimerade egenskaper i en och samma komponent. I ett praktiskt exempel nämner man kåpan till växel-



Figur 2.
Optikhållare för rymdteleskopet Athena. Hybridtillverkning där Laser AM och fräsning av optikhållaren utförs simultant med två robotar.

låda där man vill kunna variera värmeledningsförmågan för att på så sätt få effektivare kylning. Kåpan ska till största delen tillverkas i en titanlegering men områden som kräver extra god kylning kommer att bestå av en aluminiumlegering som har mer än 20 gånger högre värmeledningsförmåga än titanlegeringen. Rolls-Royce presenterade även resultat där man jämfört mekaniska egenskaper i en smidd provstav med samma provstav tillverkat med LMD, dvs "blown powder", SLM (powder bed) samt kombinationer av dessa. De mekaniska egenskaperna ligger något lägre för de additivt tillverkade provstavarna, se figur 3. Däremot uppvisar mekaniska egenskaperna hos provstavarna

tillverkade med de olika AM teknikerna inte någon nämnvärd skillnad.

Additiv tillverkning betraktas normalt som en jämförelsevis långsam och dyr produktionsmetod. Inom projektet AMPHOra (Additive Manufacturing Processes and Hybrid Operations Research for Innovative Aircraft Technology Development) har man haft som mål att ersätta konventionellt tillverkade flygmaskinskomponenter med additivt tillverkade komponenter för att minska vikt och bränslekonsumtion men samtidigt förbättra eller bibehålla säkerhet och mekaniska egenskaper. Detta kan även göras med lägre produktionskostnad vilket exemplet i figur 4 visar. Här tillverkar man en kamaxel för Black Hawk helikoptern där en konventionellt tillverkad komponent tar 20 timmar att tillverka. Med SLM tar samma komponent 5 timmar att tillverka. Har man en tillräckligt stor SLM maskin kan man dessutom tillverka upp till 250 detaljer samtidigt och ytterligare halvera tillverkningstiden för varje enskild komponent, se **figur 4**.



Figur 4. Tillverkningstid för kamaxel till helikopter med SLM jämfört med konventionell teknik.

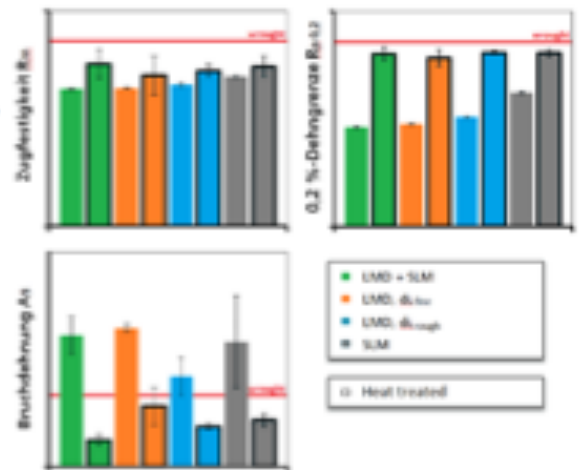
Den industri som hittills bäst anammat additiv tillverkning är den medicintekniska. Speciellt Titan- och Titanlegeringen Ti-6Al-4V har varit populära på grund av materialens biokompatibilitet. Dock innebär användandet av dessa titanlegeringar en förgiftningsrisk då utsöndring av vanadium- och aluminiumjoner ej kan ignoreras. Pulvertillverkaren H.C Starck har nu utvecklat en ny biokompatibel titanlegering, Ti/Nb/Ta för additiv tillverkning som inte utsöndrar några giftiga ämnen.

Laserzentrum Hannover (LZH) utvecklat något som de kallar för intelligenta implantat. Dessa tillverkas av materialet Nitinol. De kan bl a ha minnesfunktioner, se **figur 5**, och varierande styvhet som kan aktiveras induktivt.

Ett annat material som är intressant för additiv tillverkning av medicinska produkter är magnesium och dess legeringar.

Results of a feasibility study

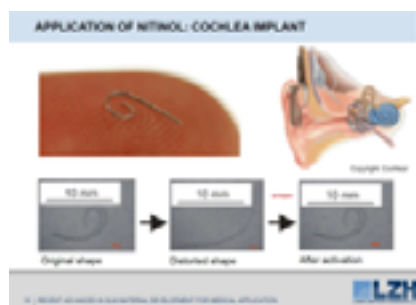
- Strengths of heat treated specimen similar
- Slightly below wrought material
- Failure of heat treated in substrate
- No specimen failed at the interface



Rolls-Royce proprietary information – UNCLASSIFIED

Rolls-Royce

Figur 3. Jämförelse av mekaniska egenskaper hos en komponent tillverkad med olika AM tekniker



Figur 5. "Intelligent" hörselsnäcka tillverkad i Nitinol.

Framförallt för att de är biokompatibla, har liknande mekaniska egenskaper som skelett och är nedbrytbart. Det finns idag dock begränsad erfarenhet av additiv tillverkning med magnesiumlegeringar.

Figur 6 visar exempel på SLM av magnesiumlegeringen WE43.

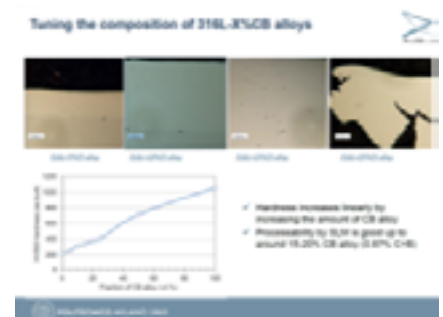


Figur 6. Produkter tillverkade med SLM av materialet WE43.

Material

De flesta material som används idag är standardlegeringar som enbart anpassats för att kunna användas i SLM maskiner. Stelningsförhållandena vid SLM skiljer sig dock från mer normala stelningsförhållandena. Man får ofta en hård och finkornig struktur med stora restspänningar

och hög sprickkänslighet. Här finns det potential för att skräddarsy material för just SLM processen. Ett vanligt och lättarbetat material är det rostfria stålet 316L. Detta är dock relativt mjukt och Politecnico Milano har genom att tillsätta en karbid/boridlegering (CB) ökat hårdheten i SLM processat material. SLM processen fungerar bra med en tillsats upp till 15-20% CB och det tillverkade material ökar hårdheten från ca HV200 för rent 316L till ca HV400, se **figur 7**.



Figur 7. Modifiering av 316L med CB tillsats.

Additiv tillverkning sker som bekant inte endast med pulver utan även med tråd. I jämförande studier brukar AM med tråd påvisa fördelar som ett högt materialutnyttjande, enkel hantering av råmaterial (speciellt reaktiva material som Ti, Mg och Al) samt minimal påverkan av gravitation.

KITECH i Korea studerar möjligheten att använda så kallad mikro-metalltråd med diameter mindre än 50 µm för att få en så bra upplösning som möjligt. Så tunn tråd är dock väldigt svår att mata fram med konventionella mekaniska trådmata-

re vilket innebär att man tittar på elektromagnetisk trådmattning. Här återstår dock en hel del arbete innan kommersialisering av metoden.

Till pulvermaterialens fördelar kan nämnas en högre depositions hastighet och lägre lasereffekter, större utbud av material och möjligheter att variera processparametrar.

Till nackdel för pulver jämfört med tråd nämnde Sörn Ocylok dock att pulver av AM kvalitet idag är i genomsnitt 110% dyrare än motsvarande tråd. Detta är dock inte hugget i sten att det behöver vara så. Hans Söderhjelm från Höganäs AB förklarade detta mycket övertygande med de förhållandevis låga volymerna av AM pulver som tillverkas i dagsläget. Med högre volymer torde AM pulver närma sig priser för PM pulver, dvs från ca 150 – 300 USD/kg ner till < 10 USD/kg.

Sammanfattning

Additiv tillverkning har kommit för att stanna. Utrustning och material blir kostnadseffektiva, nya applikationer och marknader erövrar. Det blir mycket intressant att följa utvecklingen inom området de närmaste åren. Nästa ISAM är redan planerat till 30-31 Januari 2019 och kan rekommenderas för alla som är nyfikna på det senaste inom AM.

Fakta: Höganäs AB

Höganäskoncernen 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 1800 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 ■

Höjdhållning –en oundgängliga teknik för industriell laserskärning

Av Dr Wolf Wiesemann, fd CEO Precitec GmbH & Co KG, Gaggenau
Översatt och bearbetad av Hans Engström, Levitronics Lasersystem AB

Industriell laserskärning har utvecklats till en global tillverkningsmetod där tusentals laserskärningsmaskiner arbetar 24/7 och producerar högkvalitativa produkter och ämnen i de flesta material och i tjocklekar från tunn folie till 25 mm tjock stålplåt. Framgången beror på många olika faktorer, men en ganska bortglömd men helt oundgängliga teknik är höjdhållningen i maskinerna.

Laserskärning kräver nämligen att laserstrålen fokuseras korrekt på arbetsstycket för att få bästa kvalitet och högsta skärhastighet, trots att plåtarna kan ha dålig planhet och att spänningar som löser ut vid skärningen kan deformera plåten under skärningen. Effektiv och tillförlitlig höjdhållning som håller laserstrålens fokuspunkt på rätt nivå i förhållande till plåtens yta, ger dock möjlighet att komma runt dessa problem. Men hur fungerar höjdhållningen? Det är detta som denna artikel ska försöka belysa.

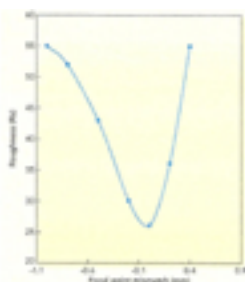
Fokuspunktens läge viktigt

Om vi tittar i **Fig. 2**, ser vi hur fokuspunktens läge i förhållande till plåtytan påverkar den skurna ytans ytjämnhet. En relativt liten förskjutning från det optimala läget ger direkt en försämring av ytjämnheten. Det finns naturligtvis en viss tolerans i hur mycket fokuspunktens läge kan tillåtas att variera, men hur mycket avgör kraven på den skurna ytan.

Det är alltså uppenbart att laserskärningsmaskiner behöver kontroll av fokuspunktens läge! Höjdvakningen måste koncentreras till en liten yta på arbets-



Figur 1.
Industriell 3D-laserskärning ökar stadigt bl.a. genom ökad användning av presshårdade detaljer till fordonsindustrin, vilka ofta kräver håltagning och renskärning. Precitec SolidCutter är ett välbeprövat skärhuvud för laserskärning med robot.

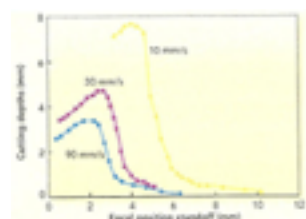


Figur 2.
Figuren visar generellt ytjämnhet hos laserskurna ytor som funktion av fokuspunktens avvikelse från den optimala positionen.

stycket som träffas av laserstrålen. Men denna yta är utsatt för stark värme, sprut, damm, och elektriskt laddad metallång. Trots detta måste noggrannheten ligga inom 1/10 mm.

Fokuspunktens läge i förhållande till arbetsstyckets yta påverkar också den maximala tjocklek som kan skäras, **Fig. 3**.

När idén med kapacitiv höjdvakning, som idag är industriell standard, föreslogs så blev frågan hur den skulle klara förhållanden under laserskärningen. Enkel teori och experiment visade att den



Figur 3.
Skärdjup som funktion av fokuspunktens avstånd från arbetsstyckets yta. Principbild.

användbara signal som skapades av en höjdvakning på 1/10 mm skulle påverkas av både kort- och långtidseffekter med en faktor 20 till 100. Hur skulle man då kunna övervinna sådana hinder??

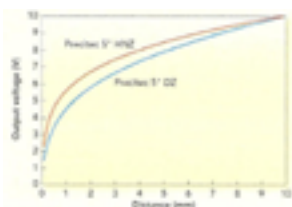
Kapacitiv höjdhållning - princip

Den elektriska kapacitansen från två ledande delar som ligger på avstånd D från varandra, som en skärdysa och arbetsstycke, resulterar från attraktionskraften mellan elektroner som finns i den ena delen och en positivt laddad, eller till och med jordad, andra del. Denna situation inträffar om en elektrisk spänning tillförs mellan arbetsstycket (jordat) och dysan i skärhuvudet, där fler elektroner kommer att finnas på dysans yta än om det inte tillfördes någon spänning. Om avståndet dysa-arbetsstycke minskar, ökar attraktionskraften från arbetsstycket på elektronerna i dysan vilket gör att flera elektroner flödar till dysan, och detta kan mätas elektriskt.

Den elektriska kapacitansen, C , kan ökas om avståndet D minskar ($C \sim 1/D$). Kapacitansen skulle också öka om ytan A mellan delarna som ligger mot varandra ökades. Vissa elektriska egenskaper, som

kan betecknas med β , i materialet mellan de båda delarna inverkar också. Den elektriska kapacitansen mellan två plana delar som är vända mot varandra vid ett konstant avstånd, D kan beräknas som, $C = \beta(A/D)$ om man bortser från vissa ströffeffekter.

Formeln [1] ger ett uppmuntrande budskap: Kapacitansen; C ; vilket avgör nivån på sensorsignalens spänning, är mest känslig för små värden på D , vilket är fallet vid laserskärning. Där är en område för höjdhållningen på $D = 0$ till 10 mm vanligen önskvärd, medan optimal noggrannhet företrädesvis måste uppnås inom ett kort arbetsavstånd på $D = 0.5$ till 1.5 mm. **Fig. 4** illustrerar utsignalens spänning som funktion av avståndet, D . Vanligtvis så lineariseras sådan karakteristik när de ska användas i återkopplade (closed-loop) system. Felmarginalen är mindre i arbetsområdet efter linearisering



Figur 4.
Typisk sensorkarakteristik före linearisering.

än i regionen för större avstånd.

Många problem att övervinna

Variationer i β och A i formeln ovan betyder att oönskade variationer kommer att ändra kapacitansen. Olyckligtvis så är sådan variationer vanliga vid laserskärning och de blir allt mer betydande med ökad lasereffekt, skärhastighet, arbetsstyckets komplexitet och materialsammansättning.

Men huvudproblemen när den kapacitiva höjdhållningstekniken introducerades var inte förknippade med formel [1] ovan. Frågan på den tiden var att undvika effekter av strökapacitans från kablar och kopplingar osv. och instabilitet i sensorsignalens utgångsspänning vid förändringar i temperatur och luftfuktighet. För att undvika effekterna av strökapacitans, så måste långa kablar undvikas och därför måste en del av elektroniken som utvärderar sensorsignalen placeras i skärhuvudet. Men dessa kunde värmas upp och gav inget skydd mot förändringar i atmosfärens fuktighet. Så därför måste layouten och integrationen av de elektriska kretsarna optimeras tills vanliga variationer i

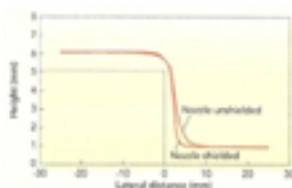
temperatur och luftfuktighet inte krävde omkalibrering av systemet vid varje skift.

Sprut var ett tidigt problem eftersom sprut som träffade dysan ändrade den elektriska potentialen, vilket i sin tur influerade mätningen av kapacitansen. Lyckligtvis så ger sprut ett karakteristiskt signalmönster, vilket kan identifieras och till viss del kompenseras för. Men man kan inte kompensera effekten av intensivt sprut och här ger "intelligent" sensorelektronik en alarmsignal när detta inträffar.

Lasermatic® Z för 3D-skärning

När 3D-skärning började bli viktig började arean A i formeln att ha inverkan. A representerar dysans yta som är i omedelbar närhet till arbetsstycket. 3D-skärhuvuden förmodas vara så slanka som möjligt, vilket kräver små dimensioner på alla delar, så också dysan och dess area A , samt andra elektriska komponenter, t.ex. kontakter och elektrisk isolering. Dessa komponenter skapar ökad intern strökapacitans, medan den användbara kapacitansen från dysan reduceras märkbart (med en faktor på ca 10) jämfört med de större 2D-skärhuvudena och dess dysor. På grund av den koniska formen på dysorna så kommer den nedre delen av dysan bidra mest till kapacitansen mot den plana delen på arbetsstycket. Men om starkt kurvade 3D-arbetsstycken används så kommer det att uppstå en avsevärd inflytande från sidoytor nära den koniska ytan på dysan, vilket ger en ökning av arean A . Detta medför att styrsystemet beordrar skärhuvudet att lämna den inställda höjdspositionen.

För att undvika dessa problem så utvecklade Precitec en ny typ av kapacitiv höjdhållningsteknik; Lasermatic® Z, som baseras på aktiv avskärmning. Denna teknik tillåter att man använder muttrar som skärmar den övre delen på dysan och därmed reducerar ökningen av arean A i närheten av arbetsstyckets väggar. En annan fördel är att denna teknik inte behöver keramiska delar för att separera



Figur 5.
Aktiv avskärmningsteknik ökar noggrannheten hos den kapacitiva höjdhållningen nära sidoytor vid 3D-laserskärning.

dysan elektriskt från skärhuvudet. **Fig. 5** är ett exempel på hur sidoinflytandet på kapacitansen kan minskas.

Men, som man kan se i Fig. 5. så finns det fortfarande en avvikelse i dysans avstånd från den inställda nära sidoytan. Avvikelse i motsatt riktning inträffar om arbetsstycket böjs bort från dysan. Om dessa avvikelser fortfarande är för stora för att ge tillräcklig skärkvalitet, så kan höjdhållningssystemet automatiskt ställas in av maskinens CNC till en högre eller lägre position.

Skärning av Zn-belagd plåt

Skärning av zink-belagt stål blev viktig under tidigt 1990-tal. Detta var tiden när β blev i formel [1] uppmärksammas mera. Likadana situationer skapades senare vid högtrycksskärning av aluminium och rostfritt stål, där utrymmet mellan dysan och arbetsstycket är ockuperat av skärgasen och med ånga som skapas av smältan i arbetsstycket. Ånga från zink-belagd plåt är starkt ledande på grund av joniserad zink, till motsats till den isolerande skärgasen eller ångan från rent stål. Dessutom så fluktuerar koncentrationen av den joniserade zinkången snabbt, vilket tillför avsevärt brus till sensorsignalen. Beroende på lasereffekt och skärhastighet så kan den kapacitiva höjdhållningen spolieras av denna effekt. En möjlighet att bemästra dessa problem är helt enkelt att frysa den elektroniska höjdhållningen för en kort tid (några hundra millisekunder) omedelbart efter det att överbelastningen av bruset uppstår. Naturligtvis fungerar denna metod inte om överbelastningen av bruset pågår en längre tid. Precitec har stärkt den patenterade aktiva avskärmningstekniken mot starka variationer hos β -parametern. Nu är denna teknik nästan lika motståndskraftig mot plasma som den traditionella icke avskärmade tekniken.

Många funktioner i Precitec's system

Högpresterande kapacitiva sensorsystem är idag kapabla att erbjuda ett brett spann av hjälpsamma egenskaper som komplement till höjdhållningsfunktionen som:

- Automatisk kalibrering av sensorns output mot höjdkarakteristik
- Automatisk linearisering av denna karakteristik
- Programmerbar inställning av fokallaget (set-point)
- Alarmsigna vid kontakt med arbetsstycke

- Signal vid plasmabildning
- Signal vid sprut

För vissa av dessa funktioner krävs ett samarbete med maskinens CNC-system.

Potentialen med kapacitiv höjdhållning är ännu inte fullt utnyttjad. Hos Precitec utvecklas ständigt nya funktioner som en del av en övergripande strategi att ytterligare öka prestanda och intelligens i framtida produkter, vilket stödjer kundernas behov av flexibilitet, tillförlitlighet och noggrannhet. ■

Mera information: www.levitronics.se
www.precitec.de



Figur 6.

Precitec ProCutter (t.v.) representerar det senaste inom utvecklingen av skärhuvuden för industriell laserskärning med fiber- och disk-laser. Det är en familj av skärhuvuden som klarar upp till 12 kW och kan fås både med manuell och motordriven inställning av fokalläget. ProCutter Zoom ger möjlighet att variera fokalpunktens läge och storlek oberoende av varandra. ProCutter är utrustad med det senaste inom sensorteknologin och har bl.a. övervakning av skyddsfönstret, temperaturmätning i huvudet, tryckmätning i dysan. Med ett Bluetooth-interface kan systemets status övervakas med en smartphone eller PC-tablet. Precitec's avancerade elektronik Lasermatic® (EG 8030) och Lasermatic® Z (EG8110) (t.h) erbjuder fullständiga möjligheter till kontroll och styrning av höjdhållningssystemet.



Skandinaviens nordligaste tekniska universitet
Forskning & utbildning i världsklass

EWf – SPECIALKURS

LASERSVETSNING/ LASERHYBRIDSVETSNING

DATUM: 5-7/12, 16-18/1 & 6-7/3

Mer information:

Greger Wiklund, Luleå tekniska universitet
greger.wiklund@ltu.se, 0920-49 12 66

LULEÅ
 TEKNISKA
 UNIVERSITET

Additive Manufacturing: by TRUMPF

LMD: Laser Metal Deposition &

LMF: Laser Metal Fusion: only by TRUMPF

svenssonmalm.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

