

# Lasernytt



3-2019

## KALENDARIUM 3-2019

2019  
DECEMBER

13 LaserNytt 3-2019

Per Westerhult

2020  
APRIL

4 LaserNytt 1-2020  
16 Laserdag 1, Höganäs AB, Höganäs

Per Westerhult

OKTOBER

LaserNytt 2-2020  
Laserdag 2, Under planering

DECEMBER

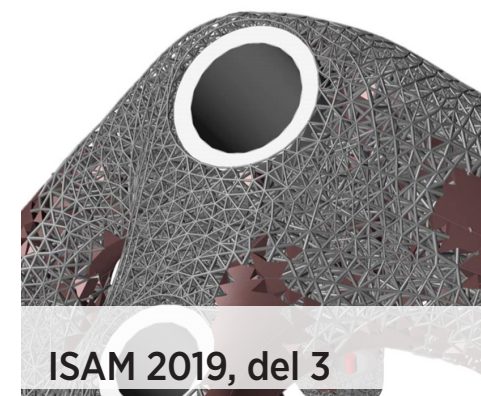
LaserNytt 3-2020

LASERNYTT NR 3-2019



## LASER WORLD OF PHOTONICS 2019

**LASER**  
LASERGRUPPEN



ISAM 2019, del 3



Laserfogning på  
IIW evenemang



Robotiserad  
laserskärning

■ BRANSCHENS FÖRETRÄDARE ■ INFORMATIONSUTBYTE ■ KUNSKAPsutBYTE ■ KONTAKT- OCH INFORMATIONSnätVERK ■ SEMINARIER OCH KURSER

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

Laser World of Photonics. vid IMM  
(International Messe München)

#### Produktion: BrandFactory

Tryck: BrandFactory, Stockholm  
www.brandfactory.se

**LASER**  
LASERGRUPPEN

## INNEHÅLL

LASERNYTT FYLLER 30 ÅR	2
ANDERS IVARSON NY I LASERGRUPPENS STYRELSE	3
ISAM-2019 AVSLÖJADE ATT DET FORTFARANDE FINNS MYCKET ATT LÖSA innan vi kan förvänta en större industriell användning av additiv tillverkning med laser Del 3	4
NOLAMP 17 I TRONDHEIM - Nu börjar det 5:e varvet i de Nordiska länderna	16
MOT KORTARE VÄGLÄNGDER	21
E-MOBILITY OCH ADDITIV TILLVERKNINGT var bara två av russin i laserkakan vid 2019 års upplaga av Laser World of Photonics	22
INSPIRERANDE VARIANTER AV LASERFOGNING PÅ IIW EVENEMANG Smältans rörelse vid "remote" lasersvetsning	36
LASER PROCESSING AROUND THE WORLD, DEL 12 Robotiserad laserskärning hjälper Factory Pipe att hålla leveranstiderna gentemot en krävande extremsportindustri	40
SAMTAL KRING LASERTRENDER Del 34	42
LASERPÄSVETSNING AV MARTENSITISKA ROSTFRIA STÅL FÖR NÖTNINGS- OCH KORROSIONSMOTSTÅND	46

## Tankar från styrelsen



### TANKAR FRÅN STYRELSEN

BJÖRN LEKANDER, PERMANOVA LASERSYSTEM AB

Så här i sista numret av LaserNytt 2019 är temat rätt givet. Först behöver vi göra en summering av 2019, för att sedan förutspå vad som händer under kommande år. Vi börjar med det enkla; tillbakablicken.

I början av året fick vi in siffrorna över bilförsäljningen under 2018. Det var inga roliga siffror. I Kina minskade försäljningen 6% över året och nästan 20% i december jämfört med 2017. Under 2019 har vi sett stora svängningar men trenden är tydlig; försäljningen minskar totalt även om europeiska tillverkare som Volvo och Audi har ökat. Idag säljer Volvo ca 20% av sina bilar i Kina och 15% i USA. Audi har 30% av sin försäljning i Kina.

Vad har då dessa dystra siffror med Lasergruppen att göra och kan vi se någon ljusning? Bilindustrin påverkar givetvis oss alla och är, som ni vet, en stor användare av laser. Även om vi ser en liten minskning av laserteknik på karosserna så är ökningen på dörrar och bakluckor påtaglig. Till det kommer elektrifieringen. Här är spelplanen öppen och ingen vet vad som kommer hända. Trenden är däremot tydlig; efterfrågan ökar och därmed produktionen. För många av de ingående komponenterna är laser en av få, eller till och med den enda, möjliga tekniken. Det finns ingen leverantör med lång erfarenhet vilket gör att vi ser utveckling på många fronter. Alla större OEM utvecklar produktionsteknik

internt för att inte tappa fart. Samtidigt finns det många mindre aktörer som specialiserar sig på delsamansättningar. Ett lysande exempel på detta är Alelion, som första svenska företag dragit igång sin modulproduktion i Torslanda!

Så vad händer då under 2020? Här återkommer vi till elektrifieringen. Historiskt har vi tenderat att överskatta ny teknik på kort sikt och underskattat densamma på lång sikt. Det är kanske dags att tänka om. Möjligheterna kring elektrifiering är enorma då i stort sett all industri kommer att påverkas i någon form och förhoppningsvis kommer vi att få se många svenska aktörer på den marknaden. Det samma gäller additiv tillverkning; tekniken har mognat under många år och nu börjar vi se tillverkning i stor skala.

Gott Nytt 2020

# LaserNytt fyller 30 år

Hans Engström  
Levitronics Lasersystem AB

LaserNytt fyller i år 30 år. LaserGruppen hade bildats i juni 1988 som en branschgrupp inom Mekanförbundet som en gemensam plattform för kunskaps- och erfarenhetsutbyte och ett år senare sjösattes LaserNytt.

Det var ett nyhetsblad och skulle "vara ett forum för där läsarna får möjlighet att utbyta information, och erfarenheter i ett teknik- och marknadsområde som vi alla är intresserade av". Första numret hade

19 sidor och den utkom tre gånger under 1989.

Jag hade förmånen att få vara med om att skapa LaserNytt och att fylla den med innehåll och har arbetat med tidningen sedan dess. Som synes hade vi redan i första numret en stor ambition att mycket strukturerat under fem huvudrubriker spegla lasertekniken.

LaserNytt har nu getts ut i 30 år med 90 nummer och har under den tiden utvecklats från ett nyhetsblad som kopie-

rades och skickades ut till medlemmarna, till en fyllig och innehållsrik tidning som speglar den industriella laserutvecklingen worldwide. Den är en viktig hörnpelare i LaserGruppens verksamhet och engagerar styrelsen starkt för att ge medlemmarna bästa möjliga information. Vi som arbetar med LaserNytt ser fram emot att tidningen kommer att utvecklas vidare och att den kommer att fortsätta att sprida laserkunskap till medlemmarna under många år framöver. ■

Nr 1, 1989

# LASER NYTT

## INNEHÅLL

- FORSKNING OCH UTVECKLING
- UTRUSTNING OCH METODER
- INTERESSANTA TILLÄMPNINGAR
- KURSER, KONFERENSER, LITTERATUR
- PERSON OCH FÖRETAGSNYTT

## LASERGRUPPEN INOM SVERIGES MEKANFÖRBUND

### Laserbranschen i startgroparna — för vidareutveckling och samarbete

Det Ni nu håller i Er hand är första numret av LaserNytt - den svenska laserbranschens eget nyhetsblad, utgivet av Lasergruppen inom Sveriges Mekanförbund.

Det är en del i resultatet av ett mognadsarbete inom branschen, kanske att symboliskt jämföras med myndighetsdagen för unga människor. Plötsligt blir man accepterad som fullvärdig medlem i samhället. För laserbranschen är man nu genom Lasergruppen en samlad enhet inför kommande utmaningar i teknikutveckling och marknadsbearbetning.



Bertil Pekkari,  
Ordf



Fredrik Feldreich,  
Ansvarig för Lasergruppens  
sekretariat



Professor  
Claes Magnusson,  
Ansvarig för tekniska  
sakinnehållet i  
LaserNytt

## LASERGRUPPEN INOM SVERIGES MEKANFÖRBUND

Bakgrunden är följande: Sedan hösten 1987 har Mekanförbundet i olika former arbetat med frågor kring användandet av bearbetningslasrar. Teknikutryskelsen inom Mekanförbundet uppmärksammade att frågor kring användning av bearbetningslasrar i verkstadsindustrin för närvarande inte ryddes inom de statliga ramprogrammen för de olika teknikområdena. Man konstaterade i ett uttalande: "Med tanke på den potential som finns genom att rätt utnyttja lasernas unika processsegenskaper och flexibilitet anser Tekniskstyrelsen att Mekanförbundet bör vara med i den utvecklingen."

I november 1987 hölls ett välbesökt seminarium "Laserutveckling i Europa" i samarbete mellan Teknik- resp. Branschgruppsavdelningen. I april 1988 sammanträdde en arbetsgrupp "FoU-Bearbetningslasrar inom ett av Mekanförbundets Tekniskråd."

I juni 1988 bildades en ny branschgrupp inom Mekanförbundet - den ovan nämnda "Lasergruppen". Ett 30-tal företrädare för olika leverantörer och användare av laserteknik beslöt efter det välbesökta novemberseminariet att det var dags att samla resurserna och skapa en gemensam plattform för kunskaps- och erfarenhetsutbyte samt samverkan mellan medlemmarna.

Vi som nu arbetat med första numret av LaserNytt hoppas självfallet att detta skall bli ett forum där Ni får möjlighet att byta information, kunskap och erfarenhet på ett teknik- och marknadsområde som vi alla är intresserade av. Där Ni kan söka kontakter - utöver inom ramen för själva gruppssammansättningarna.

För att nå fram till en nyttig och positiv produkt behöver vi såväl Dina bidrag som Dina kommentarer. Nyhetsbladet är till för Dig och Du är med och avgör om och hur vi skall gå vidare.

För en bransch som just blivit myndig är alla möjligheter oprövade och vi är säkra på att LaserNytt kommer att växa tillsammans med laseranvändningen i Sverige.

Materialet har framtagits av Tekniska Högskolan i Luleå, på uppdrag av Lasergruppen inom Sveriges Mekanförbund.

Bild 1.

Bild 1. LaserNytt fyller 30 år. Första året utgavs tre nummer och nyhetsbladet har sedan dess varit en viktig kommunikationskanal för att sprida kunskap om laserteknik till LaserGruppens medlemmar.

# Anders Ivarson ny i LaserGruppens styrelse

Anders Ivarson, SSAB EMEA AB, går nu in i styrelsen för LaserGruppen. Han ersätter Tomas Hägglund, fd Din Maskin, som har lämnat styrelsen under året.

Anders arbetar sedan 2003 som senior specialist inom skärning och svetsning på SSAB EMEA AB. Han blev den första som doktorerade inom laserteknik vid Luleå tekniska universitet 1993 när han försvarade sin avhandling inom laserskärning. Han blev docent inom samma område 1997.

Innan SSAB arbetade Anders vid Atlas Copco AB i Örebro som materialspecialist under åren 1997-2003.

Styrelsen är glad att Anders vill arbeta i LaserGruppen och ser fram emot att få ta del av hans stora kompetens inom laser- och materialteknikområdet.



Bild 1.  
Anders Ivarson, ny medlem i LaserGruppens styrelse



# ISAM-2019 avslöjade att det fortfarande finns mycket att lösa innan vi kan förvänta en större industriell användning av additiv tillverkning med laser Del 3

Johnny K Larsson  
Autokropolis Engineering

Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff und Strahltechnik] vill gärna, och kanske med rätta, utge sig för att vara ett europeiskt centrum då det gäller additiv tillverkning baserad på laserteknik. Här har institutet fått god draghjälp från BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] genom ett investeringsbidrag på hela 45 miljoner euros!

Ett led i denna satsning är att erbjuda konferenser i ämnet, och i februari i år var det dags för den tredje upplagan av ISAM [International Symposium on Additive Manufacturing]. Det var första gången som jag personligen deltog vid detta evenemang, vilket i vanlig ordning genomfördes med sann tysk perfektion. Då man hade lyckats enrullera hela 5 internationellt välrenommerade keynote-talare såg vi cirka 300 delegater fram mot två intressanta dagar med följande huvudteman:

- Avancerade processer och teknologier
- Material och provningsförfaranden
- För- och efterbearbetning
- Processkontroll och kvalitet
- Applikationer

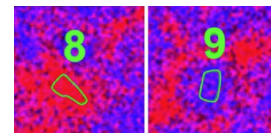
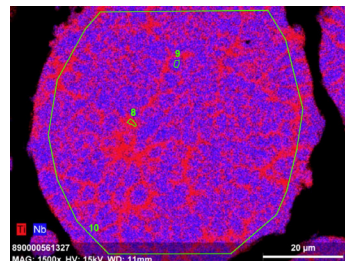
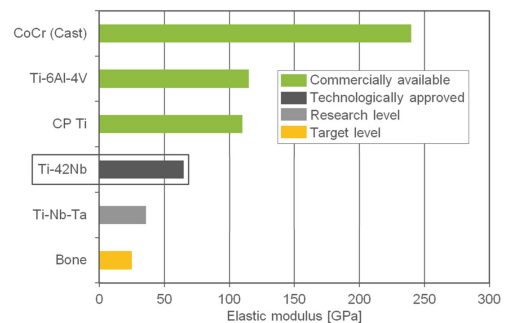
Del 3 avslutar rapporteringen från ISAM 2019.

Sessionen Material och provnings sista talare var Dr. Markus **Weinmann** från företaget H.C. Starck Tantalum and Niobium GmbH, som utvecklar nya pulvermaterial främst avsedda för SLM-tillverkning av implantat. Samtidigt som dessa skall uppvisa goda mekaniska egenskaper och vara kompatibla med skelett och omgivande vävnader får de inte innehålla



Figur 24.

Implantat i Ti-Nb-Ta-legeringen Ampertec® har en E-modul som korresponderar bättre till mänsklig ben- och skelettstruktur jämfört med de Titan-legeringar som används idag.



	Ti	Nb
8	67,9	32,1
9	53,0	47,0
10	58,3	41,7

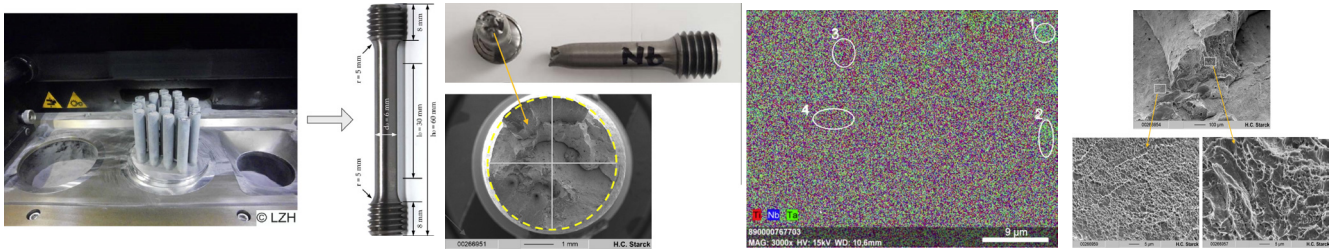
Figur 25.

Dessa EDX-bilder avslöjar hur fördelningen av grundämnen kan variera inom ett enskilt pulverkorn här i form av legeringen Ti-42Nb.

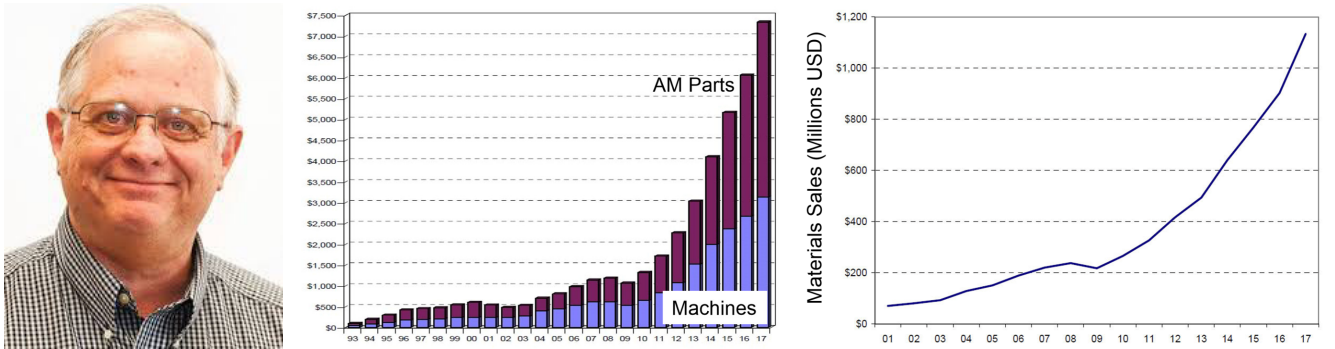
för kroppen giftiga eller allergiska ämnen. Därför pågår en ständig utveckling av nya pulvermaterial och det som nu togs fram bestod av en Ti-Nb-Ta-blandning och har den kommersiella beteckningen Ampertec®. Det har tagits fram i samarbete med LZH [LaserZentrum Hannover], Helmholtz Zentrum Geesthacht och implantatlaboratoriet Forbiomit. Idag används ett snarlikt material som har beteckningen Ti-42Nb, men det nyutvecklade har en elasticitetsmodul som ligger närmare de värden som gäller för mänsklig benstruktur [Fig. 24].

Pulvret har tillverkats med EIGA [Electrode Induction melting Gas Atomization]-metoden, som ger en i sammanhanget lämplig PSD [Powder Size Distribution].

Syret reduceras ur partiklarna vilket förutom att ta bort oxider även bidrar till att s.k. satellitpartiklar försvinner. Inuti partiklarna är fördelningen av grundämnen ojämn vilket illustrerades med några imponerande EDX [Energy-Dispersive X-ray spectroscopy]-bilder av ett Ti-42Nb-korn [Fig. 25]. För att kvalificera en ny pulverlegering SLM-tillverkar man små cylindrar för tryckprovning och något längre sådana för dragbelastning. Här redovisade Dr. Weinmann några resultat med printat Ti-42Nb-material, som genom parameteroptimering fick den imponerande densiteten 99,93%, och därmed fick en bra kombination av hållfasthet och elasticitet med dragprov som genomgående resulterade i duktila



Figur 26. Vid dragprovning av SLM-tillverkade provstavar i den nya legeringen Ti-Nb-Ta uppvisade dessa såväl hög brotthållfasthet som god duktilitet, något som delvis går att förklara med den ytterst fina fördelningen av de ingående grundämnena.

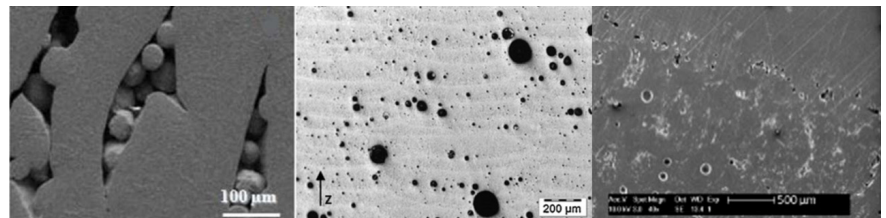


Figur 27. Professor David Bourell från University of Texas var en av fem speciellt inbjudna keynote-talare. Han inledde sitt föredrag med att illustrera den explosionsartade tillväxten inom additiv tillverkning både då det gäller sålda maskinenheter som pulvermaterial (t.h.).

brottytor. Provtavlar i det nyutvecklade pulvret Ti-Nb-Ta uppvisar ännu högre elasticitet med duktila brott vid dragprovning [Fig. 26], mycket beroende på att grundämnesblandningen ligger nära den som motsvarar minnesmetaller. Samtidigt är grundämnesfördelningen ytterst fin och homogent fördelad i de byggda provstavar, något som leder till att brotthållfastheten överstiger den för Ti-42Nb.

### Key-note session

Andra dagen inleddes med en keynote-session under överinseende av Dr. Christoph Leyens [Fraunhofer IWS], och omfattade tre internationellt välrenommerade talare där professor David Bourell från The University of Texas i Austin inledde. Förutom sin tjänst vid universitetet innehar han också ordförandeposten för ASME:s standardiseringskommitté F42 för additiv tillverkning. Han började med att beskriva den explosionsartade utveckling som skett inom additiv tillverkning där den årliga tillväxten av maskiner och AM-tillverkade produkter under den senaste tioårsperioden ligger på 22%! Över 14.700 industriella maskiner såldes under 2017 varav cirka 1.800, eller 18%, utgjordes av enheter avsedda för metalliska material [Fig. 27]. Volymen ligger dock fortfarande på billiga 3D-printrar för plast där hela 530.000 enheter såldes under samma år. Materialen står för ungefär 1 miljard euros av den totala omsättningen på 6,4 miljarder, och här representeras hela 82% av polymerer. Av dessa utgörs



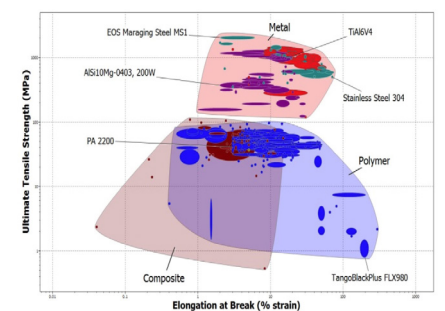
Figur 28. Typiska defekter vid AM-tillverkning; fr.v. bindfel vid EBM av Ti6Al4V, gasinneslutningar vid SLM av AlSi10Mg samt bindfel och förångningseffekter vid lasersintring av en elastomer.

44% av hårdplaster avsedda för stereolitografi, 32% av halvkristallina termoplaster för lasersintring [SLS = Selective Laser Sintering], samt slutligen utgörs resterande 24% av amorfa polymerer med inblandade fibrer avsedda för extrudering. Totalt finns hela 7 olika AM-metoder för polymera material där materialets termiska egenskaper styr valet av tillverkningsmetod, medan vi hittar 4 stycken där metallpulver används. Man kan även dela upp metoderna i sådana som smälter samman det tillförda materialet, och sådana som inte smälter detsamma men som sammanfogar med hjälp av något bindemedel, som exempelvis metoderna ”binder jetting” och laminering.

Vanliga defekter då man arbetar med metalliska material är sammanklumpning av pulverpartiklarna och porer i de byggda objekten [Fig. 28]. Här sammanfattade professor Bourell några jämförelser mellan AM-tillverkade metallprodukter och konventionellt [gjutna eller smidda] framtagna sådana. Beträffande hållfasthet och hårdhet får AM-detaljerna oftast bättre prestanda medan styvheten är jämbördig. Däremot uppvisar de sämre

beteende då det gäller duktilitet, slagsegghet och utmattning, men dessa egenskaper kan förbättras med efterbearbetning som t.ex. HIP [Hot Isostatic Pressing].

Det finns en mängd materialdatabaser som exempelvis Granta CES Selector™ avsedda att utgöra ett stöd för konstruktören i dennes val av lämpligaste material [Fig. 29], men dylika databaser tar sällan hänsyn till de aspekter som är unika för AM-tillverkning. Därför gladdes professor Bourell över att det pågår arbeten med att



Figur 29. Exempel på information som man kan hitta i konstruktörsstödet som materialdatabasen Granta CES Selector™, men dylika system tar enligt Dr. Bourell sällan hänsyn till de aspekter som är unika för AM-tillverkning.

försöka åstadkomma någon form av index för olika materials lämplighet för additiv tillverkning. Avslutningsvis kunde han konstatera att det råder ett svalt intresse bland pulvertillverkare att utveckla metalliska pulver för AM då detta fortfarande är en förhållandevis liten marknad.

En del ny information kring den additiva tillverkningens position i Kina fick vi oss till livs från Dr. Xiaoyan **Zeng** [Huazhong University of Science and Technology (HUST)]. Landet har spenderat 230 miljoner dollars under de senaste åren för att utveckla metoderna så att man kan växla från tillverkning av enklare lågkostnadsprodukter till sådana med ett högt värdeinnehåll. Ett exempel var stora Titan-komponenter för aerospace som tillverkats med LMD med hjälp av verktyg som hade flera integrerade pulvermunstycken. Andra exempel på lösningar för ökad produktivitet hittar vi hos HUST i form av 4 parallellt arbetande laserkällor i en kammare som mäter 500x500x530 mm, och vid Shanghai Techgine Laser Technology som har lösningar med fyra fiberlasrar om vardera 500 W [TS500] alternativt 1.000 W [Fig. 30]. Företaget tillhandahåller även mindre modeller för SLM, och hävdar att i områden i pulverbädden där laserstrålarna överlagras gör detta ingen skillnad på de tillverkade objektens egenskaper. Annan intressant information handlade om ett turbinhjul som byggts upp med olika pulvermaterial, s.k. graded materials, samt trenden rörande hybrid- eller kombinationsmaskiner. Företag som Matsuna och Bodic erbjuder idag sådana lösningar som inkluderar såväl AM-tillverkning som skärande bearbetning. Ett problemområde vid additiv tillverkning är sprickkänsligheten hos de byggda objekten. Detta beror till stor del på snabba avkylningsförhållanden, varför Dr. Zeng menade att det är viktigt att påpeka av avsvlningshastigheten är högre för SLM än vid LMD-tillverkning. En annan åtgärd kan vara att modifiera pulvret, exempelvis att upplegera aluminium med zink för att göra det förstnämnda mindre sprickkänsligt. Sammanfattningsvis konstaterade han, liksom många övriga talare, att kvalitén hos de AM-tillverkade produkterna är hög idag, men det som behöver förbättras är produktiviteten samtidigt som maskinkostnaderna måste bli lägre.

Ett flertal utomeuropeiska länder var representerade vid ISAM-2019, och till den globala täckningen bidrog även Australien genom professor Xinhua **Wu** som representerade Monash University



Figur 30. SLM-maskinen TS500 från Techgine Laser Technology betjänas av fyra stycken 500 alternativt 1.000 W fiberlasrar. Kammarstorleken mäter 500x500x1.000 mm och byggplatt-formen kan värmas upp till 200 °C. Produktiviteten ligger mellan 80-200 cm<sup>3</sup>/timme med en fokalpunktsdiameter kring 100 µm, och noggrannheten ligger på ±0,05 mm.

[Fig. 31]. I sitt föredrag fokuserade hon på SLM med tillhörande process- och legeringsutveckling. En spännande aluminiumlegering hade formulerats på begäran av Safran S.A., som är ett multinationellt företag inom aerospace-industrin. Man krävde att ett roterande lättviktsdrivdon skulle klara en arbetstemperatur på 250 °C. Detta löstes genom att upplegera aluminiumet med Scandium för bättre diffusion och med Mangan för bättre lösningsförmåga. Vid provning av komponenten tillverkad i detta material nådde man en koherent stabilitet under 5 timmars drift vid 300 °C. En annan utmaning låg i tillverkningen av sprickfria turbinblad i Inconel718. Här gällde det att minimera förekomsten av en dendritisk mikrostruktur vilket man lyckades med genom en kontrollerad värmeställning något som kunde bestämmas via avancerade simuleringar.

Ett annat material som är vanligt förekommande i flyg- och rymdindustri är Ti6Al4V, något som exemplifieras genom det trettiotal AM-tillverkade artiklar i detta material som vi hittar i flygplanet C919 [Fig. 32]. Här krävs en efterföljande värmebehandling på 800 °C under 5 timmar för att eliminera martensitformering och på så sätt öka brottförlängningen i materialet till 18%! Värmebehandlingen tar även bort alfa-fasen i korngränserna,



Figur 31. Professor Xinhua Wu har varit starkt pådrivande vid forskning kring AM på Monash University och kan stolt visa upp världens första 3D-printade jetmotor som bl.a. tillverkats i universitetets nyförvärvade X-line 2000R-maskin från Concept laser.

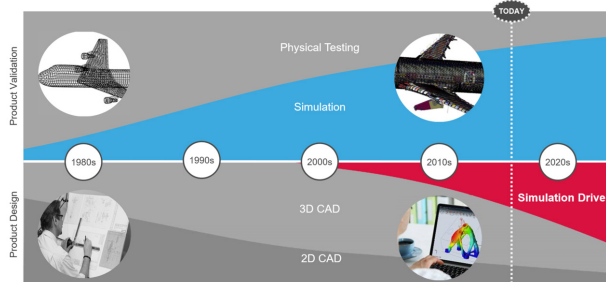


Figur 32. När det kinesbyggda flygplanet C919 lyfter från marken tar det ett trettiotal mindre kritiska, men additivt tillverkade Ti64-artiklar med sig upp i luften!

vilka annars blir en källa för sprickinitiering. Professor Wu avslutade med att informera om och samtidigt bjuda in oss delegater till konferensen CAM2020 vilket går av stapeln i Melbourne mellan 18-20 november nästa år.

## För- och efterbearbetning

Sessionen leddes av IWS-medarbetaren Lukas **Stepien**, som började med att presentera Anthony **McLoughlin** från Altair, ett företag som utvecklar och säljer diverse simuleringsprogram. Altair grundades 1985 och har sitt huvudsäte i Troy, MI. Idag kan man erbjuda mer än 100 olika mjukvaruprogram, och Mr. McLoughlin



Figur 33. Företaget Altairs syn på hur simuleringsverktygen utvecklats från att endast utgöra ett valideringsverktyg av produktens egenskaper till att aktivt användas vid den konstruktiva utformningen av produkter.

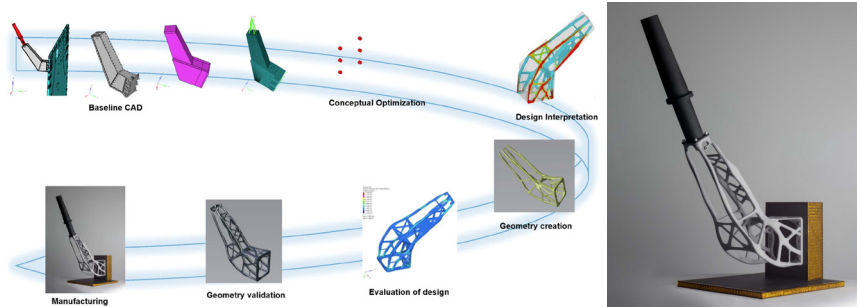
menade att man har över 60.000 användare ”world-wide”. Hans presentation handlade om simuleringsdriven design som ett hjälpmedel för optimalt utnyttjande av AM-tekniken [Fig. 33].

Lämpligast är då att använda sig av topologioptimering, vilket beskrevs med några applikationsexempel från Airbus och RUAG [Rüstungs Unternehmen AktienGesellschaft]. I det senare fallet rörde det sig om en antennkonsol avsedd för satelliten ”Sentinel-1”. Förutom en 43%-ig viktminskning, från 1,626 till 0,936 kg, resulterade den framsimulerade geometrin till att komponentens egenfrekvens höjdes från 70 till 90 Hz [Fig. 34]. Denna designsimulering hade sedan följts av en dito av tillverkningen för att minimera effekter som distorsioner och restspänningar i den 3D-printade antennen.

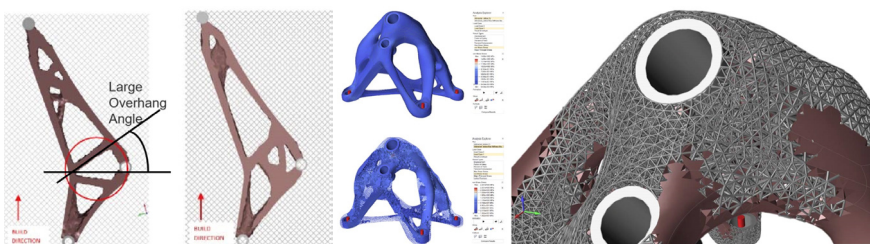
För att undvika behovet av stödstrukturer finns det ett bivillkor i programvaran ”OptiStruct”, som föreslår en geometrisk utformning som inte kräver några sådana. Altair erbjuder även en programvara med en algoritm som kan prediktera den bästa gitterstrukturen när en sådan är önskvärd ur egenskapssynpunkt [Fig. 35], och ytterligare en simuleringsmodul tar hänsyn till den materialanisotropi som kan uppstå under tillverkningsfasen.

Presentationen avslutades med några applikationsexempel i form av cykel- och motorcykelramar [Fig. 36], där den förstnämnda kunde tillverkas 45% lättare än originalet med AM, och den senare byggde på ”bionic design” och ”organic exoskeleton” med en totalvikt på 35 kg. Ett annat exempel handlade om AM-tillverkade gjutverktyg avsedda för produktion av balansbryggor till företaget Amazones jordbruksmaskiner.

F.d. chalméristen **Sven Bengtsson**, numera Höganäs AB, gav oss några tänkbara synpunkter kring pulvertillverkning och -egenskaper. Pulvret skall vara tillverkningsbart, processbart och resultera i de slutegenskaper som har specificerats. Därefter gick han in på att beskriva några av de processer för pulvertillverkning som finns tillgängliga såsom gasatomisering, VIM [Vacuum Induction Melting], VIGA [Vacuum melting Inert Gas Atomization], EIGA [Electrode Induction melting Gas Atomization] o.s.v. Därefter siktas pulvret så att man får önskade storleksfraktioner, och här är de vanligaste 15-45  $\mu\text{m}$  eller 20-53  $\mu\text{m}$  [Fig. 37]. Alltför små kornstorlekar, under 10  $\mu\text{m}$ , leder till explosionsrisker vid användning i en SLM-kammare och bör därför undvikas.



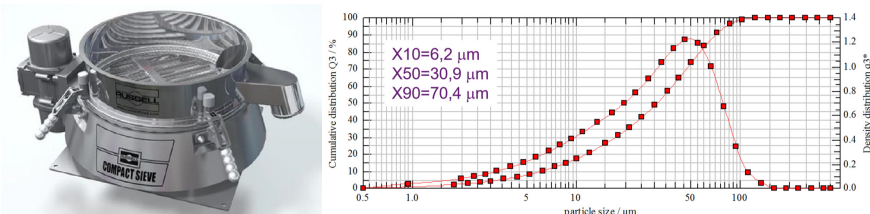
Figur 34. Topologioptimering av denna antennkonsol resulterade i att dess vikt kunde reduceras med över 40% samtidigt som egenfrekvensen ökade från 70 till mer gynnsamma 90 Hz.



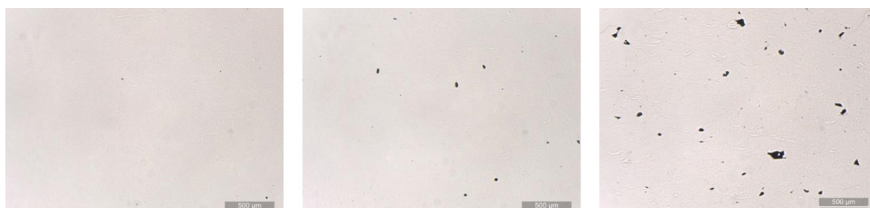
Figur 35. Med olika verktyg för designsimulering kan man ta fram optimala geometrier som inte kräver några stödstrukturer, men som även kan prediktera den ut egenskapssynpunkt bästa gitterstrukturen.



Figur 36. Additiv tillverkning kan användas vid framtagning av så vitt skilda produkter som cykelramar och balansbryggor (t.h.) till jordbruksfordon.



Figur 37. Siktning är en viktig del vid pulverframställning så att man får den önskvärda fraktionen som vanligtvis ligger mellan 15-50  $\mu\text{m}$  i kornstorlek.



Figur 38. Enbart mindre förändringar i tillförd sträckenergi kan påverka förekomsten av porer. SEM (Scanning Electron Microscope) -bilderna illustrerar AISI 420S-pulver processat med fr.v. 200 W & 700 mm/sek, 200 W & 800 mm/sek respektive 144 W & 800 mm/sek.

Processparametrarna är som vi redan vet viktiga vid SLM-tillverkning, och ett alltför litet smältbad leder till höga termiska gradienter, inbyggda spänningar och partikelsprut, medan en för hög lasereffekt ger att pulverpartiklarna förångas i stället för som avsett är att smältas. Processpara-

metrarna har också ett inflytande i fråga om porositet, bindfel och sprickor, där risken för uppkomst av sådana defekter tilltar med minskad sträckenergi, något som illustrerades med olika parametrinställningar då AISI 420S-material processades [Fig. 38]. Austenitisering, härdning och

efterföljande värmebehandling är åtgärder som kan förbättra mikrostrukturen och därmed egenskaper som t.ex. objektets hårdhet. Såsom varande en pulverleverantör kan Höganäs tillhandahålla pulver i legeringar baserade på aluminium, nickel, järn, kobolt, titan och koppar [Fig. 39], och Dr. Bengtsson drog slutsatsen att om AM-tillverkning skall bli en större industri krävs att SLM-maskinernas effektivitet, d.v.s. produktivitet, ökar samtidigt som kostnaden för pulver går ner. Beträffande det senare förespråkade han några intressanta förslag, nämligen att förbättra kännedomen om hur recirkulerat eller återanvänt pulver beter sig, samt att använda skrotmaterial i stället för att framställa nytt, jungfruligt pulvermaterial.

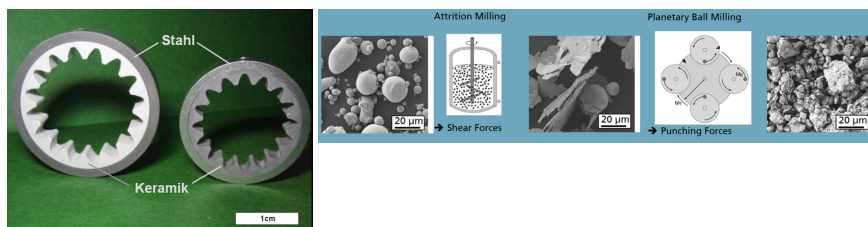
Flerfunktionella komponenter där olika material med olika egenskaper kombineras var temat för Tassilo Moritz från Fraunhofer IKTS [Institut für Keramische Technologien und Systeme]. Han visade på ett exempel där man hade sammansintrat ett keramiskt pulver med ett rostfritt dito, där det senare malts ner under högt tryck [Fig. 40]. På så sätt hade man lyckats skapa samma krympeegenskaper hos det metalliska materialet som i keramen. Av speciellt intresse var att undersöka gränssnittet mellan de båda materialen. Detta uppvisade en kemisk bindning mellan materialen samtidigt som legeringselementen inte förbrukades.

Därpå visades några exempel där den additiva metoden FFF använts med keram- och metallpartiklarna inbäddade i den extruderade termoplasten. Process-temperaturen ligger vanligtvis i intervallet 130-180 °C, och materialet stelnar när det autogent kyls ner till rumstemperatur. Tillsammans med företaget HAGE hade man, inom ramen för EU-projektet "cerAMfacturing", utvecklat ett printerverktyg med två munstycken och uppvärmning av polymeren med hjälp av infrarött ljus [Fig. 41]. Med detta verktyg hade en IR [InfraRed] -värmare [ceramicx] tillverkats. Ett ytterligare exempel på hybrid-tillverkning med AM var termoplastisk 3D-printning med ett mjukt bindemedel och fyra munstycken där det nedsmälta materialet matades ut droppe för droppe [Fig. 42]. Droppstorleken uppgick till mellan 200-300 µm och process-temperaturen låg i intervallet 80-100 °C.

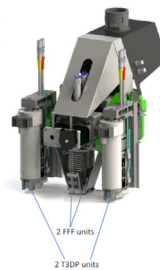
Amir Isfahani från mjukvaruföretaget Flow Science avslutade sessionen med att beskriva dess produkt Flow3D och hur den kan användas för att simulera SLM-processen. Programmet som bygger

Figur 39. Tillgången till pulverlegeringar användbara vid AM-tillverkning är fortfarande begränsad, och t.h. ses de som för tillfället är kommersiellt tillgängliga.

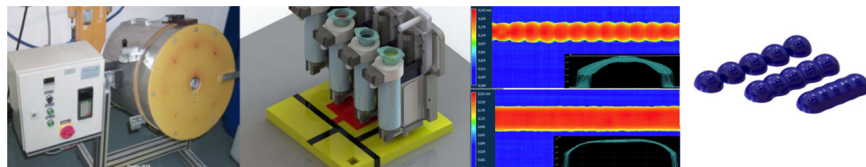
Al-base Al10SiMg Al12Si Scalmetalloy Al9Si3Cu Al7SiMg	Performance as cast Al with few exceptions  New high performance powders will be developed	Fe-base 316L (AISI 316L) 304L (AISI 304) Cast SS (1.4859) Cast SS (1.4308) 17-4PH (SAE 17-4PH) 15-5PH (SAE 15-5PH) 420S (AISI 420S) M300 (1.2709)	Robust process, "high cost", Mild heat treatment  Demanding process "low" cost
Ni-base In 625 (2.4856) In 718 (2.4668) 247LC In 936 In 914 In 939 HX (2.4665) Hast C276 NiLo 42 (1.3917) In 917 (2.4663) In 738 Hast 282 Haynes 230 (2.4733) Hast X	High performance, high cost, complex heat treatment  Developed for specific applications	Co-base Co28Cr Co23Cr Co6	Robust process, "high cost", Mild heat treatment
		Ti-base Ti CP Ti64	Robust process, "high cost", Mild heat treatment
		Cu-base Cu2NiSiCr	Specific applications



Figur 40. Då en keram och ett rostfritt material sintras samman är det viktigt att det sistnämnda pulvret mals ner till en mycket fin fraktion för att få likvärdiga krympeegenskaper hos de båda materialen.



Figur 41. Inom EU-projektet "cerAMfacturing" hade vidstående verktyg för FFF-tillverkning utvecklats där keram- och metallpartiklar inbäddas i den extruderade termoplasten. Med detta koncept hade en IR-värmare tillverkats åt företaget ceramicx (t.h.).



Figur 42. Termoplastisk 3D-printning av materialblandningar med hjälp av fyra munstycken och matning "droppe för droppe".

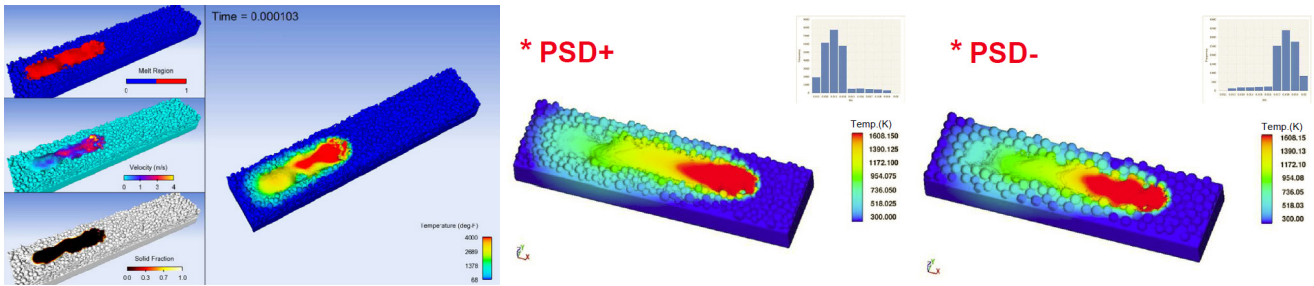
på CFD [Computer Fluid Dynamics] med transiella flöden mot öppna ytor i tre dimensioner har initialt använts vid simulering av gjutprocesser. En speciell modul simulerar själv pulverpåläggningen, och där har man kunnat konstatera att hastigheten på avstrykaren påverkar pulvrets fördelning i det aktuella skiktet. Eftersom själva SLM-processen är att likna vid en svetsprocess tar simuleringsprogrammet hänsyn till strålexreflexioner i nyckelhålet, dess dynamik samt laserstrålens infallsvinkel vilken kan påverka porositeten i de byggda objekten. Det finns även möjlighet att studera hopklumpning av pulverpartiklar där osmälta partiklar skjuts tillbaka i smältan, något som kan vara resultatet av en för stor pulverfraktion, alltför hög processhastighet eller ett alltför löst sam-

manpackat pulver [Fig. 43].

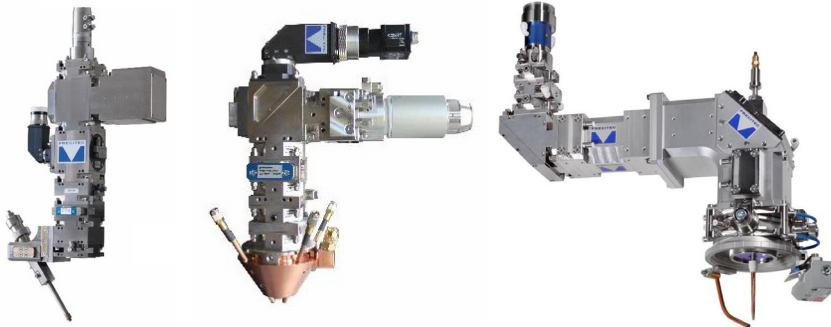
Avslutningsvis meddelade Dr. Isfahani att Flow Science nu också börjat utveckla programvaror för LMD där man simulerat reparation av defekta gasturbinblad i Nickelbaslegering åt Mitsubishi Heavy Industries. Variabla parametrar var laserefekt, skanning-hastighet och pulverflöde, och optimalt resultat erhöles med 650 W effekt, ett pulverflöde på 2 g/min och processhastigheten 60 mm/min. Andra AM-processer där man kan tillhandahålla programvaror är pulverbäddsbaserad EB [Electron Beam] samt Binder Jetting och Fused Deposition.

#### Processkontroll och kvalitet

Bekante Dr. Frank Brückner från IWS agerade ordförande för denna session som



Figur 43. Med simuleringsmjukvaran Flow3D från företaget Flow Science kan SLM-processen simuleras med stor detaljrikedom. Bl.a. kan man se att en finare pulverfraktion (PSD+) minskar risken för s.k. balling, d.v.s. hopklumpning av endast delvis smälta pulverpartiklar.



Figur 44. Precitecs verktyg för LMD, fr.v. YC52 och YC30 med "off-axis" respektive koaxiell pulvermatning, samt längst t.h. CoaxPrinter för AM med trådbaserat material.



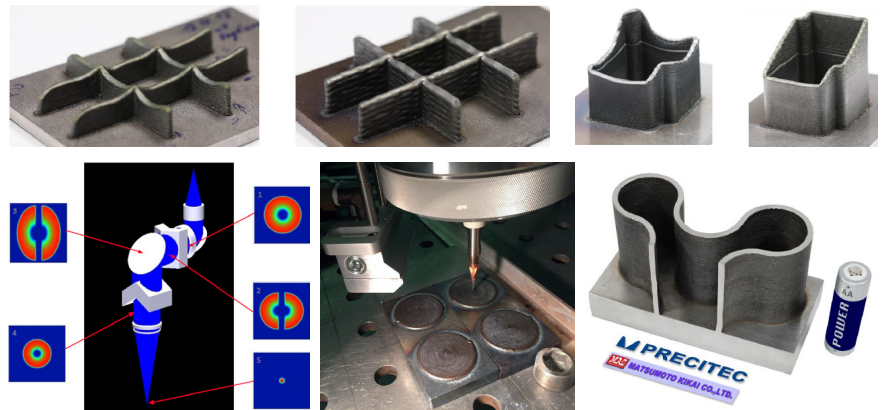
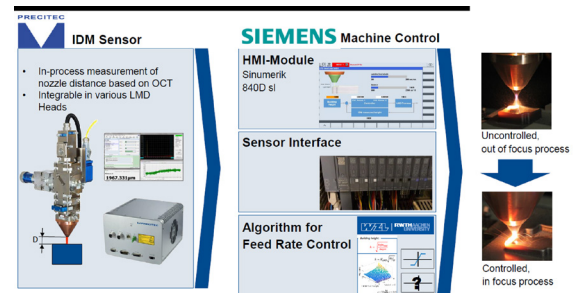
Figur 45. En aerospace-komponent med 670 mm ytterdiameter uppbyggd av 35 kg Ti6Al4V-pulver där tillverkningen tog ungefär 110 timmar.

behandlade det nog så viktiga området processövervakning vid additiv tillverkning. Först på podiet var Niklas **Weckenmann** från Precitec GmbH & Co. KG, ett väletablerat företag inom detta ämnesområde. Hans redogörelse innefattade LMD med såväl pulver som trådmateriale. För den förstnämnda metoden erbjuder Precitec verktygen YC52 och YC30, medan CoaxPrinter är speciellt utvecklat för trådalternativet [Fig. 44].

Pulvermatning kan ske på tre olika sätt; från sidan eller integrerat i laserverktyget och då med antingen en ringformad munstycköppning eller diskreta sådana. Det ringformade alternativet hade använts vid två olika praktikfall, där det första skett i samarbete med BIAS [Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik] i Bremen där man byggt upp små cylindrar i materialet CuAl10Fe1. Pulverpartiklarna låg i storleksintervallet 45-125 µm och matades med ett flöde på 20 g/min. Lasereffekten låg på 2,5 kW och processhastigheten uppgick till 0,5 m/min. Det hela skedde med Argon som skyddsgas och cirka 70% av pulvret utnyttjades. Ett annat praktikfall av större volym, utfört hos IrepaLaser i Spanien, var en aerospace-komponent tillverkad i Ti6Al4V med en ytterdiameter som mätte 670 mm och en innerdito på 590 mm [Fig. 45]. Höjden var 400 mm och för detta objekt åtgick 35 kg pulver och byggnationstiden låg på 110 timmar.

Därefter gick herr Weckenmann in på sessionens ämnesområde då han beskrev

Figur 46. Genom att mäta skiktjockleken med OCT (Optical Coherence Tomography) -teknik, och sedan använda Siemens maskinkontroll "Sinumerik 840D sI" skapas en "closed-loop"-lösning där pulver-tillförseln regleras. Nedan två exempel på LMD utan (t.v.) respektive med (t.h.) denna funktion.



Figur 47. T.v. principen för Precitecs ringformade strålprofil, som omsluter den koaxiellt matade tillsatstråden, vilket medför en riktningsoberoende påläggningsprocess.

ett koncept där skiktjockleken kontrollerades med företagets IDM [In Depth Monitoring] -sensor. Signalen kopplades sedan till en "closed loop"-lösning via Siemens' maskinkontroll "Sinumerik 840D sI", varpå pulvertillförseln kunde regleras [Fig. 46]. För trådbaserad LMD användes Precitecs patenterade lösning med en ringformad profil på laserstrålen [Fig. 47]. Med den koaxiellt tillförda tråden får man en riktningsoberoende påläggnings-

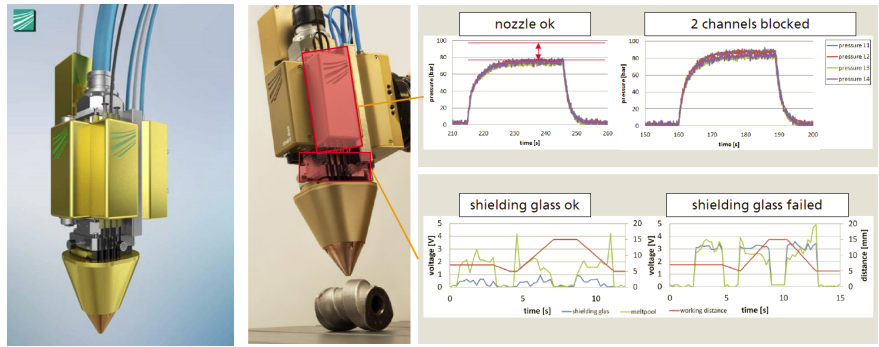
process, som dessutom är stabil även vid så höga påläggningshastigheter som 5 m/min. I basala studier hade man använt rostfritt 316L-material där tråden matades med 1,2 m/min då lasereffekten uppgick till 1,5-1,8 kW. Skiktjockleken varierades mellan 0,4-0,6 mm och deponeringsmängden uppgick till 470 g/tim eller 60 cm<sup>3</sup>/tim. Avslutningsvis fick vi se ett exempel på hur den trådbaserade processen övervakades med en pyrometer från

Sensortherm, integrerad i verktyget Coax-Printer, som mätte smältans temperatur.

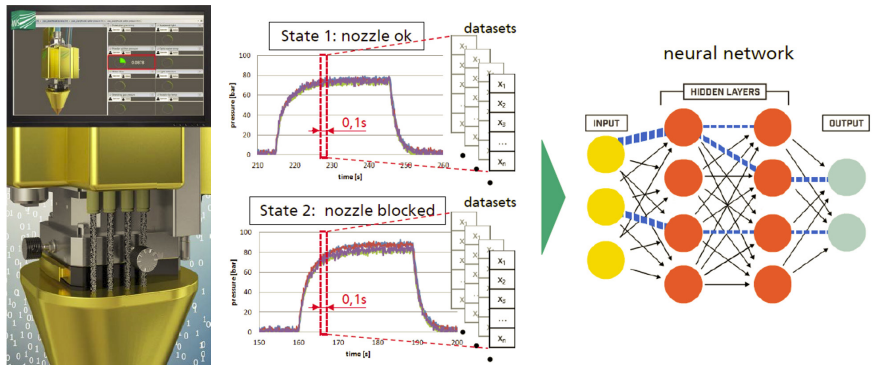
Mirko **Riede** från Fraunhofer IWS adresserade digitaliseringen genom hela processkedjan vid additiv tillverkning över CAD, CAM och AM fram t.o.m. kvalitetskontrollen. Med digitalisering ökas processförståelsen, ledtider kan reduceras och förebyggande underhåll predikteras. Datasamling, databearbetning och maskininläring är alla viktiga ingredienser inom digitaliseringen, och som ett exempel på det förstnämnda visade Dr. Riede det smarta påläggningsverktyg som utvecklats av IWS och som jag beskrivit i tidigare nummer av LaserNytt [2-2018, **Fig. 48**]. Några av de funktioner som kan kontrolleras med de i verktyget integrerade sensorerna är; igensättning av munstycket, kontaminering av optiken, processtemperatur och värmespridning, medialäckage, verktygsslitage o.s.v.

Från tidigare utförda påläggningsförsök vid IWS lagras data rörande materialegenskaper, processparametrar, typer av utrustning, in-situ"-mätningar och resultat från mekanisk provning. Genom att sammankoppla olika databaser där denna information finns lagrad skapas ett virtuellt laboratorium med en s.k. "digital tvilling" till hårdvaran. Härifrån är steget inte långt till maskininläring genom artificiell intelligens och neurala nätverk, vilket var Dr. Riedels sista ämne. Här är det viktigt att såväl felaktiga som korrekta data finns tillgängliga, och ett praktikfall handlade om att undvika igensättning av pulvermunstyckena [**Fig. 49**]. Vilket av tre parallella munstyckena som skulle komma att blockeras kunde med dylik maskininläring predikteras med 65% säkerhet.

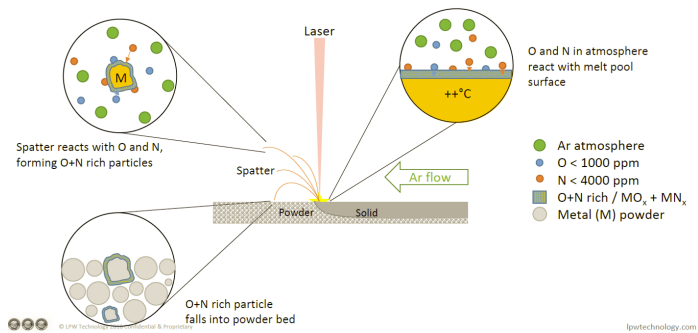
Pulverutveckling och pulvrets prestanda vid återanvändning var något som Neil **Harrison** från LPW Technology Ltd. berättade om. Företaget är numera en del av Carpenter Additive som är en global aktör vad gäller pulvertillverkning för AM. Smälta pulverpartiklar i form av svets-sprut tenderar att reagera med syre och kväve, varpå dessa partiklar faller tillbaka i smältan och på så sätt ökas gradvis syrenehållet i pulverpartiklarna i takt med antalet uppbyggda skikt [**Fig. 50**]. Syre påverkar slutegenskaperna i de byggda objekten varför recirkulerat pulver endast kan användas i begränsad omfattning. Sålunda påverkas duktilitet och slagsegghet i Titanlegeringar, dynamiska utmattningsegenskaper hos objekt tillverkade i Nickelbaslegeringar, samt den termiska



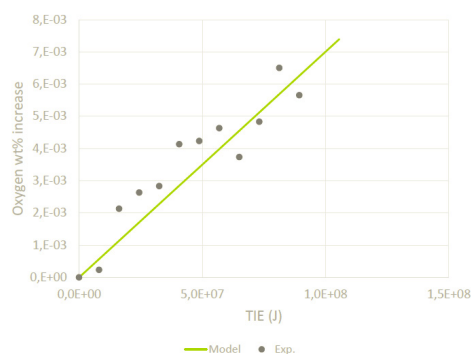
Figur 48. I detta "smarta" påläggningsverktyg, utvecklat vid Fraunhofer IWS, finns ett antal integrerade sensorer som bl.a. kan mäta igensättning av munstycket och nedsmutsning av skyddsglas.



Figur 49. Med hjälp av neurala nätverk och s.k. LSTM (Long Short-Term Memory) skapas artificiell intelligens som kan förutse igensättningen av ett visst pulvermunestycke.



Figur 50. Smälta pulverpartiklar i form av svets-sprut reagerar med syre och kväve innan de faller tillbaka i smältan. På så sätt ökar syremängden i de uppbyggda objekten, något som har en negativ inverkan på många egenskaper.



Figur 51. Vid försök utförda med Ti6Al4V-pulver i en TruPrint1000-maskin kunde man konstatera en god överensstämmelse mellan verkligt syrenehåll och simuleringensmodellens TIE-värde.

och elektriska ledningsförmågan i kopparlegeringar.

För att enklare prediktera syreupptaget har LPW utvecklat en simuleringmodell som kvantifierar vikts-% syre i förhållande till vad man valt att kalla TIE [Total

Incident Energy], som är ett sammanvägt värde av alla processparametrar, inklusive skyddsgas, som bidrar till sträckenergin och uttrycks helt enkelt i Joule. Försök utförda med Ti6Al4V i en TruPrint1000-maskin från Trumpf visade på synnerligen

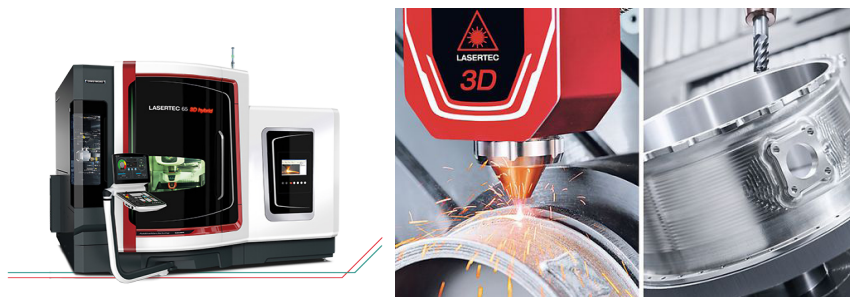
god överensstämmelse mellan experimentella och simulerade data [Fig. 51].

Holger **Perfahl** från SAUER GmbH, som numera är en del av maskinbyggaren DMG Mori, visade hur några av företagets kombinationsmaskiner kunde konditionsövervakas. Företaget har ju varit något av en föregångare då det gäller hybridmaskiner med produkter som Lasertec65 och Lasertec4300, där additiv tillverkning kombineras med fräsning och svarvning i en och samma maskin [Fig. 52]. Processövervakningen relateras till någon form av digital tvilling av processerna för att på så sätt kunna larma då man hamnar utanför acceptabla parametervärden. Detta möjliggörs via sensorsignaler, mjukvaruprogram och dataanalys. Sålunda kan man i realtid upptäcka avvikelser i det byggda objektets form, värmedistributionen i smältan vilken registreras med 200 Hz, och om arbetsavståndet mellan verktyg och objekt blir för stort. Vidare detekteras igensättning av pålägningsmunstycken genom en kontinuerlig mätning av pulverflödet genom desamma.

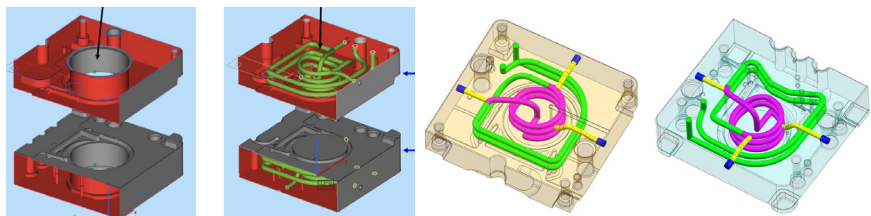
### Applikationer

Konkreta applikationer där additiv tillverkning kunnat motiveras är alltid av högsta intresse, och därför såg vi delegater med spänning fram mot denna session som leddes av Elena **Lopez** från Fraunhofer IWS. Först ut var Chen-Nan **Sun** från SIMTech [Singapore Institute of Manufacturing Technology] vars praktikfall handlade om hur man med AM byggde in kanaler i kylsegment för ett formsprutningsverktyg som används vid tillverkning av mugghållare. Ett av de båda ursprungliga kylsegmenten bestod i sin tur av två delar; en central kylkärna av beryllium och koppar utan kylkanaler och en omgivande struktur med raka, konventionellt borrade kanaler. Med den nya lösningen har kärnan kunnat integreras i segmentet och försetts med egna kylkanaler, och genom SLM-tillverkning har alla kanaler, vilka har en diameter på 6 mm, fått en anpassad utsträckning som optimerar avkylningsprocessen [Fig. 53]. Denna uppgick tidigare till 30 sekunder, men har med den nya utformningen kunnat reduceras till 26 sekunder, d.v.s. med 13%. De parvisa kylsegmenten mäter 16x16 cm och byggs på kvadratiska plattformar med 22 cm sidor.

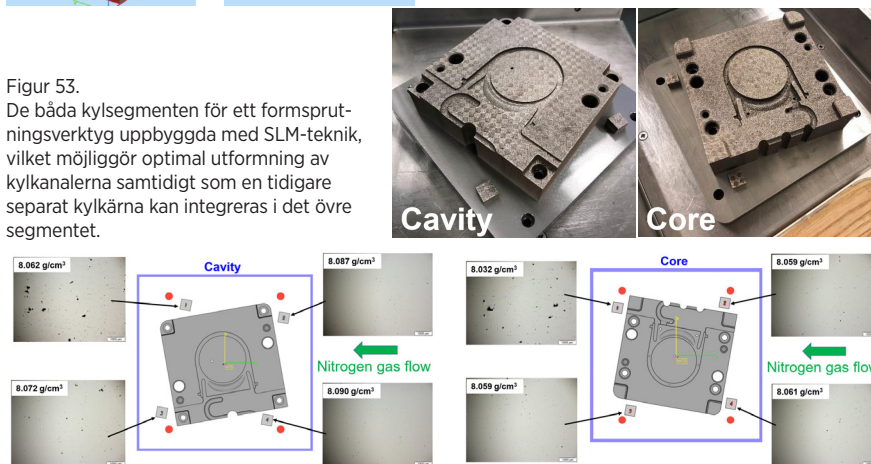
För att kvalitetssäkra att processen ger den specificerade densiteten hos segmenten bygger man samtidigt fyra kuber med måtten 15x15x10 mm vars specifika vikt analyseras. Här kunde man konstatera



Figur 52. I hybridmaskiner som Lasertec65 från DMG Mori kan laserpåläggning kombineras med klassisk maskinbearbetning i form av fräsning.



Figur 53. De båda kylsegmenten för ett formsprutningsverktyg uppbyggda med SLM-teknik, vilket möjliggör optimal utformning av kylkanalerna samtidigt som en tidigare separat kylkärna kan integreras i det övre segmentet.



Figur 54. För att analysera processtabiliteten printades samtidigt fyra små kuber vars densitet mättes. Det gick då att konstatera att kuber byggda längre bort från skyddsgasutloppet hade en något lägre sådan.

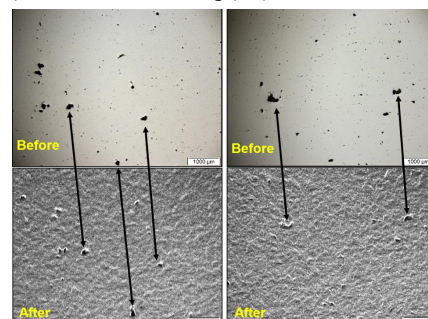


Figur 55. De båda verktygshalvorna efter värmebehandling (t.v.) och maskinbearbetning (t.h.).

att de kuber som byggdes längst bort från skyddsgasutloppet, där nitrogenflödet är svagare, uppvisade en något högre porositet [Fig. 54].

Efterföljande operationer består av värmebehandling, losstagande från byggplattformen samt maskinbearbetning [Fig. 55].

Dr. Sun tvingades emellertid erkänna att de tillverkade mugghållarna inte uppvisade en perfekt kvalitet utan hade inslag av små ytintryck. Dessa gick att härleda till SLM-tillverkningen av kylsegmenten och kunde bero på ett antal olika faktorer, såsom svetsnsprut, ojämnt skyddsgasflöde, varierande pulverfraktion eller som ett resultat av den etsning som krävs för att



Figur 56. Porer som uppstår i ytan hos de SLM-tillverkade kylsegmenten tenderar att öka i storlek vid den efterföljande kemiska etsningen.

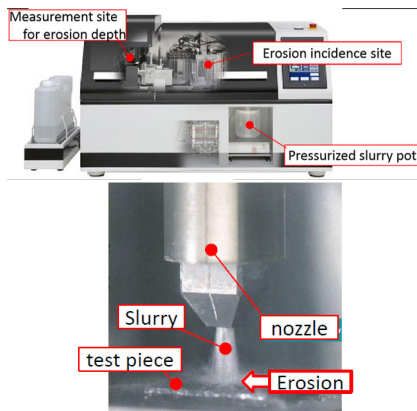
ge ytan en önskad textur. Redan befintliga porer tenderar nämligen att öka i storlek vid den kemiska efterbearbetningen [Fig. 56]. Slutsatsen beträffande SLM-tillverk-

ning av dessa kylsegment var att de blev något dyrare än de tidigare konventionellt tillverkade, men att ledtiden från konstruktion till färdiga segment var avsevärt kortare – från 35 till 25 dagar!

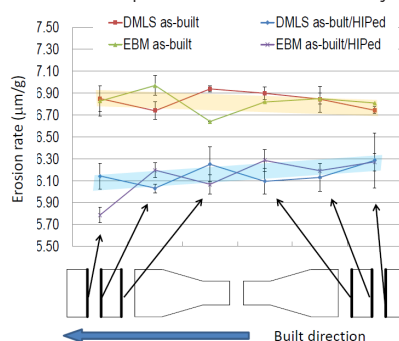
Nästa föredrag fick vi lära oss allt om nötningsprovning enligt metoden MSE [Micro Sully jet Erosion, Fig. 57] vilket tycktes vara något som Masahiro Onoi [Metal Technology Co. Ltd.] specialiserat sig på. Metoden innebär att man ansätter provobjektet med en högtrycksvattenstråle vilken innehåller små keramiska partiklar där diametern vanligtvis ligger mellan 1-40 µm. Denna partikelstorlek visar sig ge ett visst intryckningsdjup, och hur detta påverkar ytjämnheten mäts med en profilometer. Hastigheten i vattenstrålen kan uppgå till 100 m/sek, vilket innebär att substratytan bombarderas med i storleksordningen hundratals miljoner partiklar per sekund.

Additivt tillverkade stavar i Ti6Al4V hade utsatta för dylik provning, och då hade kantiga partiklar av aluminiumoxid [WA#320 Al2O3] använts som eroderande element med en koncentration på 0,3 viktsprocent i vattenstrålen. Resultaten pekade på en 5,44 µm djup erosion per gram aluminiumoxid. Jämförelser hade gjorts mellan SLM och EBM-tillverkade stavar där viss porositet förelåg vid båda metoderna [Fig. 58], något som i båda fallen kunde avhjälpas med en HIP-behandling. Denna gav en finare mikrostruktur, vilket gjorde att nötningsbenägenheten minskade, utmattningsegenskaperna förbättrades [Fig. 59] medan hårdheten i provobjekten sjönk. Härnäst i tur att provas är, enligt Dr. Onoi, material som Inconel718, Volframkarbider och Cobolt-legeringar.

Katja Schmidtke från Airbus Operations beskrev hur deras aerospace-applikationer kvalificeras enligt det regelverk, i form av en omfattande uppsättning av dokument, som används. Vid AM-tillverkning gäller Airbus' materialspecifikationer men varje enskild detalj måste kvalificeras. Detta blir inte minst nödvändigt då underleverantörsföretag ingår i produktframtagningsskedjan. Frau Schmidtke menade att dessa oftast saknar tillräcklig kompetens, och detta kan ge förödande resultat då det är underleverantören själv som väljer AM-maskin och processdata för denna. Här vet vi sedan tidigare att sådana faktorer påverkar mikrostrukturen och därmed produkttegenskaperna [Fig. 60]. Vidare kan olika gasflöden inuti SLM-kammaren variera från en maskin till en annan vilket också resulterar i olika



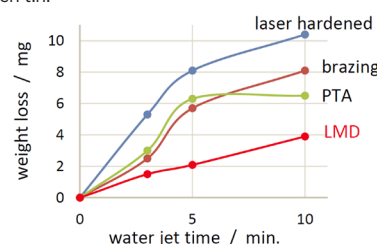
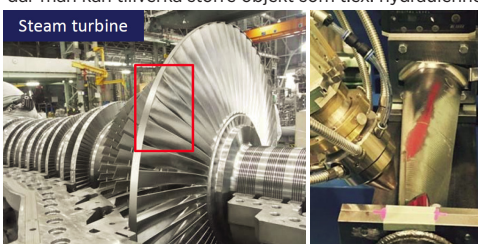
Figur 57. Utrustning för nötningsprovning enligt MSE-metoden där en högtrycksvattenstråle innehållande små keramiska partiklar ansätts mot substratytan.



Figur 59. Den finare korntstruktur som erhålls efter HIP-behandling ökar såväl nötningsbeständighet (t.v.) som utmattningsegenskaper (t.h.).



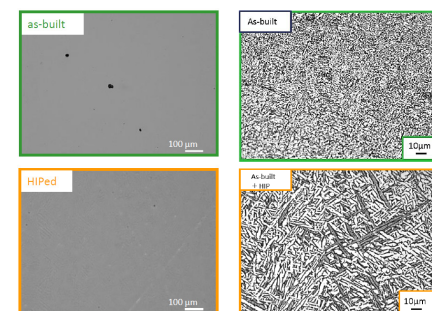
Figur 60. För att öka kompetensen kring additiv tillverkning förfogar Airbus Operations över ett antal maskiner där man kan tillverka större objekt som t.ex. hydrauliska enheter t.h.



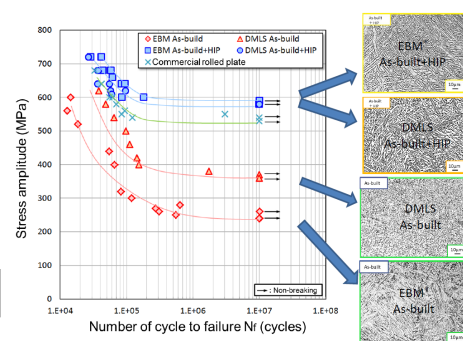
Figur 61. Turbinblad utsätts för extrem förslitning vid drift, men där LMD har visat sig vara den reparationsmetod som i jämförelse med andra, ger bästa nötningsmotstånd (t.h.).

prestanda hos komponenterna. Ett sätt att till viss del avhjälpas dylika diskrepanser kan vara efterbearbetning i form av värmebehandling, avspänningsglödning eller HIP, men hon kunde se att det återstår "en lång väg att vandra" innan det går att realisera AM-tillverkade komponenter i flygande objekt.

Siste talare i sessionen var Takeshi Is-



Figur 58. SLM-tillverkade stavar i Ti6Al4V uppvisar skillnader i porositet (t.v.) och metallografi (t.h.) innan och efter HIP-behandling.

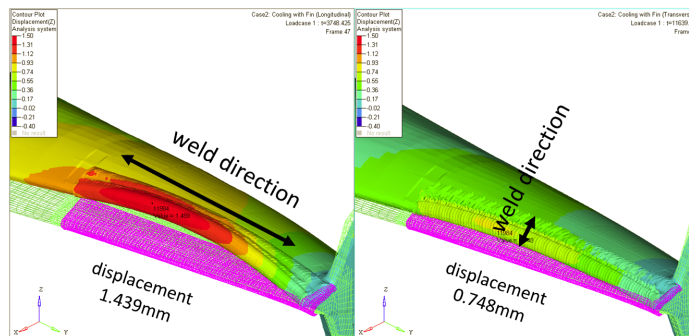


till avsevärda förvrindningar av turbinbladen. LMD har däremot visat sig vara en lovande teknik i dessa sammanhang [Fig. 61], och nu redogjorde Dr. Ishikawa för några av resultaten som pekade på ett högt nötningsmotstånd och minimala distorsioner.

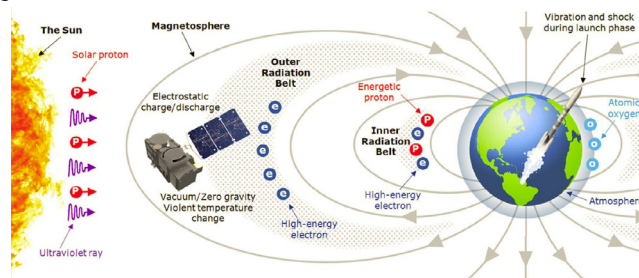
Påläggningsriktningen visade sig vara viktig då det gällde att minimera förvrindningen, och att göra detta vinkelrätt mot bladets utsträckning gav kanske något överraskande ett bättre resultat i jämförelse med påläggning längs bladet. Detta hade man konstaterat vid experimentella försök men också vid avancerade simuleringar. De initiala proven hade utförts på rektangulära kuponger som var 8 mm tjocka och mätte 200×200 mm tillverkade i SUS410J1-material [ISO X20Cr13] och pulvret utgjordes av Stellite6. Distorsionen hade uppmätts i 56 olika punkter längs provkupongerna. Vid LMD-påläggning av kompletta turbinblad uppgick den totala distorsionen till 4,601 mm vid parallell påläggning, men var blott 1.017 mm vid det transversella förfarandet. Simuleringarna gav ett liknande resultat, dock med lite mindre värden för förvrindningarna [Fig. 62]. Förklaringen till de skilda beteendena var enligt Dr. Ishikawa att vid påläggning tvärs bladet får man tryckspänningar på såväl ovan- som undersidan av detta, medan den längsgående påläggningen introducerar dragspänningar i undersidan!

Ett annat problem vid reparation av turbinbladens framkant är uppkomsten av inneslutna porer där storlekar över 0,5 mm inte tillåts. För att förstå detta fenomen belystes arbetsområdet med en pulssad laser med s.k. grön våglängd. På så sätt kunde skyddsgasflödet visualiseras och man upptäckte då att omgivande atmosfär fångades in av skyddsgasen under en mycket kort tidrymd. Detta var tillräckligt för att momentant störa påläggningsprocessen med porbildning som följd.

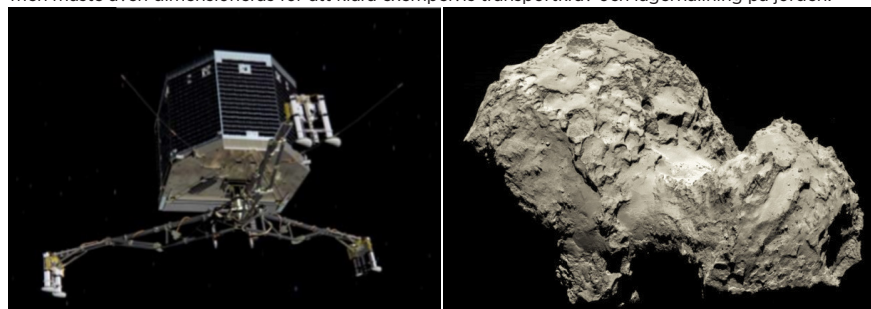
En verkligt intressant presentation fick avsluta ISAM-2019 i form av speciellt inbjudne talaren Dr. Laurent **Pamba-guian** från European Space Agency. Han inledde med att konstatera att även om aerospace-komponenter kommer att vistas större delen av sin livstid i rymden, måste de även vara dimensionerade för att klara krav här i jordatmosfär såsom temperatur, luftfuktighet, föroreningar och åldring under transport, provning och lagerhållning. I rymden tillkommer sedan ytterligare påverkan som exempelvis olika former av strålning, magnetiska fält och gravitationsskillnader [Figur 63].



Figur 62. Såväl experimentella försök som simuleringar visar att LMD-påläggning tvärs turbinbladet (t.h.) ger lägre distorsioner i jämförelse med parallell påläggning. Detta förklaras av att man i det första fallet får tryckspänningarna i såväl ovan- som undersidan av bladet.



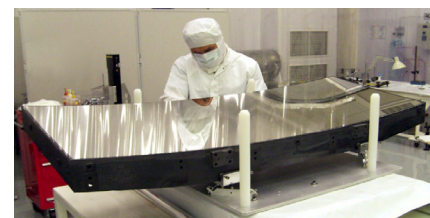
Figur 63. Aerospace-komponenter utsätts för olika former av strålning, magnetiska fält och gravitationsskillnader, men måste även dimensioneras för att klara exempelvis transportkrav och lagerhållning på jorden.



Figur 64. Det tog tio år för "Rosetta"-satelliten att nå fram till asteroiden 67P.

Därefter gick han vidare med att beskriva den oerhört långa utvecklingstiden för den här typen av rymdprogram, vilket han exemplifierade med att beskriva "Rosetta"-projektet som initierades redan 1985 i akt och mening att utveckla en satellit som kunde fotografera en komet på nära håll. Byggnationen började 1999 och fem år senare kunde satelliten skickas upp i rymden. Därpå dröjde det ytterligare tio år, eller fram till 2014, innan den fick kontakt med kometen 67P [upptäckt av de ryska rymdforskarna **Churyumov** och **Gerasimenko**, Fig. 64].

Ett annat stort projekt har varit "GAIA" [Global Astrometric Interferometer for Astrophysics], ett gigantiskt infrarött teleskop vars viktkrav var att det inte fick väga mer än 400 kg. Det innefattar en spegel med 3,5 m diameter med höga krav på styvhet och termisk ledningsförmåga. Därför föll materialvalet på kiselkarbid där spegeln byggs upp av sex segment [Fig. 65]. Emellertid måste 95 kg av materialet bearbetas bort, där avverkningsgraden lig-



Figur 65. Ett av de sex spegelsegment som utgör stommen i det infraröda teleskopet "GAIA", som färdigmonterat mäter 3,5 m i diameter vilket är 50% större än det välkända Hubble-teleskopet. Eftersom merparten av materialet arbetas bort vid konventionell tillverkning är detta ett perfekt objekt för additiv tillverkning.

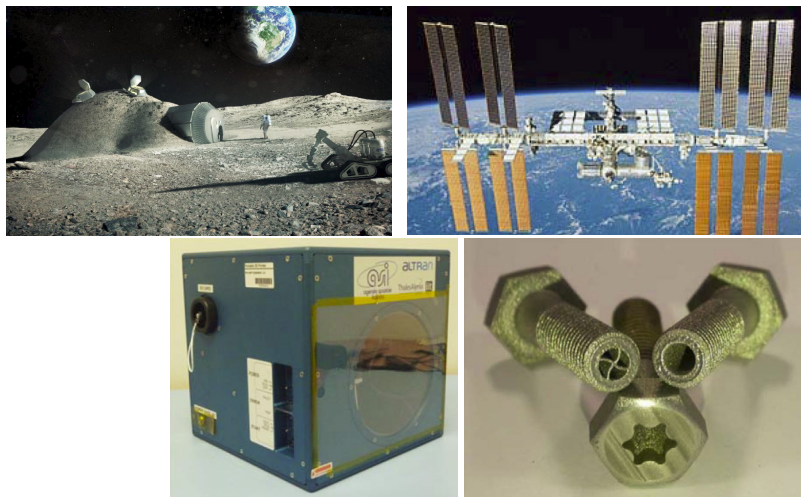
ger på endast 5 kg/dag, varför detta skulle vara ett perfekt objekt för additiv tillverkning. Dessutom består den traditionella tillverkningstekniken av hela 10 olika operationer, förutom maskinbearbetning även sintring, lödning, slipning, polering, metallbeläggning o.s.v. Därför fokuserar esa idag på avancerade tillverkningsmetoder och -principer för att skapa designfrihet, ökad prestanda samt kostnads- och ledtidsbesparingar under produktfram-

tagningen. Additiv tillverkning blir en självklar ingrediens i en dylik ansats, och Dr. Pambaguian berättade om hur man på esa har en vision av att kunna fjärrstyra 3D-printrar för att bygga objekt på månen och andra planeter genom att använda där befintlig regolit [Fig. 66]. Man har på detta sätt redan tillverkat en futuristisk månbas som väger kring 1,5 ton. Ett annat framtida område där additiv tillverkning kommer att användas är reservdelstillverkning "on demand" i rymden, istället för att som man har gjort med ISS [International Space Station] dit man fraktat mängder av reservdelar där de flesta aldrig kommer att användas. Betänk då att det kostar allt från 10.000 till 40.000 euros för att skicka ut 1 kilogram material i rymden. Dessutom kan dessa delar säkert utformas på ett enklare sätt då de inte behöver uppfylla de krav som gäller i jordatmosfären, och förutseende nog finns redan en liten printer på ISS för tillverkning med FDM [Fused Deposition Modeling, Fig. 66].

Dr. Pambaguian avslutade sin intressanta redogörelse med att beskriva hur man tänker tillverka röntgenteleskopet "ATHENA" [Fig. 67], som har en diameter på 3 meter och en höjd kring 30 cm, med additiv tillverkning då traditionella tillverkningsmetoder innebär långa ledtider vid tillverkning av smidesämnena, långsam maskinbearbetning och att alltför mycket dyrt material går till spillo genom denna. Det hela är ett samprojekt mellan esa, Fraunhofer IWS och Airbus Defence & Space. Tankesättet överensstämmer väl med vad som uttrycks i projektet SHAME [Space Hardware Advanced Manufacturing Engineering] som innefattar konceptuell design där man utgår från produktens funktion, bestämmer randvillkor och designutrymme och utifrån detta arbetar och kommunicerar mellan multidisciplinära team av experter.

Sist fick vi se ett exempel på "think outside the box", som beskrev utvecklingen av hur värmeelement sett ut över tiden [Fig. 68], och hur man idag med additiv tillverkning kan bibehålla grundfunktionen men visualisera produkten på ett mera konstnärligt sätt. I inledningen av 2018 hade esa förbundit sig att spendera 25 miljoner euros på aktiviteter kring additiv tillverkning, men vid årets slutavräkning kunde man konstatera att siffran vuxit till 32 miljoner! Och Dr. Pambaguian menade att siffran för 2019 kommer att hamna på minst detsamma.

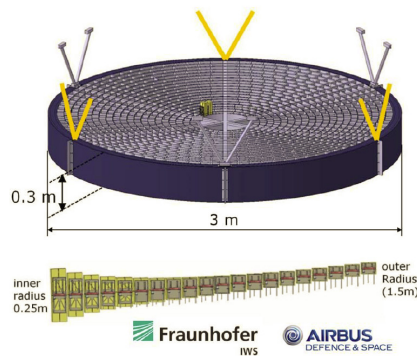
Men frågan är om inte Martijn Noorts [Wageningen Food & Biobased Research



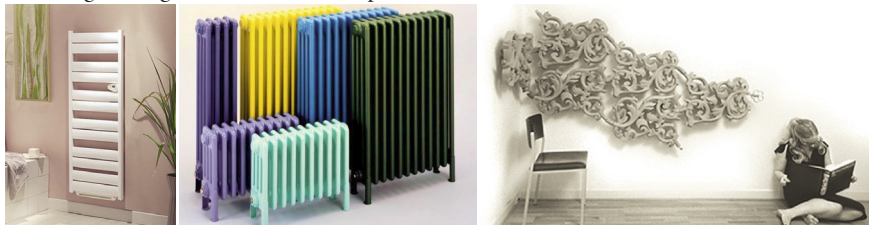
Figur 66. esa:s vision att 3D-printa en månbas av där befintlig regolit (ovan), men redan idag hittar vi en FDM-printer på rymdstationen ISS för tillverkning av reservdelar "on demand".

(WFBR), Fig. 69] föredrag under banketten, som f.ö. intogs i den renoverade militära kasematten i Bruehlscher Garten, var den verkliga höjdpunkten under ISAM-2019.

Att 3D-printa vissa typer av matvaror är tydligen något som förekommer i industriell skala redan idag, och den gode Martijn gav en engagerad presentation av sitt specialområde. Vid universitetet och forskningsinstitutet i Wageningen nära Arnhem i Nederländerna undersöker man olika livsmedels egenskaper och försöker förbättra dessa genom nya metoder för framställning och tillagning. Oftast har de biologiska ingredienserna en komplex



Figur 67. Schematisk skiss över röntgenteleskopet "ATHENA" där ledtiderna vid tillverkningen drastiskt kan reduceras genom att använda additiv tillverkning. I projektet samverkar esa med Fraunhofer IWS och Airbus D&S.



Figur 68. Värmelement förr och nu – där designfriheten med 3D-printning (t.h.) blir uppenbar.



Figur 69. Martijn Noort från matforskningsinstitutet i Wageningen höll ett spännande och uppskattat föredrag under banketten i den militära kasematten Bruehlscher Garten, där han berättade om hur man kan 3D-printa matvaror.

sammansättning, och uppvisar ett icke-linjärt fysikaliskt beteende då de medvetet utsätts för variationer av bland annat temperatur och fuktighet över tiden. Matberedning har en lång historia, och har succesivt utvecklats till en högteknologisk industri, som nu tycks vara redo att ta nästa steg genom att användas sig av

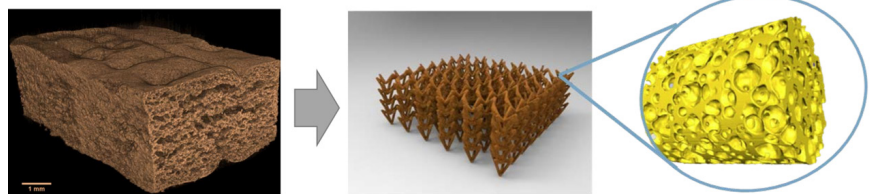
additiv tillverkning [Fig. 70]. Genom att 3D-printa exempelvis bröd och kex kan man kombinera olika ingredienser för att få en optimalt näringsriktig sammansättning samtidigt som exempelvis tuggmotståndet kan skräddarsys! En annan fördel, vilken är gemensam med annan industriell AM-tillverkning, är att materialsvinnet

minimeras.

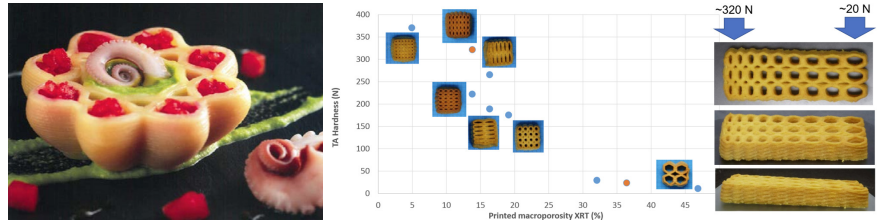
Metoder som kan komma ifråga då det gäller 3D-printning av matvaror är FDM [Fused Deposition Modeling], IJP [Inkjet Printing], PBP [Powder Bed Printing] och SLS [Selective Laser Sintering]. FDM kan användas för framställning av olika pastaformer eller sötsaker, men metoden ger också möjlighet att anpassa strukturdensiteten så att exempelvis "skalet" ger ett större tuggmotstånd än kärnan [Fig. 71].

Med de pulverbäddsbaserade metoderna IJP och SLS har man den största designfriheten och kan konsolidera substratet med mikronoggrannhet för bästa tuggupplevelse. Tyvärr är de termiska egenskaperna hos stärkelse, proteiner och kostfibrer, som utgör ingredienserna i matpulvret, sådana att pulvret inte kan sammansintras. Därför krävs att man tillsätter ett bindemedel i form av ett kolhydratpulver med en låg glasöverformeringstemperatur. Efter en SLS-process kan texturen göras hårdare genom bakning och/eller behandling med ånga [Fig. 72]. Vid konsolidering av matpulvret kan slutprodukten ges anisotropa egenskaper genom att manipulera laserstrålen i bestämda rörelseriktningar.

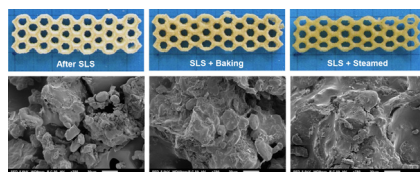
I ett annat intressant koncept hade de båda pulverbäddsteknikerna PBP och SLS kombinerats med selektiv tillförsel av bindemedel och lokal stelning med hjälp av en CO<sub>2</sub>-laser [Fig. 73]. Syftet var att på detta sätt kunna variera slutprodukts textur lokalt. En annan idé handlade om hur man med en rumslig variation av smakämnen som NaCl [= salt] kunde åstadkomma en genom kontrastverkan ökad smakupplevelse hos exempelvis ett kex. Den framtida visionen hos Dr. Noort låg i att tillverka individanpassad mat med för stunden bästa näringsinnehåll. Detta illustrerades med en person som gick till en automat som registrerade individens omedelbara behov av näring baserat på biologiska data och signaturer, och därifrån printade den mest effektiva "power bar" som personen just då behöver [Fig. 74]. WFBR och TNO [Nederlandsche Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek] har tillsammans avsatt 1,8 miljoner euros i ett treårigt program för att undersöka matpulverbaserad 3D-printning, och hur metoderna kan användas för att skapa produkter med unika funktioner som inte går att åstadkomma med traditionell tillagning. Vi avvaktar med spänning resultaten från vidare forskning inom denna spännande tillämpning av additiv tillverkning.



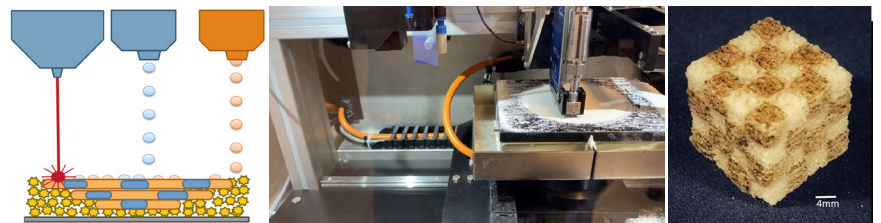
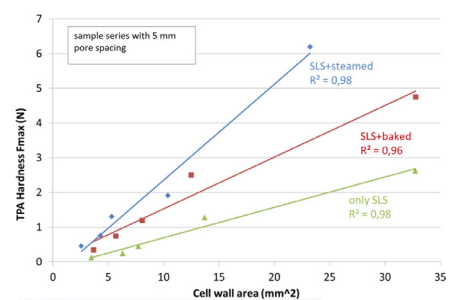
Figur 70. Exempel på 3D-printat bröd.



Figur 71. Med extrudertekniken FDM kan man tillverka olika pastaformer och sötsaker, men också anpassa hårdhet och därmed tuggmotståndet hos ett 3D-printat kex.



Figur 72. Några sätt att öka tuggmotståndet hos ett SLS-tillverkat kex kan vara att baka och/eller behandla detsamma med ånga.



Figur 73. Ett sätt att variera strukturen hos 3D-printade matprodukter kan vara att kombinera metoderna PBP och SLS, där ett biobaserat bindemedel tillförs selektivt och sedan hårdas lokalt med hjälp av en laser.



Figur 74. Exempel på en produkt från Bosch Siemens där man kan skräddarsy en matvara, vilken förser individen med dess omedelbara näringsbehov.

Sammanfattningsvis kan man säga att ISAM-2019 gav en god överblick över var den additiva tillverkningsmetoderna står idag. Själv kanske jag hade förväntat mig få lite mer ny information med tanke på den imponerande listan över speciellt inbjudna talare. Känslan är att den initiala begeistringen för de olika tillverkningsmetoderna nu lagt sig till förmån för en mer nykter syn på möjliga användningsområden. Den produktflora som lämpar sig för additiv tillverkning är idag begränsad till dyra, mindre komponenter som tillverkas

i låga stycketal. Så kommer situationen att vara inom en överskådlig framtid även om det bedrivs mycket forskning för att öka produktiviteten samt att minska maskinkostnaderna. Minst lika stora insatser krävs också då det gäller att formulera arbetssätt längs hela tillverkningskedjan då produktansvar och patenträttigheter kommer att se annorlunda ut i jämförelse med hittillsvarande affärsmodeller. Hur som helst, additiv tillverkning är ett hett ämnesområde, vars vidare utveckling är väl värd att följa! ■



# NOLAMP 17 i Trondheim – Nu börjar det 5:e varvet i de Nordiska länderna

Hans Engström  
Levitronics Lasersystem AB

NOLAMP, den nordiska laserkonferensen som hålls vartannat år i de nordiska länderna har börjat sin 5:e runda i de Nordiska länderna och med att den hölls i Trondheim den 27-29 augusti 2019. Arrangör var SINTEF och man bjöd på ett generöst och gediget arrangemang, där Magnus Eriksson, Research Director vid Material och nanoteknologi inom SINTEF Industri var värd. Han ersatte Odd Axelsson som tyvärr var sjuk. NOLAMP 17 lockade 45 deltagare från 6 länder.

## NOLAMP bakgrund

NOLAMP startade 1987 i Norge och syftet med konferensen var att skapa ett forum för nordiska laserforskare att träffas och utbyta resultat och erfarenheter. Det skulle också vara ett forum där unga laserforskare skulle kunna presentera sig och sina pågående arbeten. Den traditionen har hållits vid liv fram till NOLAMP 14 2013 i Göteborg. Sedan har det blivit ett krav att det man önskade presentera skulle vara granskat och godkänt av en vetenskaplig kommitté. Men under NOLAMP 14 i Göteborg lanserades en möjlighet för industrin och andra att bara komma och hålla presentationer utan krav på att skriva en artikel. Den möjligheten kan också nya, unga laserforskare använda.

## NOLAMP i korthet

I år fördelade sig deltagarna på följande sätt:

- Sverige 43 %
- Finland 25 %

- Norge 14 %
- Danmark 5 %
- Ryssland 5 %
- Frankrike, Luxemburg, UK och Litauen 2 % vardera.

Även i de nordiska länderna har forskningen om Additiv Tillverkning slagit igenom på bred front. Det hölls tre sessioner med detta tema och totalt 12 presentationer.

Laser/laserhybridsvetsning hade också tre sessioner med 9 presentationer. Dessutom fanns sessioner om Processövervakning, Materialegenskaper efter laserbehandling samt en session för Industriella presentationer. Totalt lyssnade vi på 35 presentationer. En liten analys om vad respektive lärosäte i nordiska länderna samt vad de andra länderna presenterade finns i **tabell 1**. Låt oss titta närmare på vad respektive lärosäte/land presenterade.

## Högskolan Väst

HV hade sitt fokus på processövervakning/styrning där man presenterade tre föredrag. Två av dessa handlade om att detektera fogen i en T-fog där den undre plåten är skyddad. Yongcui Min, **bild 2**,



Bild 2. Konferensdeltagare från Högskola Väst. T.v. Yongcui Mi, Fredrik Sikström, Morgan Nilsen och t.h. Robert Pedersen och Joel Andersson



Bild 1. Dr. Magnus Eriksson, Research Director vid Material och Nanoteknologi inom SINTEF Industri var värd för NOLAMP 17 i Trondheim presenterade en lösning som använder neurala nätverk och Fredrik Sikström en lösning baserad på fotodioder. Morgan Nilsen hade använt en metod som kallas "Change Point Detection" där man med hjälp av billiga fotodioder vill hitta korrelation mellan laserstrålens läge och fogen.

## Luleå tekniska universitet

LTUs forskare, **bild 3**, bidrog med 8 presentationer som var ganska jämt fördelade över sessionerna (förutom Processövervakning). Tre av presentationerna hade



Tabell 1.  
Fördelning av presentationer på lärosäten och länder

Land/ Lärosäte	Process-övervakning	Additiv tillverkning	Laser/laserhybrid-svetsning	Material-egenskaper	Industriella presentationer
Sverige					
LTU		2	1	2	3
HV	3				
Finland					
LUT		2			
Oulo		3	3 + 1 (SSAB)		
Danmark					
Aalborg	1			1	
Norge			2		
SINTEF			2		
Tyskland	1	1	2		1
UK		1			
Frankrike/ Luxemburg				2	
Ryssland		3			
Summa	5	12	9	5	4



Bild 3.  
Det internationella forskarteamet från Luleå tekniska universitet laddar upp inför konferensen med en eftermiddagspromenad i det vackra Trondheim. Fr. v. Alexander Kaplan, Jesper Sundqvist, Tatiana Fedina, Adrien Da Silva, Jan Frostevarg, Jörg Volpp samt Stephanie Robertsson.

av någon anledning hamnat i sessionen Industriella presentationer, men hade pas-sat bättre på annat håll.

Luleås bidrag inom Additiv Tillverkning handlade om företrädesvis om hur pulverpartiklarna rör sig under processen när man har pulverbädd (J. Volpp, J. Frostevarg). Man har också utvecklat en process, "SnapShot", för att snabbare än traditionella metoder kunna bestämma mikrostruktur i material eller godtyckliga materialblandningar hos tråd efter snabb kylning (J. Volpp, A. Kaplan, S. Robertsson).

Man fortsätter också att arbeta med CYCLAM, som bygger på att använda laserskärning och använt material, t.ex. skrotplåt för att bygga upp strukturer med additiv tillverkning (J. Sundqvist). Men man betonar att det återstår mycket arbete innan processen kan användas.

Ett föredrag handlade om sprut vid Selective Laser Melting (T. Fedina) och ett annat om additiv tillverkning med aluminium (A. Da Silva).

#### Lappeenranta University of Technology

LUT, bild 4, hade denna gång koncentrerat sig på området Additiv Tillverkning med två presentationer.

-Vi arbetar till 75% med additiv tillverkning, berättade Professor Antti Salminen, som gläds åt en ökande finansiering av forskningen efter en tids nedgång.

En studie handlade om hur olika parametrar påverkar utmattningshållfastheten hos metaller tillverkade genom pulverbäddsteknik (S. Afkhami). En annan hur olika parametrar påverkar bildandet av enkelsträngar vid pulverbäddsteknik (V. Laitinen).



Bild 4.  
Delar ur den finska delegationen från Lappeenranta University of Technology och SSAB Europe Oy. Fr.v. Heidi Piili, Ville Laitinen, Antti Salminen samt Jukka Siltanen (SSAB Europe)

#### Oulu University

Oulu var mycket aktiva med sex presentationer, tre inom additiv tillverkning och tre inom Lasersvetsning/hybridsvetsning. Man hade undersökt hur böjutmattningsegenskaper påverkas av porer efter 3D-printing av rostfritt stål (M. Jaskari); svetsbarhet hos aluminiumlegering tillverkad med Selective Laser Melting (SLM) (T. Rautio) samt värmebehandling av AL-Si10Mg detaljer också tillverkad med SLM (T. Rautio). Bidragen inom lasersvetsning handlade uteslutande om materialegenskaper som t.ex. hållfasthet (M. Keskitalo, M. Jaskari).

#### Aalborg University

Kvalitetsövervakning av laserrobot-svetsning av dubbelkrökta geometrier var innehållet i en presentation (A. Mikkelsen) och laserbockning en annan (M. Kristiansen).

#### SINTEF

SINTEF hade koncentrerat sig på laser- och laserhybridsvetsning av tjockt material där man i ett arbete hade undersökt bildandet av porer och stelningssprickor vid laser-MAG svetsning av 45 mm HSLA-stål (I. Bunaziv), bild 5. Ett annat gav resultaten av laser- och laserhybridsvetsning av kalfogar i 12 och 15 mm konstruktionsstål (I. Bunaziv).



Bild 5.  
Dr. Ivan Bunaziv, SINTEF, hade koncentrerat sig på laser- och laserhybridsvetsning och hjälpte till med allt det praktiska på konferensen



Bild 6.  
Cato Dørum, vid Statens Vegvesen berättade i sitt "key-note" föredrag om hur lasersvetsning kan få en stor betydelse i byggandet av broar den framtida färjefria vägförbindelsen mellan Trondheim och Kristiansand där sju färjor ska ersättas med broar och tunnlar.



## Några lättsmälta axplock från konferensen....

### Lasersvetsning av brodelar

I Norge pågår nu ett mycket stort vägprojekt på E 39 som syftar till att skapa en färjefri vägförbindelse från Trondheim ner till Kristiansand i södra Norge, berättar Cato Dørum, **bild 6**, vid Statens Vegvesen i sitt "key-note" föredrag där han tog upp möjligheterna för lasersvetsning och laserhybridsvetsning.

Projektet har stor betydelse för området som bidrar till ca 60 % av Norges exportvärde och har ca 30 % av befolkningen. Förbindelsen är ca 1100 km lång och målet är att minska restiden från idag ca 21 timmar till hälften. Sju färjor ska ersättas med broar och tunnlar. De årliga investeringarna uppgår till 5–20 miljarder NOK och totalt beräknas projektet kosta ca 110 miljarder NOK. Projektet kräver mycket ny kunskap och ny teknologi eftersom 5 förbindelser är mellan 2–5 km långa och går över fjordar med 500–600 meters djup. Nu är mer än 50 doktorander och ett 40-tal privata företag involverade i projektet.

Cato berättar om den planerade förbindelsen över Björnefjorden, **bild 7**, som är ca 5 km bred och ca 600 meter djup. Där ska man bygga en 4-filig flytande bro för 110 km/tim. Båtpassagen blir 45 meter hög och 220 m bred. Idag tar passagen 40 minuter med färja men med bron minskar restiden till 11 minuter.

Var kommer då lasersvetsning in i bilden? Jo, bron ska byggas av 100 000 ton stål där materialet i broelementen som ska användas är av tjocklek 12–16 mm i 420 kvalitet. Tillverkningen av dessa kommer att kräva många, många kilometer svets och man planerar att tillverka elementen i automatiserade liner nära broförbindelsen. Mycket tillverkning av tunga



Bild 7.  
Illustration över möjliga broförbindelser över den 5 km breda och 600 meter djupa Björnefjorden  
Illustration: Vianova/Baezeni

stålkonstruktioner sker idag i Kina, men med lasersvetsning beräknar man minska kostnaderna till ca 1/3 genom minskade transporter. Lasersvetsning ger också bättre kvalitet och lägre energiförbrukning.

Forskningen nu handlar om att kontrollera de geometriska toleranserna samt att klara krav på utmattningshållfasthet och slagseghet. Sen lägger man också stor möda på att undersöka och utveckla körupplevelsen - bron är ju flytande!!

För mera information om detta jättepprojekt, se: <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/ferjefriE39/delprosjekt>

### Blå diodlaser lasersvetsar koppar

Dr. Thomas Molitor, Laserline, **bild 8**, höll den enda renodlade industriella presentationen när han berättade om lasersvetsning av koppar med blå diodlaser. Det finns ett flertal applikationer där lasersvetsning av koppar är aktuellt: motorkomponenter (s.k. "hair pins"), batterianslutningar, elektriska anslutningar, och "wire printing" där koppar kan påsvetsas olika basmaterial.

-Med traditionella lasrar som arbetar i det nära infraröda området så går det bara att utföra nyckelhåls- (key-hole) svetsning i koppar genom att absorptionen ökar från 2-3 % till 20-30% på grund av interna reflektioner i nyckelhålet, berättar Thomas Molitor. Resultatet blir högt ångtryck i nyckelhålet med risk för sprut

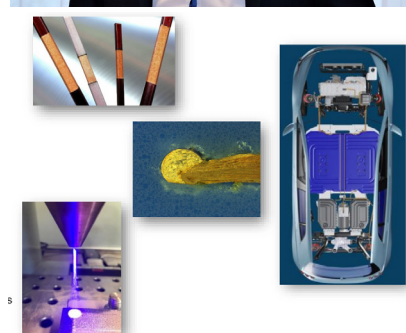


Bild 8.  
Dr Thomas Molitor, Laserline berättade om lasersvetsning av koppar med blå diodlaser. Det finns ett antal intressanta applikationer för lasersvetsning av koppar inom industrin, t.ex. "hair pin" svetsning i elektriska motorer.

och varierande svetsdjup. Processfönstret är också mycket begränsat.

Laserline i Tyskland har utvecklat en diodlaser som arbetar i det blå våglängdsområdet (ca 450-520 nm) där absorptionen i koppar är 8-10 gånger högre än i det nära infraröda området där t.ex. fiberlasern finns, **bild 9**.

Konstruktionen av Laserlines blå

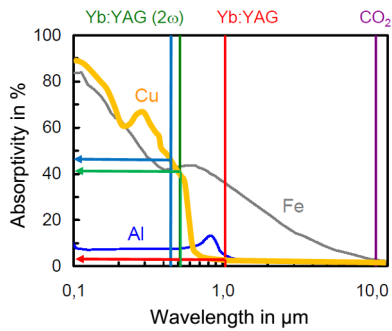


Bild 9. Absorption av olika metaller som funktion av våglängden.

diodlaser följer företaget välkända koncept med en mängd små diodlasrar som arrangeras i stavar vilket ger ca 75 W/stav. Dessa sätts sedan samman till stackar som kombineras och tillsammans kan ge 1500 W, **bild 10**.

Utmaningarna med att lasersvetsa koppar är flera, berättar Thomas Molitor. Materialet kan vara av skiftande kvalitet med varierat innehåll av koppar, föroreningar på ytan och olika oxidation av ytan på grund av varierande lagring kan förekomma. Men svetsning med blå diodlaser överbryggas dessa problemkällor, **bild 11**

Nyckelhållsvetsning av koppar med blå diodlaser är också möjlig. Här kan man urskilja tre områden beroende på yttemperaturen i kopparn, **bild 12**. Vid temperaturer under 1090 C sker värmeledningssvetsning som ger en slät svets. Temperaturer mellan 1090 till 2500 C ger en kombination av värmeledningssvetsning och Marangoni effekter, som skapar en rörelse av smältan från centrum av smältpölen och utåt. Svetsen får då ett karakteristiskt räfflat ytmönster. Till sist, temperaturer över 2500 C ger ytförångning och en räfflad yta.

Laserline har utvecklat en hybridsvets-teknik med en kombination av blå laser med en IR-laser för att få ökat svetsdjup. Den blå lasern skapar smältan och IR-lasern ger svetsdjupet **bild 13**.

-Blå högeffektdiodlasrar öppnar möjligheter för nya applikationer summerar och avslutar Tomas Molitor. Man kan svetsa koppar och guld, använda den för additiv tillverkning, påsvetsning, värmebehandling och nya innovativa applikationer inom "E-mobility". Hybridsvetsning med en kombination av blå och IR-laser ger ytterligare nya möjligheter. Så framtiden ser ljus ut för blå högeffektdiodlasrar.

### Sprut vid SLM-processen

Låt oss titta lite närmare på ett av de akademiska bidragen som exempel på innehåll och nivå på vad som presenterades. Detta handlar om sprut under Selec-

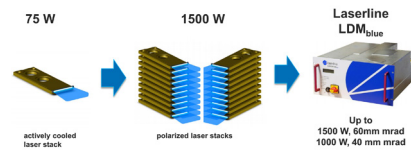


Bild 10. Laserlines blå diodlaser kan ge 1500 W med strålkvalitet 60 mm mrad och 1000 W med 40 mm mrad. Konceptet är skalbart och högre effekter förväntas.

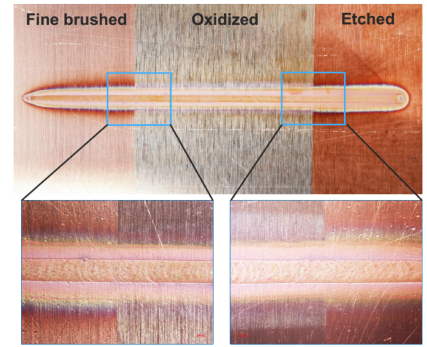


Bild 11. Lasersvetsning av koppar med blå diodlaser fungerar bra även vid olika ytbeskaffenhet.  $t = 0.5$  mm,  $P = 540$  W,  $V = 1000$  mm/min.

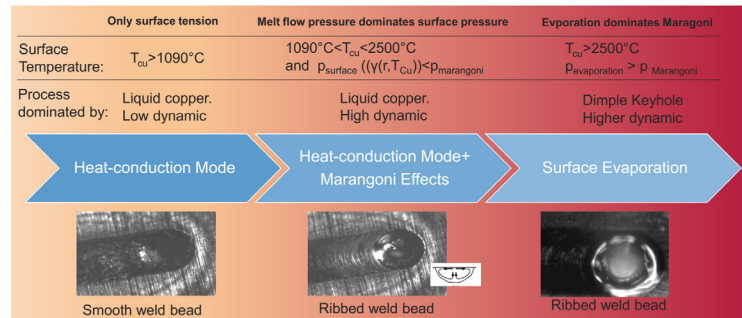


Bild 12. Temperaturen i ytan bestämmer svetsprocessen. Låg temperatur ger värmeledningssvetsning medan högre temperaturer ger nyckelhållsvetsning.

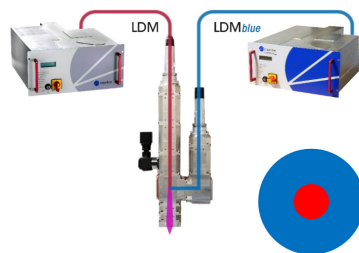


Bild 13. Genom att kombinera en blå laser med en IR laser så kan LaserLine öka svetsdjupet i koppar. Ökad effekt på IR-lasern ger ökat svetsdjup. Tekniken kan användas vid statisk svetsning som t.ex. "hair pin"-svetsning.

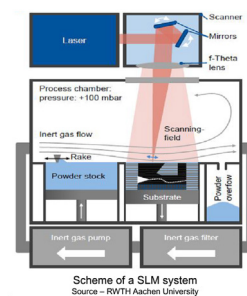
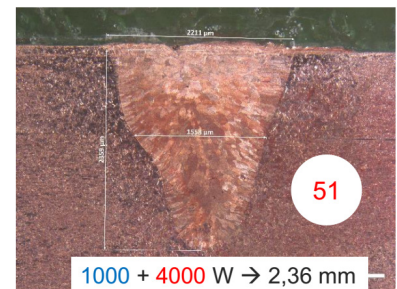
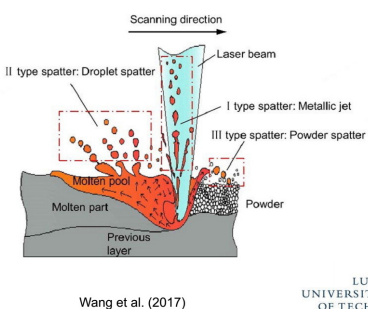


Bild 14. SLM-processen (t.v.) och karakterisering av sprut vid SLM-processen (t.h.) enligt Wang et al (2017)

tive Laser Melting (SLM)-processen och presenterades av Tatiana Fedina, som är doktorand vid Luleå tekniska universitet.

Tatiana har till en början på sitt doktorsarbete gjort en litteraturstudie över sprut vid SLM-processen och kompletterat detta med egna försök där hon har använt höghastighetsfilmning som ett verktyg att studera processen. Det anses att sprut är en viktig orsak till defekter och



Wang et al. (2017)



osäker kvalitet i SLM-processen.

Sprut vid SLM uppstår som en kombination av rekytrycket och Marangoni flöde samt gasflödet i kammare. Mängden sprut beror på en kombination av lasereffekt, scanninghastighet och trycket i kammaren och kan kategoriseras i tre typer enligt Wang et al, **bild 14**.

Tatianas experimentella studie hade som mål att analysera sprutbildningen hos

rostfritt material (316L) och en gas- och vattenatomiserad järnbaserad legering (4130). Till sin hjälp har hon använt höghastighetsfilmning. Hon konstaterar att vinkeln på sprutet beror på geometrin i kammaren. Höghastighetsfilmning av SLM-processen (dock med hastigheten reducerad till 2 m/min) visar att sprutpartiklarna kan vara upp till fem gånger större än pulvermaterialet, **bild 15**.

Tatiana Fedina summerar sin presentation med att konstatera att dynamiken i sprutet inte är känt till fullo och att fenomenet bör undersökas vidare. Så vi kan se fram emot flera bidrag i ämnet från henne i sina fortsatta doktorandstudier.

### Akademisk konferens

NOLAMP är till karaktär en akademisk konferens och NOLAMP 17 var inget undantag. De akademiska presentationerna dominerade stort. Det fanns en industriell session men den innehöll endast en sådan presentation, resten var akademiska bidrag. Men arrangörerna måste ju använda det material som skickas in och om inte industrin vill berätta om intressanta applikationer/produkter eller annat så blir tyngdpunkten helt akademisk. Den akademiska touchen förstärks ju också genom att alla dessa bidrag ska granskas och godkännas av en vetenskaplig kommitté vilket är bra för forskarna, men kanske inte för den "normala" laseranvändaren. Sedan finns inte längre ett samlat proceedings från konferensen utan man måste söka på enskilda artiklar eller författare i en vetenskaplig databas. Sammantaget gör detta konferensen mera svårtillgänglig utanför de akademiska kretsarna. Men det är ju akademien som bestämmer...

Och det leder ju till tanken att skapa ett "NOLAMP Industry"- ett evenemang för den nordiska industrin....

### Nordisk laserforskning lever vidare..

32 år efter den första NOLAMP-konferensen i Oslo kan vi konstatera att den nordiska laserforskningen fortfarande är vital och livskraftig. Allteftersom ny laserutrustning utvecklas, vilka ger nya processmöjligheter, så anpassar sig forskningen och tar sig an nya forskningsområden. Vi har t.ex. sett lasersvetsning av tjockt konstruktionsstål, laserhybridsvetsning, skärning med fiberlaser och nu senast additiv tillverkning som exempel på forskningsområden där den nordiska laserforskningen har varit verksam och

producerat tekniska doktorer.

Vi kan nog med stor sannolikhet anta att den nordiska laserforskningen kommer att leva vidare åtskilliga år framöver – i alla fall så länge som de nuvarande professorerna fortfarande har intresse kvar att undersöka tekniken djupare och skapa ny kunskap om laserprocesserna.

Det fullständiga programmet för NOLAMP 17 finns via <https://www.sintef.no/en/events/nolamp2019/>

och de enskilda artiklarna kan laddas ner från [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

### Trevligt arrangemang i Trondheim

Jag måste berömma SINTEF i Trondheim för ett mycket trevligt arrangemang av NOLAMP 17, både vad gäller konferensprogrammet och de sociala delarna. Vi fick bevista en fantastisk orgelkonsert i den berömda Nidarosdomen med anor från 1000-talet där organisten både spelade på del "lilla" Wagner orgeln byggd 1741 av orgelbyggaren Joachim Wagner och på den stora Steinmeyerorgeln som byggdes 1930, **bild 16**.

Kvällen avslutades med en välsmakande buffé på To Tårn.

Konferensmiddagen hölls på Ersgård



Bild 16. Wagnerorgeln (t.v.) i Nidarosdomen byggdes 1741 och den stora Steinmeyerorgeln från 1930 med sitt spelverk.



Bild 17. Konferensmiddag i stallet på Ersgård i Stjørdal. Vår värd Grete Sørebo förevisar deltagarna. Ersgård är en gammal bondgård som nu drivs som ett gårdshotell av Grete Sørebo och Stein Sakshaug, ättlingar till de som byggde gården. 250 år av atmosfär säger man på hemsidan!!

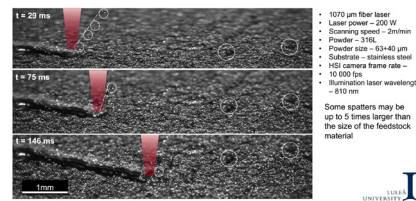


Bild 15. Bilder från höghastighetsfilmning av sprutbildning.

i Stjørdal där vi fick uppleva provning av lokala öl, bl.a. det berömda rökta Stjørdal-sölet och en middag på långkokt lamm i vedeldad ugn från granngården och lokala tillbehör, **bild 17**.

Om ni söker en trevlig upplevelse i Trondheimområdet (10 minuter från flygplatsen) så besök Ersgård i Stjørdal och låt er väl smaka av det rustika köket och det lokala ölet;

se [www.ersgard.no](http://www.ersgard.no)

### NOLAMP 18 går i Luleå 2021

Reservera gärna den 24–26 augusti 2021 för NOLAMP 18 som kommer att gå i Luleå med professor Alexander Kaplan som värd. ■



# Mot kortare våglängder

Bengt Johansson  
Teknikcentrum i Gnosjö AB

Äntligen är den här: den blå högeffektlasern!

Tyska laserföretaget Laserline är ett anrikt företag inom direktiod-lasrar. De har nu kommit med blå lasrar med våglängden 450nm och till en maximal kontinuerlig effekt på 1500W. Produktserien heter "LDM blue".

Infraröda lasrar med kortare våglängder vid ca 1um har revolutionerat många laserprocesser mot högre hastighet och produktivitet jämfört med den tidigare vanliga CO<sub>2</sub>-våglängden på 10,6um på grund av olika metalls ökade absorption av ljus vid kortare våglängd, **figur 1**.

Den betydligt kortare våglängden på 450nm (0,45um, blått ljus) öppnar nya möjligheter framförallt vid svetsning av tex koppar, guld, och nickellegeringar.

Absorptionen av blått ljus i koppar medför att effektbehovet i laserkällan minskar med hela 84% och i guld 92% genom bättre absorption jämfört med den traditionella fiberlaservåglängden på 1,05um. Detta innebär en mycket stor potential inom elektronik och e-mobility-industrin där dessa metaller är vanliga, **figur 2**.

Lasern har också visat sig ganska okänslig mot gap i kopparfogar. Värmeledningssvetsar i koppar kan göras snabbt och sprutfritt med utmärkt resultat och således även minskade krav på fixture-ringen.

Tunna kopparfolier kan också lätt fogas samman med aluminiumdetaljer, men även till andra metaller som tex stål.

Tester har också visat utmärkta resultat med laser-cladding av kopparpulver, något

som tidigare visat sig vara mycket svårt. Inom området laserlödning har våglängden också stora fördelar där materialet ofta består av kopparlegeringar.

Laserkällorna "LDM blue" består av direktiod-arrayer som matas via fiber till arbetsutrustningen. Laserkällorna kan användas med konventionella huvuden men med optik anpassad för 450nm.

Laserkällorna är mycket kompakta och ryms i en standard 19"-rackenhet, **figur 3**. De finns nu i 500, 1000 och 1500W utförande. Gallium-nitrid-laserdioderna i maskinen är helt nyutvecklade av Osram och har en total "wall plug efficiency" på ca 25%.

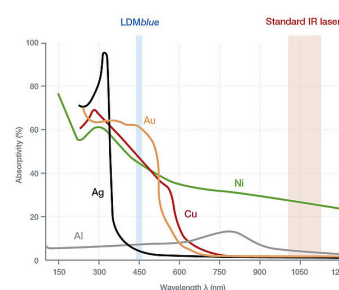
Ljuset levereras i 600um fiber upp till 1000W och 1000um för 1500W modellen. Detta innebär att strålkvaliteten är optimal för värmeledningssvetsning och cladding.

Laserline är dock inte ensamma. Amerikanska Nuburu har blå lasrar upp till 500W men med en högre strålkvalitet, som då tillåter sk "keyhole welding" i koppar, **figur 4**.

Blå laser är här för att stanna som ytterligare ett verktyg inom laserbearbetning. Vi kommer naturligtvis få se en spännande utveckling mot nya användningsområden och ännu högre effekter. ■



Figur 4. Blå laser från amerikanska Nuburu t.v. Svetsar i koppar utförda med Nuburus blå laser (t.h).



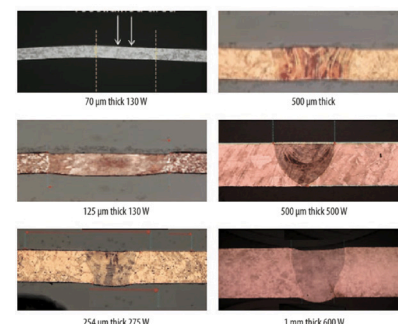
Figur 1: Absorptionskurvor för olika metaller som funktion av våglängd



Figur 2. Den korta blå laservåglängden har hög absorption i koppar oavsett materialets ytbeskaffenhet



Figur 3. Laserlines produktserie med våglängd 450 nm kallas LDM Blue. De finns i effekter upp till 1500 W.





# E-mobility och Additiv Tillverkning var bara två av russin i laserkakan vid 2019 års upplaga av Laser World of Photonics Del 1

Johnny K Larsson  
Autokropolis Engineering



Europas största evenemang för oss i laserbranschen måste utan konkurrens vara Laser World of Photonics, som arrangeras vart annat år vid IMM [International Messe München].

Vid öppningssessionen hälsades vi välkomna av mässans verkställande direktör Dr. Reinhard **Pfeiffer**. Denne gentleman inledde med att tala om laserteknikens mångskiftande användningsområden, som omfattar allt ifrån självkörande bilar [autonomous drive] till sensorteknologier och medicinteknik. Därpå kunde han stolt tala om att mässan än en gång slog nytt rekord med 1.325 utställande företag från över 40 olika länder. Totalt kunde han räkna in över 6.000 deltagare i de olika konferenser som genomförs parallellt med mässan. Här var han speciellt nöjd med att nobelpristagaren i fysik, Dr. Gérard **Mourou** från Ecole Polytechnique Palaiseau, hade accepterat en inbjudan att hålla ett plenarföredrag under invigningsdagen. Därefter lämnade Dr. Pfeiffer över ordet till ordföranden i styrgruppen för detta gigantiska arrangemang, välkände Dr. Peter **Loosen** från Fraunhofer ILT [Institut für LaserTechnik] i Aachen. Han vägledde oss i hur de olika konferenserna är strukturerade längs två axlar; en applikationsinrik-

tad och en industriellt inriktad sådan [Fig. 1]. De tvärvetenskapliga konferenserna CLEO [Conference on Lasers and Electro-Optics] och EQEC [European Quantum Electronics Conference] behandlar traditionellt laser och optikutveckling exemplifierat med ultrasnabba kortpuls-lasrar, fiberoptik, nanofotonik, kvantfysik etc

Därtill kunde den gode Peter räkna in hela sex stycken parallellt pågående, specialiserade konferenser, nämligen:

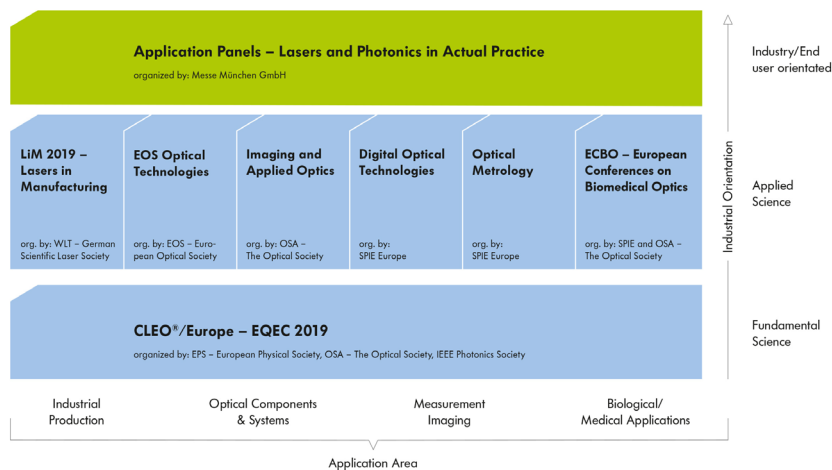
- ECBO [European Conference on Biomedical Optics]



Figur 1. Dr. Peter Loosen var behjälplig att under invigningen vägleda oss delegater i hur den gigantiska "World of Photonics"-kongressen var strukturerad.

## STRUCTURE

### World of Photonics Congress 2019



- LiM [Lasers in Manufacturing]
- EOS [European Optical Society] Optical Technologies
- Imaging and Applied Optics
- Digital Optical Technologies
- Optical Metrology

I utställningshallarna kunde man även besöka några s.k. Application Panels, där representanter från olika industrier informerade om hur man använder lasertekniken inom sina branscher. Senare årgångar av Laser World of Photonics har ju brottats med brist på föreläsningssalar, varför man ibland tvingats utnyttja lokaler i närliggande hotell. Detta hade man i år löst genom att i hall A1 bygga upp fem stora konferensrum vilket gjorde att allt nu fanns samlat inom mässans revir.

Öppningsceremonin avslutades med ett plenaranförande av professor Karsten **Danzmann** [Fig. 2] från Max-Planck-Institutet för gravitationsfysik vid Leibniz Universität i Hannover, vilken jag hade f6rmanen att bekanta mig med vid ICALEO [International Conference on Advanced Lasers and Electro-Optics] –konferensen i San Diego, CA 2104 [se LaserNytt 1-2015]. Med sin forskning hoppas han kunna upptäcka huruvida det kan finnas andra levande arter någonstans i universum genom att lyssna till ljud i rymden. Nu f6rhaller det sig emellertid så att ljudvågor kräver atmosfär f6r att kunna fortplanta sig, och då sådan saknas i rymden måste man använda andra metoder. En sådan är att lyssna till så kallade gravitationsvågor som uppstår då objekt f6rflyttar sig, och med dylik teknik har Dr. Danzmann kunnat ”lyssna” till den aska som uppkommer då en supernova exploderar, eller när två supernovor kolliderar och ett svart hål uppstår. De här tankarna ar på inget sätt nya, utan teorin kring gravitationsvågor härstammar från de idéer som framf6rdes av Albert **Einstein**. Ett tidigt utvecklat instrument f6r detta var ceptomern som kunde avläsa en r6relsef6randring ner till  $10^{-21}$ , men däremot inte mindre distansf6randringar.

Med laserinterferometri kan man idag nå ner till en uppl6sning på  $10^{-24}$ , och pågående forskning strävar efter ännu finare värden. Darf6r har det investerats stora summor i forskningsanlagningar som LIGO [Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory] i USA med en enhet i Hanford, WA och en annan i Livingstone, LA [Fig. 3]. I Japan finns KAGRA [Kamioka Gravitational Wave Detector] och i Europa Advanced Virgo nära Pisa i Italien, och numera även GEO600,

som är ett tysk-brittiskt samarbete där man använder s.k. sammanpressat ljus [squeezed light] f6r att detektera nämnda gravitationsvågor.

Den 14 september 2015, närmare bestämt klockan 11:50 CET, utg6r ett markesdatum f6r denna forskning. Då blev nämligen Marco **Drago** och Andrew **Lundgren** [Fig. 4] i Hannover de f6rsta människorna som kunde lyssna till hur ett svart hål bildas. Numera är detta att betrakta som vardagsmat, och vid Max-



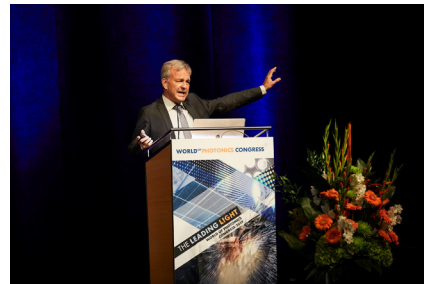
Figur 3. Några anlagningar f6r mätning av gravitationsvågor med hjälp av laserinterferometri; ovan amerikanska Hanford, WA (t.v.) och Livingstone, LA (t.h.) samt t.h. en inblick i en av tunnlarne i KAGRA-anlagningen i Japan.

Planck-Institutet registrerar man ett flertal svart hål varje vecka.

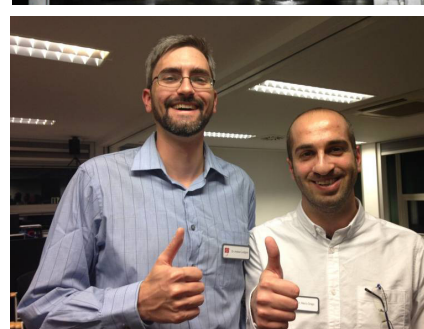
Men forskningen går som sagt vidare med investeringar i allt mer sofistikerade utrustningar som ”Advanced LIGO” och ”Einstein Telescope”. Ett problem är emellertid att frekvenser under 1 Hz ar svåra att detektera p.g.a. olika st6rningar. Detta tror man sig numera kunna råda bot på genom att skicka ut observationsutrustningen i rymden vilket skedde i och med uppskjutningen av LISA [Laser Interference Space Antenna] från franska Guyana den 2 december 2015 – på dagen 100 ar sedan Albert Einstein publicerade sin teori om gravitationskrafter [Fig. 5]. Därmed fick vi den f6rsta rymdbaserade m6jligheten att använda laserinterferometri. LISA har tre stycken 2,5 km långa matarmar vilka var och en betjänas med en 2 W-laser. Nästa projekt i ordningen är GRACE [Gravity Recovery And Climate Explorer] vars praktiska nytta är att kunna detektera grundvattenf6rekomst och –nivar.

Att ämnesområdet upplevdes som spännande av auditoriet bekräftades av de appladaskor som inte ville upph6ra efter professor Danzmanns f6redrag. Jag kan med f6rdel rekommendera den intresserade att bes6ka [www.ligo.org/](http://www.ligo.org/).

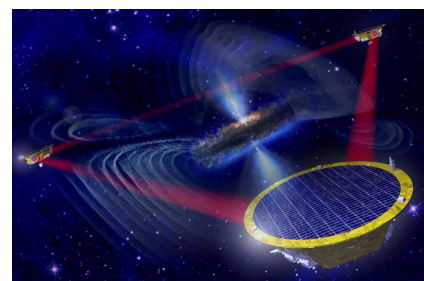
I det här sammanhanget kan det vara relevant att flika in den presentation som senare under veckan h6lls av Ludger



Figur 2. En engagerad Dr. Danzmann i talarstolen under invigningen av Laser World of Photonics där han gav en historisk resumé kring utvecklingen av att mäta och lyssna till s.k. gravitationsvågor.



Figur 4. Så här glada var de tyska laserforskarna Andrew Lundgren och Marco Drago vid Max-Planck-Institutet i Hannover då de som f6rsta jordinvanare kunnat lyssna till hur ett s.k. svart hål uppstår.



Figur 5. Principen f6r hur ”LISA” kan mäta gravitationsvågor ute i rymden, även vid frekvenser som understiger 1 Hz, genom interferometri av kilometerlånga laserstrålar.

**Overmeyer** från HITec [Hannover Institute of Technology] där han berättade om framtida produktionstekniker på månen. Organisationer som NASA [National Aeronautics & Space Administration] och ESA [European Space Agency] har ju båda lyckats landa flera rymdfarkoster på månen och nästa steg är att möjliggöra längre vistelser här för forskare. Grundtanken är då att utnyttja måntans eget regolit-material till att bygga bostäder med hjälp av LMD [Laser Metal Deposition]. Problemet är emellertid hur man hanterar en sådan process i en nästintill gravitationsfri miljö. För att undersöka detta har man i Bremen låtit bygga en s.k. Einstein Elevator, vilket i princip är ett 40 meter högt torn för fallriggsprovning [Fig. 6]. Inuti detta finns en kompositgondol i CFRP [Carbon Fibre Reinforced Plastics] som styrd via gejdor kan accelereras och retarderas med 5g. Detta innebär att man under cirka 4 sekunder med hastigheten 0,6g kan upprätthålla tyngdlöshet i gondolen, som mäter 1,7 meter i diameter, kan hantera 2 meter långa provobjekt samt väger ungefär 1 ton. Försöken med additiv tillverkning kommer alltså att ske under denna begränsade tidrymd för att utvärdera om processerna kan användas i avsett syfte på månen. Det hela är en del i projektet "Moonrise" som avser att ha en bäraket försedd med AM [Additive Manufacturing] -utrustning klar för uppskjutning 2021. Intressant var också att höra att en av finansörerna till projektet är Volkswagen Stiftung. Mer information går att hitta på [www.einstein-elevator.de](http://www.einstein-elevator.de).

Av de ovannämnda konferenserna valde jag sedan att delta i den som torde vara av störst intresse för Laserguppens medlemmar, nämligen den mer industriellt inriktade Lasers in Manufacturing, även om jag i år bedömde det akademiska inslaget vara dominerande. LiM organiseras av WLT [Wissenschaftliche Gesellschaft für Lasertechnik e.V.] och plenarsessionen leddes här av Dr. Uwe **Reisgen** från isf [Institut für Schweiß- und Fügetechnik] i Aachen. Årets konferens var den tionde i ordningen och kunde räkna in cirka 350 deltagare som fick möjlighet att lyssna till 225 tekniska presentationer i 12 olika sessioner och med 12 speciellt inbjudna talare.

Ett återkommande inslag vid LiM-konferensens öppnande är utdelandet av "WLT Award", vilket förrättades av organisationens president, bekantingen Dr. Michael **Schmidt**, tillika institutionsföreståndare vid blz [Bayerisches Laser-



Figur 6. Övan principen för en s.k. Einstein Elevator, vilken möjliggör kortvariga experiment i tyngdlöst tillstånd och t.h. den kompositgondol som löper med upp till 0,6 g inuti fallriggstornet. Nedan en interiörbild från tornet med dess gejderstyrningar och t.h. ett exteriörfoto av anläggningen hos HITec i Hannover.

Zentrum]. Utmärkelsen går till en ung laserforskare, som måste vara under 35 år och uppvisa en stark vilja att verka inom industrin. I år tillföll priset Dr. Michael **Steinke** från LZH [LaserZentrum Hannover]. Han är född 1985 och studerade fysik vid Leibniz Universität i Hannover. 2012 anställdes han vid LZH, och tog sin doktorandexamen 2015 inom ämnesområdet detektering av gravitationsvågor, alltså samma tema som presenterades av professor **Danzmann**. Vid LZH ledde han forskningen kring fiberoptik, innan han 2017 tillsammans med några kollegor grundade företaget FiberBridge Photonics GmbH, och sedan maj i år arbetar han även vid HITec. "WLT Award" består av tre saker; en lasergraverad glasprydnad, ett diplom eller certifikat på utmärkelsen, och sist men inte minst en prischek på 5.000 euros att användas för framtida forskning.

Efter prisceremonin fick Dr. Steinke sedan redogöra för sin forskning under rubriken "Fibre Based Lasers for Next Generation of Gravitational Wave Detectors". Liksom professor Danzmann kunde han konstatera att det krävs ännu känsligare verktyg för att detektera gravitationsvågor som uppstår långt ute i rymden. Ett annat problem är att dagens detektorer är känsliga för värme varför optiklinserna bör tillverkas i alternativa material, vilka emellertid kommer att kräva laservåggländer kring 1.400 nm.

Plenarsessionen avslutades med en avtackning och hyllning av professor Reinhart **Poprawe** [Fig. 7], föreståndare

för i lasersammanhang välrenommerade Fraunhofer ILT. Här hade Dr. Andreas **Tünnermann** från Fraunhofer IOF [Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik] satt samman en intressant men också rolig sammanfattning av vad "Popi" åstadkommit under sin mångåriga karriär i laserbranschen. Vi fick veta att Reinhart studerade vid Gerd Herzinger Institut i Darmstadt där han tog sin doktorsexamen med avhandlingen "Material Processing and Plasma Formation using UV-light Sources". Därefter placerades han tillsammans med studiekollegan Peter **Loosen** i vad som kom att kallas institutets "BeLoPop-rum" där Peter ansvarade för forskningen medan Reinhart tog hand om marknadsföringen. Denna ansvarsfördelning framgick av ett gammalt foto där Dr. Loosen hade en välfylld bokhylla och Dr. Poprawe en helt tom sådan, men istället hade försetts med en telefon! Efter ett mellanspel hos Thyssen Lasertechnik där Reinhart arbetade med tredimensionell lasersvetsning och CO<sub>2</sub>-baserade högeffektlasrar, kom han att efterträda Dr. Eckhard **Beyer** som institutionsföreståndare vid ILT. Här har han gjort sig känd för att driva en industriinriktad laserforskning, vilket resulterat i att cirka 40 avknoppningsföretag går att härleda till institutet. Andra "milstolpar" är teknologitransfer till Trumpfs laserverksamhet samt utvecklingen av fastkroppslasern "InnoSlab". Denna har ju senare kommersialiserats via avknoppningsföretag som Edgewave och Amphos. På senare tid har Reinhart

myntat begreppet DPP [Digital Photonic Produktion], och varit en av pådrivarna för den finansiella satsning som gjorts vid Campus RWTH [Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule] genom etablerandet av de båda byggnaderna "Research Center DPP" och "Industry Building DPP". Slutligen fick vi veta att framtiden delas mellan segling och golf.

Reinhart Poprawe tackade för denna kavalkad med att ge en föreläsning med titeln "Digital Photonic Production along the Lines of Industry 4.0", där jag som lyssnat till åtskilliga föredrag av sympatiska Reinhart kände igen åtskilligt. Han inledde med att ge rådet att ställa tre frågor innan man startar ett nytt forskningsuppdrag;

- 1) Har det gjorts tidigare?
- 2) Är det relevant?
- 3) Vad kan jag göra med resultatet?

Hans vision är att begreppet "digital produktion" skall kunna appliceras på alla laserbaserade tillverkningsmetoder, inte minst vad gäller additiv tillverkning. Här lyfte han fram laserpåläggningskonceptet EHLA [Extremes Hochgeschwindigkeits LaserAuftragsschweißen] där man förutom hög produktivitet kan åstadkomma mycket tunna skikt. Nu fick vi veta att man just tagit fram en prototyp baserad på en tripod-robot för att kunna bygga tredimensionella strukturer med EHLA-metoden [Fig. 8]. Just den låga produktiviteten vid AM-tillverkning med laser är ett problem, och professor Poprawe menar att för pulverbäddstekniken är man begränsad till skanner-verktygets kapacitet. Därför ser han framtida lösningar med att använda minirobotar med multipla skannere, eller en uppsättning direktverkande dioder som skannar pulverytan ungefär som en bläckstråleskrivare vid utskrift på papper. Trots allt finns det framgångsrika exempel på volymproduktion med SLM [Selective Laser Melting] som exempelvis de aluminiumkonsoler som reglerar soltaket på BMW i8-modellens roadster-variant. Dessa tillverkas i storleksordningen 30.000 enheter per år där man med pulverbädd kan fabricera 238 enheter samtidigt [Fig. 9], att jämföras med pressgjutning där formverktyget endast tillåter 51 parallelltillverkade detaljer.

Andra spännande projekt som omnämndes var:

- Tillverkning av gitterstrukturer med inhomogent material
- Fotonisk fräsning baserad på "InnoSlab" med ultrakorta laserpulser



Figur 7.

Professor Reinhart Poprawe avtackades för sina många år i laserteknikens tjänst, inte minst då som institutionsföreståndare vid ILT. T.h. ses han med några av kollegorna i Aachen och på hans högra sida står Dr. Tünnermann som gjorde en uppskattad sammanfattning av Reinharts karriär.

- Fraunhofer CAPS [Cluster of Excellence Advanced Photon Sources]
- Ytstrukturering och djupgravering av instrumentbrädor i polymert material för bilindustrin [Fig. 10]
- Ablationskärning och selektiv laseretsning vid bearbetning av glas
- Laserpolering av kvartslinser med total avsaknad av skrapmärken som annars uppstår vid andra polermetoder
- Flerståleteknik med upp till 200 simultant verkande laserstrålar
- 20%-ig reduktion av luftmotståndet över flygplansvingar genom mikroborrning av tusentals hål i dessa så att luftflödet ändras från att vara turbulent till att bli laminärt [Fig. 10]
- En helautomatiserad anläggning för återanvändning av mobiltelefoner där typen av telefon identifieras genom skanning med LIPS [Laser Induced Plasma Spectroscopy] innan särplockning

DPP och Industry 4.0 är ju ämnen som ligger den gode Reinhart varmt om hjärtat, och i det sammanhanget nämnde han några intressanta nyckeltal; 26% av den tyska bruttonationalprodukten kommer från tillverkningsindustrin, men samtidigt utgör denna blott 18% av den arbetande befolkningen. En annan kypphäst hos professor Poprawe är att använda sig av begreppet "digital skugga" [Fig. 11] hellre än "digital tvilling", eftersom det senare kräver en större datorkapacitet. Detta visades med ett exempel på laserborrning av TBC [Thermal Barrier Coatings] där det skulle ha blivit alltför komplicerat att ta fram en "digital tvilling". Avslutningsvis tryckte han på nödvändigheten av ett systematiskt samarbete mellan olika utvecklingspartners. Vid arbetet hos ILT är detta uppbyggt kring fyra hörnstenar; fysiska system för automatisering, socialt beteende vid samarbete, samt IT-baserade hård- och mjukvaror [Fig. 11]. Auditoriet visade sedan sin uppskattning av professor Poprawes föredrag, liksom hans livslånga gärning i laserteknikens tjänst, genom att



Figur 8.

EHLA-processen innebär processhastigheter kring 500 m/min, och kommer snart att kunna användas för additiv 3D-tillverkning av objekt genom verktygsmanipulation med en tripod-robot



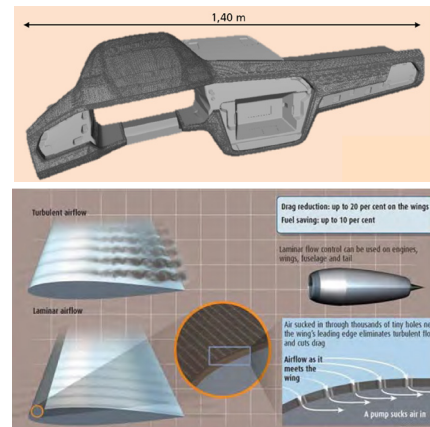
Figur 9.

Genom optimalt utnyttjande av byggplatt-formen kan BMW tillverka 238 konsoler till sin i8 roadster-variant simultant i en SLM-process.



Figur 10.

Ett favoritområde för professor Poprawe är laserbearbetning med ultrakortpuls-lasrar. Här exemplifierat med två applikationer i form av yttexturering av polymera instrumentpaneler hos Volkswagen AG (ovan), och mikroborrning av tusentals hål i flygplansvingar (under) för att ändra luftflödet kring dessa till ett mer fördelaktigt, laminärt sådant.



Figur 10.

Ett favoritområde för professor Poprawe är laserbearbetning med ultrakortpuls-lasrar. Här exemplifierat med två applikationer i form av yttexturering av polymera instrumentpaneler hos Volkswagen AG (ovan), och mikroborrning av tusentals hål i flygplansvingar (under) för att ändra luftflödet kring dessa till ett mer fördelaktigt, laminärt sådant.

ge honom en lång och välförtjänt stående applåd.

### Application Panel: E-Mobility

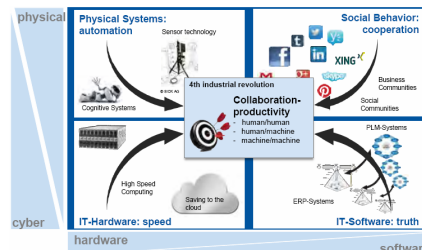
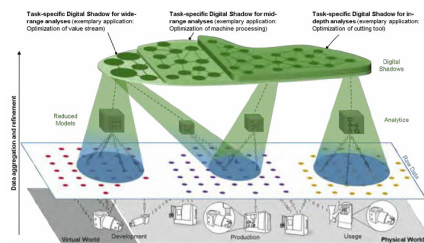
Utvecklingen av alternativa transportformer tydliggörs av trender som "E-Mobility" och "Smart Mobility". Ämnesområdena består främst av alternativa drivlinor, energilagringssystem, koncept för lättviktskonstruktion och infrastruktur för e-mobility. Lasrar kommer med all sannolikhet att spela en viktig roll här precis som tekniken gör redan idag inom olika tillverkningsindustrier, men nya applikationer i nya material, liksom med totalt nya funktioner, kommer att bli aktuella. Nya laserkällor och tillbehör i form av avancerade optiklösningar och utrustningar för processövervakning måste vara kompatibla med dessa nya krav.

Detta innebär nya utmaningar men också möjligheter för den produktionsteknologi som behövs vid högvolymtillverkning med hög produktivitet och tillförlitlighet.

Under denna session agerade inte mindre än tre experter som moderatorer, nämligen Dr. Hans-Joachim **Krauβ** [Bayerisches LaserZentrum], Dr. Günter **Am-brosy** [Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH] och Dr. Alexander **Olowinsky** [Fraunhofer Institut für LaserTechnologie].

Inledande talare var diplomingenjören Falko **Fiedler** från RWTH och dess nya institution PEM [Production Engineering of E-Mobility Components]. Han ville ge intryck av att just Aachen-området är ett centrum för utveckling av elektriskt drivna fordon, vilket illustrerades med en mängd exempel från små, lokala avknoppningsföretag för tillverkning av dylika produkter [Fig. 12]. Herrn Fiedler menade att vi i framtiden kommer att få helt nya aktörer inom bilindustrin p.g.a. de nya drivlinekoncepten även om det idag fortfarande är de etablerade bilmärkena som står för merparten av tillverkningen av elbilar. Detta avspeglas i produktions-siffror från 2018 där Tesla toppar listan med 245.000 tillverkade enheter följt av kinesiska BYD [Build Your Dream] och Renault-Nissan med 229.000 respektive 192.000 fordon. I framtiden kommer batteridelen att utgöra cirka 40% av bilens tillverkningskostnad medan motsvarande siffra för karosstrukturen endast uppgår till mellan 10-15%.

Redan idag används lasertekniken för att avlägsna den korrosionsskyddande olja som kopparelektrodfolier för batterier är belagda med. Detta sker med infraröda



Figur 11. Reinhart Poprawe pratar hellre om en "digital skugga" (t.v.) än om en "digital tvilling", vilken kräver större datorkapacitet, samtidigt som han poängterar nödvändigheten av samarbete mellan olika kompetenser i en balanserad fysisk och cyberbaserad utvecklingsprocess (t.h.).



Figur 12. StreetScooter, e.go och CITY eTAXI är alla exempel på elektriskt drivna fordon utvecklade i Aachen och dess omnejd, varav flera är avknoppningsföretag till universitetet i Aachen (RWTH).



Figur 13. Svetsning av kontaktdon och skapandet av gastäta fogar hos battericeller, liksom lokal borttagning av skyddsfilm på s.k. hårnålar före svetsning, är områden där lasertekniken används inom e-mobility.



Figur 14. "Pouch cells", där kontaktdonen lasersvetsas direkt på battericellen, har blivit alltmer populära i e-mobility-sammanhang, och används idag i bilmodeller som Artega Scalo 6.

laserkällor och cirka 2,4 kW. Annars är tillverkning av prismatiska battericeller ett område där lasern kommer till stor användning för såväl skärning som fjärr-lasersvetsning. Hela batteripack kan på ett kostnadseffektivt sätt lasersvetsas och ge en helt gastät fog, något som exemplifierades med ett batteripack till en lastbil. Ett annat användningsområde är lokal borttagning innan svetsning av den skyddande hinnan på de s.k. hårnålar, vilka är kritiska delar i elektriska statorer, som kan räkna upp till 300 lasersvetsar per enhet [Fig. 13].

Företaget Voltabox AG är specialiserat just på tillverkning av battericeller och har produktionsanläggningar i såväl Europa [Delbrück] som Austin, TX. I denna panel representerades man av Alessandro **Baldini** som berättade att man har ett modulariserat system för tillverkning av cirkulära och prismatiska celler. På senare

tid har man även börjat tillverka s.k. påceller där kontaktdonen svetsas direkt på battericellen [Fig. 14]. För detta nyttjar man skanner-verktyg som manipulerar laserstrålen i ett cirkulärt eller sinusformat mönster. Man använder sig också av Trumpfs "2 in 1-fiber" vilket gör att svets-sprutet reduceras kraftigt vid svetsning i de aktuella koppar- respektive aluminiumlegeringarna.

Näste talare var Dr. Martin **Freundt** från välkända batteritillverkaren Manz AG. Både vid LAF [Laser AnwenderForum] i Bremen 2018 och EALA [European Automotive Laser Applications Workshop] tidigare i år hade jag kunnat lyssna till hans kollega Dr. Dmitrij **Walter**, varför denna presentation blev något av en repetition [se LaserNytt 1-2019 och 2-2019 för vidare information]. Nyheten denna gång handlade om en beskrivning av det automatiserade produktionsupp-

lägg [Fig. 15] som företaget använder sig av vid lasersvetsning av kontaktdonen till sina cirkulära battericeller. Det består bl.a. av ett robotiserat laddningssystem och inför fjärrlasersvetsningen fixeras detaljerna med hjälp av servomotordrivna tryckfingrar.

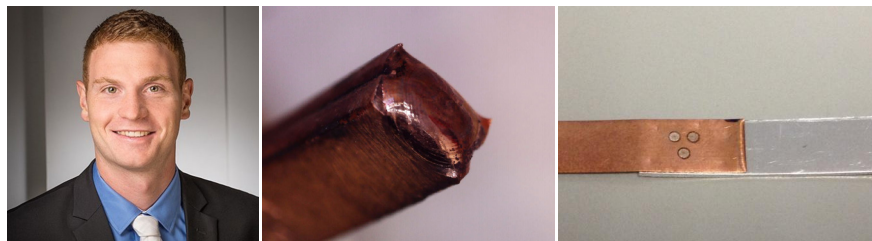
Några av de utmaningar som förekommer vid lasersvetsning av komponenter för e-mobility beskrevs av Thorsten Twiehaus från FEF [Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft Fügetechnik GmbH], som är ett avknopningsföretag från RWTH. Även han berättade om svetsning av "hårnålar" [Fig. 16] där han poängterade vikten av en god fixering av detaljerna. Svetsoperationen tog mindre än 1 sekund per "hårnål" då en lasereffekt på 4 kW användes i de relaterade experimenten. För att få en sprutfri process hade svetsningen utförts i vakuum, något som gör att materialens kokpunkt reduceras kraftigt. Olika koppar/aluminium-kombinationer [Fig. 16] hade svetsats med gott resultat där man vid efterföljande analys kunde konstatera att intermetalliska faser endast förekom i gränsytan mellan svetsgodset och kopparpartnern, och att denna IMC [InterMetallic Compound] blott var 3 µm tjock.

Applikationspanelens i särklass bästa och mest intressanta föredrag hölls av min gode vän Markus Rütering [Fig. 17], som efter många års anställning vid RofinSinar numera är försäljningschef för Asien hos Laserline GmbH. Företaget har ju satsat hårt på lasrar i det blå våglängdsområdet kring 455 nm just med tanke på dess förträffliga absorptionsegenskaper vid bearbetning av koppar. Idag kan man erbjuda enheter på 1 kW [Fig. 18] men en ny variant med 1,5 kW effekt och 60 mm\*mrad i strålkvalitet är "på gång" som den gode Markus uttryckte det. Eftersom dessa källor är av diodlasertyp fokuseras den rektangulära energifördelningen in i en cirkulär fiber och därmed omvandlas laserstrålen så att rund fokuspunkt erhålls på arbetsstycket.

Koppar har som bekant hög värmeledningsförmåga vilket resulterar i en reducerad penetration vid svetsning, och för att kompensera detta med en högre lasereffekt hade man kombinerat en IR [InfraRed] -laser med den "blå laserkällan" [Fig. 19]. Den förstnämnda gav 2 kW effekt och hade en fokuspunktsstorlek på 0,3 mm vilken superpositionerades över den 1,0 mm stora brännfläcken från den "blå laserstrålen". Man kunde då se vissa synergieffekter som gav en stabil och konstant



Figur 15. I en kliniskt ren produktionsmiljö kontakteras cirkulära battericeller med fjärrlasersvetsning hos Manz AG, utförd i ett helautomatiskt produktionsupplägg med hjälp av den egenutvecklade "BLS500".



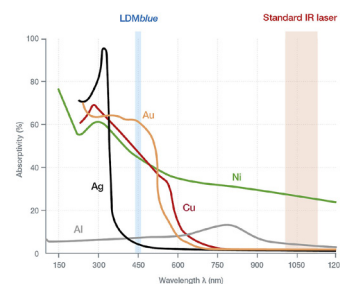
Figur 16. Lasersvetsning av "hårnålar" och koppar/aluminium-kombinationer var teman för Thorsten Twiehaus från FEF. För de sistnämnda kunde man detektera en endast 3 µm tjock intermetallisk zon mellan svetsgodsets och kopparpartnern.



Figur 18. Laserljus i det blå våglängdsområdet kring 455 nm har exceptionellt goda absorptionsegenskaper i metaller som koppar och aluminium. Därför har Laserline satsat på en utveckling av dylika laserkällor, där man idag erbjuder modellen LDM 1000-100<sup>blue</sup> med 1 kW cw-effekt.

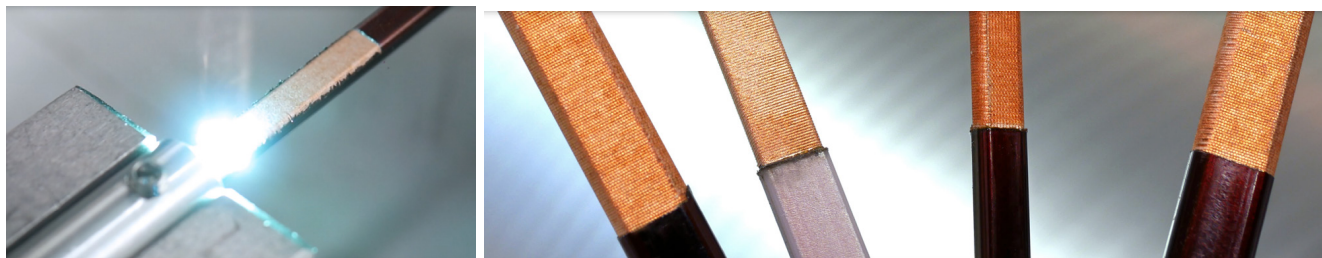
svetsprocess. Så fort den "blå laserkällan" stängdes av blev svetsprocessen instabil eller upphörde helt. Att kombinera med en högre IR-effekt på 5 kW visade sig vara för mycket vid BOP [Bead-On-Plate] – svetsning av 2 mm tjockt kopparmaterial, varför en högre svetshastighet rekommenderas för att kompensera för den alltför höga värmepåverkan av materialet. Däremot gav kombinationen 1 kW blå plus 5 kW IR bra resultat vid överlappsvetsningen av två stycken 2 mm tjocka kopparplåtar med moderat svetshastighet. På minussidan för "blå lasrar" måste man räkna in prisbilden. Idag är kostnaden den dubbla jämfört med 1 µm-lasrar vid samma effekt, varför man i den presenterade hybridlösningen bör satsa på en "blå laser" med förhållandevis låg effekt.

Därpå redogjorde Markus för några andra användningsområden för laser-



Figur 19. Principen för Laserlines "hybridlösning" där en "blå laserkälla" kombineras med en dito i det infraröda våglängdsområdet med en högre effekt. Detta för att möjliggöra stora penetrationsdjup även vid laser-svetsning i olika kopparlegeringar, vilka har en hög värmeledningsförmåga.

tekniken inom e-mobility. Således kan Laserline erbjuda en ny variant av pulslaser avsedd att användas för rengöring av "hårnålarnas" ytor innan svetsning [Fig. 20]. Denna sker sedan med en stationär laserstråle och roterande stator där



Figur 20.  
Exempel på lokal rengöring av "hårnålar" innan svetsning med hjälp av en pulssad diodlaser.

svetstiden per "hårnål" begränsas till 300 µs. Vidare visades på värmeledningssvetsning med enbart "blå laser" av en stumfog mellan två stycken 0,3 mm tjocka kopparfolier där man med 1 kW lasereffekt och en 1,0 mm stor fokuspunkt uppnått svetshastigheter kring 15 m/min! Idag har som sagt Laserlines "blå lasrar" en strålkvalitet på 60 mm\*mrad, men avslutningsvis avslöjade Herrn Rütering att man i laboratoriet i Mühlheim-Kärlich nått ner till 30 mm\*mrad och hans prognos var att även 20 mm\*mrad skulle vara fysikaliskt möjligt.

Siste talare i denna intressanta och aktuella session hölls av en annan gammal bekant, nämligen diplomingenjören Christoph **Franz**. Denne gentleman erbjöd ju sina tjänster åt Scansonic GmbH under många år, men är numera, tillsammans med gamle platschefen vid Wugang i Olofström Hans-Jörgen **Oehler**, verkställande direktör för ingenjörfirman 4D GmbH med huvudsäte i Hannover [Fig. 21]. Christophs specialitet är kvalitetskontroll och processövervakning och han slog ett slag för företagets produkt "Weld Watcher" [Fig. 22]. Detta instrument mäter svetsprocessens ljusintensitet via den optiska distributionsfibern och kan kombinera mätning av såväl processljus som reflekterat sådant samt processtemperaturen. Verktøget är kompatibelt med de flesta fältbussar, och ett praktikfall med "hårnålssvetsning" kunde visa hur "Weld Watcher" detekterade undermåliga svetsar som ett resultat av att "hårnålarnas" skyddsfilm inte hade avlägsnats i tillräcklig omfattning innan svetsningen.

Vidare redovisade den gode Christoph en övning där man utfört 30.000 fjärrlasersvetsar av koppar/aluminium-förbindningar med ett verktyg från HighYag inom ett begränsat skanningsfält och analyserat den stora datamängd som "Weld Watcher" genererar. Här kunde man detektera såväl låg penetration p.g.a. effektförluster genom reflexion som förekomst av spalt mellan folierna eller full genombränning. Tillsammans med ILT i Aachen har man även studerat maskininläring där

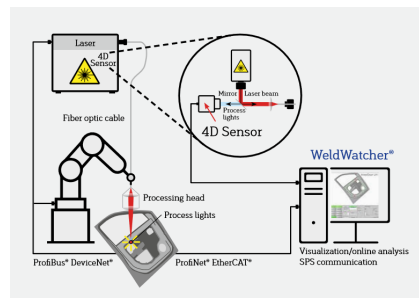


Figur 21.  
Sedan fjolåret återfinns vi tidigare Scansonic-medarbetaren Christoph Franz (t.v.) i Hannover, närmare bestämt hos 4D GmbH, där han tillsammans med tidigare Blekinge-bon Hans-Jörgen Oehler (t.h.) fungerar som verkställande direktör.

genomförda experiment pekade på en 95%-ig korrekt bedömning av defekta svetsar. Däremot var "träffbildnen" endast 79% då det gällde att identifiera godkända svetsar, varför Christoph menade att det här återstår en del att göra.

Koppar/aluminiumfogning med lasrar i de gröna eller blå våglängdsområdena är ständigt på agendan då ämnet e-mobility diskuteras, och här följer ytterligare en handfull presentationer som togfördes under LiM-konferensen.

Vi börjar med Allesandro **Ascari** från University of Bologna som jämfört resultaten från pulssad överlappssvetsning av 400 µm tjocka aluminiumfolier placerade på koppardito med 300 µm tjocklek. Typiska svetsproblem vid dylik svetsning är uppkomsten av intermetalliska faser i bindzonen, sprickor, porositet i svetsgodset samt nödvändigheten av nollspalt mellan folierna. Tre olika laserkällor hade ingått i studien [Tab. 1]; den q-switchade YLR 300/3000 QCW från IPG där pulstoppar på mellan 1.300-1.500 W gav hög hållfasthet och visade sig vara den mest robusta [Fig. 23]. Vid högre pulstoppar började svetsarnas visuella intryck att försämrats. Trumpfs HL-204P hade pulstoppar på 6.000 W, och där det extremt tunna intermetalliska skiktet på 3 µm borgade för en hög hållfasthet. Slutligen en SPI-laser [G4 EP-Z 100W] med 10 kW topp effekt i pulserna där frekvenser mellan 300-400 Hz gav goda resultat [Fig. 24]. Dock hade denna laser en mindre



Figur 22.  
Principskiss över 4D:s verktyg "Weld Watcher" för processövervakning, vilket mäter svetsprocessens ljusintensitet via den optiska distributionsfibern.

brännfläck jämfört med övriga, varför strålen fick oscilleras för att ge jämförbara resultat. Detta medförde att svetshastigheten reducerades till mellan 0,5-0,6 m/min att jämföras med IPG-lasern där hastigheten låg på 2 m/min. Dock är den lilla fokuspunkten gynnsam då den ger lägre värmeförsel och därmed begränsar tillväxten av intermetalliska faser. Sämst produktivitet fick man med Trumpf-lasern vars stora fokuspunkt och därmed låga energitäthet endast gav några få cm svetslängd i minuten.

En av professor **Katayamas** disciplar, Kento **Morimoto** [Graduate School of Engineering, Osaka University] sjöng den "blå laserns" lov vid svetsning av 50 µm tunna kopparfolier, då absorptionen ligger kring 60% att jämföras med blott 10% för en IR-laser. Grundläggande BOP-försök i form av skanner-svetsning hade genomförts med en 100 µm stor fokuspunkt där effekten varierades mellan 30-100 W och svetshastigheten mellan 1-50 mm/sek. En annan jämförelse mellan de två lasertyperna gav vid handen att det krävs 300 W från en IR-laser för att få samma intensitet i laserstrålen som en 50 W "blå laser" levererar [Fig. 25]. Dessutom uppfattades svetsprocessen som mer stabil med en konstant svetsbredd då den "blå lasern" användes, medan den infraröda gav ett antal genombränningar i det tunna materialet samtidigt som svetsbredden ökade allteftersom processen fortskred. Skillnaden i absorption hos de båda

våglängderna förklarade doktorandstudent Morimoto med att det rör sig om helt olika absorptionsmekanismer. För en IR-laser sker absorptionen av laserstrålen genom kollision mellan atomer, medan energin från en ”blå laser” överförs genom s.k. bandtransfer.

Lazar **Tomcic** från IWB [Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften] i München spannar vidare på temat att lasersvetsa oxygenfri koppar [Cu-OF, CW008A]. Här kombinerades fokuspunkten från en ”grön” TruDisc1020 med 515 nm våglängd med en från en IR-laser [ $\lambda=1.030$  nm, TruDisc4001] i första hand för att öka penetrationsdjupet då ”gröna lasrar” idag är svåra att tillverka med hög effektkapacitet, men även för att minimera sprutbenägenheten vid koparsvetsning. Den förstnämnda gav 1 kW effekt och stråldistributionen skedde via en 50  $\mu\text{m}$  grov optisk fiber till skannerverktyget ”PFO 20-2”, medan motsvarande värden för 1  $\mu\text{m}$ -lasern var 4 kW och 100  $\mu\text{m}$  fiberdiameter. De båda fokuspunkterna som mätte 146 respektive 376  $\mu\text{m}$  hade placerats antingen koncentriskt eller tangentiellt i förhållande till varandra [Fig. 26]. Experimenten gick ut på att reducera tröskelvärdet för djuppenetration och här kunde man konstatera att den djupaste penetrationen fick man vid ett tangentiellt arrangemang där den ”gröna lasern” hade den ledande positionen. Med maximal effekt från de båda laserkällorna hamnade penetrationsdjupet på 1.417  $\mu\text{m}$ , medan det stannade vid 1.286  $\mu\text{m}$  vid en koncentrisk set-up [Fig. 27]. En intresserad åhörare från Trumpf ställde frågan om huruvida man hade provat att ha en större fokuspunkt med den ”gröna lasern” i en koncentrisk uppställning? Herr Tomcic kontrade med att säga att något sådant inte utprovats med att det skulle vara intressant! Och varför inte använda två ”gröna lasrar” i en koncentrisk uppställning, eftersom man med nuvarande uppställning ändå har den högre energitätheten i den centriskt placerade ”gröna fokuspunkten”?

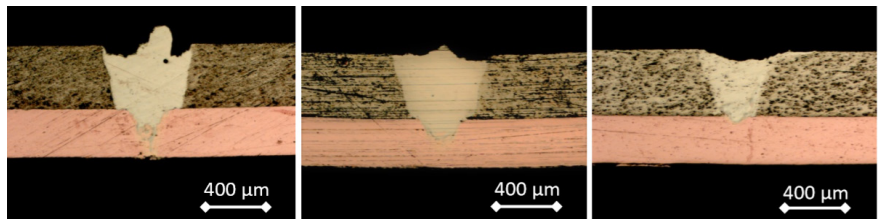
### Mer laseranvändning i bilindustrin

En av de 12 s.k. invited speakers till LiM var Dr. Axel **Luft** från Laserline GmbH, ett företag som har bilindustrin som huvudsaklig kund. Man har idag

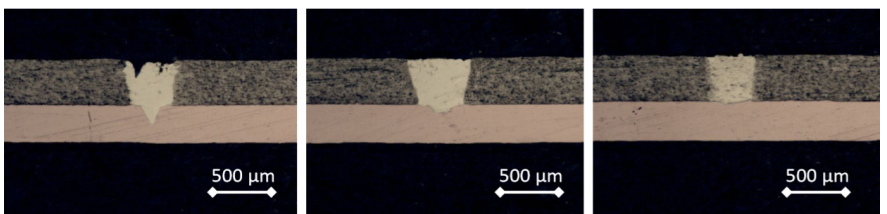
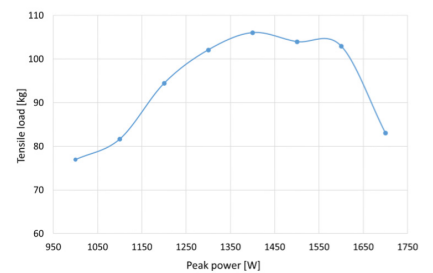
Figur 25. Tv. skiss över försöksuppställningen inklusive positioneringen av höghastighetskameran, samt t.h. bilder av smältan vid användning av ”blå” (a) respektive IR-laser (b) vid samma energitäthet (1,5 kJ/cm<sup>2</sup>).

Tabell 1. Produktdata för de tre använda laserkällorna

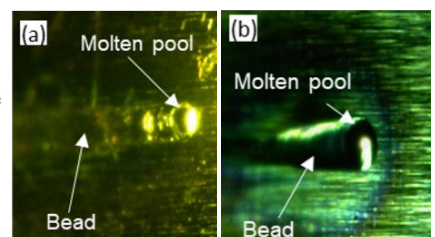
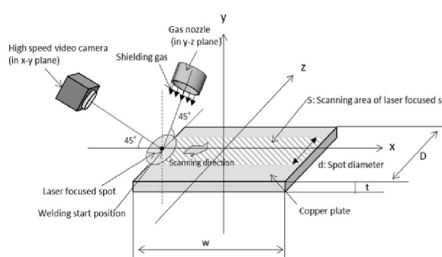
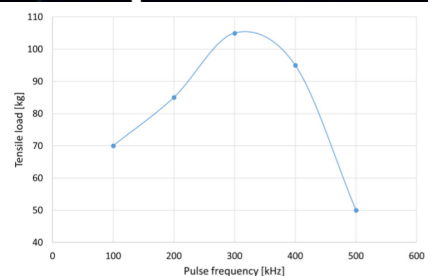
	IPG YLR 300-3000 QCW	Trumpf HL-204P	SPI G4 EP-Z 100W
Strålmod	Långpuls	Långpuls	Kortpuls
Medeleffekt [W]	300	200	100
Toppuls [kW]	3	7	10
Pulsenergi [J]	30	75	0,001
Pulslängd	0,1-50 ms	0,5-20 ms	17-320 ns
Pulsfrekvens [kHz]	5	0,6	2.000
Strålkvalitet [mm*mrad]	2	16	0,54
Fiberdiameter [ $\mu\text{m}$ ]	50	400	n/a
Fokallängd [mm]	90	135	160
Fokaldiameter [ $\mu\text{m}$ ]	75	635	46
Effekttäthet, medel [MW/cm <sup>2</sup> ]	6,8	0,063	5,9
Effekttäthet, puls [MW/cm <sup>2</sup> ]	67,9	2,2	595,5
Typ av optik	Fix	Galvo	Galvo



Figur 23. Tvärsnitt genom lasersvetsade aluminium/koppar-förbindningar med en Q-switchad fiberlaser med fr.v. 1.700, 1.400 respektive 1.100 W effekt, där ett optimum för hållfastheten tycks ligga mellan 1.300-1.500 W.



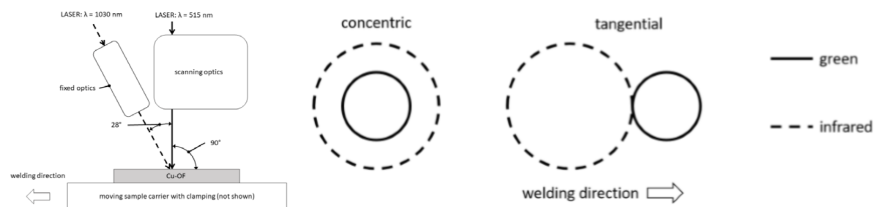
Figur 24. Tvärsnitt genom lasersvetsade aluminium/koppar-förbindningar med en ”single mode”- fiberlaser med fr.v. 200, 300 respektive 400 kHz, där ett optimum för hållfastheten tycks ligga mellan 300-400 kHz.



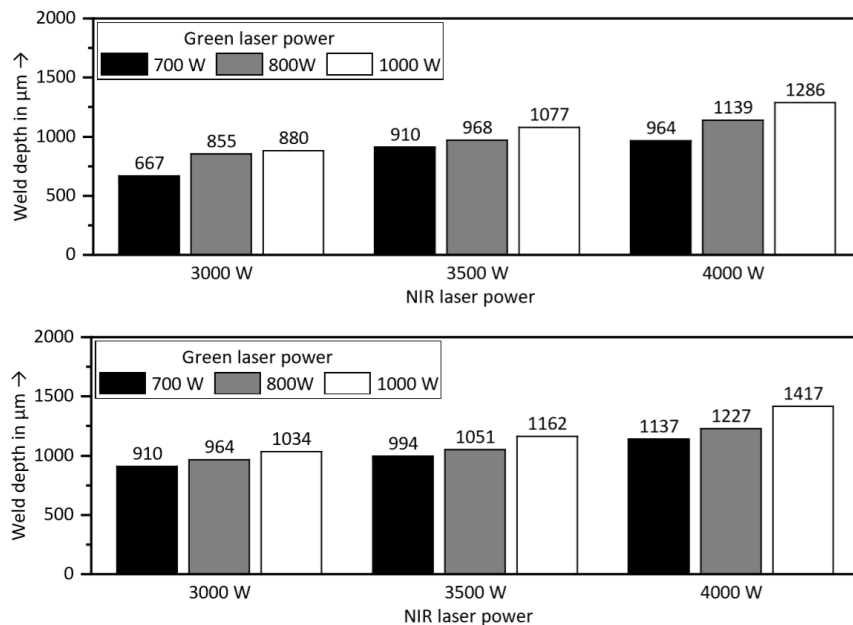
installerat över 1.000 lasersystem över hela världen, varav cirka 100 system med företagets speciellt utvecklade optiker för laserlödning. Dessa har ju beskrivits utförligt i tidigare nummer av LaserNytt, och här gav sympatiske Axel en kondenserad sammanfattning av laserlödning inom bilindustrin. Audi A3 var den första modell som använde en laserlodd bakdörr, men det stora tekniksprånget för Laserline var när man i samarbete med Volkswagen AG utvecklade optiken för en, enligt VW-nomenklatur, s.k. OR [Optimum Rektangulär] –spot. Bakgrunden var att VW fick problem med lödkvaliteten i takskarven då ytbeläggningen på takplåten byttes från elektrogalvanisering till varmförzinkning. Optiken, som kan integreras i exempelvis Scansonics ”ALO3”-verktyg [Fig. 28], delar laserstrålen i tre fokalpunkter, en större rektangulär som smälter tillsatstråden i CuSi3-legering och två mindre cirkulära, framföriggande punkter med lågt energiinnehåll som enbart rengör ytan. 2018 belönades man med det prestigefyllda priset ”Innovation Award Laser Technology” som utdelades i samband med AKL [Aachen Kolloquium für Lasertechnik] –konferensen i Aachen [Fig. 29]. Speciellt utmärkande för Laserlines lösning är att avståndet mellan de två förlöpande foki kan regleras steglöst, något som inte är möjligt med den konkurrerande lösning som marknadsförs av IPG. Numera kan energifördelningen i de olika fokalpunkterna styras via robotens kontrollsystem och inte ställas in manuellt vilket tidigare var fallet.

Laserlines senaste optiklösning är deras s.k. spot-in-spot, där en rektangulär och en cirkulär fokalpunkt superpositioneras över varandra. Storlek och energifördelning mellan punkterna kan varieras, men också deras inbördes läge så att origo för de två foki inte behöver sammanfalla. En asymmetrisk placering av fokalpunkterna kan vara gynnsam vid exempelvis kälsvetsar och då resultera i en djupare penetration [Fig. 30]. Processen blir en form av kombination mellan värmeledningssvetsning och keyhole-dito, och har förutom vid laserlödning gett högkvalitativa fogar vid lasersvetsning i aluminium.

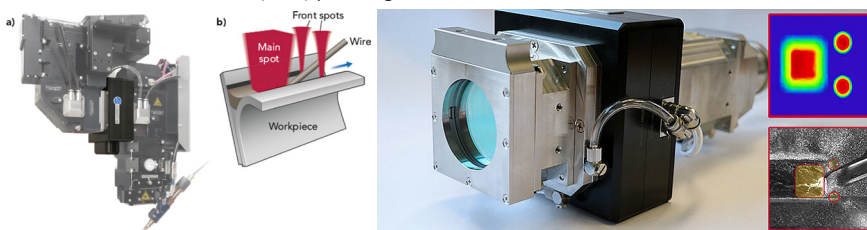
Fram till idag har Laserline levererat cirka 100 system av dessa avancerade optiker vilka med fördel kan kombineras med en höghastighetskamera för kvalitetskontroll. Axel avslutade sin presentation med några praktikfall. Ett handlade om svetsning av batterikassetter i aluminium, där man med ”spot-in-spot” tekniken kunde



Figur 26. Principskiss över försökupställningen (t.v.) samt de båda arrangemangen av fokalpunkterna; koncentriskt eller tangentiellt placerade.

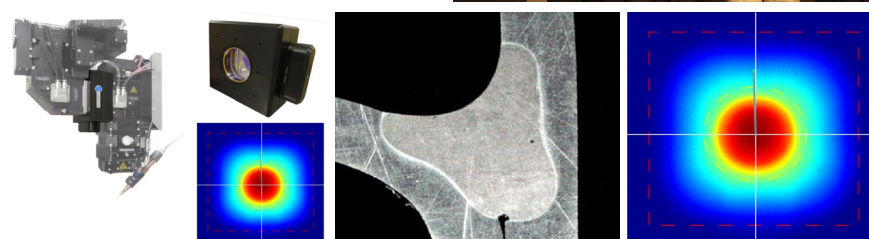


Figur 27. Resultaten från svetsförsök med olika effekter hos den gröna och den infraröda lasern ger en tydlig indikation på att ett tangentiellt (nedan) arrangemang av fokalpunkterna ger en djupare penetration i förhållande till en koncentrisk (ovan) placering.



Figur 28. Optiken för ”OR-spot”, eller ”trifokal” som processen också kallas, kan t.ex. integreras i Scansonics ALO3-verktyg (a). Principen illustreras ovan (b) och t.h. en närbild på optikutformningen.

Figur 29. De glada vinnarna av ”Innovation Award Laser Technology 2018”; fr.v. Markus Baumann (Laserline), Thorge Hammer (VW), Axel Luft (Laserline) själv, Meinulf Hinz (VW) och Andreas van Hove (Scansonic IPT).

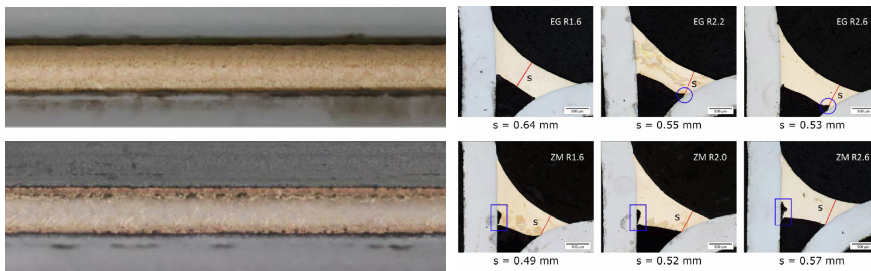


Figur 30. Laserlines senaste innovation, även den integrerbar i ALO3-verktyget, är en optik där två fokalpunkter med olika form och energitätthet överlagras. En asymmetrisk placering av de två foki kan ge en bättre inträngningsprofil vid lasersvetsning av kälfogar

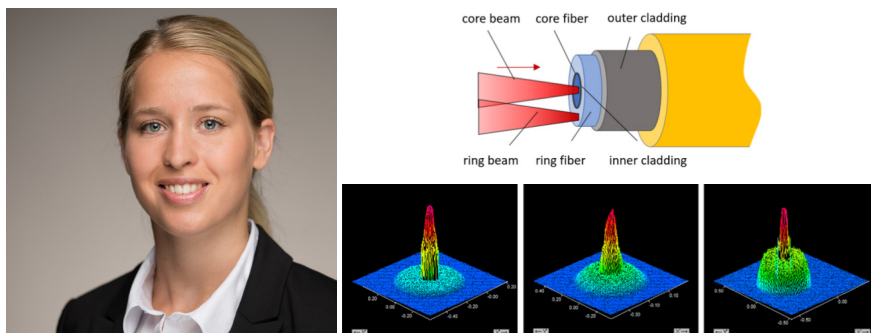
positionera svetsroten hos de aktuella kälfogarna på ett optimalt sätt. Lasereffekten var satt till 5 kW, framföringshastigheten till 4 m/min och man använde en 1,6 mm grov tillsatstråd i legeringen AlSi12. En annan aluminiumapplikation utgjordes av sidodörrar till en BMW-modell där 5XXX- och 6XXX-legeringar kombinerades. Därför hade man valt en tillsatstråd innehållande Magnesium som gav ett mycket tilltalande tvärsnitt hos svetsen, samtidigt som man fick en jämn övergång mot 5XXX-detallen och minimal inlösning i 6XXX-komponenten. Slutligen nämnde Dr. Luft att den asymmetriska positioneringen av fokalpunkterna även är fördelaktig vid svetsning av skarvade ämnen som består av plåtar med olika tjocklek.

Att Volkswagen-koncernen använder laserlödning i stor omfattning vid sin personbilstillverkning är allmänt känt, men man har även introducerat metoden på sina lätta transportfordon [CV = Commercial Vehicles] som företrädesvis produceras i fabriken i Hannover. Därför var ett samarbete med LZH naturligt då det gällde att validera laserlödning av s.k. ZM-plåt även kallad MagiZinc. Beläggningen utgörs här av en legering bestående av Zink, Aluminium och Magnesium, och ger bättre korrosionsskydd och formbarhetsegenskaper jämfört med andra Zink-baserade ytbehandlingar.

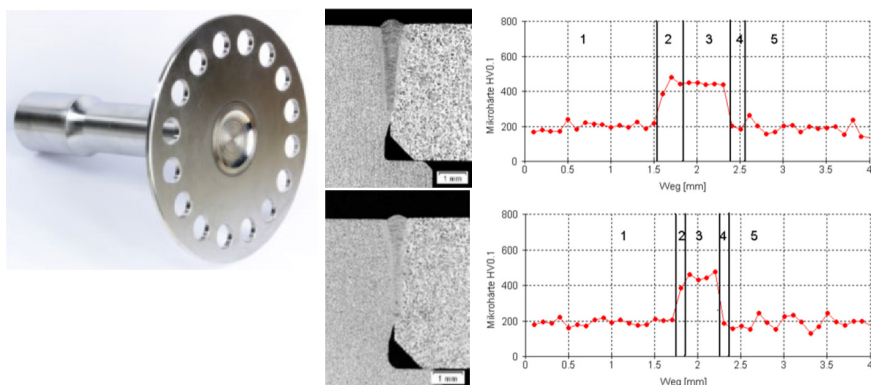
Lödförsöken, som presenterades av Steffen **Wachsmuth** [Volkswagen AG] hade genomförts med en laser av typen YLS-5000-BR från IPG, vilken är utvecklad speciellt med avseende på laserlödning, verktyget "ALO3" från Scansonic samt en 1,2 mm grov tillsatstråd i CuSi3-legering. Provkropparna var av typen dubbelflansad stumfog där bockningsradien i den nedre plåten hade varierats mellan 1,6 och 2,6 mm för att ge olika vätningslängder. Jämförelser hade gjorts genom att motsvarande laserlöda elektrolytiskt belagda [ZE] plåtar. För de senare användes 2,5 kW effekt, medan MagiZinc-beläggningen krävde en något högre sådan eller 2,75 kW. ZE-beläggningen gav fortfarande ett något bättre visuellt utseende, men man fick en viss anvisning vid radier större än 2,0 mm [Fig. 31]. Dyliga defekter uppstod inte för ZM-beläggningen, men å andra sidan fick man inneslutningar på lödfogens sida mot den övre plåten, vilket resulterade i en smalare bindzon och därmed lägre hållfasthet; 187 kN/mm jämfört med 228 kN/mm för ZE-beläggningen vid en bockningsradie på 1,6 mm. Genom att



Figur 31. Laserlödning av elförzinkad stålplåt (överst) ger ett bättre visuellt intryck jämfört med en s.k. MagiZinc-beläggning. Däremot uppstod för det mesta defekter på endera sidan av lödfogen (t.h).



Figur 32. Frau Bisch från Trumpf beskrev företagets "BrightLine"-fiber där energifördelningen i de båda fiberenheterna kan varieras steglöst, vilket illustreras ovan med en tilltagande lasereffekt i den yttre fiberkärnan.



Figur 33. En transmissionskomponent som svetsats med konventionell teknik (ovan) och med "BrightLine" (underst). Tvärsnitten indikerar en något smalare svetsbredd i "BrightLine"-fallet vilket går att relatera till den tre gånger högre svetshastigheten, medan hårdhetsprofilerna är jämbördiga.

öka radien kunde tjockleken, och därmed hållfastheten, hos den lastöverförande lödfogen ökas för ZM-beläggningen, medan man fick den omvända effekten för ZE-provkropparna.

Frau Stefanie **Bisch** från Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH exemplifierade hur företagets "BrightLine"-fiber applicerats på några bilapplikationer. Konceptet som även går under benämningen "2in1-fiber" baseras på en diskaser [TruDisc6001] från vilken det går en distributionsfiber som består av en kärnfiber och en omgivande dito [Fig. 32]. Numera kan energifördelningen i de båda fiberenheterna varieras steglöst inbördes varför det blir möjligt att skräddarsy fokalpunktens energitäthet allt efter behov och applikation, och Trumpf erbjuder nu även den speciella mjukvaran "BrightLine Weld

Professional" för optimal processinställning. Genom att nyckelhålet kan vidgas med denna teknik elimineras svets-sprut, samtidigt som man når högre svetshastigheter och en förbättrad svetskvalitet.

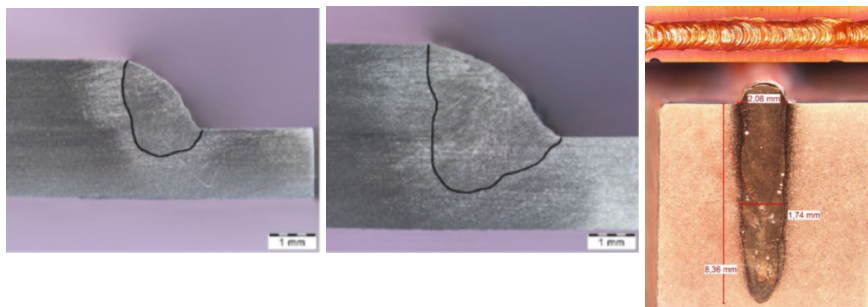
Ett praktikfall handlade om lasersvetsning av en transmissionskomponent där skaflet var tillverkat i 20MnCr5-material medan skivan som skulle fogas till denna bestod av 5 mm tjockt 16MnCr5 [Fig.33]. Här hade "Brightline"-fibern med 100/400 µm diameter jämförts med en 200 µm traditionell fiber. Om den senare användes med 3,4 kW lasereffekt nåddes en processhastighet på 5 m/min, men 5 kW effekt genom "BrightLine"-fibern gav hela 15 m/min i svetshastighet. Svetsbredden blev visserligen något smalare men hade ingen inverkan vid utmattningsprovning i torsionsmod då båda varianterna

uppvisade samma livslängd. Hårdheten i svetsgodset var också jämförbar och låg på mellan 450-470 Hv<sub>0,1</sub>.

Tekniken visade sig även vara framgångsrik vid kälvsvetsning av aluminiumlegeringar i 6XXX-kvalitet. Här hade man kunnat svetsa sprickfritt även vid så pass små kantavstånd som 3 mm och med korrekt positionerad infallsvinkel på laserstrålen, vilken manipulerades med skanner-verktyget Trumpf ”PFO 3D”, kunde spalter upp till 0,3 mm överbyggs. Maximala svets hastigheter för 1,0, 1,5 och 2 mm tjocka aluminiumplåtar låg på 10, 8 respektive 5 m/min [Fig. 34]. Slutligen visade Frau Bisch några exempel på där ”BrightLine“-tekniken använts vid svetsning av ren koppar [Cu-ETP (Electrolytic-Tough-Pitch)]. Med 16 kW lasereffekt och en framföringshastighet på 3 m/min hade man nått ett penetrationsdjup på 8,36 mm [Fig. 34]. Detta är en ökning med hela 40% jämfört med om en enkel fokalpunkt används. Svetsbredden mättes till 1,7 mm samtidigt som toppytan var fri från svets sprut.

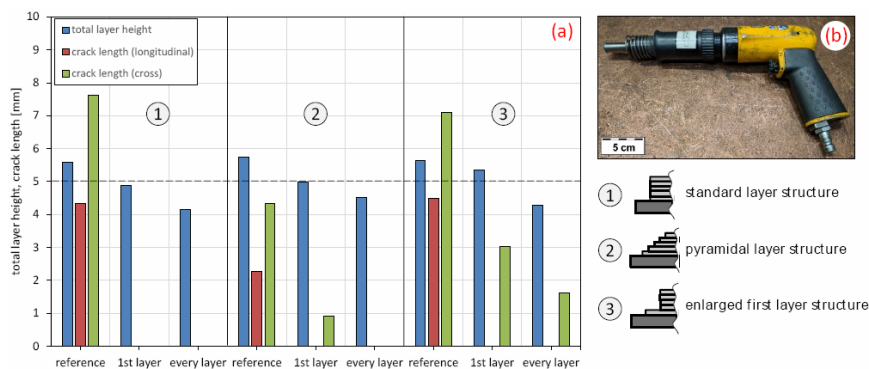
LMD används redan i stor utsträckning inom bilindustrin för att göra geometriförändringar och reparationer av pressverktyg. Nu fick vi en uppdatering i ärendet av Stefan **Belitz** som beskrev den senaste utvecklingen av tekniken hos Daimler AG. Där har man haft problem vid påläggningen så tillvida att det uppstod sprickor då de pålagda strukturerna översteg 2,4 mm i höjd. Därför vill man komplettera påläggningen med en 60 sekunder varaktig pneumatisk kulhamring för att nå målsättningen som är en 5 mm hög reparation.

Experiment hade utförts med gjutlegeringen EN-GJS-HB265, som har en hårdhet på 220-270 HB30 och en brott hållfasthet kring 675 MPa, som substrat-material. Pulvret som använts var ”3.33. LOWC” från Höganäs, vilket lagts på i fem överlagrade strängar med 1,65 mm inbördes avstånd. Lasereffekten var 1.100 W från en diodlaser [LDF 400/4000] från Laserline GmbH, och påläggningen skedde med en hastighet av 360 mm/min. ERLAS hade bidragit med sitt kombinerade härdnings- och påläggningsverktyg ”ERLASER®”, som manipulerades av KUKA-roboten ”KR480 R3330 MT”. Laserstrålen fokuserades till en 3,3 mm stor brännfläck och pulvret matades in i denna med 12 gram per minut med hjälp av utrustningen ”PF 4/4” från GTV. Tre olika påläggningsmönster hade utförts, standard, pyramidal och ett förstorat



Figur 34.

Svetsning med ”BrightLine” av den sprickkänsliga aluminiumlegeringen AA6082, i tjocklekarna 1,5 och 2,0 mm, med ett kantavstånd på blott 3 mm. T.h. en 40%-ökning av penetrationsdjupet vid lasersvetsning i ren koppar jämfört med traditionell, enkel fokalpunkt.

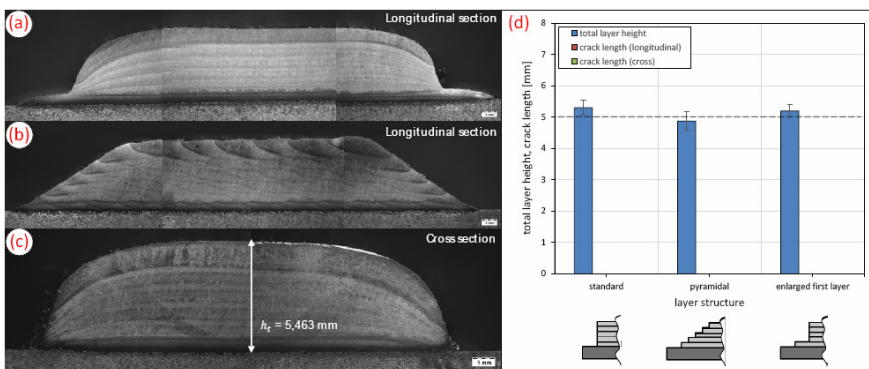


Figur 35.

Effekten av kulhamring för tre olika påläggningsmönster, där referensen utgjordes av en icke efterbehandlad variant. Operationen gjorde att standardbyggsättet blev helt sprickfritt medan övriga endast uppvisade mycket små tvärsprickor.

Figur 36.

Att använda sig av ett buffertlager möjliggjorde en högre och sprickfri uppbyggnad, men p.g.a. de använda pulvrens låga kvalitet, PlasWeld Ferro 702 (1) och SW-Powderfort-P (3), fick man istället porositet i buffertlagret.



Figur 37.

Ett enklare sätt att åstadkomma en sprickfri påläggning och nå den eftersträfvade bygghöjden på minst 5 mm var att öka fokalpunktens storlek från 3,3 till 5,0 mm. Detta gjorde att alla de tre byggnings-sätten gav helt sprickfria resultat.

första lager, varav endast det förstnämnda gav ett helt sprickfritt resultat, medan för de övriga två det inte gick att undvika mindre tvärgående sprickor [Fig. 35]. Dock uppvisade inga av de kulhamrade objekten några längsgående sprickor, vilka annars var vanligt förekommande då denna efterbehandling inte gjordes. Man hade undersökt möjligheterna för tjockare strukturer genom att använda ett s.k. buffertlager med ökat Nickel-innehåll i form

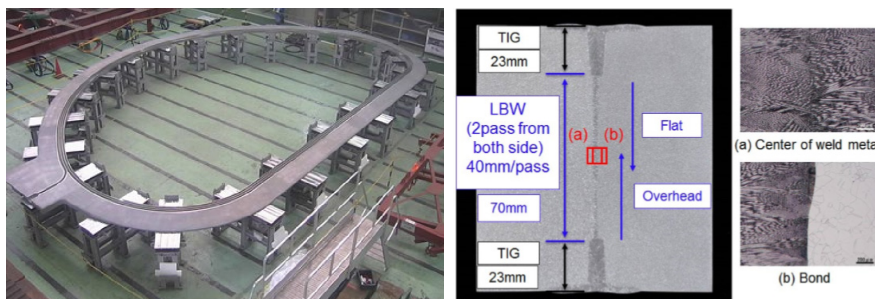
av pulvermaterialen ”SW-Powderfort-P” från företaget DEW och ”UTP PlasWeld Ferro 702” från voestalpine, men dessa visade sig vara av så pass låg kvalitet att man fick en avsevärd porositet i buffertlagret [Fig. 36]. Bättre var då att istället använda en större fokalpunkt på 5 mm diameter för att kunna använda en del av laserenergin till att förvärma substratet [Fig. 37]. Beträffande framtiden meddelade diplomingenjör Belitz att man vill utveckla

ett påläggningsverktyg där fokusläget kan varieras i realtid samt att på något sätt integrera kulhammaren i detta verktyg!

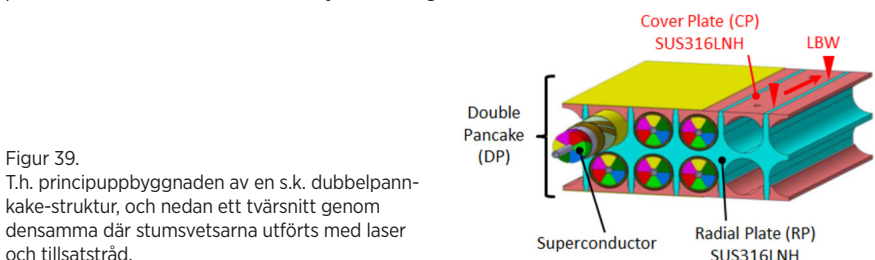
### Andra industriella applikationer

Ett imponerande exempel på lasersvetsning presenterades av Shuho **Tsubota** från Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Research & Innovation Center i Takasago, Japan. Här handlade det om svetsning av en fusionsreaktor för den experimentella anläggningen ITER [International Thermonuclear Experimental Reactor]. Reaktorn byggs upp av radialplattor som mäter 13×9 meter. Dessa utgör anläggningsplan för de magnetiska superledarna, och det hela tillsluts därpå med ett antal täckplattor. Dimensionsnoggrannheten är av yttersta vikt för att uppnå reaktorns krav på verkningsgrad. Sålunda ligger planhetskravet för de sammansatta induktions-spolarerna inom 3 mm, vilket indikerar att svetsningen måste ske med en kontrollerad värmeförsel något som har motiverat valet av lasersvetsning. Radialplattorna består av 10 segment med en tjocklek på totalt 120 mm, och materialet är austeniskt rostfritt stål i kvalitet SUS316LNH. Stumfogarna utförs genom att man lägger en centrisk 70 mm lång rotsträng genom att simultant lasersvetsa från två håll med ett penetrationsdjup kring 40 mm, varpå de 25 mm djupa fyllnadssträngarna sker med manuell TIG [Tungsten Inert Gas] –svetsning [Fig. 38]. Täckplåtarna, vilka är tillverkade i samma rostfria kvalitet som radialplattorna, svetsas sedan till dessa i en automatiserad process med 2 kW lasereffekt, framföringshastigheten 1 m/min och en trådmatning mellan 300 och 750 mm/min. Det krävs 462 sådana täckplattor för att skapa den önskade förslutningen av denna typ av ”dubbelpannkake-struktur” [Fig. 39], vilket innebär att den totala svetslängden per radialssegment uppgår till 1,5 kilometer(!), och totalt består reaktorn av 18 sådana segment.

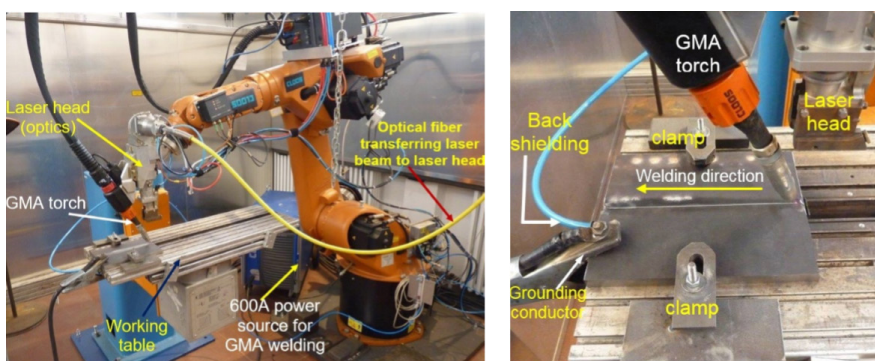
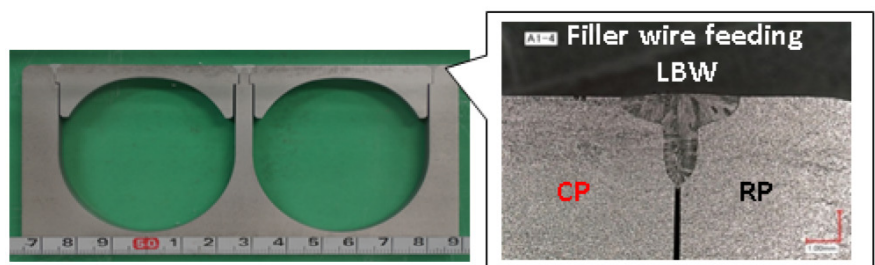
Lasersvetsning av tjocka plåtar var temat även för Sergej Gook från Fraunhofer IPK [Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik], men här handlade det om laserhybridsvetsning av 14,5 mm tjockt X8Ni9-material [EN10028-4] för LNG [Liquid Natural Gas] –tankar. Utrustningen bestod av en Yb-fiberlaser på 20 kW från IPG med en BPP [Beam Parameter Product] på 11,5 mm\*mråd. Laserverktyget var HighYags ”BIMO” med en fokallängd på 350 mm, vilket gav en brännfläck med 0,56 mm diameter, vilken placerades 3 mm ner i materialet.



Figur 38. Radialplattorna till den aktuella reaktorn mäter 13×9 meter och byggs upp av 10 segment som mäter cirka 120 mm i tjocklek. Svetsningen sker från två håll där rotsträngen, som är utförd med laser, kompletteras med manuellt TIG-svetsade fyllnadssträngar.



Figur 39. T.h. principupbyggnaden av en s.k. dubbelpannkake-struktur, och nedan ett tvärsnitt genom densamma där stumsvetsarna utförts med laser och tillsatsstråd.



Figur 40. Försökupställningen för laserhybridsvetsning hos Fraunhofer IPK med en närbild av det använda laserverktyget ”BIMO” från HighYag.

Bågsvetsutrustningen var en ”Qineo Pulse 600A” från Cloos där den ledande brännaren lutades 25° i svetsriktningen [Fig. 40]. Svetshastigheten låg kring 2 m/min då 18 kW lasereffekt användes.

Två olika tillsatsstrådar hade utprovats; den kommersiella austenit-baserade ENiCrMo-3 och en av Böhler experimentellt tillverkad ferritisk tråd [Thermanit 11TT]. Den austenitiska tillsatsstråden gav en inhomogen kemisk sammansättning i svetsgodset och resulterade i väldigt låga slagseghetsvärden. Betydligt bättre resultat fick man då den ferritiskt baserade tråden, som har ett Nickel-innehåll motsvarande det i substratmaterialet, användes [Fig. 41]. Slagsegheten var här som bäst vid en

trådmatning på 18 m/min och noterades till 134 J vid -196 °C. Vid långsammare trådmatning fick man lägre Charpy-värden och det tycks föreligga ett linjärt förhållande mellan trådmatningshastighet och hårdheten i svetsgodset. Slutligen kan nämnas att draghållfastheten låg på 720 MPa oavsett trådmaterialet, där brottet alltid skedde i grundmaterialet.

Lättviktskonstruktioner har även börjat aktualiseras inom skeppsbyggnadsbranschen och om detta berättade välbekante Stefan **Kaierle** från LZH. Ett i sammanhanget riktat lättviktsprojektet är LaSAAS [Laser beam welding of steel to aluminium for use in shipbuilding] där förutom LZH vi hittar ett tiotal andra intressenter. Dessa

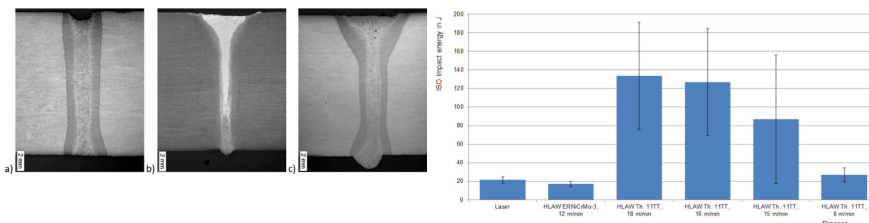
är Precitec, Scansonic och Trumpf, Druckguss Service Deutschland i Lübeck och Hilbig i Seevetal, samt skeppsvarven Fr. Lürssen Werft i Bremen, och Meyer Werft i Papenburg. Avsikten är att bygga skroven i stål medan överbyggnaden tillverkas i aluminium. Därmed ställs man inför det klassiska problemet hur dessa artolika material skall sammanfogas. En tänkbar metod är explosionssvetsning men denna kräver vanligtvis stora anliggningsytor i fogen vilket gör att mycket av viktsbesparingen går förlorad. Därför har man i Hannover tittat på lasersvetsning som ett alternativ där basala försök utförts med materialen S355 och AW-6082-legering i tjocklekarna 58 respektive 8 mm. En TruDisc 16002-laser från Trumpf och ett svetsverktyg från Scansonic hade använts vid försöken där aluminiumet placerats underst för att undvika en alltför stor inblandning av spröda aluminiumfaser i svetsgodset [Fig. 42].

Spricklängden hade mätts upp i förhållande till sträckenergi och inblandning av aluminium, där en andel under 15% gav bästa resultat. Man hade även tittat på svetshållfastheten under själva svetsoperationen och kunnat konstatera att initialt ökar hållfastheten p.g.a. en tillväxande svets men avtar sedan allteftersom sprickor uppstår. Dock har man med enbart lasersvetsning kunnat uppnå tillfredsställande hållfasthet varför man enligt den gode Stefan tagit fram vad man kallar en adapter-lösning. Denna innebär att man placerar en prefabricerad sandwich bestående av stål/aluminium [Fig. 42] mellan de båda artolika komponenterna. Med denna adapter har hållfasthetsvärden kring 44 kN uppnåtts vilket är i paritet med vad som går att åstadkomma med explosionssvetsning.

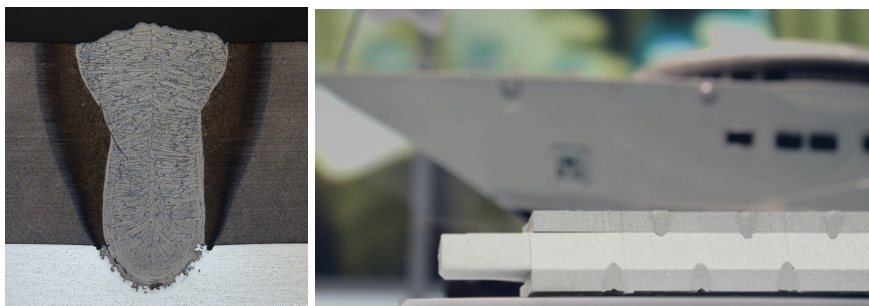
### Application Panel Additive Manufacturing

Teknologier för additiv tillverkning förändrar industriella värdekedjor och möjliggör nya affärsmodeller. Innovativa produkter med nya inbyggda funktioner kan skapas genom ”lager-för-lager”-tillverkning och därtill hörande designfrihet. Dessa möjligheter innebär emellertid också stora utmaningar i form av hur dessa teknologier skall kunna integreras i stabila, såväl fysiska som digitala, processflöden.

Panelen leddes av ”radarparet” Dr. Wilhelm Meiners och Dr. Lucas Jauer [Fraunhofer ILT] där den förstnämnde, som efter en lång forskargärning vid ILT



Figur 41. Tvårsnitt genom fr.v. autogen lasersvets, samt hybridsvetsar med austenitisk respektive ferritisk tillsatsstråd där den senare ger särklassigt bästa slagseghet.



Figur 42. Vid LaserZentrum i Hannover har man nått bra resultat vid lasersvetsning av stål till aluminium genom att placera aluminiumpartnern underst för att undvika en alltför hög inblandning av spröda aluminiumfaser i svetsgodset. Resultaten är så lovande att man valt att ta fram en s.k. adapter-lösning (t.h.) med vars hjälp det går att svetsa samman artolika material.



Figur 43. För att öka produktiviteten vid pulverbäddstillverkning har Trumpf utvecklat ett koncept med utbytbara byggcylindrar där pulverhantering och SLM-processen separeras.

Figur 44. En faktor som är begränsande för SLM-processens produktivitet är avlägsnandet av stödstrukturer vilket ofta sker manuellt. En automatiserad lösning vore därför önskvärd, men något sådant ser Trumpf inte vara realiserbart inom den närmaste framtiden.



i Aachen, numera representerar Trumpf Laser & Systemtechnik GmbH. Därför var det inte förvånande att han inledde med att göra lite reklam för produkterna TruPrint1000, TruPrint3000 och numera även TruPrint5000 med 3 parallellt arbetande skanner-verktyg, vart och ett kopplat till en 500 W-laser, samt tre byggplattor. Därefter fortsatte Dr. Meiners med att beskriva ett nytt koncept från Trumpf där man separerar pulverhanteringen från själva SLM-processen [Fig. 43]. Byggplatta med 300 mm diameter, pulverförvaring och matarutrustning finns allt integrerat i en utbytbar cylinder. Tanken är att med detta koncept kunna öka produktiviteten genom att en ny cylinder med hjälp av en hanteringsrobot sätts in i SLM-maskinen samtidigt som den cylinder som bär ett färdigbyggt objekt plockas ut. Byggplat-

tan kan förvärmas upp till 500 °C, och som processövervakning erbjuder man Trumpfs egenutvecklade ”TruTops”-system.

Förutom den låga produktiviteten vid SLM-tillverkning är avlägsnandet av stödstrukturer en annan ”Akilleshäl” [Fig. 44]. På min fråga om Trumpf tittar på någon form av automatisering av detta svarade Dr. Meiners att så inte var fallet. Idag används exempelvis en mindre miljövänlig etsningsprocess, och han menade att det bästa är att utforma konstruktionen med en minimal stödstruktur då en sådan inte bara tar tid vid borttagning utan också under byggnationsfasen.

Näste talare var Christoph Hauck från företaget Toolcraft. Detta ligger i Georgsmünd nära Nürnberg, grundades 1989 och har idag 390 anställda med bl.a.

en egen konstruktionsavdelning. Annars är den dominerande verksamheten maskinbearbetning och för detta ändamål finns olika CNC [Computer Numerical Control] och EDM [Electrical Discharge Machining = gnistning] -maskiner, men också utrustning för formsprutning. Sedan några år tillbaka har man valt att satsa på additiv tillverkning och har idag en synnerligen imponerande maskinpark. Denna består av en EOS M290, ConceptLaser-maskiner av Modellerna M1 och M2, samt inte mindre än fem stycken TruPrint3000 [Fig. 45]. Därutöver har man planer på att i år installera Trumpfs nya TruPrint5000-maskin.

Eftersom rymd- och flygindustri är stora kunder är Toolcraft certifierat mot DIN EN9100 men också enligt de krav som specificeras av NadCap. Detta är en organisation där ett antal amerikanska bolag inom aerospace gått samman för att skapa ett regelverk över vilka krav som skall uppfyllas innan ett företag tillåts producera komponenter till denna industri. Bl.a. finns här regler för hur kvalitetskontroll skall utföras och hur produktionsmiljön är utformad. Dess renhetsgrad är avgörande för kvalitetsutfallet och här berättade Herrn Hauck att luften i produktionsområdet måste bytas fullständigt var sjätte timme! Därpå följde en kavalkad över ett antal tillverkade produkter, såsom;

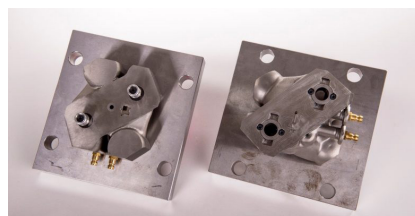
- 3D-printade formsprutningsverktyg för tillverkning av kameradetaljer åt Leica [Fig. 46]
- Styrvingar på gasturbiner åt MAN Energy Solutions tillverkade i Inconel718 där den tidigare generationen bestod av 144 delar, men med SLM endast kräver ett tiotal separata enheter
- En ihålig struktur till ett flygroder åt företaget Diehl
- Turbinhjulet för en turboladdad gasturbin åt ABB Turbo Systems
- Turbinblad åt Deutsche Bahn i en Nickelbas-legering för att generera elektricitet från ånga hos gamla, klassiska "vintage"-lokomotiv
- Brännarmunstycke med en funktionsintegrerad design åt Siemens Turbomachinery GmbH [Fig. 46]

Min fråga här gällde monitorering on-line för att säkerställa produktkvaliteten, och svaret blev att detta naturligtvis är av intresse, men där dagens CT [Computer Tomography] -skanning har svårt att hitta inneslutna porer i material med hög densitet som exempelvis Inconel718.

Därefter kunde vi lyssna till Dr. Sebasti-



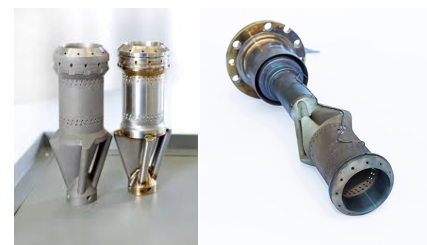
Figur 45. Christoph Hauck (t.v.) gav en intressant redogörelse för hur företaget Toolcraft valt att satsa stort på additiv tillverkning, där man i en imponerande maskinpark även förfogar över inte mindre än fem stycken TruPrint3000 (t.h.).



Figur 46. 3D-printade formsprutningsverktyg för kameradetaljer och funktionsintegrerade brännarmunstycken är några av de produkter som tillverkas hos företaget Toolcraft i Georgensgmünd.

an **Piegiert** från Siemens Gas & Power AG. Som namnet indikerar är gasturbiner det stora produktområdet vilket inledningsvis exemplifierades med "arbetshästen" SGT5-8000H på 540 MW med en verkningsgrad strax över 63%. Brännkammarna består av ytterst komplexa detaljer väl lämpade för SLM-tillverkning, liksom turbinblad som tillverkas av Nickel-baserade superlegeringar för att kunna motstå de höga temperaturer som uppstår under drift av gasturbinen. Med hjälp av mjukvaruprogrammet DfAM [Design for Additive Manufacturing] har man tillverkat brännarmunstycken för turbinen SGT-700/800 som vid livslängdsprov visat sig klara 12.000 driftstimmar. Topparna på dessa munstycken förslits över tiden och måste därför repareras med jämna mellanrum. Sedan 2013 har Siemens helt gått över till att utföra sådana reparationer med additiv teknik, och har därmed hittills rekonditionerat över 2.000 detaljer. En spridarenhet för SGT-750 repareras på samma sätt, också detta sedan 2013 [Fig. 47].

Dr. Peigert pekade på nödvändigheten av att konstruera för additiv tillverkning, något som man realiserat genom att med SLM kunna integrera funktioner i ett brännarmunstycke. Detta har inneburit att man reducerat antalet ingående detaljer från 13 till en enda samtidigt som 18 stycken svetsfogar kunnat exkluderas. Denna nya design har tagits fram med hjälp av s.k. Multi-Physics Topology Optimization, en programvara som inte bara tar hänsyn till förekommande belastningar utan även luftflödet och temperaturen i kylkanalerna. Samma mjukvara hade använts vid optimering av kylkanalerna i



Figur 47. Brännarmunstycken och en spridarenhet vilka rekonditionerats genom additiv tillverkning hos Siemens Gas & Power AG.



Figur 48. En inblick i Siemens' kliniskt rena anläggning i Finspång.

brännkammare för gasturbiner. För processsimulering använder Siemens sin egenutvecklade "Nx Additive Platform", och man har idag kvalificerat sex olika pulvermaterial att användas vid AM-tillverkning som exempelvis Inconel-varianterna 625 och 718, rostfritt 316L och Hastelloy X. Slutligen fick vi en insyn i koncernens maskinpark för SLM med 21 enheter i Worchester U.K., 15 stycken i svenska Finspång [Fig. 48], samt 3 maskiner i Orlando, FL, 2 i Berlin och 1 i Charlotte, SC. Dock är det enbart i Finspångsfabriken som någon form av monitorering av processen sker, och då endast i syfte att samla in produktionsdata. ■

Fortsättning i nästa nummer

# Inspirerande varianter av laserfogning på IIW evenemang

Alexander Kaplan  
Luleå tekniska universitet

Alexander Kaplan, professor och ämnesföreläsare i produktionsutveckling på Luleå tekniska universitet, LTU, rapporterar om IIWs Commission IV General Assembly och International Conference Bratislava, Slovakien, som hölls 7-12 juli 2019.

Inledningsvis, för de som inte känner till IIW, The International Institute of Welding, så är det en stor och väl fungerade organisation som samordnar kompetens inom svetsning och närliggande områden såsom skärning, Additive Manufacturing (AM), materialegenskaper, mekanisk provning, standardisering etc. Organisationen är indelad i olika arbetsgrupper (Commissions). Ett stort evenemang organiseras i juli varje år, detta år i Slovakiens huvudstad Bratislava. Evenemanget delas in i tre dagars General Assembly för arbetsgrupperna följt av två dagars konferens. Jag kommer här berätta om laserrelevanta presentationer på konferensen samt Commission C IV "Power Beam Processes" (där jag hade rollen som svensk delegat) som i första hand adresserar laserbearbetning men även elektronstråleapplikationer. Dessutom brukar C IV (koordinerad av laserhybridsvetsexperten Herbert Staufer, Fronius, Österrike) samordna en dag med tre andra arbetsgrupper, särskilt på grund av synergier med ljusbågstekniker.

Laserbearbetning behandlas även i andra arbetsgrupper, särskilt Commission I, som handlar om skärning, ytbehandling och nyligen även AM. Traditionellt deltar en betydande svensk delegation på IIW, fördelat på olika arbetsgrupper. Tack vare



Figur 1.  
Den svenska delegationen på IIW i Bratislava

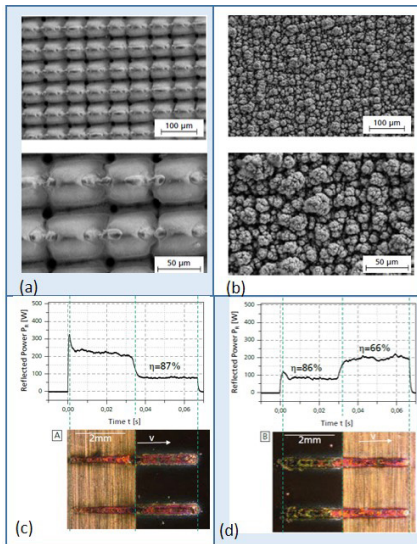
samordning av den svenska Svetskommissionen, särskilt laserdoktor Peter Norman, brukar vi träffas för gemensam lunch vilket är ett utmärkt tillfälle för nätverkande. Den här gången hade vi cirka 30 svenska deltagare, se **figur 1**, bl. a. många forskare från Högskolan Väst, men även många industrirepresentanter. Commission IV hade kring 40-50 deltagare men blev mycket större under den gemensamma dagen med de andra tre arbetsgrupperna.

Av de många relevanta presentationerna på C IV och konferensen (dvs bortsett från andra Commissions) adresserade 27 lasersvetsning, sju laserhybridsvetsning, en hårdlödning, åtta Laser Additive Manufacturing (LAM) och två laserytbehandling. Dessutom kan nämnas sju presentationer om elektronstrålebearbetning och nio om Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM).

## Lasersvetsning

Bland de många föredragen om **lasersvetsning** så är det värt att nämna att Fraunhofer ILT Aachen visade att den svaga strålabsorptionen i kopparsvetsning kunde förbättras betydligt genom lämplig lasertexturering av ytan. Periodiska och icke-periodiska strukturer skapades på ytan, se **figur 2 (a), (b)** vilket inte bara underlättade att processen initierades utan även såg till att den fortsätter stabilt, se **figur 2 (c), (d)**. Den vanligtvis låga absorptionen av laserstrålen från fiberlaser (kring 1070 nm) i kopparkunde ökas från 2% upp till 85% beroende på texturmorfologin.

För periodisk sömsvetsning (stitch welding) med laser, en teknik som ofta används i karosstillverkning, genomförde ESAB i USA Finita Element (FE)-beräkningar av de mekaniska restspänningar som skapas, för att kunna optimera processen.



Figur 2. (a) Regelbunden periodisk lasertextur på en kopparpårta, (b) slumpmässig lasertextur, (c) reflekterad effekt ( $\eta$  är motsvarande absorption) som funktion av tid och motsvarande svetsspår uppifrån, från obehandlad till texturerad kopparpårta, och (d) från texturerad till obehandlad kopparpårta.

Dr. Okubo från Nihon University, Chiba, Japan gjorde en systematisk jämförelse av resultaten från svetsning av olika kombinationer av aluminiumlegeringar (dvs dissimilar welding). Laserstrålsvetsning jämfördes med elektronstrålsvetsning, friktionsomrörningssvetsning (FSW) och motståndspunktsvetsning. Den optimala svetstekniken berodde på materialkombinationen.

Varmsprickbildning under pulsad lasersvetsning av en nickellegering undersöktes genom att mäta temperaturcykeln. Genom att optimera pulsformen och temperaturförloppet, se **figur 3**, kunde materialet svetsas utan sprickor. I en annan undersökning visade FE-beräkning de kritiska regionerna och dragspänningar i svetsgeometrin, **figur 4(a),(b)**. En teori med två olika stelningsförlopp i smältans undre del presenterades, **figur 4(c),(d)**, som är avgörande för om sprickbildning sker eller inte. En variant av varmsprickbildning är liquidation cracking som undersöktes djupt, på atomnivå.

För nyckelhålrundsvetsning, t ex rör, kan man undvika startdefekter genom lite överlapp, däremot inte kraterbildning i stoppunkten, vilket undersöktes och optimerades hos BAM, Berlin, t ex genom att minska lasereffekten mot slutet eller genom ytterligare en svetsning, i värmedningsmodus.

För lasersvetsning av plast till höghållfast stål har den så kallade LAMP-teknik utvecklats

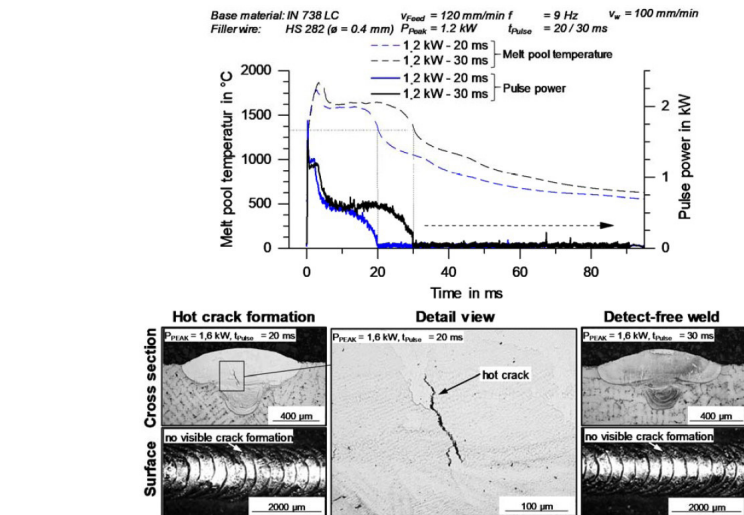
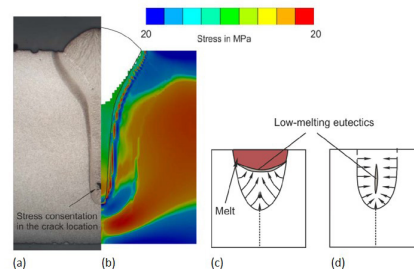
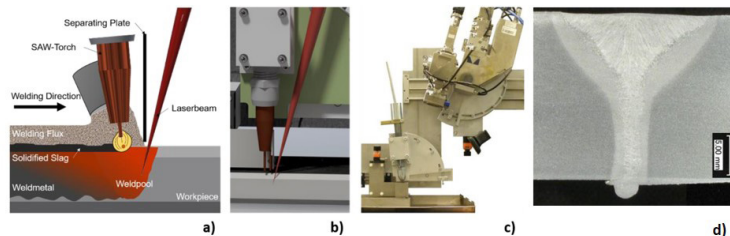


Figure 3: Influence of the pulse duration on the time-temperature-regime of the melt pool and the resulting macro- and microstructure

Figur 3. Bild ovan: två olika laserpulsprofiler över tid och motsvarande temperaturcykler; nedan: resulterande svetsförband visad i tvärsnitt och uppifrån, med (vänster, mitten) och utan (höger) varmsprickbildning.



Figur 4. Lasernyckelhålsvetsning: (a) tvärsnitt av en lasersvetsfog med en varmspricka längst ner, (b) motsvarande beräkning av den transversala mekaniska spänningen; (c) stelningsskikt i smältan på undersidan, med gynnsam geometri, (d) med geometri som skapar varmsprickor.



Figur 5. Hybridsvetsning laser med SAW: (a) princip av tekniken, (b) CAD-modell av ljusbågelektroden och laserstråle, (c) system, (d) resulterande svetsgeometri

lats tidigare och undersöktes här vidare, särskilt med FE-beräkning.

Intressant och inspirerande är trenden att undersöka ytterligare varianter av lasersvetstekniker.

Medan laserhybridsvetsning med en kombination av laserstråle och gasmetallbågsvetsning är mer etablerad så är kombinationen av laser med pulverbågsvetsning (Submerged Arc Welding, SAW) en helt annan variant med andra möjligheter och utmaningar eftersom den använder pulver, se **figur 5**.

Det är sedan tidigare känt att lasersvetsning i vakuumkammare brukar ha ett antal fördelar som stabilare svetsning p g a mindre ångstörningar (och processfluktuationer), ingen oxidbildning samt djupare och snabbare svetsning, såklart

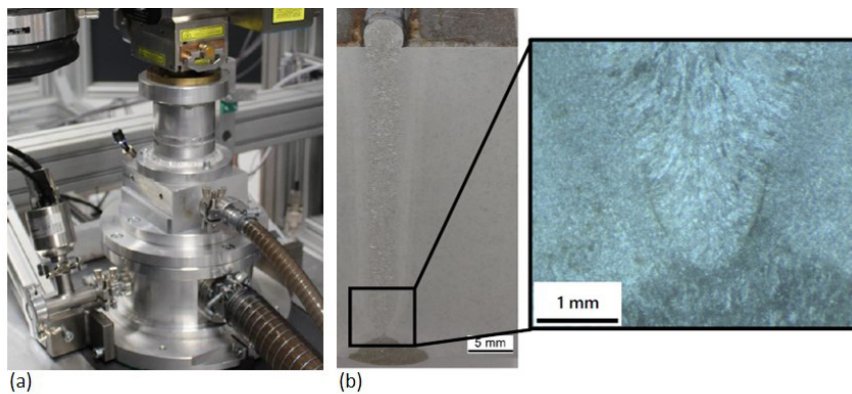
med nackdelen att evakuering kostar tid och en vakuumkammare kostar pengar. Ett betydligt lägre vakuum (högre tryck) jämfört med elektronstrålsvetsning brukar räcka för dessa fenomen. En imponerande variant är en mobil vakuummiljö, **figur 6(a)** genom ett munstycke som skapar ett lokalt vakuum (egentligen undertryck om man vill vara noggrann) ovanför svetsen. Processen kallas LAVA, som kommersialiserats i ett eget företag och presenterades här i samarbete med Fachhochschule Aachen. Förutsättningen är att man inte svetsar genom (då blåses hela smältan ut på rotsidan, eftersom det är atmosfärstryck på undersidan av plåten) utan istället har en stängd rot-design, t ex som i **figur 6(b)**. LAVA-tekniken har t ex använts för att svetsa ihop delar som

skapats genom AM. Porbildning på svetsgränsen var ett problem som löstes genom strålscillation.

En annan applikation som BAM/Berlin visade var svetsning av duplexa rostfria stålplåtar (med 5% Ni-halt) där kanterna (dimension 100 mm x 15 mm) först blev pulverbelagt med samma material blandat med en nickel-legering (så att det blev 12 % Ni-halt), genom laserpåsvetsning, **figur 7(a)**. Sedan svetsades två plåtar med belagda kanter ihop med laser, **figur 7(b)**. Här var ett välbalanserat förhållande mellan austenit och ferrit i resulterande mikrostruktur ett krav, vilket uppfylldes p g a kantbeläggning som agerar som tillsatsmaterial med lämplig kemisk sammansättning.

Själv presenterade jag en del av våra omfattande resultat från EU-projektet OptoSteel som vi på LTU koordinerar, där mikrostrukturen i svetsfogen optimeras för hög slagseghet för två stålsorter; (i) höghållfast Quenched & Tempered stål (Q+T) där det knappast finns tillsatstråd som matchar hållfastheten av 960 MPa eller 1100 MPa; (ii) höghållfast pipeline stål X80 eller X100 där standarden för slagseghetsprovning istället för -40°C ska klara -60°C eller till och med -80°C, t ex för norska oljeplattformar som ska byggas ännu mer norrut än idag, i kallt klimat. De svetstekniker som vi gemensamt med våra partners undersökte var hybridsvetsning (laser-ljusbåge), se **figur 8(a), (d)** och Narrow Gap Multi-Layer Laser Welding, NGMLW, se **figur 8(b), (c)**. För hybridsvetsning av upp till 30 mm tjocka stumfogar var dubbelsidig svetsning en lämplig teknik. NGMLW är en helt annan teknik med andra möjligheter som skapades genom överlagring av 1 mm tjocka lager, på samma sätt som i laserpåsvetsning, eller LAM. Ett av huvuduppgifterna här var att undersöka svetsstrådar med nya kemiska sammansättningar där bra blandning av svetsstråd med grundmaterial även i djupare regioner är ett viktigt krav.

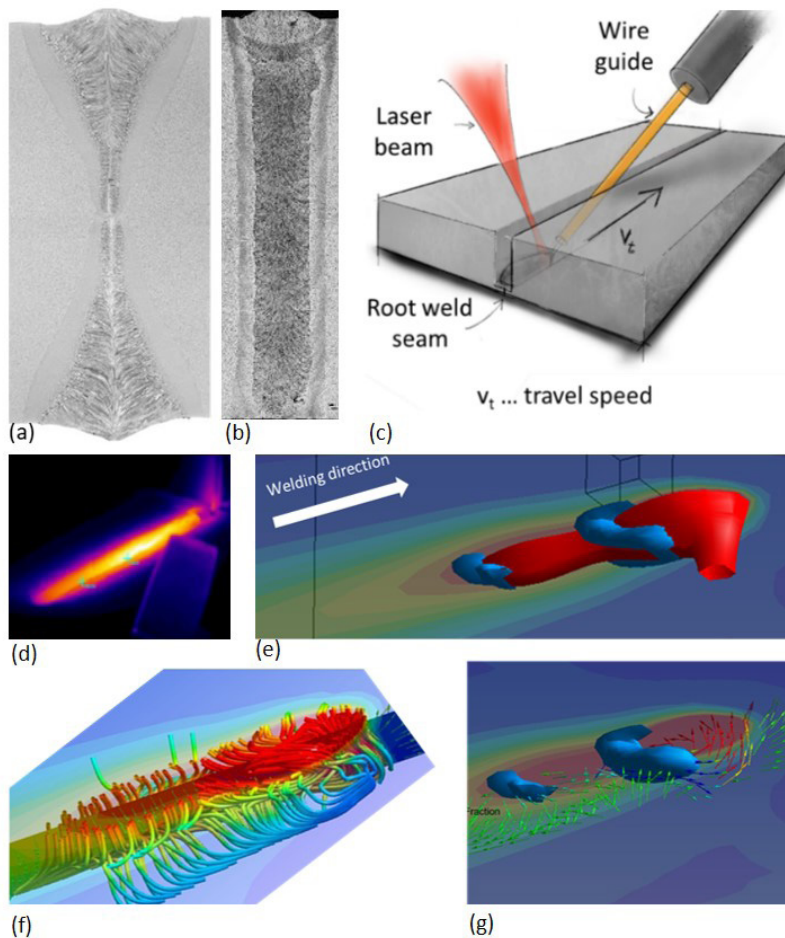
Därför genomförde forskningsinstitutet AIMEN i Vigo, Spanien, förenklade CFD-beräkningar (Computational Fluid Dynamics). Beräkningsresultat i **figur 8(f), (g)** visar den komplexa strömningen i smältan. I **figur 8(e), (g)** ser man att svetsstråddroppen som går in i i smältpölen föredrar att stanna på ytan, och bara en del dyker längre ner. Bättre blandning lyckades man med genom vissa åtgärder, t ex högre lasereffekt eller förvärmning.



Figur 6. (a) Mobil enhet för lasersvetsning under lokalt vakuum, (b) resulterade svetsvärsnitt (under 15 mbar tryck), och förstoring av svetsroten (som först förseglades med en TIG-svetsning på botten).



Figur 7. (a) Duplex rostfria stålplåt med ett laserpåsvetsat lager med högre Ni-halt; (b) lasernyckelhålssvetsat förband (laser kom från vänster, stråleffekt 14 kW) av två belagda plåtar som svetsats i stumfog



Figur 8. (a) Tvärsnitt av dubbelsidig laserhybridsvetsning (LAHW; S960 stål, 30 mm tjock), (b) tvärsnitt av NGMLW (S960 stål, 30 mm tjock, 28 lager varje kring 1 mm tjock, plus 2 mm rotlasersvetsning), (c) princip av tråd- och laserstråletillförsel i NGMLW, (d) infraröd-kamerabild av laserhybridsvetsning, (e) CFD-beräkning av smältpölgeometri (röd) och tillfört tillsatsmaterial (en droppe, blå), vy underifrån, plus isotermer på ytan (laserhybridsvetsning), (f) motsvarande smältflödetrajektorier (färger: temperatur), (g) motsvarande vektorfält av smältflöde och geometri av tillsatsmaterial (blå)

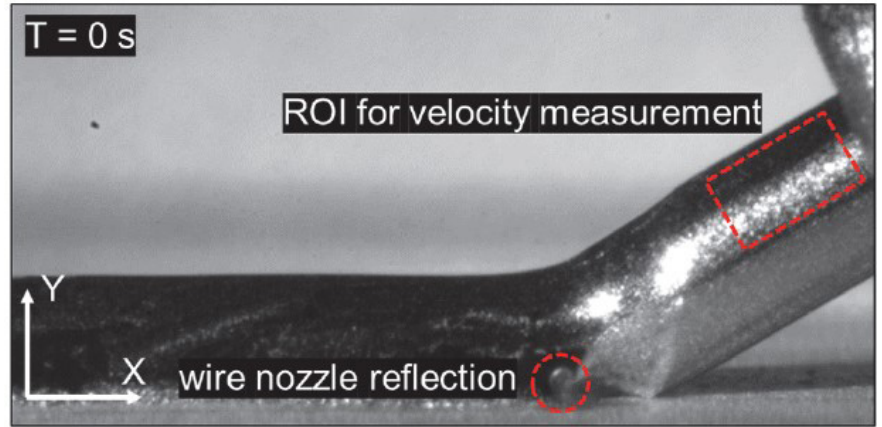
### Laserhårdlödning

Även om det bara blev en presentation om **laserhårdlödning** (brazing), från BIAS, Bremen, så var den riktigt givande. Genom höghastighetsfilmning, se **figur 9**, kunde vätning av tillsatsmaterial visas och optimeras med en frekvensbaserad dataanalysalgoritm genom att mäta vissa kritiska punkter i bilderna. Det fanns tydliga korrelationer mellan observerade områden i den alltid fluktuerande trådmatningshastigheten till smältan och den resulterade kvalitén. Resultaten möjliggjorde stabilisering av vätning och av processen.

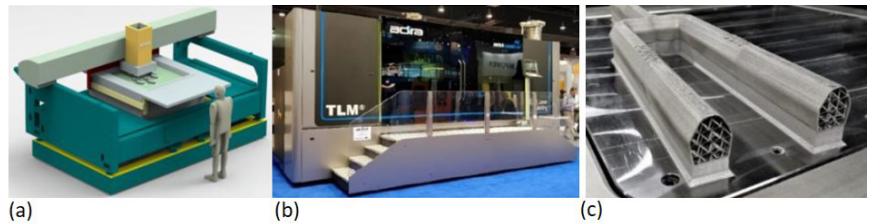
### Additiv tillverkning

Som nämnt ovan tillhör **additiv tillverkning (AM)** egentligen en annan Commission (C I) på IIW, men även i C IV berättades det om AM. I ett omfattande initiativ, av universitet i Lissabon gemensamt med EWF, The European Welding Federation, försöker man inom AM att överbrygga klyftan mellan forskning och industriimplementering, som även kallas "valley of death". Det presenterades bl. a. ett storskaligt laser powder bed fusion (PBF) system, se **figur 10 (a), (b)**, som använder en teknik kallad TLM (Tiled Laser Melting) för att klara av alla utmaningar i de större dimensionerna. En utskriven demonstratordel visas i **figur 10(c)**. Dessutom är mycket på gång inom WAAM, dvs med ljusbåge som alternativ energikälla till laserstråle eller elektronstråle.

Avslutningsvis kan sammanfattas att det än en gång var ett väldigt lyckat evenemang med mycket inspiration och nätverkande som är av kompletterande, tvärdisciplinär karaktär på en annan profil jämfört med andra relevanta laserbearbetningskonferenser. År 2020 siktar vi på IIW General Assembly / International Conference i Singapore, 19-24 Juli. Välkommen! ■



Figur 9. Höghastighetsbild från trådbaserad laserlödning (båda material: aluminiumlegeringar), med två kritiska områden som utvärderades



Figur 10. Storskaligt PBF system: (a) koncept, (b) anläggning, (c) utskriven demonstratordel med dimensionerna 920 mm x 200 mm x 50 mm (rostfritt stål).



# Robotiserad laserskärning hjälper Factory Pipe att hålla leveranstiderna gentemot en krävande extremспортindustri

Johnny K Larsson  
Autokropolis Engineering

”Vi tillhandahåller inte transportmedel, utan spännande användarupplevelser”.

Så säger Ross Liberty när han talar om den extremспортindustri som hans företag tillverkar avgassystem åt. Det låter lite som marknadsföring, men det fångar den innersta naturen hos konsumenter av extremспорт. Dessa kan inte vänta på de senaste tekniska förädlingarna vilka skulle tillåta dem att krama ut mer hästkrafter ur en motor – de vill få tillgång till sådana omedelbart!

Då det gäller att leverera till kunder som tillverkar terränggående fordon och snöskotrar är det enbart ”tiden till marknad” som gäller! Det är därför Mr. Libertys företag, Factory Pipe, strävar efter att tillhandahålla en komplett lösning, i form av konstruktion, tillverkning och leverans av avgasrör, till sina OEM [Original Equipment Manufacturer] -kunder inom extremспортindustrin.

”Vår tillverkningsvänliga design, som integrerar vårt produkt- och processkunskande, tillsammans med vår egen verktygstillverkning sörjer för kortast möjliga ledtider, vilket i sin tur utlovar en högst spännande användarupplevelse”, fortsätter Ross Liberty.

För att kunna leverera mot en sådan målsättning är den i Ukiah, CA, lokaliserade tillverkaren ett extremt vertikalt orienterat företag. Det inte bara konstruerar och producerar produkterna, utan tillverkar också djupdragningsverktyg, svetsfixturer och utrustningar för läckagetest. Man vill ogärna lägga ut tillverkning på entreprenad om man inte nödvändigtvis är tvingad att göra så. Precis som extremспортentusiaster känner till; att ha



kontroll i så stor utsträckning som möjligt, tillåter dig att njuta av upplevelsen mitt i det kaos som omger dig!

Ross Liberty tillverkade sitt första avgasrör som trettonåring då han försökte ”kräma” ut lite mer effekt ur sin Hodakamotorcykels 90-kubiks motor. Som mer eller mindre självlärd inom gebitet kunde han 1977 etablera sig som tillverkare av avgassystem, vilka han levererade till företag som specialiserat sig på reservdelskomponenter. Sedan dess använder de flesta fabrikanter av avgassystem sig av plåtformning och svetsning vid tillverkningen av sina produkter, men fortfarande anlitar man i hög grad Mr. Liberty och hans verkstad.

Han introducerade tidigt robotiserade svetsstationer, vilket bidrog till att strömlinjeforma svetsoperationerna, och idag förfogar hans företag Factory Pipe över 10 stycken svetsrobotar.

För cirka 15 år sedan introducerade man även laserskärning. Ross Liberty berättar att han initialt letade efter en 2D-maskin, men kom att ändra sig då han såg en ”Theta”-laserskärmaskin från Amada i aktion. Med den var både 2D- och 3D-skärning möjlig, vilket bidrog till att öka konkurrenskraften då de flesta andra tillverkare använde bandsågar för att avlägsna överskottsmaterialet från plåtpressningen eller tvingades investera i



dyra klippverktyg för detta moment.

Han insåg att det tog som mest en timme för att programmera banan för laserskärverktyget, medan konkurrenterna måste vänta i månader för att få ett klippverktyg tillverkat.

”Det innebar en stor skillnad för motorsportvärlden där allt handlar om kritiska och korta ledtider”, säger Mr. Liberty. ”Lasern gav oss också flexibilitet och därmed möjlighet till snabba omställningar”.

Hans förståelse för denna speciella marknad och dess krav har varit avgörande för att få verksamheten att växa under de senaste decennierna. Factory Pipe räknar nu drygt 50 anställda och försörjer såväl OEMs som leverantörer till eftermarknaden med produkter över hela USA [Fig. 1]. Affärsverksamheten har utvecklats från lågvolymtillverkning till en medelstor sådan av en rimligt stor blandning av olika varianter. Typiska seriestorlekar för avgassystem ligger mellan 2.000-3.000 enheter enligt Mr. Liberty [Fig. 2], men vissa beställningar kan röra sig om så pass stora serier som 20.000 system.

För att bibehålla efterfrågan på Factory Pipes produkter och vara konkurrenskraftiga i Kalifornien, håller Ross Liberty fortfarande ett öga på ny teknik, vilket ledde till att man installerade en ny fiberlaserbaserad skärcell under våren 2018.

Han sade sig ha haft ögonen på fiberlaserskärning och förstod att konceptet kunde ha en stor inverkan på Factory Pipes verksamhet. Han övervägde ett flertal 3D-laserskärningsmaskiner av välkända fabriker, men övertygades om att satsa på en robotbaserad laserskärning [Fig. 3] av en automatiseringstekniker som rekommenderade FANUC:s robotintegrator DRS [Dynamic Robotic Solutions] i Auburn Hills, MI.

Vad som bidrog till valet av DRS:s teknologi var att utrustningen inte bara kunde leverera den hastighet och noggrannhet som möjliggörs av den fiberlaserbaserade skärtekniken, men att cellen även bidrog till ett konsekvent enstycksflöde för fortsatt bearbetning. Endast de artiklar som just då efterfrågades ”nedströms” konturskars JIT [Just-In-Time]. Utrustningen skräddarsyddes därmed mot Factory Pipes speciella processflöde.

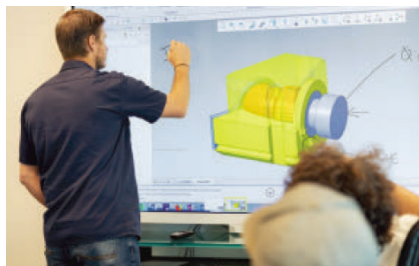
Skärcellen kan laddas med upp till 20 olika detaljer [Fig. 4]. När sedan ett svetsarbete är avslutat i en av de robotiserade svetscellerna signalerar denna att komponenten är färdigställd och därmed initierar mjukvaruprogrammet en ny skärbanan i den fiberlaserbaserade skärcellen. Enbart den avsedda pressdetaljen kommer då att konturskäras och när detta är gjort flyttas densamma till den lediga svetscellen.

Vad händer med övriga detaljer som sitter i sina fixturer i skärcellen? De får helt enkelt sitta kvar där till dess lasern får en signal att komponenten efterfrågas i nästa processteg. Först då sker konturskärningen av densamma. ”Detta är den ultimata lösningen för ett enstycks processflöde”, menar Mr. Liberty.

Om svetscellernas efterfrågan på detaljer ökar momentant innebär detta att laserskärningens operatör blir mer involverad. Han eller hon kan ladda och plundra en sida av arbetsbordet medan roboten med sitt skärverktyg arbetar på den andra sidan av bordet. Därmed kan roboten då så krävs skära näst intill kontinuerligt [Fig. 5].

”Det här konceptet har konkurrerat ut våra tidigare tre äldre CO<sub>2</sub>-laser”, säger Ross Liberty. Det är minst lika snabbt som CO<sub>2</sub>-laserarna tillsammans, men också mer exakt.”

Den noggrannheten gör likaså hela svetsoperationen mer effektiv. Tack vare de mer precisa skärinjerna kan svetsrobotarna utföra sitt arbete enligt de banor som de är programmerade för och inte träffa på problem i form av varierande spalter. Det tidigare skanner-verktyget



Figur 1. Factory Pipe har enbart fokuserat på avgassystem för extremsportindustrin, och behärskar hela tillverkningskedjan från konstruktion till produktion.



Figur 3. En FANUC-robot och skärverktyget FiberCUT® från Laser Mechanism utgör vitala delar vid konturskärning av avgaskomponenter med fiberlaser.

från företaget Faro, som förut utgjorde något av ett ”säkerhetsnät” i fall av oprecis konturskärning, utgör numera bara en påminnelse om hur bra dagens laserskärning cell opererar på en daglig basis.

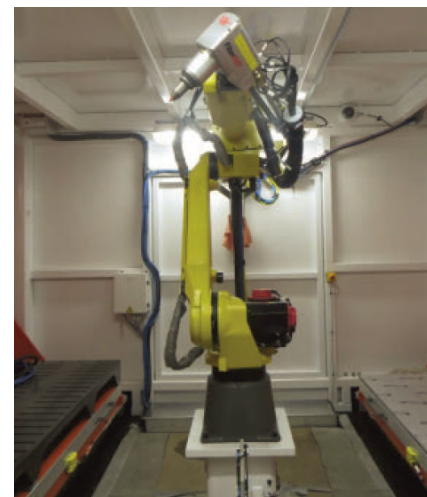
Mr. Liberty fortsätter: ”Jag hade aldrig förväntat mig att en dylik skräddarsydd maskin skulle prestera så tillförlitligt som den har gjort. Det är ju inte så att DRS bygger hundratals av samma maskin. De byggde endast en åt oss, men den var verkligen en ’home run’ för att tala i baseballtermer”.

Introduktionen av den fiberlaserbaserade skärningens cell har bidragit till ökade vinster hos Factory Pipe. Således har man kunnat konstatera en 50%-ig ökning av produktiviteten genom konturskärning med laser, samtidigt som man sett att de sammantagna produktionskostnaderna minskat då mindre övertidsarbete behövs, efterbearbetningen reducerats och energiförbrukningen har minskat. En fiberlaser har nämligen en WPE [Wall Plug Efficiency] som är ungefär tre gånger så stor som den för en CO<sub>2</sub>-laser.

Ross Liberty säger att det som han fascinerar mest är utrustningens tillgänglighet. Fabriksgolvet kan reagera med kort varsel. Programmeringen av skärbanor kan ske inom loppet av en timme, och eftersom inga hårda klippverktyg behövs kan trimfixturerna färdigställas på bara några timmar. När svetscellerna efterfrågar avgaskomponenter kan laserskärningens cell leverera sådana med den korrekta konturskärningen på minuten!



Figur 2. Eftersom Factory Pipe är ett s.k. vertikalt orienterat företag kontrollerar man hela produktionsflödet, inklusive en pulver-lackeringsprocess.

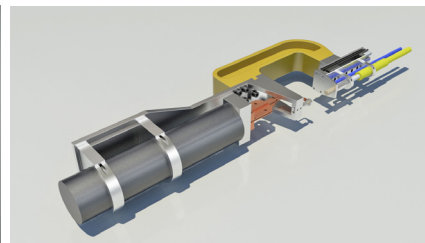


Figur 4. Två separata arbetsbord i skärningens cell ger Factory Pipe den flexibilitet som behövs för att säkerställa ett enstycks processflöde, alternativt att maximera produktionen när orderstocken växer.



Figur 5. Den nya skärningens cell håller jämna steg med den hastighet som de formade detaljerna kommer ut från Factory Pipes plåtpressar.

Såsom man försörjer marknaden förstår Factory Pipe att allting handlar om korta ledtider och att kunna leverera högkvalitativa produkter snabbt. Detta förstår inte minst Ross Liberty, och han avslutar med att avslöja att man avser att införskaffa ytterligare en FANUC fiberlaser-skärningens cell från DRS under nästa år. ■



# Annett Klotzbach berättar om hur man med laserteknik kan sammanfoga hybridartiklar som kombinerar metall- och plastmaterial

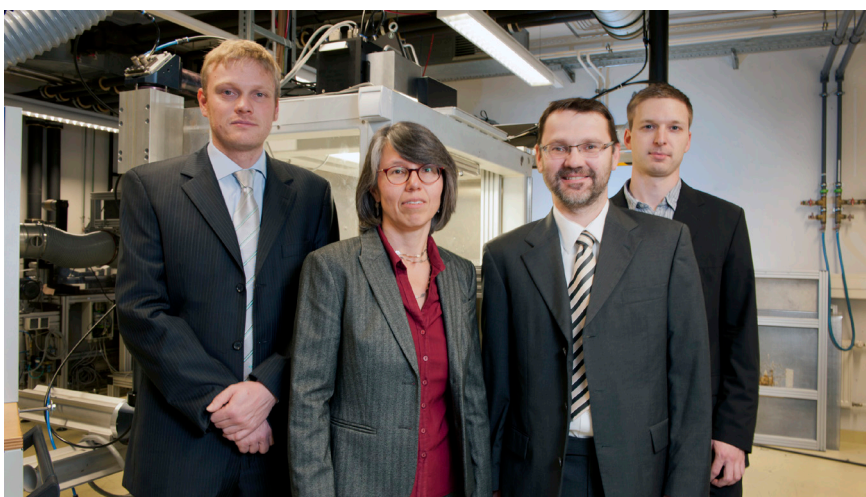
Johnny K. Larsson,  
Autokropolis Engineering

Att kvinnliga laserforskare är starkt underrepresenterade då det gäller industriell tillämpning av tekniken är ett välkänt faktum. Det räcker med att betrakta deltagarna vid våra Laserdagar där männen dominerar till närmast 100%, och om vi tittar utanför våra svenska gränser ser förhållandet inte mycket annorlunda ut.

Dock finns några exempel som bekräftar den gamla undantagsregeln, och en sådan person är Frau Dipl.-Ing. Annett Klotzbach [Fig. 1]. Hon är närmast att betrakta som en pionjär inom tysk, kvinnlig laserforskning, och med henne har jag haft många intressanta diskussioner vid främst olika ICALEO [International Conference on Lasers and Electro-Optics] -konferenser, men självklart också vid mina besök hos Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff und Strahltechnik] i Dresden, där hon är gruppleddare vid avdelningen ”Bonding and Composite Technology”. Under senare år har Frau Klotzbach fokuserat sin forskning på det välkända problemet med att foga metaller till termoplaster, ett område som har belysts tidigare i denna artikelserie [se LaserNytt 1-2018 och samtalet med Geert Verhaage].

Så här sammanfattar och motiverar Frau Klotzbach sin fortsatta forskning inom området;

Belastningsanpassade hybridförbindningar mellan metaller och termoplaster har blivit alltmer viktiga då de är applicerbara på ett flertal industriella komponenter, framförallt då det gäller olika former av lättviktskonstruktioner. För



Figur 1. Frau Dipl.-Ing. Annett Klotzbach tillsammans med team-medlemmarna Andreas Fürst, Frank Kretzschmar och Karsten Zenger (fr.v.) i samband med att man belönats med priset GHTC® [German High Tech Champions] 2013.

effektiva tillverkningskedjor och specifika lastfall krävs optimerade fogmetoder och förbehandlingar av fogytorna, liksom anpassade verktyg för processimulering och karakterisering av produkttegenskaper. Med hänsyn till detta kan lasertekniken vara den verkliga nyckeln till ett lyckat resultat.

Vid ett strikt genomförande av funktionsintegrerad lättviktskonstruktion kommer skillnader i lokala belastningsfall att påverka valet av material, och leda till en blandning av artotiska sådana. Kopplingen mellan olika delkomponenter ställer särskilda krav på fogningstekniken. Sålunda integreras metallinlägg och bussningar i plastkomponenter under själva formsprutningsprocessen. Andra vanliga foglemter vid multimaterial-koncept är skruvar och nitar, men på senare tid har också limning fått en omfattande användning inom bilindustrin. Detta gäller inte

minst då polymera komponenter behöver förstärkas med metalliska förstärkningar. Ett av många exempel är baddörren till BMW:s i3-modell där mer än totalt 11 meter limsträngar bidrar till ökad hållfasthet, bättre krockprestanda samtidigt som limmet på ett enkelt sätt kan kompensera för toleranser mellan detaljerna.

Emellertid bjuder industriella limningsprocesser på ett antal svårigheter. Medan lastöverföringen vid mekaniska fogningsmetoder sker via element som har en perfekt passform i förhållande till de detaljer som skall sammanfogas, kräver limning en optimerad kontakt mellan fogytorna. Limmets vidhäftningsförmåga är mycket känslig för variationer i ytkonkonditionen. Föroreningar i form av oljor eller skyddsbeläggningar, liksom fogytornas avvikelse från ställda planhetstoleranser, kan leda till dramatiska hållfasthetsförluster. För att uppnå en lastöverförande förmåga

som är jämförbar med ett skruvförband krävs stora limmade kontaktytor.

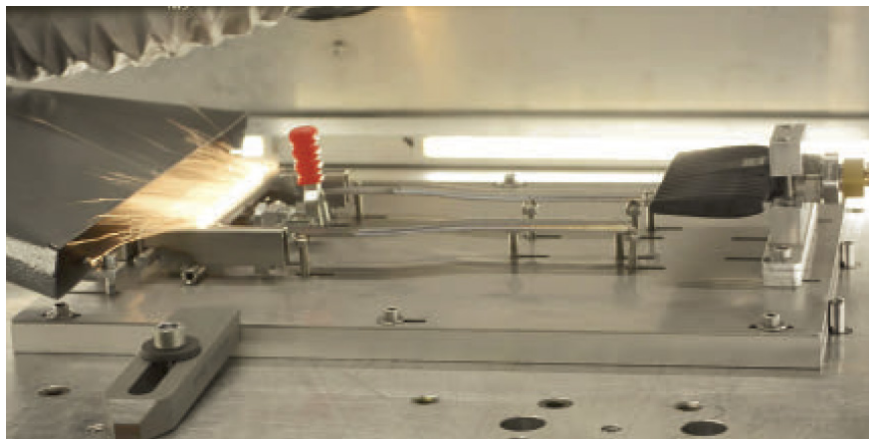
Därmed är limförband många gånger inte en särskilt ekonomisk lösning p.g.a. dess processkänslighet, krav på stora kontaktytor samt ett stort antal individuella processteg. Vanligtvis krävs att båda fogytorna rengörs och därefter förbehandlas för att limmet skall få bra vidhäftning. Därefter sker själva limappliceringen varpå de två komponenterna skall fixeras mot varandra och slutligen måste limmet genom en kemisk reaktion härda till full styrka.

Genom att exempelvis förbehandla ytorna med laser har industriella limningsprocesser kunnat effektiviseras. Då rengörs ytorna samtidigt som man med hjälp av en pulsad laser ger dessa en viss grovhet vilket gör att den yta som skall reagera med limmet blir större. Om däremot denna ablationsprocess intensifieras genom att använda en kontinuerlig laser-effekt på en eller flera kilowatt kan man skapa ett mönster av djupa räfflor [Fig. 2]. Genom att fylla dessa med lim eller smält plast skapas en makroskopisk formpassning. Med en dylik förbehandlingsstrategi ges möjligheter för att sammanfoga artotrika material på ett mer tillförlitligt sätt.

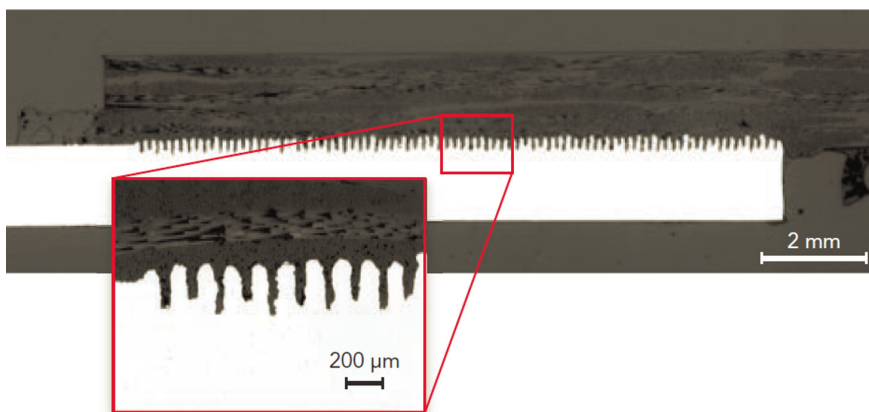
### Snabb sammanfogning genom en kontrollerad uppvärmning

Ett annat sätt att förenkla tillverkningen av denna typ av hybridstrukturer är att använda s.k. termisk direktfogning där metallen och den termoplastiska detaljen pressas mot varandra. En snabb uppvärmning av metallkomponenten gör att termoplasten börjar smälta p.g.a. värmeledning genom metallen, varpå den väter mot metallytan och stelnar vid avsvälning. Principen kan appliceras på ytor av varierande storlek och olika materialkombinationer. P.g.a. olika värmeutvidgningskoefficient hos de båda materialen uppstår höga skjvlaster i fogytan. För att kunna hantera dessa spänningar, tillsammans med de belastningar av fogen som uppstår under användning, måste antingen plastmaterialet modifieras eller metallytan förbehandlas.

En industriellt populär process är att förbelägga plåt med ett vidhäftningsfrämjande skikt redan vid valsningen. Den formade metalliska komponenten får därmed automatiskt en yta som är gynnsam för efterföljande sammanfogning. Därmed kan ett fiberförstärkt termoplastiskt kompositmaterial fogas till metallen med hjälp av en kombination av värme och tryck.



Figur 2. Ytbehandling av ytan hos ett lågkolhaltigt stål med hjälp av laser som ett initialsteg för metoden termisk direktfogning.



Figur 3. Tvärsnitt genom en hybridfog, bestående av mjukt stål och en glasfiberförstärkt PA6-komposit, utförd med hjälp av termisk direktfogning och makrostrukturering med laser.

Det har också visat sig att laserkällor med hög briljans hos strålen ytterligare förenklar förbehandlingen. Den makrostruktur som uppstår på metallytan fylls av smält termoplast vid termisk direktfogning. Under det efterföljande stelningsförloppet krymper termoplasten och "krokar" på så sätt fast i den metalliska delen.

### Laserablation tillförsäkrar en optimal förankring av plastmaterialet

För närvarande undersöks olika former av topografisk design för att optimera det termoplastiska materialets förankring i metallkomponenten. Således kan s.k. ultra-kortpuls-lasrar [UKP-lasrar] generera speciellt utformade mikrostrukturer i vilka en lågviskös plastsmälta kan flyta in. I motsats till detta baseras forskningen hos oss på Fraunhofer IWS på lasrar med kontinuerlig effekt, s.k. cw [continuous wave]-lasrar, meddelar Annett Klotzbach. Med denna lasertyp kan vi skapa grova ytor med ett djup på upp till 200 µm hos de skapade räfflorna, så att även fibermaterial och högviskös smält plast kan penetrera och förankras i metalldelen.



Figur 4. Förstyvningsstruktur för ett mittarmstöd till en personbils-inredning där mjuk pressplåt sammanfogats med en glasfiberförstärkt polyamidkomposit.

**Figur 3** visar tvärsnittet genom en fog skapad med s.k. termisk direktfogning. Räfflorna är helt utfyllda med matrismaterial och fibrer. Beroende på belastningstyp använde vi olika mönster vid materialavverkningen. Enkla raka eller korsformade mönster ger goda förutsättningar för att fullständigt fylla räfflorna med smält plast. Kombinationen av ablation och smältprocess resulterar i ett visst "dike" då den smälta plasten fäster mot metallen. Om man använder en fastkroppslaser med hög strålkvalitet och exempelvis 3 kW effekt kan man nå upp till avverkningshastigheter på mellan 100-500 mm<sup>2</sup>/sek!

## Laserstrukturering är inte allt

Termisk direktfogning har visat sig vara effektiv endast om metallen kan värmas upp och därpå avkylas snabbt. Detta kan utföras flexibelt genom en kortvarig uppvärmning med hjälp av en laserstråle. Precis som när en laser används för att härda en metallyta ansätts laserstrålen mot den sida av metallen som befinner sig på motsatta sidan av fogytan. Ytor av alla geometriska former kan på så sätt snabbt värmas upp med en kontrollerbar lasereffekt och våglängder i intervallet 800-1.100 nm där laserstrålen manipuleras med ett skanner-verktyg. **Figur 4** visar den styva strukturen hos ett mittarmstöd tillverkat av fiberförstärkt PolyAmid [PA6] och ett relativt mjukt kolstål. Här sammanfogades den svetsade metalldelen med kompositmaterialet genom den beskrivna uppvärmningen med laser.

Eftersom fogytorna inte är direkt åtkomliga måste plåttjocklek och den temperaturgradient som genereras i metallen noggrant övervakas så att termoplastmaterialets smälttemperatur upprätthålls. Kontaktrycket mellan detaljerna spelar också en viktig roll eftersom det balanserar ut eventuella toleranser så att räfflorna fullt ut kan fyllas med plastmaterial och glasfibrer.

Det finns emellertid också begränsningar med denna laserprocess. Principen för termisk direktfogning baseras på simultan sammantryckning och uppvärmning av detaljerna. Detta innebär att fogområdena måste vara åtkomliga för de verktyg som används, något som kan visa sig vara svårt och i vissa fall omöjligt om komponenterna har extremt komplexa former.

## Snabb uppvärmning genom induktion

I de fall då fogområdet är svåråtkomligt kan det vara fördelaktigt att använda en induktionsbaserad kortvarig uppvärmning. Ett elektromagnetiskt växelströmsfält skapas genom en geometripassad induktionsspole vilken genererar virvelströmmar som värmer upp den elektriskt ledande detaljen i förbandet. Beroende på det använda frekvensbandet sker då antingen en voluminös uppvärmning eller så utvecklas värmen direkt i gränssytan mellan detaljerna genom att begagna sig av s.k. skin effect.

I motsats till uppvärmning med laser där värmeutbredningen lätt kan anpassas med hjälp av skanner-verktyg, kräver induktionsvärmning en för den enskilda geometrin anpassad design av spolen.

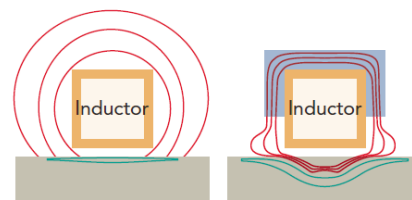
För detta ändamål har man hos oss på Fraunhofer IWS utvecklat och validerat simuleringsverktyg. Dessa är baserade på plattformen "COMSOL Multiphysics" och tar hänsyn till såväl den lokala inkopplingen av tillförd energi som den materialberoende värmeledningsförmågan. Eftersom det elektromagnetiska fältet vanligtvis sprids ut i alla riktningar från induktionsspolen blir det också nödvändigt att försöka koncentrera virvelströmmarnas utbredning. Med en passande geometrisk utformning kan energiinkopplingen ökas med en faktor 10. **Figur 5** visar principen för hur virvelströmmarna kan styras med s.k. fältförstärkare.

## Vilket är bäst? - Uppvärmning med induktion eller laser?

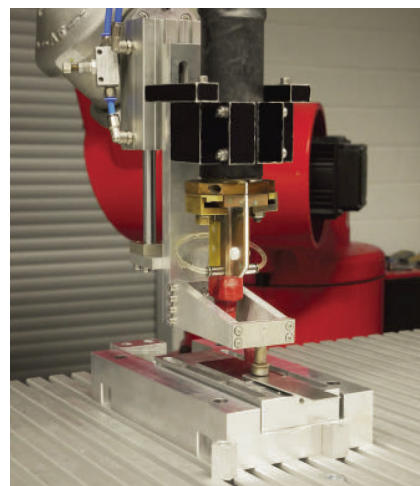
Jämförande studier mellan de båda metoderna för uppvärmning har visat sig resultera i jämbördiga hållfasthetsvärden hos fogen. Detta verifierades med statiska dragprov utförda på överlappsförband enligt DIN EN 1465 med en fogyta som mäter 12,5×25 mm. Den maximala spänningen för materialkombinationer där glasfiberförstärkt PA6 hade fogats till rostfritt stål, aluminium alternativt mjukt kolstål låg kring 25 MPa. Brotten uppstod genomgående i kompositens matrismaterial. Då ett mer höghållfast material användes, som exempelvis kolfiberförstärkt PEEK [PolyEtherEtherKetone], kunde värden på 30 MPa uppnås med delvisa fiberbrott. Den fastlagda hållfasthet är i dignitet med vad som kan uppnås med strukturella limsystem. Även fogarnas beteende vid varierande klimatbelastningar kunde valideras med positiva resultat.

Frau Klotzbach medger emellertid att då det gäller fläk- eller dragbelastningar återstår ännu en del forskningsarbete att göra. De lägre värdena vid dessa lastfall går att härleda till adhesionsmekanismer där kraften mestadels överförs via den mekaniska låsning som uppstår och i mindre omfattning genom vidhäftning mellan detaljernas ytskikt.

Då det gäller hastigheten vid fogning av ovannämnda artolika materialkombinationer har vi kunnat fastlägga avsevärda skillnader mellan induktiv- och laseruppvärmning. Sålunda medger induktionsmetoden en mer koncentrerad tillförsel av värmen så att det, vid de standardiserade proven med mjuk stålplåt som den metalliska partnern i förbandet, krävdes en uppvärmningstid mellan 1-2 sekunder. I motsvarande fall med lasern som värmekälla måste tiden utsträckas till 3-5



Figur 5. Principen för att styra de elektromagnetiska virvelströmmarna med s.k. fältförstärkare för att på så sätt effektivisera värmeförseln.



Figur 6. Första generationen av en robotmanipulerad punktsvetsstäng för sammanfogning av en metall med en termoplast.

sekunder för att endast leda värme genom metallen utan att riskera att lokalt smälta dess yta.

Termisk direktfogning har utvecklats och kvalificerats vid forskningsinstitut och industriföretag sedan många år tillbaka. Dock är användningen vid serietillverkning av industriella applikationer fortfarande begränsad. Skälet till detta är att komponenternas utformning blir tämligen komplex då flera funktioner skall integreras i hybridkonstruktioner som består av artolika material. Valet av "rätt material på rätt plats" kräver ett innovativt synsätt hos konstruktören. Att bara byta ut en metallartikel mot en av plast eller kompositmaterial leder förvisso till viktsbesparingar men oftast också till en avsevärd högre produktkostnad. Dock har vissa applikationsområden för sagda tekniker redan börjat utkristallisera sig. Ett exempel är laserstrukturering av verktygsytor för formsprutning, vilket kan vara ett alternativ för applicering av släppmedel. Med hjälp av termisk direktfogning tror sig industrin kunna tillverka kåpor eller kopplingselement av temperatur- och mediastabila termoplaster för att foga dessa till exempelvis gjutna aluminiumkomponenter. På så sätt kan flänsar för skruvförband, liksom tätningar, exkluderas.

Nu har vi utvecklat konceptet ytterligare, berättar en stolt Frau Klotzbach, så att en automatiserad punktformning fogningsoperation kan utföras. Med en teknologi som vi valt att kalla HPCI [HeatPressCool-Integrative] trycks detaljerna som skall sammanfogas mot varandra liksint med vad som sker vid motståndspunktsvetsning med en robotburen svetsstång [Fig. 6]. En ringformad induktionsspole, som är placerad runt stansverktyget värmer upp fogområdet. Detta gör att polymeren smälter och väter mot metallytan. Det speciella med verktyget är att det blir möjligt att skapa diskreta fogpunkter mellan en plastpanel och metalliska inlägg för användning i t.ex. köksredskap, lampor och andra konsumentprodukter.

Dessutom kan större komponenter häftas flexibelt till en struktur eller slutgiltigt fogas till denna. Förutom sin kompakta design är HPCI-verktyget utformat på ett sådant sätt att konventionella hanteringsutrustningar som exempelvis industrirobotar kan användas, och därmed kan teknologin integreras i komplexa tillverkningskedjor som vid produktion av personbilskarosser [Fig. 7, 8]. Detta utgör de bästa förutsättningarna för en mångsidig introduktion av metoden att användas vid industriell tillverkning. ■



Kontaktuppgifter för Frau Dipl.-Ing.  
Annett Klotzbach;  
Fraunhofer Institut für Werkstoff und  
Strahltechnik  
Winterbergstraße 28  
DE-01277 Dresden  
Tel.: +49 351 83391-3235  
E-mail: annett.klotzbach@iws.fraunhofer.de

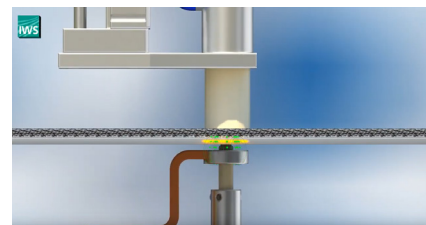


Figur 7.  
Fixering av en kompositdetalj till en stålstruktur med HPCI-teknik för att lokalt öka B-stolpens böjstyvhet.

Se även <http://s.fhg.de/hpci-clip>



Figur 8.  
Ett innovativt exempel på hur en framtida plastkompositförstärkning integreras och fogas till en personbilskaross i stål med HPCI-tekniken.



# Laserpåsvetsning av martensitiska rostfria stål för nötnings- och korrosionsmotstånd.

Dr Conny Lampa  
Höganäs AB

Laserpåsvetsning är en ytbeläggningsmetod där ytbeläggningsmaterialet kan tillföras som pulver eller tråd. Utmärkande för metoden är att man med mycket liten värmepåverkan och minimal uppblandning med substratet kan lägga på ett högpresterande skikt med metallurgisk bindning. Egenskaper som oftast efterfrågas i det laserpålagda skiktet är ett högt korrosionsmotstånd och ett högt nötningsmotstånd. Dessa två egenskaper är dock traditionellt svåra att kombinera i ett och samma material, dessutom tenderar material med högt nötningsmotstånd ofta att vara sprickkänsliga vid termiska fogningsmetoder. Idag finns det dock pulvermaterial för ytbeläggning med båda dessa egenskaper och som fungerar utmärkt att belägga med laser.

## Laserpåsvetsning

Laserpåsvetsning, se **figur 1**, är en påsvetsmetod som ger en liten värmepåverkan och liten uppblandning med grundmaterialet. Uppblandningen ligger på typiskt omkring 5-10 % emedan konkurrerande metoder såsom MIG/MAG och Pulverbågssvetsning aldrig uppnår uppblandningar lägre än 15%. Påsvetsning med laser, och andra metoder, används ofta för att öka en ytas korrosionsmotstånd. Detta kan exempelvis göras genom att belägga substratet med ett austenitiskt rostfritt stål, typ 316 L. Nötningsegenskaperna hos 316 L är

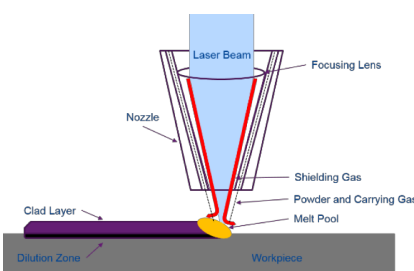


Foto.  
Jarvie Engineering Pty Ltd

dessvärre relativt lågt vilket innebär att man som användare blir hänvisad till att använda ett konventionellt martensitiskt rostfritt stål, typ 431L. Detta material har dock ett avsevärt sämre korrosionsmotstånd än de austenitiska rostfria stålerna så här finns uppenbarligen ett behov att fylla, det vill säga behovet av ett beläggningsmaterial med högt korrosionsmotstånd, bra nötningsegenskaper och som dessutom har goda svetsegenskaper.

## Martensitiska rostfria stål som beläggningsmaterial

Martensitiska rostfria stål innehåller vanligtvis 12 - 17 % Krom, 0 - 4 % Nickel och upp till 1 % Kol. Vid låga temperaturer är strukturen huvudsakligen martensitisk. Liksom vid de flesta övriga



Figur 1.  
Schematisk bild av laserpåsvetsning

laserbearbetningsmetoder är det också vid laserpåsvetsning snabba temperaturförlopp, uppemot 1000°/s, vilket vid stelning medför att en finkornig mikrostruktur bildas och att jämvikt ej uppnåts. Den finkorniga strukturen är i sig fördelaktig för att öka hårdheten i det stelnade materialet, men för martensitiskt rostfria stål

kan dock bildandet av finkornig austenit delvis förhindra martensitens utbredning, och därmed får man en hårdhet i det stelnade materialet som är lägre än det potentiellt förväntade värdet.

En möjlighet som då kan nyttjas är att tillsätta små mängder austenitstabiliserande legeringsämnen som vid uppvärmnings- och avsvlningsförloppet gynnar austenitbildning och medför att en större andel martensit bildas, vilket i sin tur ger ett hårt material med hög nötningsbeständighet. Så är fallet för materialet X-402 som är ett lågkolhaltigt martensitiskt rostfritt stål med bra svetsegenskaper på de flesta stålsubstrat. Mikrohårdenheten på belagt skikt är ca 375 (HV1), se jämförelse med 316 HSi och 431 L i **tabell 1**. Jämför man PRE nummer, dvs korrosionsmotståndet med avseende på punktfrätning ligger värdet för X-402 klart högre än värdet för 431 L, se **tabell 2**

Tabell 1.  
Mikrohårdhet i laserpåsvetsade skikt av X-402, 316 HSi och 431L.

Egenskap	Material		
	316 HSi	431 L	X-402
Mikrohårdhet (HV <sub>1</sub> )*	215	265	375

Tabell 2.  
PRE-nummer i laserpåsvetsade skikt av X-402, 316 HSi och 431L.

Egenskap	Material		
	316 HSi	431 L	X-402
PRE-nummer	215	265	375

Det rostfria materialet X-402 lämpar sig väl för applikationer där en kombination av goda korrosionsegenskaper och hårdhet önskas, **figur 2**. Beläggs ett lågkolhaltigt stål, typ S355J, med X-402 kan man också räkna med att beläggningen har en för hårdheten duktigt beteende under dynamisk belastning och stora temperaturvariationer, exempelvis på valsar i valsverk, där laserpåsvetsning med rätt material kan ersätta svetsmetoder som MIG/MAG och pulverbågssvetsning och därmed minska värmepåverkan på grundmaterialet och också reducera risken för termiska deformationer.

Om hårdheten i X-402 inte räcker till för den tänkta applikationen är nästa steg i den rostfria familjen pulvermaterialet Rockit 401. Detta är också ett martensitiskt rostfritt stål med utmärkta korrosionsegenskaper och dessutom en mikrohårdhet på omkring 500 HV1 i lasersvetsat tillstånd. Rockit 401 har dessutom 25% högre nötningsmotstånd än X-402 och lämpar sig väl för att belägga exempelvis



Figur 2.  
Mikrostruktur av laserpåsvetsat X-402 består av martensit och möjligen små mängder av ferrit i korngränserna.

hydraulcylindrar som används i extrema miljöer, se **figur 3** och **figur 4**.

Sammanfattningsvis är det idag möjligt att laserbelägga ytor med material som har både goda korrosionsegenskaper och goda nötningssegenskaper. Om applikationen ifråga utsätts för dynamiska påfrestningar i korrosiv miljö och stora temperaturvariationer kan man, med ett litet avkall på nötningsmotstånd, även här ersätta konventionella påläggmetoder som MIG/MAG och pulverbågssvetsning med laserpåsvetsning av martensitiskt rostfria stål. ■

#### Fakta: Höganäs AB

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

#### Höganäs verksamhet i korthet:

- Cirka 2200 anställda, varav 700 i Sverige
- 3 000 kunder i 75 länder
- Erbjuder mer än 1 500 produkter, övervägande kundspecifika
- Internationell koncern med 13 produktionscentra och ett flertal försäljningsbolag runt om i världen
- Cirka 700 godkända patent i olika länder
- Omsättning: 7 100 MSEK (2014)
- Grundades 1797 som ett kolgruveföretag
- Näst efter kommunal verksamhet den största arbetsgivaren i Höganäs kommun med huvudkontor och produktionsanläggningar placerade på orten.

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



Figur 3.  
Hydraulkolvar för takstöd i gruvort belagda med Rockit 401.



Figur 4.  
Hydraulkolv i grävmaskin laserbelagd med Rockit 401.

# AMV ökar kapaciteten med ytterligare en fiberlaser

## Modernt företag med bred kompetens

Anderstorps Mekaniska Verkstad, AMV, är ett familjeägt företag i Anders-  
torp i tredje generationen med 16 an-  
ställda. Företaget startades redan 1937  
och har sedan starten kännetecknats av  
innovativt tänkande och investerings-  
vilja.

Idag är AMV ett modernt företag  
med de senaste maskinerna och med  
mycket kunnig personal. Kärnverksam-  
heten är tillverkning av plåt detaljer i små  
och stora volymer och företaget är även  
en av Sveriges ledande specialister inom  
automatiserad metallbandsbearbetning.

## Marknadens mest effektiva system för laserskärning

För att kunna möta nya och befintliga  
kunders efterfrågan har AMV valt att  
investera i en Platino Fiber 1530 EVO 2.0,  
6 kW, med Compact Server och LST ro-  
botsortering från Prima Power, levererad

av Din Maskin.

- Maskinen som AMV har valt att  
investera i, en Prima Power Platino med  
en fiberlaser på 6kW, gör att maski-  
nens hela arbetsområde upp till 25 mm  
bearbetas mycket snabbt och effektivt.  
Lägg där till LST robotsortering för att få  
detaljerna sorterade, antingen stap-  
lade på pall via dubbla staplingsbord,  
eller släppta ner i valfri lastbärare. LST  
roboten plockar de laserskurna detal-  
jerna direkt inne på skärbordet, vilket är  
helt unikt på marknaden och säkerställer  
processen maximalt. Tillsammans med  
Compact Server, som tar hand om råma-  
terial och skelett, så får vi marknadens  
mest effektiva system för laserskärning,  
säger Johan Söderberg, säljare på Din  
Maskin.

## Investerar i framtiden

Thomas Hiljemark, vd AMV, berättar  
mer om investeringen.

- Vi ser oss som en långsiktig leve-  
rantör som investerar i framtiden. Att få  
våra befintliga kunder att utvecklas och  
växa är viktigt för oss. Samtidigt vill vi  
erbjuda nya kunder en långsiktig och  
stabil partner. Vår flexibilitet och kapa-  
citet gör oss konkurrenskraftiga och gör  
det möjligt för oss att lägga i en extra  
växel om våra kunder har behov av det,  
säger Thomas.

## Trygg partner i Din Maskin

AMV har sedan tidigare bland annat  
en kombinerad stans och fiberlaser från  
Prima Power och att valet föll på Prima  
Power och Din Maskin igen, beror på att  
de har tidigare har mycket goda erfaren-  
heter av företaget.

- Servicen som Din Maskin erbjuder är  
viktig och gör oss trygga i investeringen,  
avslutar Thomas Hiljemark.



Från vänster:  
Christer Löf, Björn Hellqvist, Per Sigvardson,  
Johan Söderberg, Thomas Hiljemark



Platino Fiber 1530 med fiberlaser på 6kW på plats hos AMV.



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

**PERMAFLEX**  
samlad kunskap i en robotcell



**Kvalitet. Produktivitet. Lönsamhet.**  
[www.permanova.se](http://www.permanova.se)