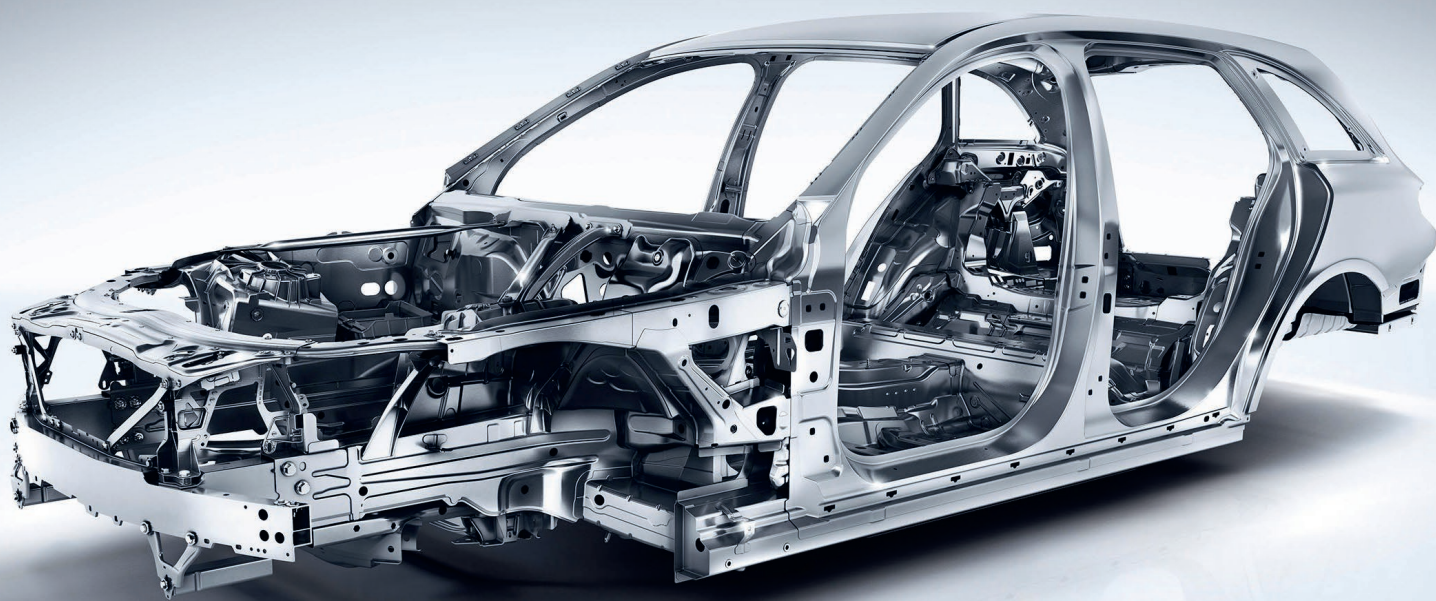




## FRAMGÅNGSRIK INTRODUKTION AV "ÄMNESKLIPPNING"

med laser i Daimlers Kuppenheim-fabrik



ISAM 2019



E-mobility och  
Autonomous Drive



AM-seminarium hos  
Sandvik



**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)**

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

Kaross från Daimlers Kuppenheim-fabrik.

#### Produktion: BrandFactory

Tryck: BrandFactory, Stockholm  
www.brandfactory.se



## INNEHÅLL

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>ADDITIV TILLVERKNING HOS SANDVIK-</b>                                                        | 2  |
| Stor satsning på tekniken visades på AM-seminarium                                              |    |
| <b>ISAM-2019 AVSLÖJADE ATT DET FORTFARANDE FINNS MYCKET ATT LÖSA</b>                            | 11 |
| innan vi kan förvänta en större industriell användning av additiv tillverkning med laser        |    |
| <b>LASERDAG HOS SWERIM I KISTA - SATSAR PÅ LASER</b>                                            | 18 |
| <b>E-MOBILITY OCH AUTONOMOUS DRIVE</b>                                                          | 23 |
| kommer att medföra nya applikationsområden för lasertekniken i bilindustrin                     |    |
| <b>"VÅR INVESTERING I LASERSVETSUTRUSTNING HAR GETT OSS HELT NYA KUNDER"</b>                    | 37 |
| <b>FRAMGÅNGSRIK INTRODUKTION AV "ÄMNESKLIPPNING"</b>                                            | 39 |
| med laser i Daimlers Kuppenheim-fabrik                                                          |    |
| <b>KARL NY DOKTOR VID HÖGSKOLAN VÄST-</b>                                                       | 42 |
| Lasersvetsning av ultra-höghållfast stål och gjuten magnesiumlegering för lättviktskonstruktion |    |
| <b>MORGAN NY LASERDOKTOR VID HÖGSKOLAN VÄST-</b>                                                | 43 |
| Mätning och styrning vid lasersvetsning av stumfog                                              |    |
| <b>RAMIZ OCH JESPER - TVÅ NYA LASERDOKTORER VID LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET</b>                  | 44 |
| Smältans rörelse vid "remote" lasersvetsning                                                    |    |
| <b>FRÅGA LASERDOKTORN</b>                                                                       | 45 |
| <b>SAMTAL KRING LASERTRENDER</b>                                                                | 46 |
| Del 33                                                                                          |    |

## Tankar från styrelsen



### TANKAR FRÅN STYRELSEN

BENGT JOHANSSON, TEKNIKCENTRUM I GNOSJÖ AB

Nu har snart sommaren nått sitt slut och vi går in i en ny termin för att fokusera på arbete och utveckling. Som vi alla har observerat har miljön blivit en het fråga. Nu senast med bränder i Amazonas och vår Greta Thunberg som seglar över Atlanten för att minska CO<sub>2</sub> avtrycket samt hot om elbrist när kärnkraften skall avvecklas.

Vi ser därmed ett behov inom industrin att effektivisera i stort sett allt som drar energi. Allt från processen i sig till hjälpsystem som ventilation, kylsystem och tryckluft. Här ser vi också ett bra tryck på lasersidan där hela tiden nya framsteg görs för att förbättra verkningsgraden på både laserkälla och process i sin helhet.

Nya fiberlaserkällor kan ha en verkningsgrad på upp till 50% och direktdiodenheter står med över 65% i "wall plug efficiency". Jämfört med CO<sub>2</sub> laser på drygt 10% och Yag laser på några få %. Detta gynnar inte bara miljön men också i slutändan plånboken.

Fokus på e-mobility och pulvermetallurgi skapar hela tiden nya möjligheter och tillämpningar för lasertekniken.

Batteritillverkningen ser stora behov av lasersvetsning samt kommande bränslecellteknik är ännu ett spännande område för lasertekniken.

Framförallt kommer vi se en större flora av lasrar med olika effekt och våglängd, var och en för att passa för en specifik applikation.

Vision system med AI (artificiell intelligens,) fogföljning och objektorientering används för att säkerställa en hög jämn kvalitet på produkten samt undvika fel.

Jag tror även att vi måste bli bättre såväl hemma som globalt på att sträva efter produkter som har en längre livslängd samt lokal produktion. Varje gång vi köper en billig asiatisk produkt i shoppingcentret orsakar vi indirekt stora utsläpp både vid tillverkning och vid transporten av varan. Detta är det är det inte många som pratar om ännu, eller ens tänker på. Kanske innebär det att det snart kommer en "hemtagning" av produkter som tidigare tillverkats lokalt men blivit olönsamma av konkurrensen från Asien?

Inom bilindustrin sker ju detta redan där man har lagt tillverkning på olika kontinenter av samma bilmärke. Kanske värt att ta efter för enklare produkter också? Detta kan innebära stora utmaningar men också stora möjligheter för industrin i Sverige och Europa. Med vårt höga tekniska kunnande och uppfinningsrikedom ser jag faktiskt positivt på framtiden och ville här så ett litet frö av nya tankar.



# Additiv tillverkning hos Sandvik-

## Stor satsning på tekniken visades på AM-seminarium

Hans Engström  
Levitronics Lasersystem AB

Sandvik lägger stora resurser på att utveckla additiv tillverkning (AM) för sin produktion. Satsningen sker i ett AM-centra i Sandviken där man arbetar i nära samarbete med andra enheter inom företaget.

- "Vi satsar flera tiotals miljoner per år på att identifiera lämpliga komponenter för tekniken och att optimera dom för denna tillverkningsmetod, säger Pasi Kangas, Vice President Technology vid Sandvik Additive Manufacturing.

Sandvik har nu flera produkter på marknaden som tillverkas med AM. Detta och mycket annat presenterades vid Laser-Gruppens seminarium "Additiv tillverkning – framtidens teknik" i Sandviken den 14 mars 2019. Dagen lockade 32 deltagare, varav ett flertal inte var medlemmar i gruppen.

Sandvik, med sina 150 år inom metallbearbetning, har en förståelse för additiv tillverkning som få i världen. Man täcker hela förädlingskedjan från utveckling av material och pulver till kvalitetssäkring av tillverkade produkter.

- Vi startade vårt Additive Center 2013 för forskning och utveckling och sedan 2017 har vi en affärsenhet med ett 30-tal anställda, säger Pasi Kangas. Vi har tillverkat Ospey™-pulver sedan 1974 och satsar nu 200 miljoner på att bygga en ny fabrik för titan- och nickelpulver som ett komplement till det befintliga pulverprogrammet.

### Plan it – Print it- Perfect it

Pasi Kangas berättar om Sandviks strategi för att kunna uppnå den fulla potentialen för AM: "Plan it – Print it-

### Perfect it", bild 2.

Planeringsfasen innehåller 4 steg där det första är att identifiera vad som kan printas följt av materialval, konstruktion och modellering samt val av den bästa AM-processen.

När den första fasen är avklarad sker AM-tillverkningen. Här har Sandvik möjlighet att använda både laser och elektronstråle i processen. Man har maskiner från ett flertal tillverkare som EOS, Reinshaw, Concept Laser, Arcam och ExOne. Man arbetar också Binder Jetting-tekniken.

Sista fasen, "Perfect it", handlar om att efterbearbeta den tillverkade komponenten, och här har ju Sandvik en oöverträffad expertis att tillgå. Slutligen för att säkerställa produktens kvalitet har Sandvik utvecklat ett kvalitetssäkrings-system för AM, där man har tillgång till avancerade scanners.

Sandvik erbjuder alltså en heltäckande kedja för AM-tillverkning med rådgiv-



Bild 1.  
Pasi Kangas, Vice President Technology vid Sandvik Additive Manufacturing var värd för Laser-Gruppens AM-seminarium.

ning, tillverkning och egentillverkade pulver som kan optimeras för kundens räkning.

Lättviktsfräsen CoroMill ®390, bild

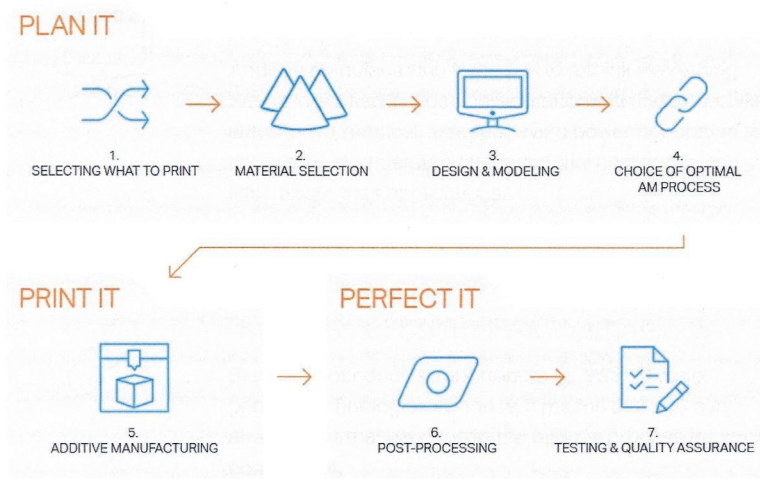


Bild 2.  
Sandvik har en klart uttalad strategi i tre faser, "Plan it - Print it - Perfect it" för lyckad AM-tillverkning.



3, är producerad med additiv tillverkning och är mer kompakt och betydligt lättare (80% reducerad vikt) än en konventionell fräs. Den lägre vikten minskar vibrationer och tillåter därmed större skärdjup vilket kan öka produktiviteten med än 200 %, med bibehållen bearbetningssäkerhet.

Ett annat exempel på produkter tillverkade med AM hos Sandvik är en klampa med kylkanaler, **bild 4**, för vändskär. AM har gjort det möjligt att optimera utformningen av kylkanalerna så att maximal kyleffekt kan skapas på skärspetsen. Det ökar livslängden på skäret och ger också bättre spånkontroll.

Ett intressant exempel på AM-tillverkning med hårdmetall är en dysa tillverkad för företaget Varel, **bild 5**. Det är små komponenter som utsätts för extrema förhållanden under bergbörning. Idag tillverkas dysorna med traditionell teknik vilket är en lång process med långa ledtider. För Varel innebär det stor lagerhållning av dysor för att man ska kunna förse kunderna med dysor inom rimlig tid. Med AM kan man korta ledtiderna med 50-70% och därmed minska lagerhållningen.

En av de stora utmaningarna i detta AM-projekt var att kunna tillverka precisionsgångar i hårdmetall eftersom det sker krympning i sintringen. En utmaning som AM-teamet hos Sandvik klarade av.

Detta var några exempel på komponenter tillverkade med AM-teknik hos Sandvik. Besöket hos Sandvik Additive Manufacturing avslutade med en snabb inblick i verkstaden för AM. Man har nu 13 AM-maskiner, bl.a. tre Reinshaw för FoU, samt bl.a. en CT-scanner för kvalitetskontroll (porer).

- Sandvik satsar tiotals-miljoner kronor årligen på att utveckla AM-tekniken och vår utrustning, avslutar Pasi Kangas.

### Ta AM-tekniken till verkstadsgolvet – steg för steg

Trumpf är mycket aktiv inom AM som vi tidigare bl.a. har berättat i LaserNytt 3/2018. Vid AM seminariet så fanns Julia Moll och Steffen Sickinger från Trumpf i Ditzingen, **bild 6**, på plats för att berätta om Trumpfs verksamhet inom området.

- Vi har en lång historia inom AM, berättar Steffen Sickinger, Area Sales Manager, Additive Manufacturing, genom att vi började samarbeta med Fraunhofer ILT redan 1999. Redan 2003 presenterade vi vår första AM-maskin, TrumaForm, men den drogs tillbaka från marknaden 2006. År 2015 introducerades TruPrint 1000, den



Bild 3.

Lättviktsfräsen CoroMill®390 är tillverkad med additiv tillverkning. Den är 80% lättare än en konventionell fräs och kan ge mer än 200% produktivitetsökning. Foto: Sandvik



Bild 4.

Det optimerade flödet från SECO klampa, tillverkad med AM, ökar livslängden på skäret och ger bättre spånkontroll vilket bidrar till ökad produktivitet.



Bild 5.

Tillverkning av en dysa med AM för företaget Varel kortar ledtider och minskar lagerhållningen. Dysan tillverkas i hårdmetall WC12Co med Binder Jetting.

första AM-maskinen av typ Laser Metal Fusion, (pulverbädd) från Trumpf på marknaden.

Trumpf har nu tre AM-maskiner på marknaden, **bild 7**; TruPrint 1000, TruPrint 3000 samt TruPrint 5000. De är av typ pulverbädd och två senare har en industriell hantering av pulver och printade komponenter.

Som ett led i att driva AM-tekniken har



Bild 6.

Julia Moll, Application Engineer, och Steffen Sickinger, Area Sales Manager, Trumpf Ditzingen, berättade om en del av Trumpfs AM-verksamhet.

man nu sex applikationscentra varav ett finns i Ditzingen.

- Trumpf vill föra AM-tekniken till verkstadsgolvet – steg för steg, berättar Julia Moll. Det omfattar kvalitetssäkring i processen, operationerna samt anpassning till kvalitetssystem, t.ex Nadcap, som används inom flygindustrin.

| TruPrint 1000                                                                                                                                                    | TruPrint 3000                                                                                                                                                                                  | TruPrint 5000                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                               |                                                                                                            |                                                                                                                                                     |
| <b>Compact and robust 3D printing</b>                                                                                                                            | <b>Flexible solution for industrial 3D printing</b>                                                                                                                                            | <b>Highly productive 3D printing for industrial series production</b>                                                                                                                                                                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Build cylinder: Ø 100 x 100mm</li> <li>• Laser: 1x / 2x 200W fiber laser</li> <li>• Beam diameter: 30 / 55µm</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Build cylinder: Ø 300 x 400mm</li> <li>• Laser: 1x 500W fiber laser</li> <li>• Beam diameter: 100-500µm</li> <li>• Preheating: up to 200°C</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Build cylinder: Ø 300 x 400mm</li> <li>• Laser: 1x / 3x 500W fiber laser</li> <li>• Beam diameter: 100-500µm</li> <li>• Preheating: up to 500°C</li> <li>• Autom. process start: yes</li> </ul> |
| <b>Industrial part and powder management</b><br>Part and powder management on an industrial scale                                                                |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                          |

Bild 7.

Trumpf har nu tre AM-maskiner på marknaden med olika användningsområden. Man har utvecklat en stor och snabb serviceorganisation där kunden kan få svar inom 30 minuter på brådskande serviceärenden.

## Minskade kostnader och ledtider med LMF

Julia Moll berättar om ett applikationsexempel som får illustrera Trumps arbete att införa AM-tekniken genom Laser Metal Fusion. Applikationen är en s.k. "rake" som är en sensor-probe, **bild 8**, vilken används vid testning av motorer. Konventionellt tillverkas "rakes" av fyra komponenter vilka monteras manuellt och sedan svetsas samman.

- Med AM vill vi undersöka möjligheterna att minska kostnaderna, och ledtiden för tillverkningen samt att reducera antalet komponenter, säger Julia Moll. Men det fanns stora utmaningar. Är komponenten lämplig för AM? Komponent har tunna väggar, smala kanaler och tillåter inte något stöd på insidan.

Vid utvecklingen användes "in-line" processövervakning där pulverbädden och smältpölen övervakades. Efter tillverkningen användes datortomografi för att undersöka de invändiga strukturerna, där kanaler har en diameter av 0.55mm. Densiteten uppmättes till 99.96 % med CT-scanner.

- Resultatet blev att vi kunde visa att kostnaderna minskade med 74 % och ledtiden med 64 %, avslutar Julia Moll.

## LTU ökar additiv tillverkning inom forskningen

Vid Luleå tekniska universitet (LTU) under ledning av Prof. Alexander Kaplan har man på senare tid uppgraderat och utökat additiv tillverkning som forskningsområde, samtidigt som man drar ner arbetet med lasersvetsningen. Som ett led i detta har man anlitat Prof Dr Frank Brückner vid Fraunhofer IWS i Dresden som adjungerad professor. Detta berättar Dr Jan Frostevarg, som bl.a. arbetar med Interreg-projektet "C3TS, Artic platform to Create, 3D-print, Test and Sell" **bild 9**. I projektet samarbetar LTU med University of Tromsø och University of Oulo och projektet stöds av regionala organisationer i alla tre länder.

Projektet C3TS syftar till att etablera ett livskraftigt nätverk för AM i norra Sverige, Norge och Finland. Man vill öka medvetenheten om additiv tillverkning som ett alternativ till konventionell tillverkning och att öka tekniska och ekonomiska kunskaper och erfarenheter om metoden i regionen. Som ett led i detta arbete håller man seminarier och informationsmöten med företag i regionen där man bl.a. presenterar business-case som visar potential men även begränsningar med tekniken.

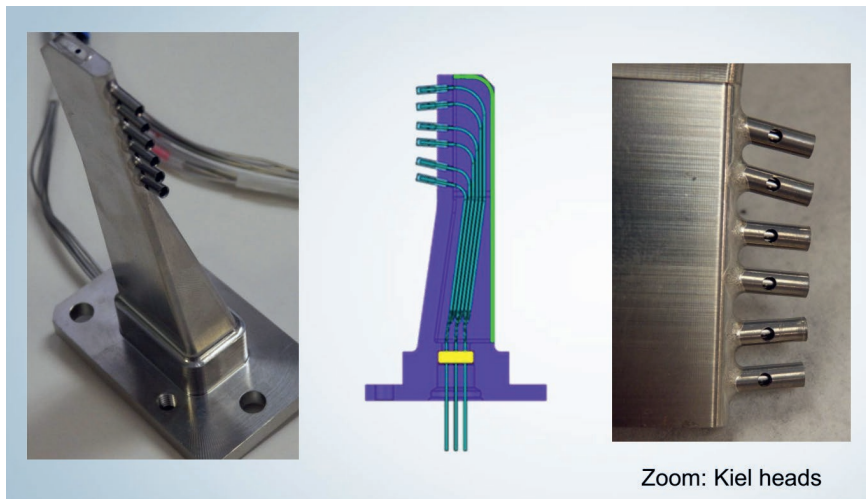


Bild 8. Applikationsexempel för LMF. S.k. "rakes", vilka används vid testning av motorer. Materialet är IN718.



Bild 9. Dr Jan Frostevarg, Luleå tekniska universitet (t.v.) och Johnny K. Larsson, Autokropolis Engineering presenterade olika aspekter på additiv tillverkning. Jan berättade om Interreg-projektet "C3TS, Artic platform to Create, 3D-print, Test and Sell", medan Johnny Larsson gjorde en genomgång av additiv tillverkning inom bilindustrin.

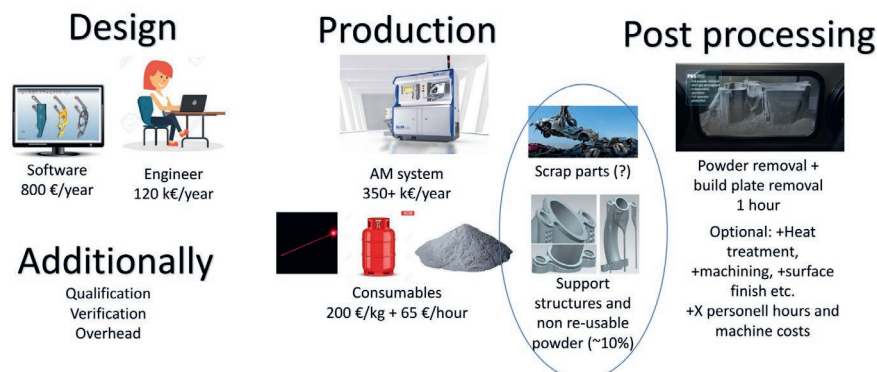


Bild 9.1 En teknisk och ekonomisk helhetssyn är nödvändig när man planerar och genomför ett AM-projekt enligt Jan Frostevarg, LTU.

Jan Frostevarg betonade helheten för att lyckas med additiv tillverkning, där man måste vara medveten om betydelsen av alla delar i processen, när man planerar

och genomför AM-projekt, **bild 9.1**

Inte minst viktigt (bland många andra viktiga faktorer) är konstruktion och användning av stödstrukturer under LMF-



processen, menar Jan Frostevarg, vilket han illustrerade med ett exempel, **bild 10**.

Inom projektet använder man flera demonstratorer för att belysa AM-teknikens fördelar, begränsningar och kostnader. Och det behövs mycket informations-spridning eftersom det till dags dato troligen bara finns ett företag som har implementerat tekniken på Nordkalotten och det är V.A.V. Group i Rovaniemi som tillverkar delar till maskiner och formar till plastprodukter.

Jan Frostevarg avslutar med att bjuda in till ett AM-seminarium vid LTU den 25-26/10 2019 där Prof. Dr Frank Brückner är gästföreläsare.

### Additiv tillverkning inom bilindustrin

Johnny K Larsson, Autokropolis Engineering, med ett långt förflutet inom Volvo Cars, hade tagit på sig uppgiften att berätta runt framtida implementering av additiv tillverkning inom bilindustrin. Branschen har ju varit en av de allra viktigaste och största pådrivarna att införa laserteknik i sina tillverkningsprocesser de senaste årtiondena. Speciellt lasersvetsning och dess varianter har varit ett hett ämne under många år. Och här har tekniken verkligen kunnat visa framfötterna.

Men hur är det då med additiv tillverkning??

- Additiv tillverkning är ingen stor grej inom bilindustrin, konstaterar Johnny Larsson.

Anledningen kan diskuteras men naturligtvis spelar branschens intensiva kostnadsjakt och de stora tillverknings-volymererna stor roll i att inte tekniken har tagit fart. Industrialiseringsgraden är också högst för relativt små komponenter med lågt pris, **bild 11**. Dock tycks det som att även större och tyngre komponenter är på väg att industrialiseras bl.a. inom flygmotor- och flygplansindustrin.

Men det finns dock exempel där additiv tillverkning används, berättar Johnny Larsson. Ett exempel är ett hjul till en vattenpump som BMW tillverkar till sina DTM-bilar, **bild 12**.

Johnny gör en omfattande genomgång av marknaden för SLM-maskiner och visar också olika koncept för hur man kan öka produktiviteten, t.ex. genom multi-spot tekniken där flera laserstrålar samtidigt smälter pulvret. Det kommer också lågkostnads SLM-maskiner, vilka kan öka användningsområdet. En annan gren i utvecklingen är kombi-maskiner där AM-maskiner kombineras med av-

### Costs - Demonstrator 1

| Model              | weight [kg] | Measuring tool |
|--------------------|-------------|----------------|
| Mass model         | 0.416       | Solidworks     |
| Topology optimized | 0.077       | Solidworks     |
| 3D printed part    | 0.072       | Kern FFN scale |

- Part volume 0.033 dm<sup>3</sup>
  - -> materialcost is ~9€/piece
  - Supports are 0.005 dm<sup>3</sup>
- Design time 8h
- Printing time 8h 33min for one batch, 16h 30min/four batch
  - 660€ and 1320€ respectively
  - Four batch one part cost 330€
- Post processing 25min

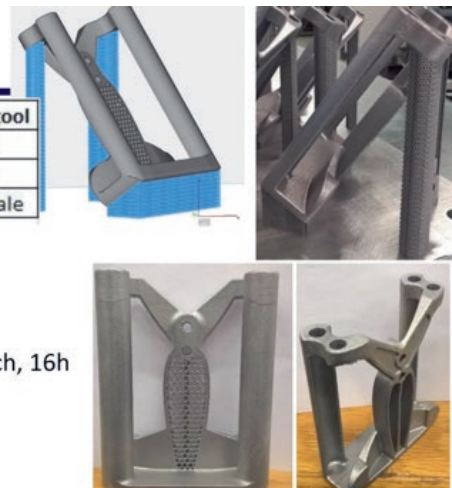


Bild 10.

Exempel på kostnader för detalj tillverkad genom Laser Metal Fusion (LMF) presenterad inom projektet C3TS vid LTU. Stödstrukturer är markerad i blått.

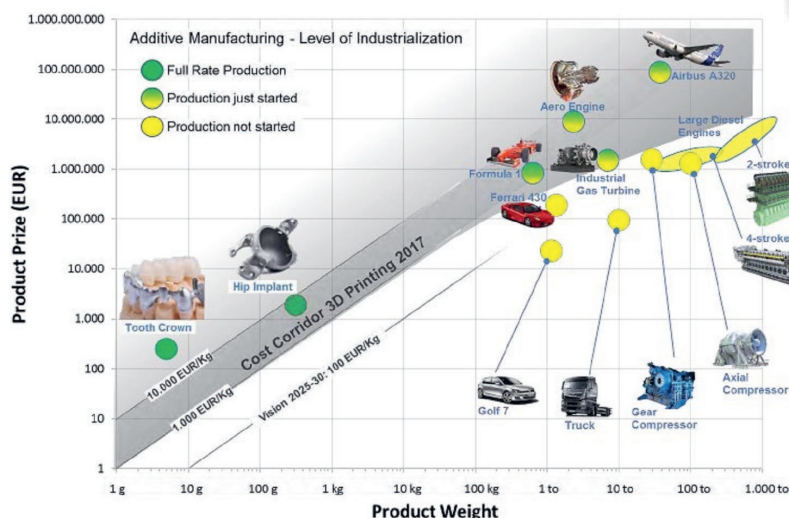


Bild 11.

Grad av industrialisering inom additiv tillverkning. Produktpris och produktvikt.



Bild 12.

Vattenpumphjul framställt med additiv tillverkning för BMW's DTM-bilar.

verkande bearbetning, som i t.ex. HAAS UMC-750.

Johnny Larson tar upp två konkreta exempel på additiv tillverkning inom bilindustrin. De ena är en detalj till det

vikbara taket till BMW i8 Roadster, vilken man hävdar är världens första högvolymp produkt inom bilindustrin tillverkad med SLM, **bild 13**.

BWM uppger att styvheten ökar 10 gånger (PA6 GF30 är ersatt med



AlSi10Mg) och att man uppnår 44 % viktsreduktion (detaljvikt 11g) och 30 % kostnadsreduktion. Man har möjlighet att tillverka fler än 200 komponenter på samma plattform och det tar 82 timmar att tillverka 628 detaljer simultant med fyra 700 W lasrar.

Nästa exempel kommer från Bugatti som i samarbete med Bionic Production AG och Fraunhofer IAPT har tagit fram bromsok med 8 kolvar, **bild 14**.

Detaljen tillverkas i en SLM500HL-maskin med fyra 400W lasrar. Det krävs 2213 lager vilket tar ca 45 timmar att tillverka. Materialet är Ti-6Al-4V och med vikten 2.9 kg (40 % viktsreduktion) hävdar man att det är den största 3D-printade detaljen i titan.

Framtiden då?? Ja, om du vill kan du beställa din egen 3D-printade bil från Local Motors i Phoenix i USA. Bilen har 50 3D-printade detaljer och 75% av karossens vikt är printad, **bild 15**.

- Lägg upp \$53 000 och bilen är din, avslutar Johnny Larsson.

### RISE satsar på additiv tillverkning

I oktober 2018 så blev Swerea IVF en del av RISE, Research Institutes of Sweden, tillsammans med Swerea SICOMP, Swerea Swedcast och korrosionsdelen av Swerea Kimab. Tillsammans har nu RISE 2500 anställda varav ca 30% har en doktorsexamen. Omsättningen för de blivande deltagarna i RISE var 2 700 MSEK år 2017, exklusive Swerea AB. En stor del av kunderna är små- och medelstora företag vilka svarar för ca 30 % av industrins omsättning. Detta berättar Seyed Hosseini, chef för additiv tillverkning inom RISE, **bild 16**.

RISE arbetar på ett brett fält inom AM och har utrustning för att framställa produkter både i metall och keramiska material. Man arbetar inom hela kedjan från materialutveckling till kvalitetskontroll av tillverkade komponenter, **bild 17**.

- Vid RISE fokuserar vi forskningen på nya material, förbättrad processkvalitet och produktivitet, nya AM-processer (t.ex. hybrid processer), konstruktion och simulering samt storskalig AM med polymerer, bio-polymerer och metaller, berättar Seyed Hosseini, och fortsätter med att berätta om några avslutade projekt.

Inom projektet DigiAM har man bl.a. jämfört två olika utrustningar för att mäta oxygenhalten i kammaren på en LSM-



Bild 13.  
Detalj till det viktbara taket hos BMW i8 Roadster tillverkad med SLM.



Bild 14.  
Bromsok med åtta kolvar utvecklad av Bugatti och tillverkad hos Fraunhofer IAPT



Bild 15.  
3D-printad körduglig bil från Local Motors, Phoenix, USA. Målet i framtiden är att 90 % av karossens vikt ska vara 3D-printad.



Bild 16.  
Dr. Seyed Hosseini är chef för additiv tillverkning inom RISE, Research Institutes of Sweden. AM-teamet hos RISE består av ett 20-tal personer

### Materials/process steps @ RISE IVF

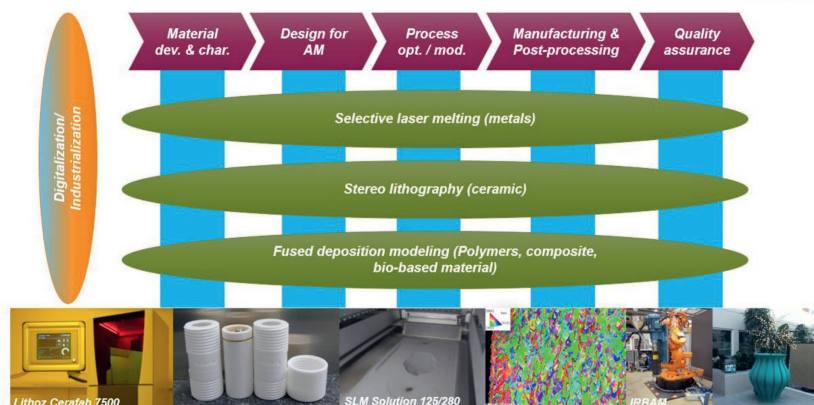


Bild 17.  
Arbetet inom AM vid RISE täcker in ett brett spektrum av teknologin.

maskin. Den ordinära utrustningen mätte inte korrekt halten av syre i kammaren vid lägre (>1000 ppm) oxygenhalter medan den mera avancerade utrustningen effektivt kontrollerade atmosfären, så att oxygenhalten hölls på fastställda värden.

Sayed Hoessini berättar också om ett

pågående projekt som kallas ALL-LIGHT: "Lighter Components through Additive Manufacturing of Aluminium Alloys". Projektet pågår under tre år fram till november 2021. Projektet har som mål att utveckla höghållfasta aluminiumlegeringar för AM samt konstruktion för viktsop-

timering av komponenter inom aerospace och industriella applikationer. Man strävar bl.a. till att uppnå 20% viktsreduktion genom förbättrad mekanisk hållfasthet i komponenterna och att reducera utvecklingstiden för AM-komponenter med 20%.

AM-LIGHT: "Design and Material Performance for Lightweight in Powder Bed Metal Additive Manufacturing" är ett annat projekt som pågår under tre år fram till slutet av maj 2021. Målet här är bl.a. att undersöka och utveckla mekaniska- och ytegenskaper med hänsyn till objektets orientering och dimensioner under byggprocessen. Man vill också utveckla regler för konstruktion och tillverkning för att erhålla optimerade detaljer i 316L, Ni-bas samt aluminiumdetaljer.

Sayed Hoessini avslutar med att informera om "The Swedish Arena for Additive Manufacturing of Metals", som bidrar till att utveckla teknologi och kunskap inom AM. Arenan som har deltagare både från industri och akademi erbjuder bl.a. ett nätverk inom AM och tillfällen att mötas.

### Turbindetaljer attraktiva för AM

Siemens i Finspång har arbetat länge med AM och satsar sedan en tid tillbaka kraftigt på att utveckla och införa tekniken i produktionen. Detta berättar Pajazit Avdovic, **bild 18**, som är Innovation Manager för Additiv tillverkning hos Siemens i Finspång. Man har mer än 100 000 timmars drifttid inom AM. Sedan 2013 arbetar man med reparationer i kommersiella tillämpningar och sedan 2016 så gör man reservdelar "on-demand".

- Tillverkning av turbiner innehåller komplexa detaljer i avancerade material i relativt små volymer vilket gör de lämpliga för additiv tillverkning, säger Pajazit Avdovic, **bild 19**. Vi arbetar både med prototyper, tillverkning av nya detaljer samt reparationer.

Den nedre delen av brännaren ny-tillverkas med AM och den ersätter 13 detaljer. Tillverkning sker i fyra maskiner med fyra lasrar vardera och 8 brännare tillverkas på samma gång. Brännarens övre del slits under användning så här kappar man bort 25 mm för att sedan "printa" en ny överdel på den befintliga brännaren, **bild 20**. Tillverkningen går i serieproduktion med fyra maskiner.

Tekniken med additiv tillverkning har gett upphov till en ny affärsmodell genom att man kan tillverka reservdelar när behov uppstår ("on-demand"), vilket bl.a. ger mycket kortare ledtider. Man kan



Bild 18. Pajazit Avdovic, Innovation Manager för additiv tillverkning vid Siemens i Finspång berättar att man är störst på AM inom Siemens.

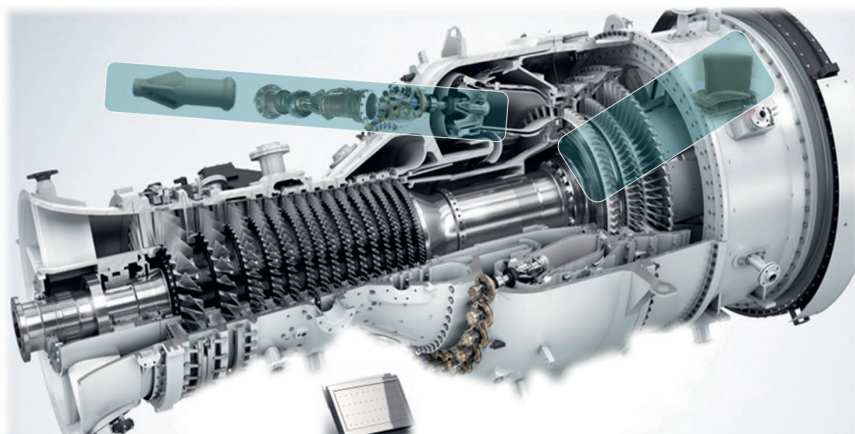


Bild 19. Turbiner innehåller komplexa detaljer i avancerade material och relativt små volymer vilket gör de attraktiva för additiv tillverkning. Brännaren är en intressant tillämpning för AM. Foto: Siemens

### Rapid Manufacturing



### Rapid Repair



Bild 20. Nyttillverkning med AM av den nedre delen av brännaren ersätter 13 komponenter. T.h. Den övre delen av brännare repareras. Foto: Siemens

|                             |                                                                                                        |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 60                          | of Companies believe 3D is the best technology to help competitiveness                                 |
| 52                          | % of Companies are prototyping today using additive manufacturing                                      |
| 78                          | of Companies consider additive manufacturing during the concept plane                                  |
| (Source: TechClarity, 2017) |                                                                                                        |
| 58                          | of power users say they are looking to additive manufacturing to accelerate their product development. |
| %                           |                                                                                                        |
| 90                          | of companies consider 3D printing a competitive advantage.                                             |
| (Source: Sculpteo, 2017)    |                                                                                                        |

Bild 21. Många företag har stark tilltro till additiv tillverkning som en teknik för framtiden.

också nyttillverka detaljer när den som tillverkade originaldetaljen inte längre är verksam. Här ger Pajazit ett exempel på tillverkning av en impeller till ett kärnkraftverk som nu är certifierad och installerad.

- Vi arbetar mycket med att minimera exponeringen av pulver hos personalen, säger Pajazit Avdovic. Det innebär arbete i full skyddsutrustning.

Siemens Finspång har ett omfattande samarbete med andra företag och många forskningsorganisationer inom additiv tillverkning och man deltar i ett 20-tal projekt i Sverige. 2015 var man fyra perso-

ner som arbetade med tekniken och idag är man 20 personer som arbetar med 12 maskiner. Man arbetar också med en ny verkstad i två våningar.

Framtidstron för additiv tillverkning är stark enligt undersökningar från 2017,



#### **bild 21.**

- Credit Suisse och Goldman Sachs uppskattade 2013 att den totala marknaden för additiv tillverkning kommer att vara 10.8 - 12 miljarder dollar år 2020, avslutar Pajazit Avdovic.

#### **AMEXI - en stor satsning på AM i Sverige**

I januari 2017 sammankallade Marcus Wallenberg nyckelpersoner till ett seminarium om additiv tillverkning i Stockholm. Syftet var att öka medvetenheten om teknologin och att diskutera samarbeten för att snabbare kunna tillgodogöra sig den. Resultatet blev att i december samma år bildades AMEXI AB som en joint venture av 10 företag inom Wallenbergfären, med målet att verka som en resurs för att snabba på användningen av AM. Finansieringen blev säkrad för 5 år.

AMEXI finns i Karlskoga där man delar lokaler tillsammans med HITAB. I juni 2018 var man installerade och har nu fem AM maskiner, **bild 23**, i drift.

- Vi arbetar inom tre områden berättar Kim Färnlund; "Varseblivning" där vi genomför utbildningar, produktscreeningar och analyserar buisness case. "Utveckling" är det andra området och där arbetar vi med omkonstruktion av produkter, utvärdering av utrustningar, tillverkningsprov samt material och parameterutveckling. Sista området är "Implementering" och där genomför vi pilotproduktion, utveckling av procedurer och design av anläggningar.

I november 2018 var man 11 anställda och deltog i 37 FoU-projekt och 8 strategiska projekt. Mycket av arbetet innebär att tackla de många utmaningar som en ny teknologi innebär och genomförs som samarbetsprojekt mellan företagen vilket är en stor fördel, avslutar Kim Färnlund.

#### **AIM- kör serieproduktion inom AM**

På Frösön utanför Östersund finns AIM Sweden AB där AIM står för "Additive Innovation and Manufacturing". AIM bildades av en forskargrupp inom AM vid Mittuniversitetet och man har mer än 15 års erfarenhet av additiv tillverkning. AIM har alla kommersiella rättigheter som utvecklats vid AIR Sweden AB som är forskningsbolaget. I dag har AIM 10 anställda medan forskningsbolaget sysselsätter 4 personer.

- AIM är en partner från idé till produktion, säger Stefan Thundal, COO vid AIM, **bild 23.1**. Vi täcker hela kedjan



Bild 22. Kim Färnlund, metallurg vid AMEXI AB, berättar om verksamheten som finns i Karlskoga. AMEXI AB är en joint venture av 10 företag inom Wallenbergfären där bl.a. Atlas Copco, Electro-lux, ABB, SAAB, Scania och SKF ingår.



Bild 23. AMEXI:s lokaler i Karlskoga med fem AM maskiner installerade.

från screening av komponenter/produkter till serieproduktion. I den kedjan ingår också förstudier, konstruktions-optimering, optimering av byggstrategi, samt förproduktion.

AIM arbetar både med elektronstråle (EBM), **bild 24**, och laser inom additiv tillverkning. Man har en Arcam EBM Q20+ specialiserad för tillämpningar inom aerospace, två Arcam EBM Q10+ som är en ny maskin för EBM specialiserad mot implantat. Båda arbetar med metalliska material. För additiv tillverkning inom plastområdet finns en EOS Formiga P110 som arbetar enligt principen "Selective Material Sintering" samt en Stratasys uPrint SE Plus. Denna arbetar enligt "Fused Deposition Modeling" och är specialiserad för ABSplus termoplastiska modeller och prototyper.

#### **Elektronstråle**

Teknologi och utrustning för att använda elektronstråle vid additiv tillverkning har utvecklats vid Arcam AB i Mölndal, som nu säljer sin teknik och maskiner world-wide. EBM använder effekter på upp till 3 kW och det finns inga rörliga delar i elektronkanonen, **bild 24**. EBM arbetar i vakuum vilket ger en kontrollerad och ren atmosfär. Det är en varm process som för titan ligger på 650 °C.

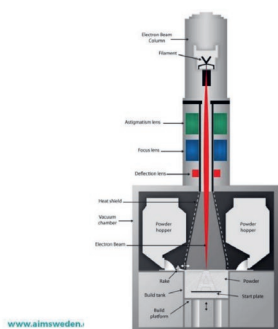
Med EBM får man snabbare smältning med små restspänningar och normalt



Bild 23.1. Stefan Thundal, COO vid AIM Sweden AB berättar att AIM täcker hela kedjan inom additiv tillverkning från screening av produkter till serieproduktion. Man är certifierad enligt ISO 13485 för medicinska produkter och arbetar med bli godkänd för AS91000 för aerospace produkter.

behövs inte värmebehandling av komponenterna/produkterna. Tekniken ger stor frihet i konstruktion, kostnadseffektiv produktion excellenta materialegenskaper samt är en accepterad process för volymproduktion, **bild 25**. AIM bedriver

## THE EBM TECHNOLOGY



- > **High power (3.000 W)**  
Allows for high melting capacity  
High productivity
- > **No moving parts in the EB-gun**  
Extremely fast & accurate beam control  
Power & focus continuously varied  
Enables EBM MultiBeam™
- > **Vacuum process**  
Clean & controlled environment  
Allows processing reactive materials
- > **Hot process (650°C for titanium)**  
No residual stresses  
No heat treatment (of titanium)  
Faster melting

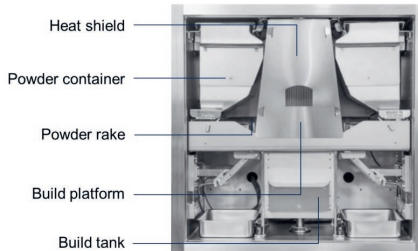


Bild 24.

EBM använder en elektronkanon för att smälta metallen vid additiv tillverkning.

serieproduktion inom medicin, aerospace och annan industri, berättar Stefan Thundal. Exempel på detta är s.k. "sacroiliac" skruvar för höftleder, som ger mycket bra infästningsegenskaper på både kort och lång sikt, **bild 26**.

Man samarbetar också med GKN Aerospace för komponenter inom flygmotorer och Siemens för en kompressorimpeller, **bild 27**, avslutar Stefan Thundal.

För mera information om additiv tillverkning med elektronstråle, se gärna artikel i LaserNytt 1-2018 sid. 2-9 från Laserdagen hos Permanova Lasersystem AB och Arcam AB.

### Gaser har stor betydelse vid AM

AGA Gas AB /Linde i Sverige har arbetat intensivt med additiv tillverkning under några år genom Bo Williamsson, applikationsansvarig för AM inom Norra Europa. Fokus är naturligtvis gaser och deras betydelse för processen och inverkan på materialet och dess egenskaper efter tillverkning.

- Hela processkedjan för additiv tillverkning kräver gas, säger Bo Williamsson, **bild 28**. Framställningen av pulver, transport/lagring av pulver, additiva tillverkningsprocessen, samt eventuell efterbehandling behöver alla någon form av gas.

Nitrogen kan användas för de flesta material men utmattningshållfasthet och kemiska egenskaper kan påverkas. Använd dock inte nitrogen tillsammans med Ti-6AL-4V. Argon ger ingen inverkan på materialen och är standard inom aerospace-industrin. Helium används vanligen vid elektronstrålebearbetning där den kan stabilisera processen och snabba på kylningen efter att byggprocessen är avslutad. Helium kan också användas som en komponent i gasblandningen vid Laser Metal Fusion.

Linde har kört igång ett AM-laborato-

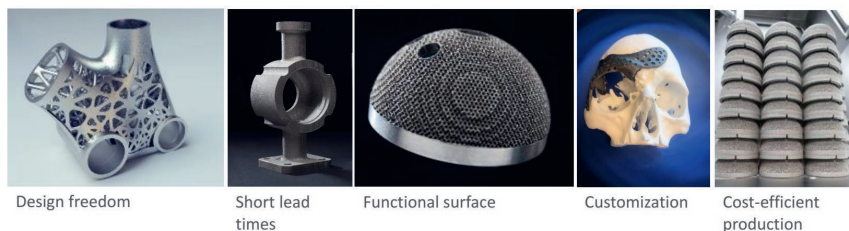


Bild 25.

Fördelar med elektronstråle vid additiv tillverkning.

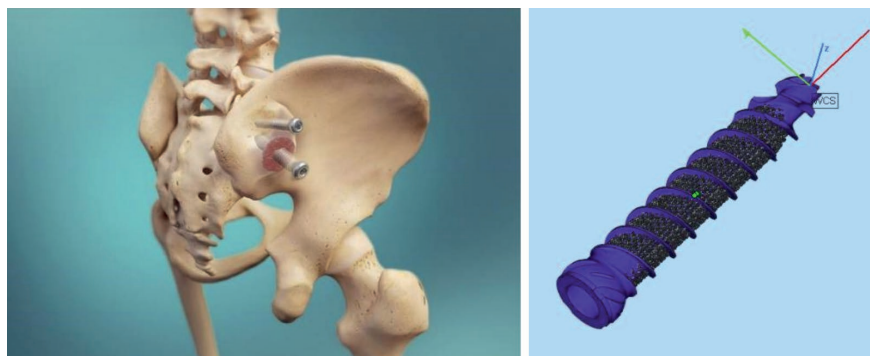
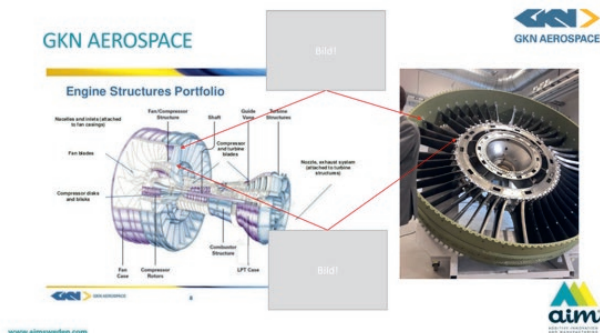


Bild 26.

Skruvorna för höftleder tillverkas av AIM. Skruvarna ger mycket bra infästning både på kort och lång sikt.



### COMPRESSOR IMPELLERS



Bild 27.

AIM samarbetar bl.a. med GKN Aerospace och Siemens inom additiv tillverkning av flygmotor- och turbinkomponenter.



rium utanför München där man har en EOS M290-maskin, en Trumpf TruPrint 1000 och en Trumpf TruPrint 1000 maskin. Man har också utrustning för pulverhantering/lagring samt ett lab för analyser av pulver, metallografi och gas. Tio personer arbetar vid utvecklingslaboratoriet.

- Vi har ett omfattande samarbete med akademi, forskningsorganisationer och företag i Sverige och övriga Europa, säger Bo Williamsson. I Sverige arbetar vi mest vid Chalmers där vi finansierar en doktorand.

Bo berättar om ett projekt hur val av gaser kan påverka processen vid LMF (EOS M290) av Ti6Al4V, där man ville uppnå homogena detaljer, minst samma eller bättre materialkvalitet samt produktivitetsökningar. Projektet visade att nivån för porer var lägst med He och He-Ar-blandning. Med en ny gasblandning (hemlig enligt Bo) så kunde man visa att den totala byggtiden kunde minskas med 28% och att den nya gasblandningen i kombination med optimerade parametrar gav en kostnadsminskning med 12%.

Det är viktigt att kontrollera atmosfären i kammaren under print-processen, berättar Bo. Den varerar under byggtiden vilket gör det viktigt att ha bra kontroll på halten oxygen och nitrogen. Linde har därför utvecklat en kammare för pulverförvaring i en kontrollerad atmosfär för att bibehålla pulverkvaliteten under lagring och för att hålla främst oxygen borta och uppnå en låg fuktighet. Produkten heter ADDvance™ Powder Cabinet, **bild 29**, som dessutom kan lagra relevanta data för lagringen.

Linde har gjort mätningar av oxygen och nitrogenhalten under print-processen och kan konstatera att maskinernas reglering av atmosfären i kammaren inte är speciellt noggrann. Man har därför också utvecklat en utrustning, ADDvance™ O2 Precision Gas Management, för att hålla atmosfären mera konstant i byggkammaren under byggtiden, **bild 29**.

Bo Williamsson berättar om en utvärdering av hur oxygenhalten i kammaren inverkar på Ti-Al6-V när man byggde en cylinder, dels med maskinens egen reglering och dels med Lindes utrustning. Resultatet, **bild 30**, visar på tydliga skillnader i halten oxygen och nitrogen i cylindrarna efter print-processen.

**Bild 30** visar alltså att både halten oxygen och nitrogen ökar i materialet med byggtiden. Försök hos Lind visar att ökad

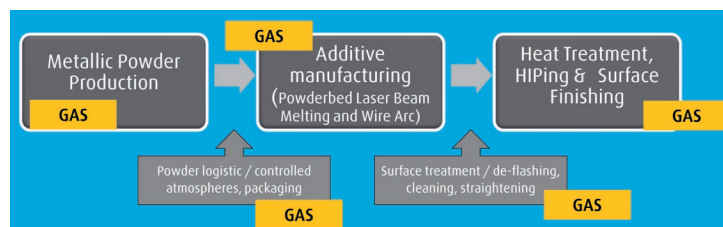


Bild 28.  
Bo Williamsson, applikationsansvarig vid AGA Gas AB/Linde Norra Europa, berättar att hela tillverkningskedjan vid additiv tillverkning behöver gas.



Bild 29.  
Linde har utvecklat ett skåp för pulverförvaring under kontrollerad atmosfär, ADD™vance Powder Cabinet, samt en utrustning som mäter och kontrollerar oxygenhalt och fuktighet i byggkammaren under byggtiden, ADD™vance O<sub>2</sub> Precision Gas management.

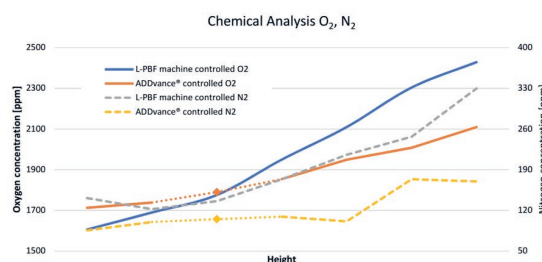
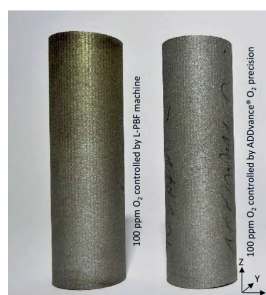


Bild 31.  
Två cylindrar tillverkade av samma Ti-6Al-V pulver vid samma parametrar. Oxygenhalten i kammaren kontrollerades av: Cylinder t.v. 3D print-maskinen egen reglering satt till 100 ppm O<sub>2</sub>. Cylinder t.h. Linde ADDvance™ O<sub>2</sub> Precision satt till 100 ppm O<sub>2</sub>. Kurvorna till höger visar oxygen- och nitrogenhalt i cylindermaterialet som funktion av cylinderns höjd.

halt av oxygen ger lägre utmattningshållfasthet, varför det kan vara idé att ha en noggrann kontroll av atmosfären i kammaren för känsliga produkter.

- Vi tillverkar nu brännare, Lindoflamm burners, med additiv tillverkning, **bild 31**, avslutar Bo Williamsson.

AM-seminariet hos Sandvik blev en intressant och lärorik upplevelse. Svensk industri ligger kanske inte den absoluta internationella framkanten inom AM, men när flera världsledande företag som Sandvik, Siemens och företag inom Walenberggruppen satsar stort så blir de intressant förebilder för andra företag. Forskningen har också kommit igång hos flera lärosäten och F&U-organisationer vilket också kommer att bidra till att

tekniken kommer att öka i användning i Sverige.

LaserGruppen tackar Sandvik för en mycket intressant och välarrangerad dag. ■

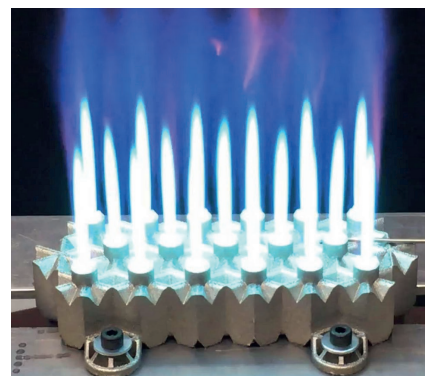


Bild 31.  
Lindoflamm brännare tillverkade med AM hos AGA/Linde.



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

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 enrollera 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

Vi välkomnades av konferensansvarige Dr. Christoph Leyens, som numera tagit över rodret som institutionsföreståndare



Figur 1.

Dresden International Congress Center var platsen för ISAM-2019 där bl.a. 24 företag gavs möjlighet att visa upp sina senaste produkter vid den parallellt arrangerade tekniska utställningen.

vid IWS. ISAM 2019 var ett samarrangemang mellan institutet och TU [Technische Universität] Dresden, och sponsrades av företagen Aerotech GmbH, Laserline GmbH, Laservision GmbH & Co. KG, Precitec GmbH & Co. KG och termotek GmbH. Dessa plus ytterligare 19 tillverkare av laserkällor, -verktyg och utrustningar för kvalitetskontroll deltog i den alltid lika välbesökta utställning som brukar höra till arrangemangen i ICC [International Congress Center, **Fig. 1**] som var arenan för evenemanget. I sitt inledningsanförande gladdes naturligtvis Dr. Leyens över det höga deltagarantalet med sin globala representation med delegater från bl.a. USA, Kina, Australien och Korea. Han meddelade vidare att huvudsyftet med konferensen var att ge svar på frågan

”Hur kan additiv tillverkning implementeras i nya produkter?”. Detta var ju även temat för den debatt och paneldiskussion som föregick konferensen, och vilken jag redogjorde för i LaserNytt 1-2019.

Dr. Manyalibo ”Ibo” **Matthews** från ansedda Lawrence Livermore National Laboratory [LLNL] hade fått äran att vara förste keynote-talare, där han inledde sitt föredrag med att adressera de hinder som gör att additiv tillverkning idag används i begränsad omfattning. Till dessa nackdelar hänförde han en hög grad av defektförekomst, restspänningar, behovet av efterbearbetning p.g.a. grova ytor hos de tillverkade objekten, samt önskade intermetalliska faser. Han föreslog därpå ett antal motåtgärder för att minimera dessa effekter där mycket byggde på de

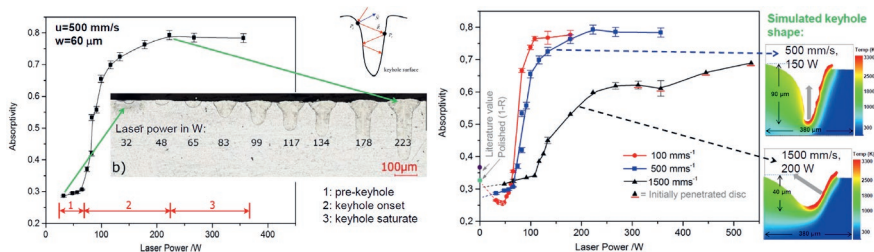


processsimuleringar som tidigare torgförts av hans kollega Dr. Wayne King. In-data till dessa avancerade simuleringsprogram utgörs av "in-situ"-mätningar av absorption samt optisk eller röntgenbaserad bildanalys under processen. Här har det gått att påvisa en god överensstämmelse mellan absorptionsförmåga och uppsmält material, där uppkomsten av ett nyckelhål utgör ett tröskelvärde för absorptionen. Ett nyckelhål uppstår främst i laserstrålens vändlägen och stoppositioner, ett fenomen som är gynnsamt för absorptionsförmågan men samtidigt ökar pormängden. En mindre fokuspunkt liksom en långsammare framföringshastighet är gynnsamt ur absorptionssynpunkt men ökar samtidigt risken för genombränning som ett resultat av nyckelhålsformering. Samtidigt kan man konstatera att vid snabba skannerhastigheter får lasereffekten en större inverkan på absorptionsgraden [Fig. 2]. Att undvika dylika hål i exempelvis vändlägen genom att momentant helt stänga av lasern tycks inte hjälpa utan här gäller det att kontinuerligt variera lasereffekten enligt metodiken för IFF [Intelligent Fast Forward], som kan vara i form av AI [Artificial Intelligence].

Höghastighetsfilmning av SLM [Selective Laser Melting] -processen har visat att delvis förångade pulverpartiklar, som kan betecknas som svetsprut, tenderar att landa i smältan och därigenom destabilisera processen. Detta fenomen har även ett negativt inflytande på pulverkvaliteten i de fall man avser att återanvända det samma [Fig. 3].

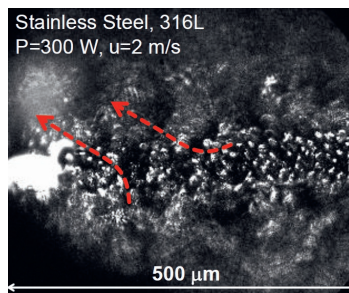
Observationer av fördröjd sprickinitiering vid SLM-tillverkning med Volfram-pulver har gjort att det går att modellera övergången mellan duktila och spröda brott. Känsligheten för nyckelhåls effekter och porbildning i vändlägen har också kunnat verifieras med röntgenanalys [Fig. 4], men numera kan sådana problem undvikas med hjälp av tidigare nämnda simuleringsmodeller.

Framtida forskning inom SLM vid LLNL kommer att inriktas mot att påverka materialens mikrostruktur genom oscillering av laserstrålen samt att utveckla surrogatmodeller för att kunna simulera och på så sätt optimera processen då den används vid tillverkning av större objekt. Avslutningsvis delgav Dr. Matthews oss några viktiga påpekanden då det gäller att öka produktiviteten hos SLM-processen. Att tillverka i vacuum är ingen framkomlig väg då pulvret i sådana fall endast blåses bort av laserstrålen, ej heller är



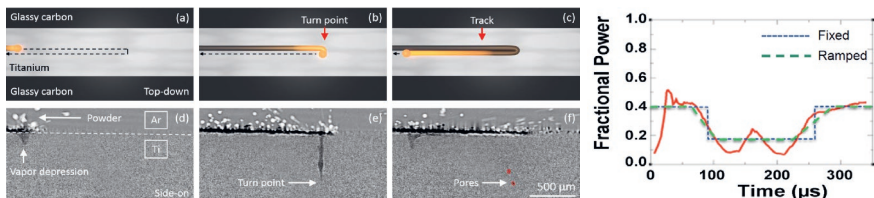
Figur 2.

Uppkomsten av ett nyckelhål utgör ett tröskelvärde för absorption av laserenergi, men detta blir mindre tydligt vid snabba "scanner"-förlöpp då absorptionsgraden främst styrs av lasereffekten.



Figur 3.

Höghastighetsfilmning av pulver-bäddstillverkning med rostfritt 316L-material visar att delvis förångade pulverpartiklar landar i smältan. Detta påverkar kvaliteten på det tillverkade objektet, men har även en negativ inverkan i de fall pulvret avses att återanvända.



Figur 4.

Röntgenanalys av nyckelhåls effekter och porbildning under SLM-processen kan motverkas genom en anpassad variation (röd kurva) av effekten (t.h.).

en ytterligare ökad processhastighet att rekommendera då den leder till liknande effekter. Bättre är då att använda en kombination av flerstråleteknik med ultrakorta pulslängder.

Förmiddagens andre keynote-talare var gamle bekantingen Dr. Ingomar Kelbassa, som lämnat den akademiska världen vid RWTH [Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule] och ILT [Institut für Lasertechnik] i Aachen för att istället upprätthålla en tjänst som forskningschef inom AM [Additive Manufacturing] hos Siemens AG. Här brottas han med att identifiera metodernas potential inom koncernen, och han kunde konstatera att endast två av Siemens nio affärsområden använder någon form av additiv tillverkning idag, nämligen energi/gas och mobility. För att nå en utökad användning menade han att det är viktigt att ha ett holistiskt synsätt över hela produktionsflödet vid additiv tillverkning. Därpå gjorde Dr. Kelbassa en jämförelse mellan Siemens och GE, där han konstaterade att de senare är en typisk maskintillverkare, något som understryks genom förvärven av företag som Arcam och Concept Laser, medan

Siemens gärna ser på alla maskinbyggare som potentiella kunder i sitt nätverk. För att ytterligare stärka sin förmåga då det gäller att konstruera på ett för AM-tillverkning korrekt sätt har Siemens köpt det engelska företaget Material Solutions med bas i Worchester U.K., vilka förfinat mjukvaruprogrammet "Unigraphics" som nu går under beteckningen "SiemensNX". Då det gäller additivt tillverkade komponenter hos Siemens lyfte Dr. Kelbassa fram det välbekanta turbinbladet [Fig. 5], som vi sett i oräkneliga presentationer. Syftet med applikationen har inte varit att sätta den i produktion utan endast att visa på att man med AM kan nå materialegenskaper som är likvärdiga med smidda detaljer. Detta har man nu lyckats med i och med att turbinblad tillverkade i den nickelbaserade superlegeringen MAR-M247™ fått ett godkännande från ASME [American Society of Mechanical Engineers]. Däremot använder Siemens LMD [Laser Metal Deposition] för reparation av brännarmunstycken, där 90 % av komponenten lämnas kvar och endast själva toppen nyskapas, något som medför avsevärda kostnadsbesparingar. På sikt är

målet att nytillverka brännarmunstycken helt med additiva metoder i stället för som idag genom gjutning [Fig. 5]. En annan bransch där Dr. Kelbassa förutspår en hög tillväxtpotential är reservdelstillverkning för spårbundna produkter inom järnvägs- och spårvagnstrafik, och han avslutade med uppskattningen att år 2022 kommer Siemens att ha 200 detaljer som färdiga hyllösningar för AM-tillverkning, varav mellan 30-40 implementerats i industriell produktion.

### Avancerade processer och teknologier

Den här sessionen leddes av gästprofessor vid LTU [Luleå Technical University], sympatiske Dr. Frank Brueckner [Fraunhofer IWS], som introducerade den förste talaren som var Pedro Almeida från Norsk Titanium. Företaget bildades 2007 av Scatec, och har specialiserat sig på att bygga maskiner för processen RPDTM [Rapid Plasma Deposition], d.v.s. metalldeponering med hjälp av en plasmaljusbåge vilken smälter ett trådmaterial. Den första tillverkningscellen benämnd G3 introducerades 2012 vid forskningshögkvarteret i Eggemoen, och denna godkändes sedan av Airbus för tillverkning av lågpåkända komponenter i deras flygplan. 2015 installerades G4-cellen som var en förfinad variant av RPD-maskin i en produktionsanläggning i Plattsburgh, NY, där man idag har tillgång till hela 9 sådana maskiner. Därpå försågs anläggningen i Norge med tre dylika G4-celler [Fig. 6] där man idag producerar strukturella AM-detalljer i Ti6Al4V för Boeings "787 Dreamliner". Kammaren mäter 900×600×300 mm där upp till 100 kg tunga objekt kan tillverkas. Deponeringshastigheten ligger på mellan 5-7 kg per timme där typiska värden för pålägningssträngarnas höjd och bredd uppgavs ligga på 3-4 mm respektive 8-14 mm. Cellen är försedd med två brännare – en som förvärmer substratet och en som smälter metalltråden, och där ljusbågen är av s.k. spray-transfermodell. Skyddsgasen i kammaren är Argon och för kvalitetskontroll av de tillverkade objekten använder man oförstörande provning i form av CT [Computational Tomography].

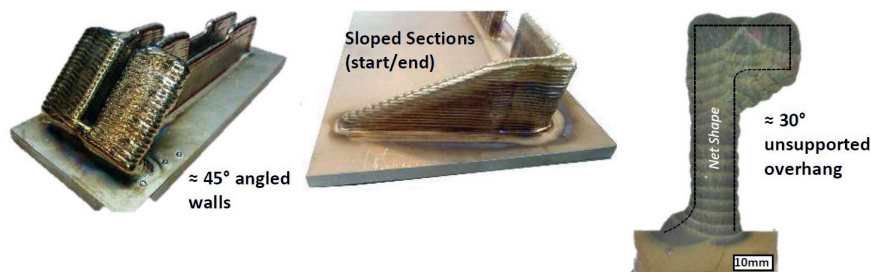
Señor Almeida påstod att man klarat att bygga med 45° överhäng utan att behöva ta till stödstrukturer [Fig. 7]. Han avslutade med att säga att dagens utmaningar främst ligger i att kunna kontrollera inbyggda restspänningar och därtill kopplade distorsioner. Däremot har man hittills uppnått väl godkända resultat då



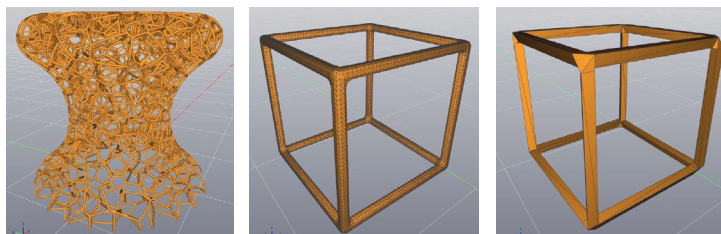
Figur 5. 3D-printade turbinblad (t.v.) och brännarmunstycken (t.h.) hos Siemens, som redan idag använder den additiva metoden LMD för reparation av de senare.



Figur 6. T.v. en G4-cell hos Norsk Titanium för tillverkning med s.k. Rapid Plasma Deposition där två ljusbågar arbetar simultant. 2017 fick man ett godkännande från FAA (Federal Aviation Administration) att tillverka komponenter i Titan för Boeings "787 Dreamliner".



Figur 7. RPD™-metoden gör det möjligt att inom vissa gränser bygga sluttande och lutande strukturer utan något behov av stödstruktur.



Figur 8. Slumpmässiga gitterstrukturer är populära men traditionell beskrivning av balkelementen kräver en stor datamängd varför en approximering av dessa till trianglar radikalt reducerar konstruktions- och beräkningstider.

det gäller de byggda objektens utmattningshållfasthet och vars sprickpropagering är klart lägre i jämförelse med smidda och anlöpta provkroppar.

Konstruktion och tillverkning av gitterstrukturer var temat för Kenneth Nais [Renishaw plc] presentation. Dessa strukturer kan modelleras med hjälp av balk- och nodelement, och för applikationer inom medicin- och kirurgiområdena är en slumpmässig utplacering av balkelementen populärt. Detta ställer emellertid till problem i konstruktionsfasen då traditionella .stl-filer, där strukturen beskrivs i form av trianglar med tre punkter och en vektor, gör simuleringarna ytterst tidskrävande. Därför rekommenderade han att

approximera balkelementen till trianglar för att på så sätt reducera datamängd och beräkningstid, vilket illustrerades med en enkel kubformad gitterstruktur där man med ett dylikt tillvägagångssätt kunnat reducera datamängden från ½ Mbyte till 9 Kbyte [Fig. 8]!

Nästa del av presentationen handlade om hur man åstadkommer en mycket fin gitterstruktur med tunna balkelement. Då används med fördel singulära laserpulser över pulverbädden med en 75 µm stor fokuspunkt vilken ger en smälta med 150 µm diameter. Detta sätter en minimigräns för balkelementens tvärsnitt, men metoden kan även användas för att beskriva ytterkonturen hos grövre balkar där kär-

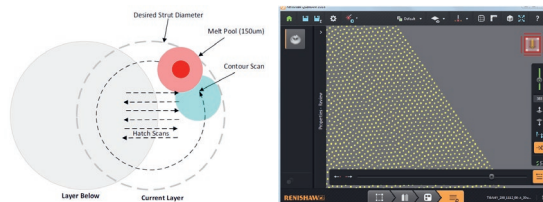


nan sedan konsolideras med hjälp av en grövre fokalpunkt. I **figur 9** illustreras den skiktade .mmt-fil som sedan skickas till AM-maskinen. Slutligen var det glädjande att få höra att det nu finns ett mjukvaruprogram kallat "nTopology", vilket kan skapa en gitterstruktur direkt ifrån en .stl-file som beskriver en solid design [**Fig. 10**]. Strukturen beskrivs sedan i form av en tabell i .ltx-format som kan exporteras till AM-maskinen. Detta innebär enorm tids- och kostnadsbesparingar i konstruktionsfasen.

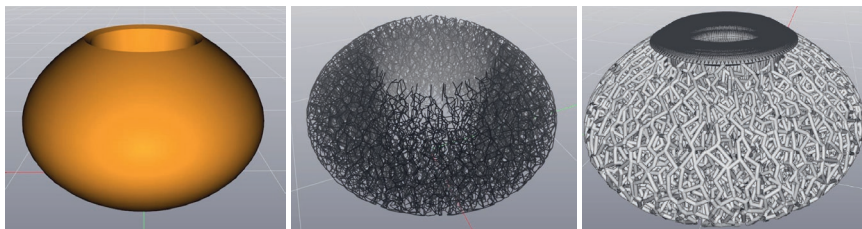
Lukas **Stepien** från Fraunhofer IWS beskrev hur man inom en forskargrupp kombinerat elektronik-printning med AM i form av FFF [Fused Filament Fabrication, **Fig. 11**]. Den senare processen använder polymera material som i delvis smält form extruderas ut genom ett munstycke och på så sätt kan bygga upp strukturer som är flexibla. Tanken är att sedan genom dispensering integrera elektronikdetaljer som exempelvis olika typer av sensorer i de tillverkade artiklarna. På så sätt kan funktionaliteten ökas även om artiklarnas form är ytterst komplex. Det återstår dock ett antal problemområden då 3D-printad elektronik vanligtvis har sämre prestanda än traditionellt kiselbaserad elektronik. Vidare kan livslängdsbegreppen ifrågasättas, och slutligen blir en dylik kombinerad tillverkning svår att integrera i befintliga tillverkningskedjor.

Bland exempel som visades handlade ett om hur man med integrerad elektronik kan övervaka förslitningsnivån hos bussningar, vågledare m.m. [**Fig. 12**]. Ett annat var integrerade värmeslingor i en polymer matris, och ytterligare ett exempel handlade om hur flödet över en mikro-pump kunde monitoreras.

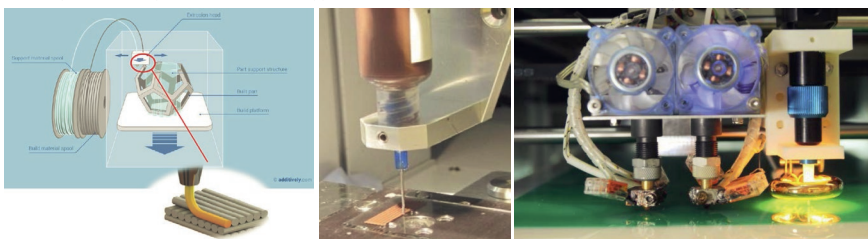
Additiv tillverkning har ju rönt ett stort intresse här i Sverige och därför var det inte så förvånande att ett flertal landsmän dök upp vid ISAM-2019. En av dessa var Patrik **Ohludin** från Freemelt som är ett avknopningsföretag från Arcam och etablerades som ett fristående bolag 2017 av några engagerade chalmérister. Den gode Patrik inledde med att konstatera att det finns väldigt få pulvermaterial för pulverbäddsbaserad additiv tillverkning tillgängliga på marknaden, eller cirka 20 stycken för SLM och blott 4 material för EBM [Electron Beam Melting], och därför måste det utvecklas fler material om AM-tekniken skall kunna växa. Därefter gick han vidare med att beskriva företagets "Freemelt One" [**Fig. 13**], som är en EB-baserad pulverbäddsmaskin med en 6



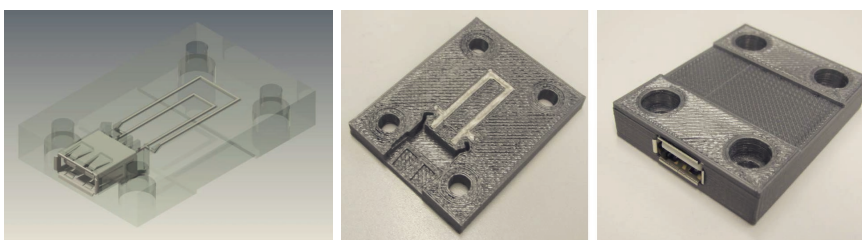
Figur 9. Metodiken för att med singulära laserpulser skapa en mycket fin gitterstruktur (närmast), och t.h. ett exempel på en skiktad .mmt-fil.



Figur 10. Med mjukvaruprogrammet "nTopology" kan en gitterstruktur skapas då man utgår från en solid kropp.



Figur 11. Principen för Fused Filament Fabrication och hur denna process kan kombineras med dispensering för att integrera elektronikdetaljer för statusövervakning i olika komponenter



Figur 12. Ett exempel på hur man kan bygga in sensorer i komponenter vilka kan indikera när det är dags att göra förebyggande underhåll p.g.a. exempelvis förslitning.

kW elektronkanon, ett kammarvakuum motsvarande 10-6 hPa lufttryck och där pulverbädden kan värmas till över 1.200 °C, något som är fördelaktigt då sprickkänsliga material används. Kammarstorleken är 70 liter vilket gör att luftevakuering går snabbt, och elektronstrålen manipuleras via ett stort antal individuellt kontrollerade magnetpolar. Processparametrarna synkroniseras via ett egenutvecklat maskinspråk kallat BOB [Build Operation Bureaucrat].

Maskinen är en prototyp och inte avsedd för produktion, men erbjuds som en s.k. open source, vilket innebär att maskinlösningen är transparent och tillgänglig för experiment åt potentiella intressenter, med baktanken att genom breda samarbeten kunna utveckla nya pulvermaterial. Vad gäller det senare menade Dr. Ohludin att här krävs ett nytänkande, och att det inte är säkert att sfäriska pulverpartiklar alltid är de optimala. Därtill nämnde



Figur 13. "Freemelt One" är en s.k. open source med vars hjälp en potentiell användare av additiv tillverkning kan undersöka nya pulvermaterial, optimera pulverflödet samt skräddarsy exklusiva rörelsemönster för elektronstrålen. Detta understöds av att höghastighetskamera eller andra övervakningsinstrument kan integreras i maskinen.

han att magnesium-pulver inte fungerar särskilt bra i en vakuumkammare.

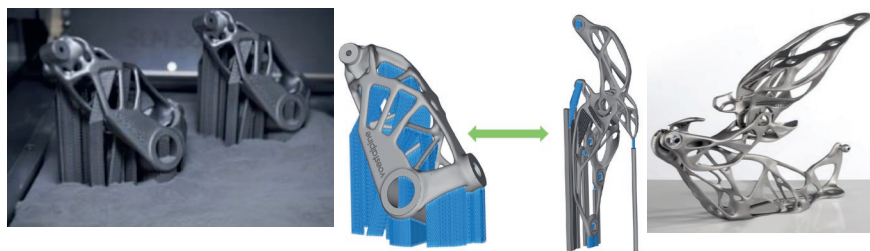
## Material och provning

Denna session modererades av Jörg **Brettschneider** [Fraunhofer IWS] och inleddes av Eric **Klemp** från voestalpine Additive Manufacturing Center GmbH. Denna division inom koncernen utvecklar och producerar pulver för AM med IGA-processen [Inert Gas Atomization] och har stärkt sin position inom denna bransch genom förvärven av Uddeholm [Hagfors] och Böhler Edelstahl [Kapfenberg, **Fig. 14**]. Den årliga kapaciteten uppgår till 200 ton metallpulver! Dr. Klemp lyfte fram några viktiga faktorer som påverkar kammaren vid pulverbäddstillverkning, nämligen luftfuktighet, temperatur och gasflöde vilka alla kan ha ett signifikant inflytande på de tillverkade objektens egenskaper.

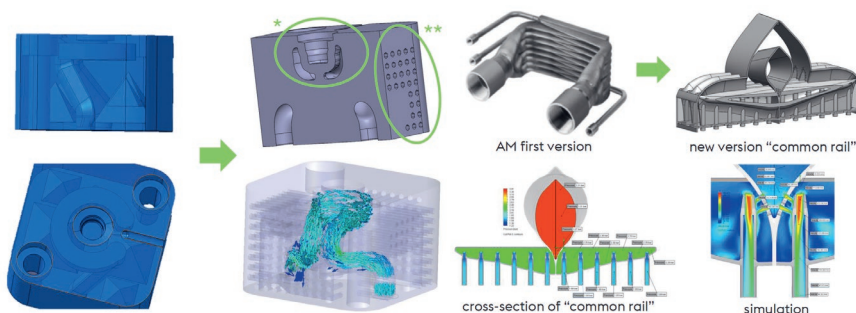
Bland praktikfallen fanns ett som handlade om SLM-tillverkning av ett motorhuvsgångjärn till en elbil. Initialt krävde gångjärnet en omfattande stödstruktur, vilket var ett resultat av strukturoptimering, men genom att istället fokusera på byggnadsriktningen kunde stödstrukturens storlek minimeras [**Fig. 15**]. Gångjärnsgeometrin är extremt komplex vilket beror på att gångjärnet skall separera i händelse av en frontalrock och därigenom lyfta upp huven cirka 50 mm så att en eventuellt påkörd fotgängare inte skall slå huvudet i de hårda underliggande komponenterna i motorrummet. Med SLM-tillverkning kunde man reducera vikten med 50% samtidigt som kraven på hållfasthet och mått noggrannhet innehölls. Anpassade kylkanaler i ett formsprutningsverktyg för plast var ett annat AM-exempel som gjorde att kyltiden kunde reduceras från 20 till 6 sekunder [**Fig. 16**]. Ett annat avkylningsrelaterat objekt var ett verktyg med många utblås avsett för kylning av plana objekt som exempelvis används i kall- och varmformningslinjer hos plåttillverkande företag som voestalpine självt [**Fig. 16**]. Byggtiden för två simultant tillverkade sådana verktyg uppgick till 76 timmar där styckevikten blev 1,6 kg. Den totala konstruktionstiden låg på 5 veckor varav en vecka utgjordes av flödessimuleringar. Ett annat intressant praktikfall var en rörkrök i ett matarmunstycke för transport av aggressiva vätskor där traditionellt gjutna detaljer har en livslängd på blott 4-6 veckor [**Fig. 17**]. Genom att sedan december 2017 tillverka rörkröken med SLM istället,



Figur 14. Vid anläggningarna hos Böhler Edelstahl (t.v.) och Uddeholm i Hagfors (t.h.) producerar voestalpine sedan 2016 pulver enligt IGA-processen i partistorlekar upp till 500 kg.



Figur 15. Genom att optimera byggnadsriktningen kunde stödstrukturen för detta extremt komplicerade motor-huvsgångjärn minimeras. Detta innebär en bättre utnyttjandegrad av byggplattformen samtidigt som komponentvikten minskades med 50%.



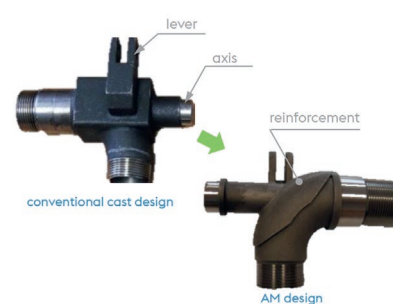
Figur 16. Två exempel där additiv tillverkning bidrar till en optimal utformning och placering av kylkanaler; t.v. ett formsprutningsverktyg där kyltiden reduceras från 20 till 6 sekunder, och t.h. ett verktyg som kylar plåten i en valslinje hos voestalpine.



Figur 17. Livslängden för rörkrökar i matarmunstycken, vilka är utsatta för extrem kontamination och förslitning, kan avsevärt förlängas genom att tillverka desamma med SLM och lokala förstärkningar i ett slitåligare material.

kunde man välja ett slitåligare material samt lokalt förstärka densamma i speciellt utsatta områden.

Sessionens tyngdpunkt låg på kvalitets-säkring av additivt tillverkade objekt och här beskrev Philip Sperling från XYLON International hur såväl tvådimensionell röntgen som tredimensionell CT [**Fig. 18**]



–skanning kan användas för ändamålet. Nackdelen med den förstnämnda metoden är att man lätt får störningar från ytan då man avser att analysera innanmätet av den tillverkade komponenten. Förutom kontroll av det tillverkade objektet kan CT-skanning även användas för att undersöka pulvermaterialets kvalitet med

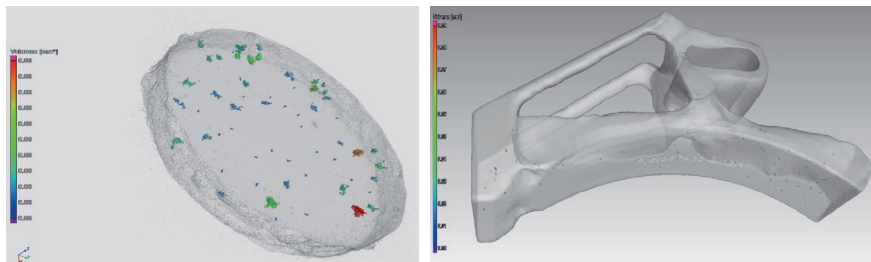


en upplösning på 2  $\mu\text{m}$  där eventuella porer inuti själva pulverpartiklarna kan detekteras!

Herrn Sperling visade några exempel där CT använts som kontrollverktyg för att säkerställa kvalitén hos AM-tillverkade höftleder, skallimplantat och öppna kylkanaler i en raketmotor tillverkade i Inconel. Vid tillverkning av skallimplantatet kunde man identifiera att smält pulver fastnat i gitterstrukturen och inte gick att avlägsna förrän man genomförde en geometriförändring av implantatet [Fig. 19]. Med tilläggsmodulen "VG Studio" från Volume Graphics kan man i mjukvaruprogram simulera en komponents prestanda direkt utifrån CT-data, vilka även kan användas för processoptimering vid AM.

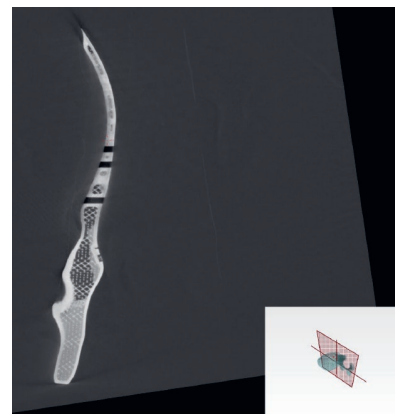
Helmut Schober från ILL [Institut Laue Langevin] i Grenoble beskrev en kontrollmetod som är snarlik röntgen, nämligen s.k. neutrondiffraction. Den används företrädesvis till att karaktärisera restspänningar, vilket är temat för EU-projektet "SALSA" [Strain Analyser for Large Scale engineering Applications]. Principen bygger på att neutronerna reflekteras i materialets atomlager, vilket gör att man kan fastlägga avstånden mellan dessa, korrelera mot ett spänningslöst referensavstånd och därigenom kalkylera spänningsnivån där såväl Braggs som Hooks lagar används som beräkningsalgoritmer [Fig. 20]. Detta kräver att materialet har en viss tjocklek och därför fungerar metoden sämre på tjocklekar som understiger 1 mm, men är också beroende av vilka material som provas. För aluminium är den maximala penetrationsförmågan hela 320 mm, och för andra materialkvaliteter gäller följande maximala tjockleksvärden; stål 50 mm, Nickel 34 mm, Koppar 60 mm och Titan 68 mm. Fördelarna med neutrondiffraction är att man kan kontrollera stora objekt upp till 1 m långa, samtidigt som metoden har en hög rumslig upplösning. Vidare är responsen snabb varför tekniken kan användas in-situ för processövervakning.

På slutet redovisades några praktikfall där neutrondiffraction använts för kvalitetskontroll av AM-tillverkade komponenter. Det första handlade om hur man kunnat upptäcka mikrosprickor på mellan 40-60  $\mu\text{m}$  i en stjärngeometri tillverkad i Ti6Al4V. I ett samarbete med Fraunhofer IWS, inom ramen för esa [european space agency] -projektet "ATHENA" [Advanced Telescope for High-ENERgy Astrophysics], hade man studerat spänningsgradienter vid tillverkning av en

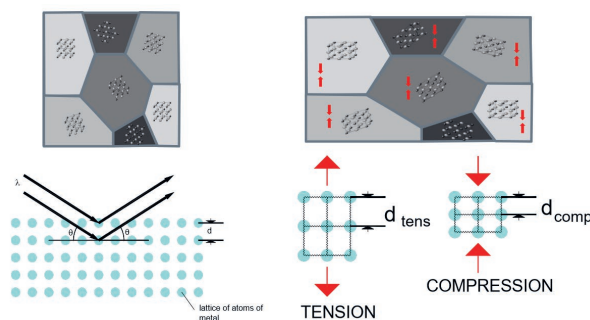


Figur 18. Med tredimensionell CT kan intern porositet upptäckas i exempelvis en aluminiumkomponent (t.h.).

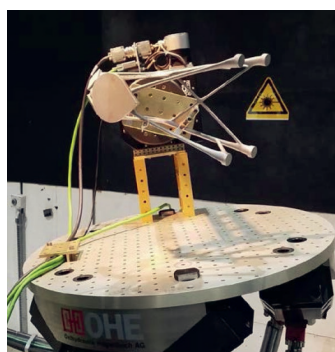
optikbänk för "ATHENA"-satelliten med trådbaserad LMD. Här kunde man observera att spänningen ändrade riktning från drag till tryck i byggriktningen, samt att man fick geometriska störningar i processens vändlägen. I samarbete med IREPA [Istituto di Ricerche Economiche per la Pesca e l'Acquacoltura] Laser och Cranfield University hade en jämförande studie gjorts mellan pulver och trådbaserad uppbyggnad med Ti64-material, vilket gav vid handen att den förstnämnda metoden gav klart lägre restspänningar. Dessutom tenderade dessa att breda ut sig longitudinellt i uppbyggnadsriktningen. Inom ramen för "AMAZE" [Additive



Figur 19. Med Computed Tomography kunde man identifiera att osmält pulver fastnat inuti gitterstrukturen på detta implantat, vilket ledde till en nödvändig omkonstruktion av dess geometri.



Figur 20. Princip (t.v.) och utrustning (t.h.) för NDT (Non-Destructive Testing) -metoden neutrondiffraction.



Figur 21. Spänningsfördelningen i ett SLM-tillverkat objekt är inte enbart beroende av dess form, utan i minst lika hög grad av det skanning-mönster som använts. Sådana effekter går att upptäcka med neutrondiffraction som i exemplet med denna solcellskonsol.

Manufacturing Aiming towards Zero waste & Efficient production of high-tech metal products] -projektet, tillsammans med Thales och Renishaw, kunde man konstatera att skanning-strategin hade en inverkan på spänningsfördelningen vid SLM-tillverkning av en solcellskonsol

i aluminium [Fig. 21]. Slutligen visade Herrn Schober en tillämpning där neutrondiffraction använts in-situ för att detektera spricktillväxt under WAAM [Wire Arc Additive Manufacturing] -tillverkning med Inconel625-material.

En mera välkänd metod för oförstö-

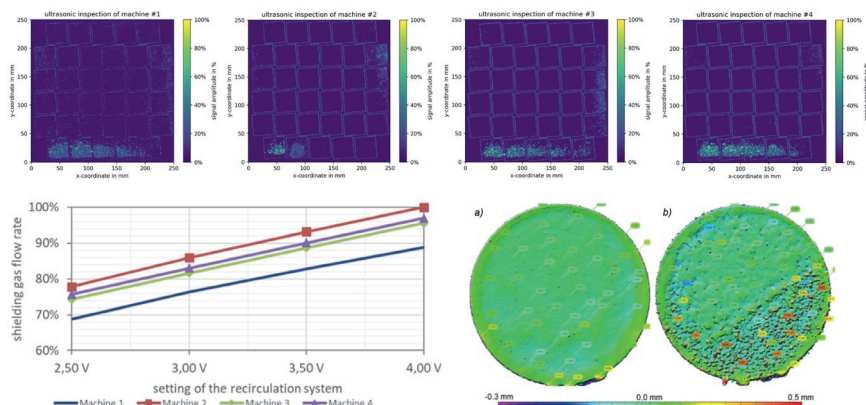
rande provning, jämfört med ovanstående, är tekniken med ultraljud. Detta är en metod som MTU Aero Engines använder för att säkerställa kvalitén hos bl.a. sina sedan 2013 additivt tillverkade inspektionsbossar, och nu kunde vi lyssna till deras representant Sebastian Rott som beskrev företagets erfarenheter inom området. Vid huvudsätet i München arbetar 4.700 anställda och där har man tillgång till en imponerande maskinpark för AM i form av sex stycken M280- och två stycken M290-maskiner från SLM Solutions samt en maskin med beteckningen M400/4. [Fig. 22] De huvudsakliga pulvermaterial som används är IN718, Hastelloy X, MAR-M509 och rostfritt 316L. De defekter som



Figur 22. Interiörbild från det välutrustade SLM-laboratoriet hos MTU Aero Engines i München.

man hoppas finna med ultraljudsprovning i form av såväl A-scan som C-scan är bindfel, och de processparametrar som har störst betydelse för uppkomsten av sådana är sträckenergi, pulverkvalitet och skyddsgasflöde. Hopklumpning av pulverpartiklar är en effekt som leder till bindfel, och denna mekanism beror främst på att laserstrålen skjuter bort pulverpartiklar och att dessa partiklar sedan deponeras på nytt. En nackdel med C-scan är att metoden endast kan hitta defekter som har en utsträckning vinkelrätt mot den infallande ljudsignalen, medan en fördel är kontrollmetodens relativa snabbhet.

Ett återkommande problem vid parallell tillverkning i flera maskiner är att kvalitén hos de tillverkade objekten kan variera. Detta illustrerades med resultaten från en s.k. Round Robin-test där objekt tillverkade i fyra olika SLM-maskiner hade ultraljudprovats [Fig. 23]. Detta menade Dr. Rott berodde på att skyddsgasflödet i de fyra maskinerna var olika. Därför glädades han av att en standard [ISO/ASTM WD 52941] för acceptansprovning av pulverbäddsmaskiner avsedda för tillverkning av aerospace-komponenter är under utarbetning. Nu gör man CFD [Computer Fluid Dynamics] -simuleringar för att finna ett optimalt flöde, men har även integrerat ett processövervakningssystem,



Figur 23. Överst C-scan av SLM-objekt tillverkade i fyra olika maskiner med identiska parametrar. Skillnaderna går att hänföra till varierande skyddsgasflöden, vilket illustreras i bilden nedtill höger med ett normalt skyddsgasflöde och ett reducerat sådant (t.h.) som inte orkar blåsa bort osmälta pulverpartiklar.

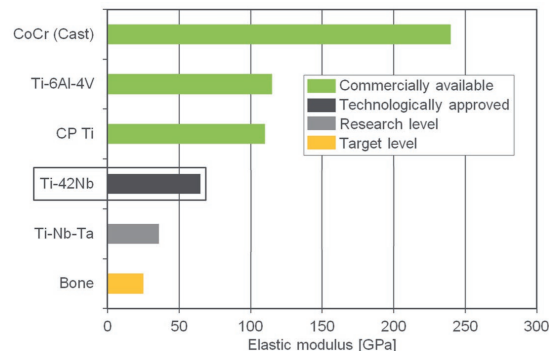


Figur 24. Implantat i Ti-Nb-Ta-legeringen Ampertec® har en E-modul som korresponderar bättre till mänsklig ben- och skelettstruktur jämfört med de Titan-legeringar som används idag.

baserat på OT [Optical Tomography], från EOS i sina maskiner. Med dylika insatser anser sig MTU Aero Engines kunna producera fullvärdiga komponenter, men Dr. Rott avslutade med att säga att kvalificering av återanvänt pulver fortfarande är en olöst fråga.

Sessionens siste 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 för kroppen giftiga eller allergiska ämnen. Därför pågår en ständig utveckling av nya pulvermaterial och det som nu torgfördes 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 brottytor. Provstavar i det nyutvecklade pulvret Ti-Nb-Ta uppvisar ännu högre elasticitet med duktila brott vid dragprovning [Fig. 26], mycket beroende på att grundämneshblandningen ligger nära den som motsvarar minnesmetaller. Samtidigt är grundämneshfördelningen ytterst fin och homogent fördelad i de byggda provstavar, något som leder till att brotthållfastheten överstiger den för Ti-42Nb.

Fortsättning i nr.3 2019



# Laserdag hos Swerim i Kista-satsar på laserteknik

Hans Engström  
Levitronics Lasersystem AB

Vårens LaserDag och tillika årsmöte hölls hos Swerim i Kista, ett forskningsinstitut, som tidigare hette Swerea Kimab. Swerim är ett ledande metallforskningsinstitut som bedriver industrinära forskning och utveckling kring metaller och deras väg från råmaterial till färdig produkt och de har verksamhet i Kista och Luleå.

Temat för dagen var Digitalisering/Industri 4.0 – ett synnerligen aktuellt ämne för många industriföretag. Vård för dagen var den nyligen disputerade Dr. Karl Fahlström, R&D Manager vid Swerim, **bild 1**, som började dagen med att presentera institutet.

- Swerim arbetar inom gruvteknik, processmetallurgi, material och applikationer, säger Karl Fahlström. Vi har fokus på tillverkningsprocesser med en bas i materialteknik där vi arbetar med de flesta vanliga metalliska material, men även polymerer och CFRP. **Bild 2** visar de tekniska områden som man arbetar inom samt aktuella medlemsprogram.
- Marknaden är huvudsakligen i Sverige (92 %) och 5 % är kunder i Europa. Vår finansiering kommer till 46 % från industrin och 35 % från offentlig finansiering, fortsätter Karl.

Swerim i Kista håller till i ljusa och trevliga lokaler där man har ett laboratorium för fogning, ett lab för mekanisk provning och ett bearbetningslab.

I fogningslabbet har man tillgång till utrustning för lasersvetsning och laserskärning, MIG och TIG samt några andra metoder, **bild 3**.



Bild 1.  
Dr Karl Fahlström, R&D Manager vid Swerim AB i Kista var värd för LaserDagen.

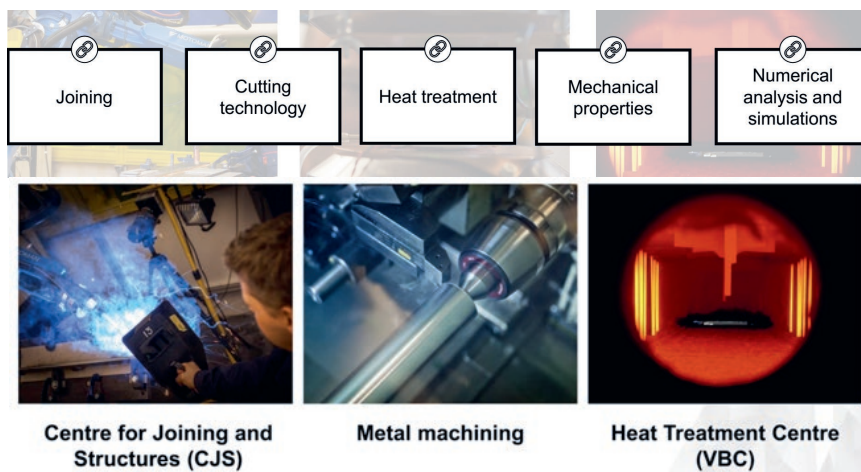


Bild 2.  
Tekniska områden där Swerim är verksam. Medlemsprogram finns inom sammanfogning, bearbetning och värmebehandling.

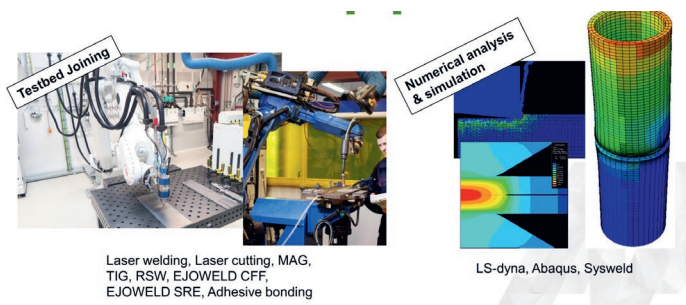


Bild 3.  
Fogningslaboratoriet har utrustning för många olika sammanfogningsmetoder. Utrustningen för lasersvetsning och laserskärning är relativt ny där laserkällan är en 10 kW fiberlaser från IPG. Den är kopplad till en ABB robot. Man har också program för numerisk analys och simulering.

Men den största delen av laboratorieresurserna finns i det mekaniska provningslabbet och bearbetningslabbet, **bild 4**. Där finns utrustning för utmattningsprovning, krypning mm samt allehanda bearbetningsmaskiner.

- Swerim AB ägs till 80 % av en industristiftelse via 32 företag och 20 % av svenska staten genom RISE Research Institutes of Sweden. Vi har en styrelse som leder företaget med representanter från de stora bolagen. Vi har också tre programråd; ett för materialutveckling och tillverkningsprocesser, ett för metallurgi och ett för värmning och bearbetningsteknik, avslutar Karl Fahlström.

### Luleå tekniska universitet en pionjär inom höghastighetsfilmning av laserprocesser

Professor Alexander Kaplan föredrar sedan snart 20 år laserforskningen vid Luleå tekniska universitet. Under många år var fokus på lasersvetsning och där började man utveckla teknik för att med höghastighetsfilmning med video dokumentera vad som händer under de snabba processförlopp som kännetecknar laserprocessen. Nu satsar man sedan något år tillbaka på forskning inom additiv tillverkning men de "gamla" metoderna lever ändå vidare fast mera tillbakadraget.

Idag har man ett väl utbyggt laserlaboratorium med ett flertal lasrar och kamerautrustning med laserbelysning för höghastighetsfilmning, **bild 5**. Under slutet av 2019 ska man också installera en utrustning för additiv tillverkning där man ska studera processen i detalj genom höghastighetsfilmning.

Principen för höghastighetsfilmning av laserprocesserna framgår av **bild 6**. För att få bort processljuset, som mest hindrar att man ska se processen, använder man en belysningslaser med en specifik våglängd som belyser bearbetningspunkten. Höghastighetskameran som riktas mot processen är försedd med ett filter som huvudsakligen släpper igenom belysningslaserens våglängd. Därmed framträder processen klart och tydligt.

Alexander Kaplan berättar och visar videos om några lyckade experiment där höghastighetsfilmningen har avslöjat sådant som man tidigare bara har kunnat anta händer. Den ett ovärderligt hjälpmedel att se och förstå vad som händer under processerna. Tidigare såg man bara det färdiga resultatet och fick anta (gissa) vad som hade hänt under processen.

En stor vetenskaplig framgång var

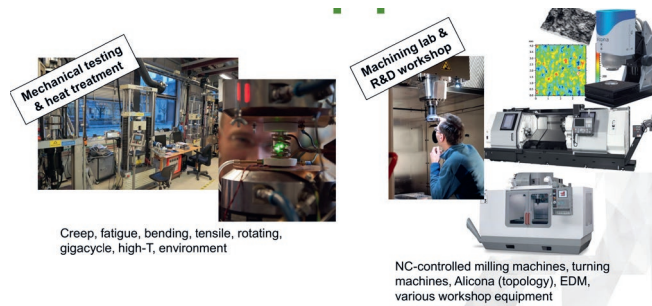


Bild 4.

Laboratoriet för mekanisk provning hos Swerim har utrustning för olika typer av avancerad utmattningsprovning och krypning. I bearbetningslaboratoriet finns svarvar och fräsar och annan utrustning.



Bild 5.

Professor Alexander Kaplan leder laserforskningen vid Luleå tekniska universitet där man förfogar över ett välutrustat laserlaboratorium med ett flertal lasrar och kameror för höghastighetsfilmning. Den snabbaste kameran kan filma med upp till 600 000 bilder per sekund..

när Ingemar Nilsson, då doktorand vid avdelningen, lyckades filma hur det smälta materialet strömmar nedför nyckelhålet under nyckelhålssvetsning. Det hade aldrig visats tidigare och detta väckte uppmärksamhet världen över, **bild 7**.

Höghastighetsfilmning är nu vid LTU en naturlig del av det som dokumenteras under många av de experiment som utförs.

- Vi använder höghastighetsfilmning vid i princip alla processer där vi forskar, säger Alexander Kaplan. Det gäller bl.a. laserhybridsvetsning, skärning, laserpåsvetsning och inte minst processer för additiv tillverkning.

Alexander Kaplan berättar också om en ny metod för additiv tillverkning, CYCLAM, som han har uppfunnit. Den går ut på att skapa nya geometrier från den smälta som skapas vid laserskärning av "skrot"plåtar, alltså material som ska gå till återvinning. Därmed återanvänds materialet på ett intelligent sätt och man kan bl.a. spara mycket energi.

Höghastighetsfilmning

- ger värdefull information om laserprocessen
- visar allt som kvalitativt sker (geometriskt) på ytan
- gör det möjligt med kvantitativa analyser genom statistiska metoder
- är ett typiskt användningsområde för felsökning, processoptimering

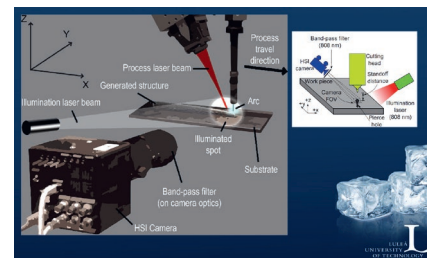


Bild 6.

Principen för höghastighetsfilmning med hjälp av belysningslasrar. Filtret på kameran tar bort allt processljus utom det som belysningslasern ger och därmed syns processen tydligt.

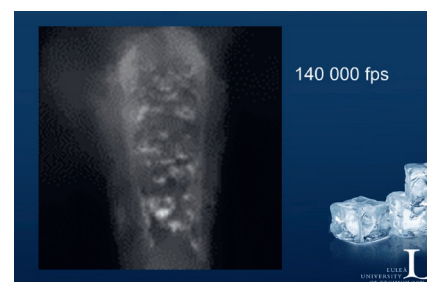


Bild 7.

Smältfronten vid nyckelhålssvetsning filmad med höghastighetsfilmning vid LTU med 140 000 bilder/s. Här avslöjas och dokumenteras materialtransporten längs nyckelhålets främre vägg vilket väckte stor uppmärksamhet i forskarkretsar över hela världen.

- är lämplig i industriell miljö men inte i produktion enligt Alexander Kaplan.

Han uppmanar industrin att prova tekniken och från LTU åtar man sig gärna uppdrag med att hjälpa industrin att utföra höghastighetsfilmning on-site av deras



processer.

## Övervakning och styrning för laser-svetsning av stumfog

Dr Morgan Nilsen, har doktorerat vid Högskolan Väst (se separat artikel) inom området övervakning och styrning av lasersvetsning. Han har funnit lösningar på problemen att dels hitta och följa stumfogar med nollspalt och att dels problemet med att uppnå en god kvalitet på svetsen när gapet mellan detaljerna varierar inom samma komponent.

Det är ju väl känt att lasersvetsprocessen är känslig för stålens positionering vid svetsning av stumfog. En liten avvikelse kan resultera i en fog som ser bra ut på ytan men som kan ha bindfel innuti materialet. Speciellt känslig är det när fogen har nollspalt. Morgan Nilsen har använt ett kamerasystem där kameran har integrerats i verktyget och där fogen belyses med LED-lampor, vilket ger möjlighet att se dessa fogar. Den kameraalgorithm som Morgan utvecklat mäter offset mellan stråle och fog och kompenserar för detta, **bild 8**. Så att svetsning kan ske av avancerade svetsbanor.

Morgan har också använt fotodioder och spektrometer och han har funnit korrelationer mellan avvikelser stråle-fog för båda metoderna. Spektrometern ser avvikelser när temperaturen ändras och den är inte känslig för häfts svetsning.

Det andra problemet att styra laserprocessen när spalten varierar har Morgan Nilsen löst med att använda en kamera med LED-belysning och en laserlinjesensor för att mäta spaltens storlek, **bild 9**.

- Utifrån de två mätningarna av spaltens storlek där mätresultaten läggs samman, kan sedan mängden tillsatsmaterial styras så att man får en svets av god kvalitet avslutar Morgan Nilsen.

## Industri 4.0

Alla har vi väl hört uttrycket Industri 4.0 vilket används i många olika sammanhang. Betydelsen av begreppet har dock känts ganska oklar och varierar med de som använder detta. Mikael Olsson, Trumpf Maskin AB, ger en tydlig definition av hur Trumpf ser på begreppet.

Industri 1.0 innebär enligt Trumpf mekaniseringen av industrin där maskiner som drivs av vatten och ånga sattes in i produktionen; Industri 2.0 innebar elektrifiering och massproduktion; Industri 3.0 digitalisering och automation genom användning av CNC-teknologi och ytterligare automatisering av produktionen;

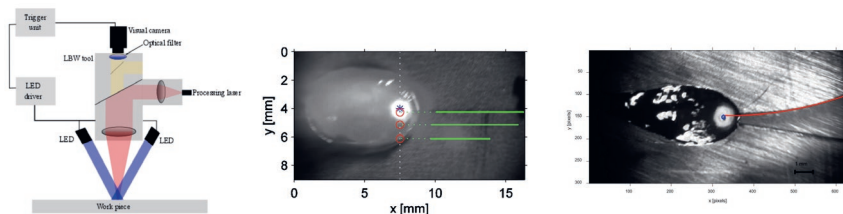


Bild 8.

Kamerasystem för fogföljning av stumfog utvecklat av Morgan Nilsen. En nyutvecklad algoritmer beräknar och kompenserar avvikelsen laserstråle-fog.

Industri 4.0 eller "Smart Factory" innebär digitalt nätverkande genom datorisering av tillverkningsteknologi och användande av digitala plattformar. **Bild 10** illustrerar denna utveckling.

Mikael Olsson berättar att 80% av produktionstiden utgörs av indirekta processer medan bara 20 % är direkt produktion och de indirekta processerna har därmed den största potentialen till optimering och förbättring. I en studie som Trumpf gjorde tillsammans med Fraunhofer identifierades förbättringspotentialen för planering och administration till 75%; intralogistik och set up till 50% och organisationen kring operatörerna till 80%, **bild 11**.

Hur kan man då optimera sina indirekta processer? Ja, enligt Mikael Olsson kan svaret vara TruConnect, vilket bl.a. möjliggör produktion i ett kontinuerligt flöde. Trumpf har en lösning för alla kunder som vill arbeta mot Industri 4.0 och där kan man tillämpa ett tre-stegsförfarande. Steg 1 är startsteget och innebär att man etablerar en s.k. "Central Link" och användning av Trumpf Maskin Appar, samt "Track &Trace".

När detta är etablerat följer steg 2 "Stegvis förbättring" där TruTops Fab, en mjukvara för "end-to-end" produktion, spelar en väsentlig roll, **bild 12**.

Sista steget, steg 3, är när allt är uppkopplat och man kan anse att man har "Smart Factory".

Mikael Olsson berättar om ett lyckat projekt hos WECUBEX Rohrtechnik GmbH som tillhör WECUBEX-gruppen med 700 anställda på fyra orter i Tyskland. Här har man drivit ett s.k. SMART Factory-projekt med syfte att bl.a. minska batchstorlekarna i processerna. Steg för steg har man genomfört både små och stora förändringar i produktionen. Den första och viktigast åtgärden var att ställa om från tryckande till dragande produktion. Så istället för att belägga maskinerna med stora batcher så för man små orderrelaterade batcher genom produktionen. Därmed kunde man reducera lager av halvfabrikat och färdiga produkter med 50%. Ett annat viktigt steg var att koppla

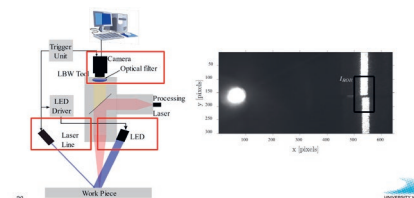


Bild 9.

Genom att mäta spaltens storlek med en laserlinjesensor och en kamera och nyutvecklade algoritmer kan mängden tillsatsmaterial styras när spaltens storlek varierar vid lasersvetsning av stumfog.



Bild 10.

Utvecklingen mot Industri 4.0 enligt Trumpf.

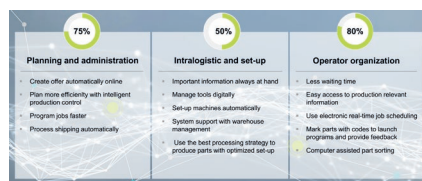


Bild 11.

Områden för förbättringspotential enligt en studie utförd av Trumpf och Fraunhofer.

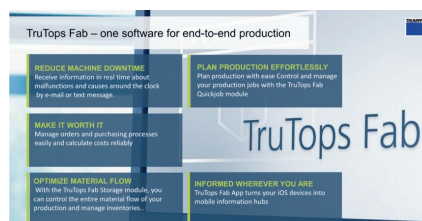


Bild 12.

TruTops Fab är en mjukvara för "end-to-end" produktion är steg två i utvecklingen att optimera sina indirekta processer för att gå mot Industri 4.0 enligt Trumpf.

ihop maskinerna från Trumpf och andra tillverkare i ett nätverk. Man kan nu registrera viktiga data om maskinerna användning som status och kapacitetsutnyttjande. Driftstörningar kan man registrera via skärmar och mobiltelefoner. Genom introduktionen av TruTops Fab modulerna "Quickstop" och "Storage" med interface till affärssystemet SAP kommer man i framtiden att automatiskt kunna styra produktionen och materialflöde. Man har redan uppnått den första milstol-

pen att reducera genomloppstiden med 43%. Leveranssäkerheten har ökat med 18% och produktiviteten med 10%. Med projektet SMART Factory och det digitala nätverket kommer man också att ha kontroll på kostnaderna och säkra framtiden för företaget, avslutar Mikael Olsson.

### Processövervakning av lasersvetsning

Det har lagts ner mycket arbete och stora resurser genom årens lopp för att kunna övervaka lasersvetsprocessen. Målen har varit att kunna producera felfria eller att kunna upptäcka olika defekter så att dåliga svetsar kan sorteras ut. En vision som fortfarande gäller är att se förändringar i processen i så god tid att man kan styra rätt parametrar för att undvika att fel uppstår. Men som sagt det är till största delen fortfarande en vision.

- Det finns en mängd olika utrustningar och metoder att övervaka lasersvetsprocessen och man är intresserad av området framför laserstrålen, i keyhålet och runt strålen, samt svetspölen och stelnad smälta efter strålen, säger Kjell-Arne Persson vid Swerim AB i Kista, **bild 13**.

Framför laserstrålen sker övervakning och styrning för att hitta och följa fogen, att mäta spalter och mismatch i fogen. Det sker främst genom lasertriangulering och bildanalys.

Lasersvetsning (nyckelhålssvetsning) är en starkt dynamisk process med emissioner av reflekterat laserljus, värmestrålning, **bild 14**, samt stålning från det plasma som bildas. Här tittar man gärna på att laserstrålen är korrekt positionerad samt nyckelhålets stabilitet och djup. Man försöker också detektera olika defekter som bindfel, sprickor porer och inneslutningar. De metoder som används är bildanalys, höghastighetsfilmning, plasma och spektralanalyser, termografi, och interferometri berättar Kjell-Arne Persson.

Smältpölen och det stelnade materialet är intressant att övervaka eftersom det ger information om svetsgeometrin, och defekter avvikelser synliga på ytan samt ev. distorsion av objektet som svetsas. Här används metoder som bildanalys, lasertriangulering, Laser Ultra Sonic samt infraröd och termografisk analys.

- Temperatur är en bra källa till information, säger Kjell Arne Persson.

Det har också utvecklats multi-sensortechnik där man kan ha fogföljning, autofokus, samt mätning av nyckelhålets djup och svetsens yta i samma uppställning.

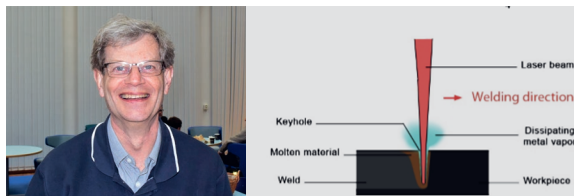


Bild 13.

Kjell-Arne Persson, Swerim AB gav en fyllig översikt över metoder för processövervakning av lasersvetsning.

Image analysis  
High speed imaging  
Spectral analysis  
• Infrared and thermographic analysis  
• Visible wavelengths  
• UV  
Interferometry  
Acoustic emission analysis

Precitec i Tyskland har utvecklat en teknik med låg-koherent ljus för att i realtid mäta svetsdjupet vid nyckelhålssvetsning, **bild 15**. Processen kallas "In-Depth-Monitoring", IDM.

Avslutningsvis bjöd Kjell-Arne Persson in till en kort diskussion om processövervakning och dess möjligheter och begränsningar.

### Framtida utrustningar och processer

Björn Lekander, Permanova Lasersystem AB, **bild 16**, avslutade presentationerna under LaserDagen med att berätta om företagets olika lösningar och möjligheter att använda olika sensorer och tekniker för processövervakning. Björn konstaterade att det finns några grundläggande orsaker till att fel och defekter uppstår. Det kan vara fel på inkommande material, operatörsfel, dåligt underhåll, piratreservdelar och föroreningar.

Permanova har utvecklat ett modulärt svetsverktyg kallat WT04 som har ett antal sensorer inbyggda för att mäta temperaturer på olika ställen i svetshuvudet och där man har ett system för att detektera smuts på skyddsglasat, Cover Slide Monitor, CSM, **bild 17**. Björn visar på ett exempel på processdata från skyddsglasövervakningen som tydligt visar att operatören inte har bytt skyddsglasat i tid. Man kan också använda befintliga processdata för att detektera fel i inkommande material.

Björn berättar vidare att man redan har en mängd kameradata från de befintliga svetshuvuden, och med ny mjukvara kan dessa användas för att t.ex. övervaka fokuspunktens storlek, sprut, plasmats storlek och cirkularitet, penetration mm, **bild 18**.

- Data finns tillgängliga men nu kan vi analysera och dokumentera dom för att följa och utveckla våra processer, avslutar Björn Lekander.

LaserDagen bjöd på en intressant mix av presentationer kring temat Industri 4.0/Digitalisering med inlägg från både industri och akademi. Området är i stark utveckling och bedöms mycket viktig för företagets och landets framtida utveckling och konkurrenskraft. Det är dock

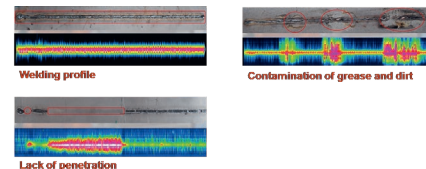


Bild 14.

Infraröd strålning från smältpölen kan ge information t.ex. fogen är förorenad med olja eller om man inte har genompenetration.

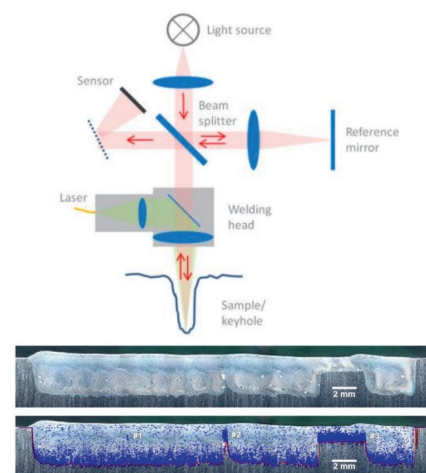


Bild 15.

Precitec GmbH & Co KG i Gaggenau har utvecklat teknik med lågkoherent ljus för att mäta svetsdjupet i realtid vid nyckelhålssvetsning, kallad "In-Depth-Monitoring", IDM. Den övre bilden till höger visar det uppmätta svetsdjupet vid varierande lasereffekt där det verkliga svetsdjupet kan ses i den övre bilden.



Bild 16.

Björn Lekander, Permanova Lasersystem AB berättade om företagets olika lösningar och möjligheter att använda sensorer och tekniker för processövervakning.

inga lätta puckar att införa digitalisering så företagen behöver ofta hjälp, stöd och utbildning för att komma rätt i processen. Som alltid vid större förändringsarbeten gäller det att ha en klara mål och en väl genomarbetad strategi samt att arbeta



stegvis och lära medan arbetet pågår. Här tycker jag att Trumpfs arbetssätt kan tjäna som ett bra exempel när man planerar sin egen utveckling mot Industri 4.0.

### Visning av Swerims laboratorier

Swerim har ljusa och trevliga laborationslokaler för sin verksamhet där materialteknik dominerar. Man har t.ex. tre svepelektronmikroskop (SEM) med möjligheter till avancerad materialanalys och ett transmissionselektronmikroskop (TEM). En stor verksamhet är materialprovning och för utmattningsprovning har man flera maskiner. Vidare finns hetisostatisk pressning (HIP) och ett Laser Ultrasonic System. Fogning är väl representerad med utrustning för traditionell MIG/MAG-svetsning och mekanisk fogning.

Man har också utrustning för additiv tillverkning i form av en Arcam S12-AX som arbetar med elektronstråle samt en SLM-laser.

Lasercellen består av en 10 kW IPG fiberlaser, en ABB robot med svetshuvud från Permanova och skärhuvud från Precitec.

LaserGruppen tackar Karl Fahlström och Kjell-Arne Persson med personal för en intressant och ett väl genomfört arrangemang med LaserDagen. ■

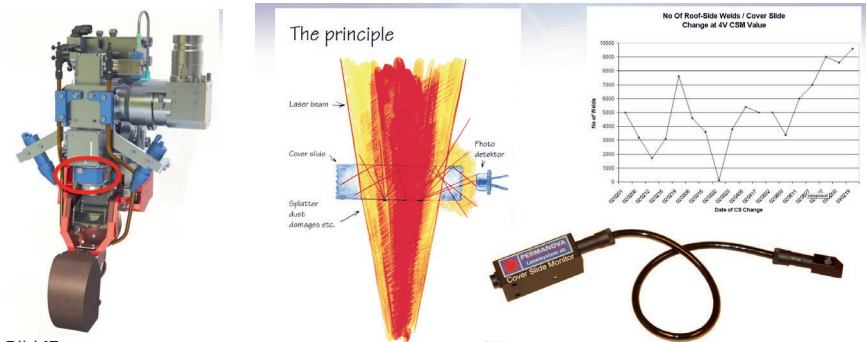


Bild 17.

Övervakning av nedsmutsning av skyddsglasat är inbyggt i Permanovas svetsverktyg WT04 tillsammans med sensorer för temperaturmätning.



Bild 18.

Övervakning av plasmats cirkularitet (överst), storlek (mitten) och sprut (nederst) är möjligheter med Permanovas svetshuvuden och ny mjukvara.

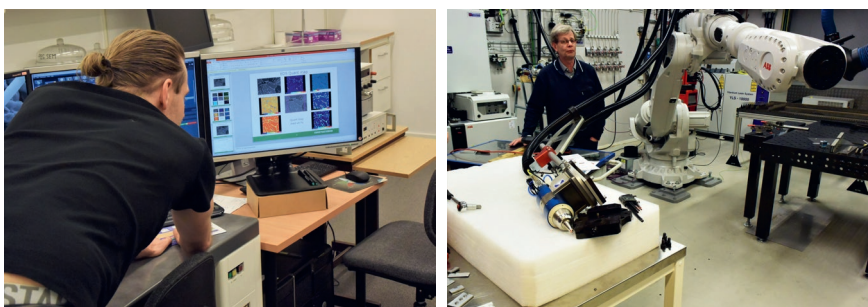


Bild 19.

Interiörer från Swerims laborationslokaler. T.v. Avancerad materialanalys utförs med SEM.T.h. Laserlaboratoriet under omriggning med 10 kW IPG-fiberlaser och skärhuvud från Precitec.

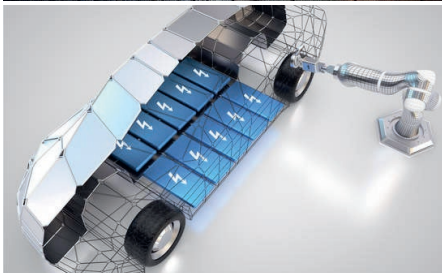
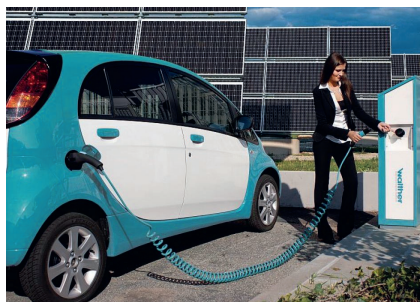
# E-mobility och Autonomous Drive kommer att medföra nya applikationsområden för lasertekniken i bilindustrin

Johnny K Larsson  
Autokropolis Engineering



I mitten av februari var det ånyo dags för bilbranschens olika laserexperter att sammanstråla till den årliga EALA [European Automotive Laser Applications Workshop] –konferensen. Det låg något av jubileumsstämning i luften då det var den 20:e upplagan av denna för bilbranschen exklusiva konferens, som en gång i tiden "sjösattes" av legendaren Fritz **Ebert** och Berlin-baserade PraxisForum.

Vi var cirka 160 deltagare, med representanter från 14 stycken OEMs [Original Equipment Manufacturer, **Tab. 1a**], som hälsades välkomna av Dr. Dirk **Meine** från arrangerande ACI [Automotive Circle International] och programstyrelsens ordförande Dr. Jan-Philipp **Weberpals** från Audi AG. Noterbart är dock att OEM-representanterna endast utgjorde 20% av delegaterna medan hela 70% kom från s.k. OES [Original Equipment Supplier]. Detta avspeglades också i den alltid lika populära "table top"-utställningen som är en sidoaktivitet till själva konferensen, och där 18 olika utställare passade på att visa upp det senaste vad gäller olika typer av laserverktyg och –källor [**Tab. 2**]. EALA



börjar få en allt mer internationell prägel vilket visar sig i form av en minskad andel tyska delegater. Dessa utgjorde nu, i dessa sammanhang, blygsamma 65%, medan USA som näst största kontingent kunde ståta med 8%, medan Sverige hamnade på en hedrande tredjeplats tillsammans med Japan och Österrike med vardera 5% av deltagarantalet [**Tab. 1b**]. Genom att nyttja det mentometerbaserade röstningsförfarandet, som introducerades för några år sedan, fick vi veta att hela 40% besökte

EALA för första gången! 41 respektive 13% hade deltagit mellan 2-5 gånger och 6-10 gånger, medan riktiga veteranerna med mer än 10 EALA-besök under bältet utgjorde 7%.

Som inspirerande inledningstalare hade man i år glädjande nog valt Oscar **Andersson** från Volvo Cars. Oscar har på ett övertygande sätt fyllt ut luckan efter herrar Palmquist och Larsson, och berättade nu om laserapplikationerna i företagets senaste modell V60 där ka-



rossmaterialen utgörs till 29 vikts-% av UHS [Ultra High Strength] –material, mera känt som presshärdat borstål och 5 vikts-% aluminium [Fig. 1]. Sammantaget använts 3,3 m taktill lasersvetsning av takpanel och vindrutestolpe och 1,7 m laserlödning i baddörrsöppning och baddörr, men den verkliga nyheten är införandet av fjärrlasersvetsning i produktion, där Volvo har legat något efter sina tyska konkurrenter. Nu sammanfogas sidodörrarna med denna metod och drivkrafterna bakom ett införande har varit kvalitet och reducerade flänsbredder. Omfattningen av RLW [Remote Laser Welding] uppgår till en sammanlagd svetslängd kring 5 meter och utförs som såväl raka som C-formade svetsar. Nytt är också att man har lagt in ytterligare ett nytt verktyg för kvalitetssäkring ”in-line”, nämligen termografianalys [Fig. 2]. Beträffande framtida krav på nya laserinstallationer menade Dr. Andersson att dessa måste vara robusta och enkla, samt att karosskomponenterna skall uppvisa stabila geometrier med perfekta passningar mellan detaljerna. Självklart står även minskade investeringskostnader på önskelistan.

Tabell 1a.  
Deltagare per nation

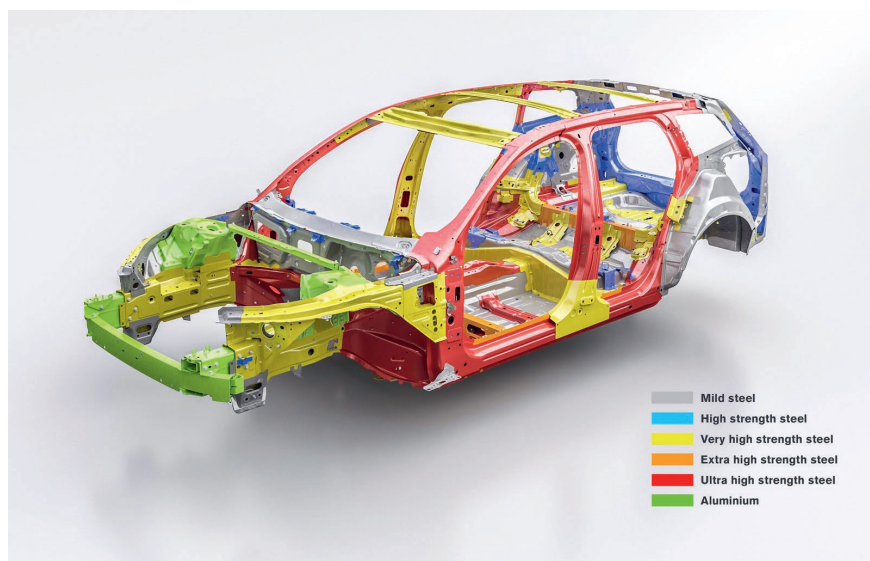
| Nation         | Antal |
|----------------|-------|
| Tyskland       | 105   |
| USA            | 11    |
| Japan          | 8     |
| Sverige        | 7     |
| Österrike      | 7     |
| Frankrike      | 4     |
| Italien        | 4     |
| Spanien        | 3     |
| Belgien        | 2     |
| Nederländerna  | 2     |
| Sydkorea       | 2     |
| Schweiz        | 1     |
| Storbritannien | 1     |
| Tjeckien       | 1     |
| Summa          | 158   |

Tabell 1b.  
Deltagare per OEM

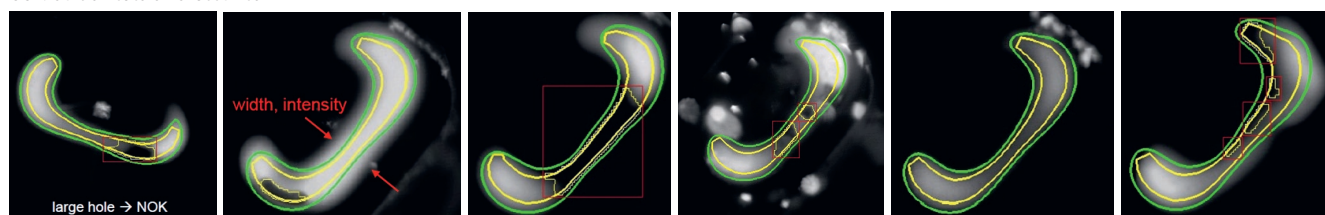
| OEM            | Antal |
|----------------|-------|
| Volkswagen AG  | 5     |
| Audi AG        | 4     |
| BMW AG         | 3     |
| Daimler AG     | 3     |
| Honda          | 3     |
| General Motors | 2     |
| Toyota         | 2     |
| Volvo Cars     | 2     |
| Adam Opel AG   | 1     |
| Fiat           | 1     |
| Ford Motor Co. | 1     |
| Hyundai        | 1     |
| Nissan         | 1     |
| Renault S.A.S. | 1     |
| Summa          | 30    |

Tabell 2.  
Utställande företag

|                                       |
|---------------------------------------|
| Arges GmbH                            |
| Automation W+R GmbH                   |
| Bergmann & Steffen GmbH               |
| Blackbird Robotersysteme GmbH         |
| Coherent                              |
| GVB GmbH – Solutions in Glass         |
| Hema Electronic GmbH                  |
| II-VI HIGHYAG                         |
| HYFRA Industriekühlanlagen GmbH       |
| JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH |
| Laser 2000 GmbH                       |
| Laserline GmbH                        |
| MKS Ophir                             |
| Panasonic Industry Europe GmbH        |
| Precitec GmbH & Co. KG                |
| PRIMES GmbH                           |
| Scansonic MI GmbH                     |
| TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH  |



Figur 1.  
Karossen till Volvos senaste V60-modell består av såväl aluminium- som stålkomponenter. De senare förekommer i olika hållfasthetsnivåer där presshärdat stål med brottgräns över 1.500 MPa utgör cirka 30% av den totala karossvikten.



Figur 2.  
Olika svetsdefekter som kan upptäckas med hjälp av termografi; fr.v. hål i svets, otillräcklig bindning mellan plåtar, avbrott i svets, svetsstrut, otillräcklig lasereffekt och felaktig svetsgeometri.

## Laserbaserade produktionsprocesser för elektro-mobilitet

Efter denna introduktion följde ett block av presentationer kring e-mobility och hur lasern kan komma till användning vid produktion av komponenter till ett sådant koncept. Först ut var tidigare LZN [LaserZentrum Nord, Hamburg] -kollegan Marc **Kirchhoff**, som numera är industriområdesansvarig vid Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH i Ditzingen. Han inledde med att konstatera att ett elektriskt drivlinekoncept består av betydligt färre rörliga delar jämfört med det som baseras på en förbränningsmotor, samtidigt som det kommer att bestå av helt nya komponenter tillverkade i material som koppar och aluminium m.m. Battericeller som består av blandningar av sagda material måste kunna sammansvetsas sprutfritt och resultera i täta fogar, och en annan applikation är lättviktsramar i aluminium, avsedda att skydda dessa batteripaket, vilka hopsvetsats framgångsrikt genom att utnyttja en oscillerande laserstråle. Själva motordelen i en elmotor innehåller en mängd s.k. hårnålar av koppar vilka skall sammanfogas [Fig. 3]. Problemet är att de är belagda med ett isolerande skikt i form av PAI [PolyAmide-Imide] eller PEEK [PolyEther Ether Ketone] vilket först måste avlägnas. Detta görs med fördel med hjälp av en UKP [Ultra Kurzpuls] -laser med ns [ $10^{-9}$  sek] -långa pulser [TruMicro7070], varpå den efterföljande svetsningen utförs med en diskaser [TruDisc4001] och Trumpfs eget "scanner"-verktyg PFO [Programmable Focusing Optics]. Dr. Kirchhoff illustrerade detta med en video där båda operationerna skedde i en och samma maskin [TruLaser Cell 3000].

Därefter gick han vidare med att beskriva hur man svetsar koppar sprutfritt med företagets "BrightLine Weld" där två laserstrålar, distribuerade genom samma fiber [2in1-fibre, Fig. 4], superpositionerar två fokuspunkter över varandra.

Vid kopparsvetsning vet vi sedan tidigare att en kortare laservåglängd är att föredra. Detta fick vi nu ytterligare bekräftat då Dr. Kirchhoff menade att med en laserkälla i det gröna våglängdsområdet reducerades svetsstrutet i jämförelse med en IR [InfraRed] -laser med hela 97%, vilket gick att härleda till en högre absorptionsgrad, 42% mot 5% [Fig. 5]. Det senare gäller emellertid då koppar befinner sig i fast form. Så fort laserstrålen istället träffar en smälta ökar absorptionen snabbt även då en IR-laser används, och ju högre

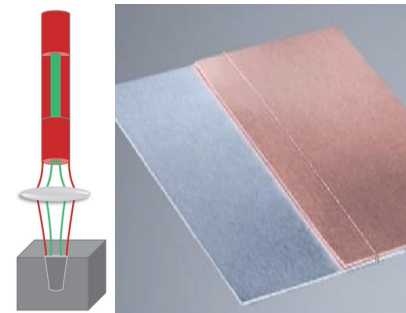


Figur 3. Drivlinekonceptet i en elmotor består av en mängd delar där lasersvetsning tycks vara den ultimata sammanfogningsmetoden. Detta gäller inte minst för s.k. hårnålar av koppar med polymer beläggning

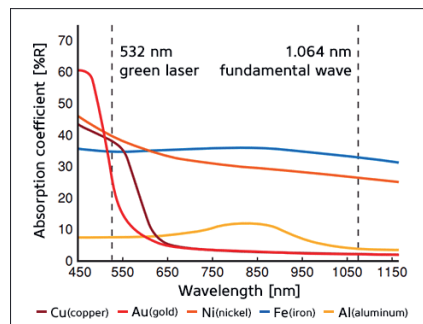
smälttemperaturen blir desto mer ökar absorptionen just i material som koppar och aluminium, i motsats till vad som är fallet vid lasersvetsning av stål. I en vidare diskussion kring våglängdsval vid värmeledningssvetsning uppvisade en grön laser en stabilare och sprutfri process med ett konstant penetrationsdjup. Strålkvaliteten hos en grön laser är även överlägsen den hos en laser i det blå våglängdsområdet, vilket också kan rekommenderas vid kopparsvetsning, men som idag endast finns tillgänglig med effekter upp till 500 W. Däremot kan Trumpf redan idag erbjuda en 1kW grön laser med en strålkvalitet  $<5 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ , och Dr. Kirchhoff avslöjade att man har en laborieversion av grön laser som kan ge hela 3 kW med en strålkvalitet på  $10 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ .

Presentationen avslutades med några ytterligare laserexempel inom e-mobility, nämligen kontaktering av koppar på en keram vid krets-kortstillverkning genom punktsvetsning med 5-10 ms långa pulser från en grön laserkälla, samt lasersvetsning av koppar till aluminium vid kontaktering av battericeller. Det senare sker under produktionslika former hos företaget PEM [Production Engineering of E-Mobility Components] vid RWTH [Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule] i Aachen.

En förespråkare för den blå laservåglängden var Dr. Axel **Luft** från Laserline GmbH som berättade om företagets diodlasrar inom detta våglängdsområde, vilka passar utmärkt för värmeledningssvetsning av koppar vid batteritillverkning p.g.a. av dess högre absorptionsförmåga i jämförelse med IR-våglängden. Liksom föregående talare konstaterade han att absorptionen ökar med ökad smälttemperatur samtidigt som värmeledningen avtar i motsvarande grad. Laserline kan idag erbjuda två olika laserkällor i det blå våglängdsområdet; LDM300-60blue med 300 W effekt och  $60 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$  i strålkvalitet samt den något kraftfullare LDM500-60blue med likartad strålkvalitet men 500 W effekt [Fig. 6]. Den gode Axel avslöjade att man har en tredje produkt på gång, LDM1000-100blue, vilket alltså skall



Figur 4. Trumpfs "BrightLine Weld" där två laserstrålar superpositioneras över varandra gör att man kan sprutfritt svetsa koppar och koppar/aluminium-kombinationer.



Figur 5. Det klassiska schemat för absorptionsgraden hos några material vid olika laservåglängder, som visar på varför man bör använda en grön laser i stället för en IR-dito vid svetsning av koppar.

uttydas som 1 kW cw [continuous wave] -effekt och  $100 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$  i strålkvalitet. Han fortsatte med att visa ett intressant koncept där en blå laser kombinerades med en IR-dito för nyckelhålssvetsning av koppar. Här startar den blå lasern, som ger en relativt stor fokuspunkt kring  $1.000 \mu\text{m}$ , smältprocessen varpå IR-strålen med fokuspunkt mellan  $200\text{-}300 \mu\text{m}$  får en lättare inkoppling i svetssmältan, samtidigt som



Figur 6. Laserline GmbH erbjuder idag två laserkällor i det blå våglängdsområdet; LDM300-60blue och t.h. den kraftfullare LDM500-60blue med 300 respektive 500 W cw-effekt.



man inte behöver använda en 1  $\mu\text{m}$ -laser med väldigt hög effekt!

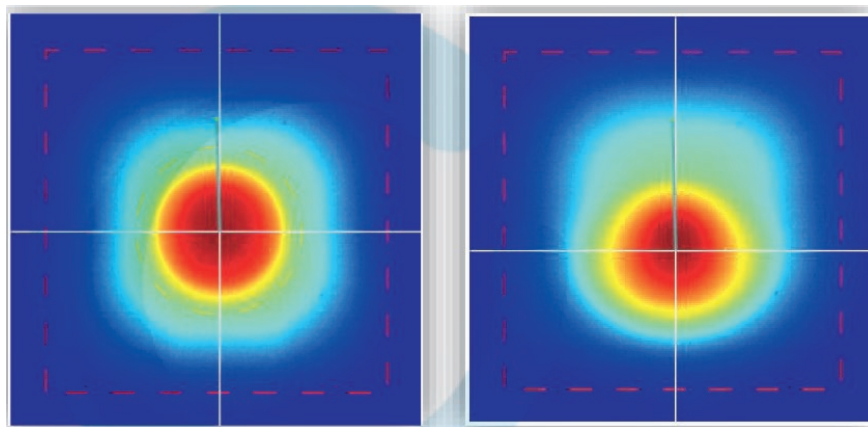
Dr. Luft avhandlade också lasersvetsning av koppar/aluminium-kombinationer där man kunnat konstatera att då en blå laser används bör koppardelen placeras överst för bästa resultat, medan förhållandet blir det omvända då man svetsar med en IR-laser. Ett ytterligare applikationsområde där en blå laser kan komma till användning är då man laserbelägger en komponent med ett tunt ytskikt av koppar [Fig. 7].

Med tanke på den utveckling som skett på diodsidan för IR-lasrar prognosticerade Dr. Luft att år 2025 kan vi förväntas se högeffektslasrar i det blå våglängdsområdet på mellan 3-8 kW! Som avslutning fick vi en uppdatering kring Laserlines "spot-in-spot"-koncept med två överlagrade fokuspunkter av olika storlek och intensitet. Denna innovation belönades ju med 2018 års "Innovation Award Laser Technology", under högtidliga former i Krönungssaal Charlemagne i Aachen Rathaus i samband med AKL [Aachen Kolloquium Lasertechnik] –konferensen i fjol, där Axel Luft fick motta priset tillsammans med samarbetsparterna från Volkswagen och Scansonic. Numera finns även möjlighet att positionera de två fokuspunkterna asymmetriskt i horisontalplanet [Fig. 8], vilket ger fördelar vid kälvsvetsning och en bättre svetsprofil och ökad spaltöverbryggnadsförmåga vid ämnesskarvning, s.k. tailored blanking. Ett exempel på det förstnämnda handlade om lasersvetsning av en T-fog i 3 mm tjockt aluminium. Genom att dra nytta av den asymmetriska fokuspunktsplaceringen nådde man ett penetrationsdjup på 1,9 mm med 5 kW lasereffekt och en framföringshastighet på 4 m/min då svetsningen utfördes med en 1,6 mm grov tillsatstråd i legeringen AlSi12. Den beskrivna asymmetriska omorienteringen kan även ske i realtid under svetsprocessen!

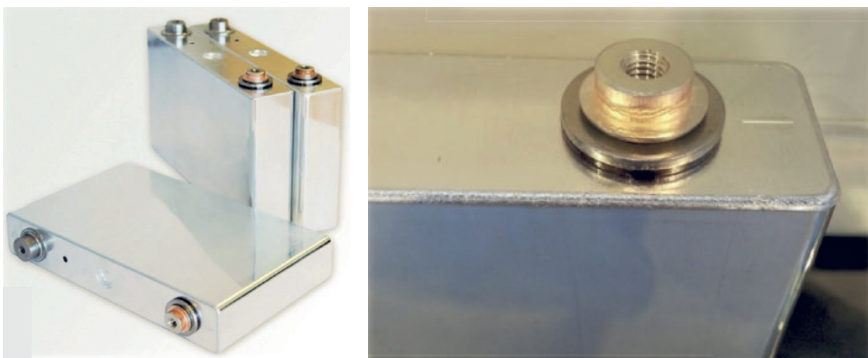
Näste talare var en bekant från LAF [Laser Anwender Forum] -konferensen i november i fjol, nämligen Dr. Dmitrij **Walter** från tillverkaren av Litium-Ion-batterier Manz AG. Liksom då inledde han med att beskriva de olika celltyper som förekommer, nämligen cylindriska, prismatiska och påsceller, vilka sedan sammanbyggs till moduler och vidare till kompletta batteripaket. Den årliga tillväxten då det gäller batteriproduktion ligger enligt Dr. Walter på hela 23,6%, och därefter gick han vidare med att beskriva de problem som föreligger vid lasersvets-



Figur 7.  
Applicering av ett kopparskikt på en yta med hjälp av en blå laser.



Figur 8.  
En ny finess i Laserlines "spot-in-spot"-koncept är att man nu kan positionera de båda fokuspunkterna asymmetriskt i horisontalplanet, vilket bl.a. ökar penetrationsförmågan vid svetsning av kälvfogar.



Figur 9.  
Genom stråloscillering kan spalter mellan aluminiumlock och -behållare för prismatiska battericeller överbryggas.

ning. Vid kontaktering mellan celler kan det vara svårt att bibehålla ett kontrollerat penetrationsdjup, och vid svetsning av lock till de behållare som omsluter de prismatiska cellerna är överbryggnaden av stora spalter en utmaning [Fig. 9].

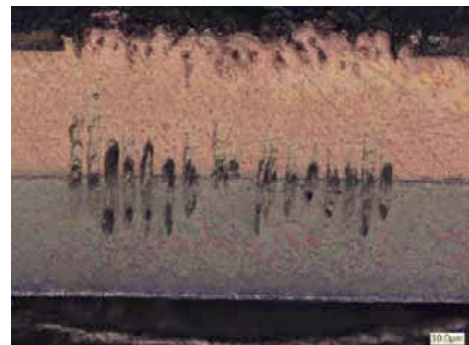
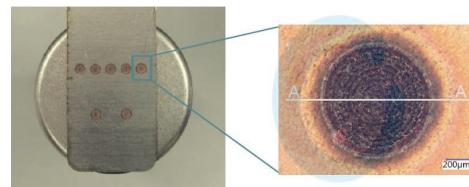
Vid bimetallsvetsning av aluminium mot stål föreligger flera problem p.g.a. materialens skilda termomekaniska egenskaper. Om man använder en laserkälla med 1  $\mu\text{m}$  våglängd kan oscillering av strålen vara en lösning alternativt att svetsa med hög hastighet, vilket framgick i en jämförelse mellan hastigheterna 70 respektive 800 mm/sek. Genom att kombinera dessa båda åtgärder fick man ett nästintill perfekt svetsgod. För svåra materialkombinationer rekommenderade den gode Dmitrij att istället använda en

kortpuls laser där toppeffekten i pulserna kan uppgå till 12 kW [Fig. 10]. En dylik laserkälla hade med framgång använts vid svetsning av koppar till rostfritt och därigenom kunde tillväxten av intermetalliska faser begränsas.

I sin batteriproduktion kan Manz AG svetsa imponerande 600 cylindriska battericeller på mindre än 90 sekunder! Cellerna hålls på plats med hjälp av ett flexibelt plåthållarsystem i en produktionsvariant av lasersvetsmaskinen BLS 500 [Battery Laser System]. Varje cells position i x-, y- och z-koordinat mäts in varpå fokuspunktspositionen anpassas individuellt för lasersvetsning av varje enskild cell – ett mycket imponerande produktionsupplägg med hög produktivitet [Fig. 11].

Jenoptik Automatisierungstechnik



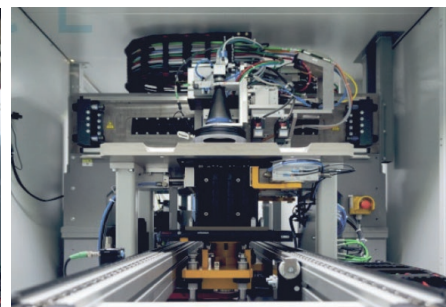
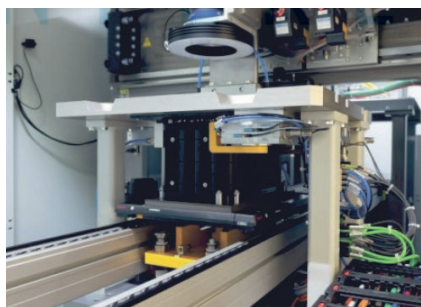


Figur 10.

Vid svetsning av bimetall-kombinationer utförs detta bäst med "single mode"-laser och en minimal fokuspunktsdiameter på 30 μm. Processen kan ytterligare optimeras genom att använda strålscillering eller en ultrakortpuls laser.

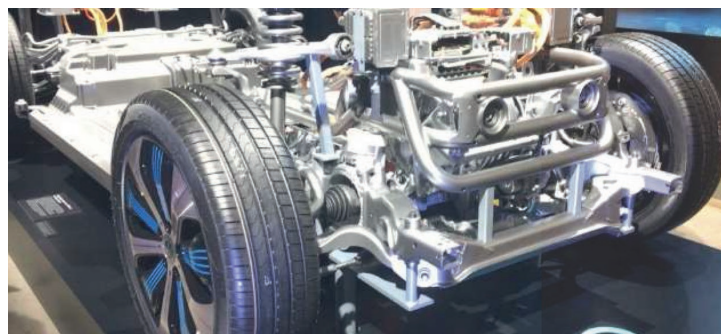
GmbH har vid ett flertal tidigare EALA-konferenser presenterat sin "Votan-BIM" [Beam-in-Motion], ett processverktyg med laserstrålen integrerad i armen på en industrirobot. Nu visade Herrn Torsten **Reichl** hur konceptet användes vid flexibel tillverkning av de rör som ur säkerhetsaspekt omsluter ett batteripaket [Fig. 12]. Vi fick en inblick i hela tillverkningskedjan som innefattar rullformning av rören utgående från en plan plåt, tredimensionell hål- och konturskärning samt svetsning. Typiska rörlängder ligger mellan 30 och 160 cm. Positioneringstoleranserna inför den fixturlösa laserskärningen ligger på  $\pm 0,4$  mm och skärtoleranserna på  $\pm 0,2$  mm. Två "Votan-BIM"-robotar för laserskärning arbetar i cellen som mäter 10x20 meter. Hanteringsrobotar identifierar varje enskilt rör innan skäroperationen och kontrollerar även att de håller röret i korrekt position [Fig. 13]. Skärhastigheten för raka snitt överstiger 200 mm/sek, medan kontursnitten av förklarliga skäl måste ske med en långsammare hastighet som ligger på 130 mm/sek. Den genomsnittliga skärtiden per hål uppgavs ligga på cirka 1 sekund, och efter avslutad laserskärning vrider sig robotarmen så att utskurna skrotbitar faller ner på en bandtransportör. Med en dylik automatiserad lösning kommer man att ha en tillverkningskapacitet kring 120.000 rör per år, där samarbetet mellan de olika robotarna innebär att varje enskilt rör flyttas 10 gånger inklusive inmatning och utmatning ur skärcellen!

En annan välkänd profil i EALA-sammanhang är Thibault **Bautze** från Blackbird Robotersysteme GmbH, som har en bakgrund från såväl TUM [Technische Universität München] som Precitec GmbH & Co. KG. Hans föredrag handlade



Figur 11.

I denna produktionsanläggning hos Manz AG mäts varje enskild battericells position in i tre koordinatiktningar, varpå fokuspunktsläget vid svetsning anpassas individuellt.



Figur 12.

I e-mobility måste ett batteripaket omslutas av en rörstruktur ur säkerhetssynpunkt för att undvika läckage av hydrolytvtväska vid en eventuell krock.



Figur 13.

Samverkande robotar för hantering och laserskärning av rör, det senare utfört med Jenoptiks patenterade "Votan-BIM".

om hur man kan variera arbetsområdet vid fjärrbearbetning med laser, där scanner-verktyget som användes var Scanlabs "intelliWELD PR". Han inledde med ett första applikationsexempel som handlade om s.k. hårnålssvetsning vid tillverkning av statorer till elmotorer, där utmaningen

ligger i den inbördes positioneringen av sagda hårnålar. För att identifiera hårnålarnas koordinatlägen använder man sin "ScaVis" [Scanner Vision, Fig. 14] -kamera, men den har begränsningar i så motto att den inte hittar lägesavvikelser i z-led, då kameratekniken är känslig för



olika belysningsituationer. För att ändå kunna utföra svetsar av godkänd kvalitet varieras lasereffekten i kombination med strålscillering för att kompensera för nämnda lägesavvikelser [Fig. 15].

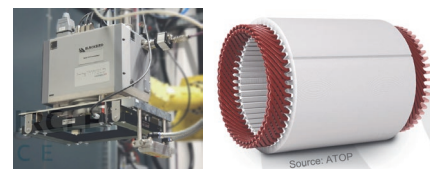
För kvalitetskontroll använder man sig av OCT [Optical Coherence Tomography]. Därpå gick den gode Thibault vidare med huvudtemat för presentationen genom att beskriva ett upplägg för lasersvetsning av batterikassetter och kontaktering av -celler. Med tanke på den höga efterfrågan på batterilösningar till fordonsindustrin måste processuppläggen uppfylla höga krav på produktivitet och hög s.k. beam-on-time för laserkällan. Sådana krav blir svåra att uppfylla med konventionell "on-the-fly"-svetsning och därför har Blackbird utvecklat en lösning tillsammans med maskinbyggaren Strama MPS Maschinenbau GmbH & Co. KG, där ett skanner-verktyg kombineras med motoriserade linjärxlar för att snabbt kunna svetsa över stora arbetsområden. En annan fördel är att laserstrålen alltid kommer att ha en näst intill vinkelrät infallsvinkel till battericellerna. Med denna kombinationslösning bedöms produktionskapaciteten ligga mellan 250.000 till 1.000.000 tillverkade enheter om året.

### Processoptimering

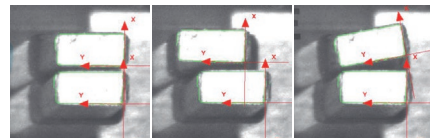
Ett bevis på EALA:s globalisering var det relativt stora antalet amerikanska deltagare och en av dessa var Joshua **Solomon** från General Motors Co. som berättade om laserpunktsvetsning av zinkbelagd stålplåt, ett koncept som han utvecklat i samarbete med kollegorna Dr. Hui-Ping **Wang** och sverigebekantingen Blair **Carlson**. För att efterlikna utseendet hos en motståndssvetsad punktsvets hade laserstrålen oscillerats från en origo-position ut till cirkelns omkrets för att på så sätt skapa en cirkulär geometri hos svetsgodset. Genom att svetsa på detta sätt får man goda förutsättningar för zinkavgasningen, samtidigt som man inte behöver skapa några distanshållande vårter i den ena av plåtdetaljerna. Processtiden för en sådan punktsvets låg på under en halv sekund och kunde utföras med en repetitiv hög kvalitet. Sålunda hade endast 3 defekta svetsar upptäckts i en serie om 1.000.000! Metoden har nu applicerats i produktion av 14 olika delsammanställningar vid GM:s Parma Metal Fabrication Plant i Ohio där lasersvetsningen utförs i sex stycken flexibla tillverkningsceller. Upplägget innebär en total kostnadsbesparing på 8 miljoner dollar i förhållande

till en traditionell tillverkning med motståndspunktsvetsning [Fig. 16].

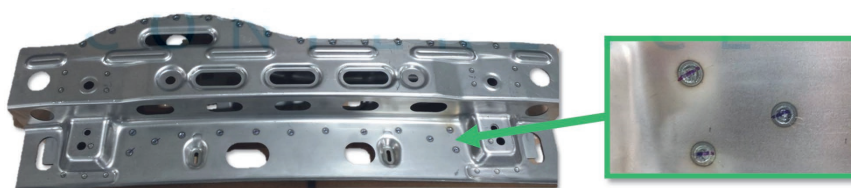
För att lättare hitta de optimala parametrarna vid svetsning av olika materialkombinationer har man utvecklat en simuleringsmodell där olika sträckenergi kan provas genom att variera effekt [0-6 kW], svetshastighet [0-12 m/min] samt defokusering [0-15 mm], och korrelera detta till förångningstrycket i nyckelhålet [Fig. 17]. Även antalet rotationer för att färdigställa punktsvetsen inverkar på dess kvalitet där ett högre antal, upp till maximal 8 varv, har en positiv effekt [Fig. 18]. På en fråga om hur tidskrävande en dylik simulering är fick vi svaret att det tog cirka 8 timmar per materialkombination. I produktion övervakas förångningstrycket och



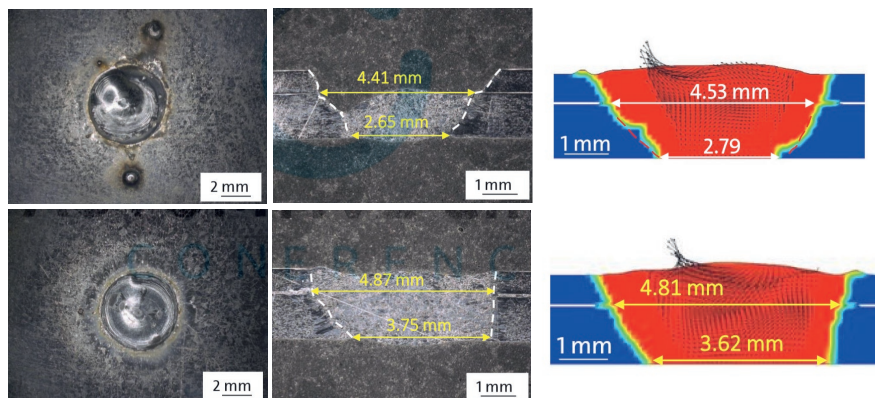
Figur 14. Scannerverktyget intelliWELD PR, försett med Blackbirds "ScaVis"-kamera, är en utmärkt kombination för lasersvetsning av hårnålar med hög kvalitet.



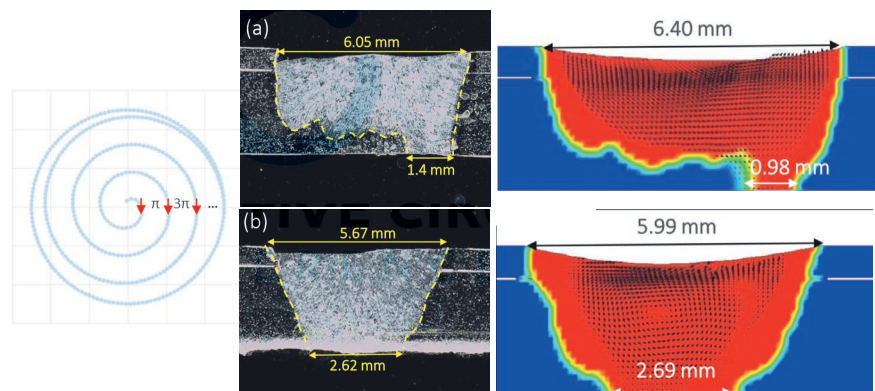
Figur 15. Spalter och vinkelavvikelser mellan de enskilda hårnålarna kan identifieras i horisontalplanet med hjälp av "ScaVis". P.g.a. skuggningseffekter fungerar verktyget däremot inte i vertikalplanet utan här kan OCT vara ett lämpligt hjälpmedel för att hitta felorienterade hårnålar.



Figur 16. En av de 14 delsammanställningar vid GM:s Parma Metal Fabrication Plant som sammanfogas med s.k. laserpunktsvetsning, där laserstrålen oscilleras för att skapa en cirkulär förbindning liknande den som erhålls vid konventionell motståndspunktsvetsning.



Figur 17. Exempel på defekt (överst) respektive fullgod (underst) laserpunktsvets med motsvarande simuleringsresultat t.h.



Figur 18. Genom att anpassa antalet rotationsvarv tillförs olika energi, vilket påverkar svetsens kvalitet och utseende, något som framgår av tvärsnitt och simulering med 1,788 kJ (överst) och 1,507 kJ (underst).

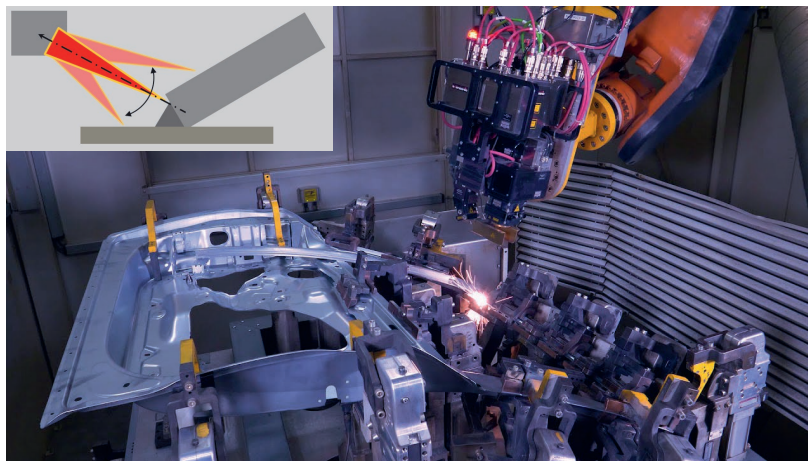
när detta faller utanför givna toleranser regleras sträckenergin i realtid.

Nästa presentation delades mellan diplomingenjörerna Markus **Lachenmaier** [BMW Group] och Pravin **Sievi** [Scansonic IPT GmbH] och handlade om det senare företags modulära verktyg för fjärrlasersvetsning, RLW-A, i den s.k. scapacs®-serien, vilket har en optisk fogföljning via triangulering. Arbetsområdet för denna är 64x33 mm medan själva scanning-fältet uppgår till 156x127 mm. För processövervakning hade Scansonics kamerabaserade "SCeye®" integrerats i verktyget. En fallstudie hade genomförts i form av fjärrlasersvetsning av en sidodörr där ett ständigt återkommande problem är att överbrygga spalter vid kälsvetsning. Genom att oscillera laserstrålen med en frekvens av 1.000 Hz och en amplitud på 0,5 mm kunde detta problem lösas [Fig. 19].

Materialkombinationen bestod av två stycken 0,8 mm tjocka plåtartiklar i kvaliteten DX54, båda med en zinkbeläggning på 100 g/m<sup>2</sup>. Svetsarna var mellan 25-45 mm långa och utfördes med 2 kW lasereffekt, en 800 µm stor fokuspunkt och en framföringshastighet mellan 3-4 m/min. Med oscillering kunde man även jämna ut skarpa hörn genom en omsmältning ner till 200 µm djup, s.k. laserhyvling, och därigenom skapa ett ökat kvalitetsintryck [Fig. 20]. Vid denna efterföljande operation pendlades laserstrålen med 400 Hz och en amplitud på 2,5 mm.

På en fråga till Herrn Lachenmaier om huruvida BMW använde någon form av övervakning av penetrationsdjupet, svarade denne att så inte är fallet då företaget menar att de verktyg som idag erbjuds för detta ändamål inte är tillförlitliga nog! Nästa steg hos BMW kommer att utvärdera verktygets kapabilitet då det gäller att utföra cirkel- eller spiralformade överlappssvetsar.

Alexander **Franz** från Volkswagen AG visade på ett annat angreppssätt för att lösa problem vid överlappssvetsning av zinkbelagda plåtar med nollspalt. Eftersom varmförzinkat material är billigare och har en högre tillgänglighet på marknaden jämfört med elförzinkat dito väljer bilföretagens inköpsavdelningar hellre denna typ av ytbeläggning. Nackdelen är att zinkskiktstjockleken är något högre och mer varierande jämfört med elförzinkat material, något som problematiserar lasersvetsningen eftersom processen störs av förångad zink som tränger upp ur nyckelhålet. Vid basala försök hade man



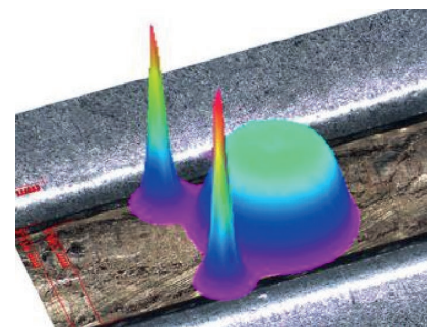
Figur 19. Kälsvetsning av en sidodörr hos BMW där man med strålscilleringsprincipen t.v. kan överbrygga spalter mellan plåtdetaljerna, vilka består av två stycken 0,8 mm tjocka zinkbelagda, låghållfasta stålplåtar.



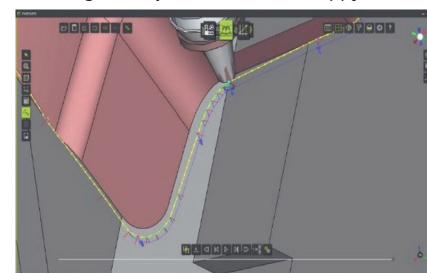
Figur 20. Efterföljande omsmältning med 400 Hz pendlingsfrekvens jämnar ut svetsfogen och ger därmed ett bättre kvalitetsintryck.

kunnat fastlägga en bättre svetskvalitet då en väldigt liten fokuspunkt kring 200 µm användes. Därför hade man använt sig av Laserlines välbeprövade trifokal-lösning [Fig. 21] men vänt på denna, så att själva nyckelhållssvetsningen skedde med de två förlöpande foki och den efterföljande större fokuspunkten endast användes för att jämna ut svetsen toppyta och därmed åstadkomma ett högkvalitativt synintryck av denna.

"Fast@suite" är ett mjukvaruprogram utvecklat av företaget Cenit AG vilket möjliggör en digitaliserad optimering av en automatiserad produktionslinje. Detta beskrevs närmare av företagets representant Thomas **Flaig** som omtalade att mjukvaran innehåller moduler som bl.a. innefattar processer som laserskärning, taktill lasersvetsning och fjärrlasersvetsning. Den CAD [Computer Aided Design] -beskrivna geometrin kan direkt överföras till det robotburna verktygets rörelseschema som automatgenereras grundat på s.k. regelbaserade händelser [Fig. 22]. Herrn Flaig visade ett praktikfall vilket handlade om laserskärning av en sidodörrsstruktur, och som omfattade såväl konturskärning som håltagning. Programmet kan även vara behjälpligt vid konstruktion av fixturer, vilket visualiserades med en finurlig lösning på en kollaborativ samverkan mellan fixtur och robot. Då robotverktyget kände av att det förelåg risk för kollision med ett av fixturens spännen skickades en signal



Figur 21. Laserlines trifokal-koncept med tre separata fokuspunkter, här applicerad vid laserlödning av en kosmetisk fog. Tekniken kan även användas vid svetsning för att jämna ut svetsens toppyta



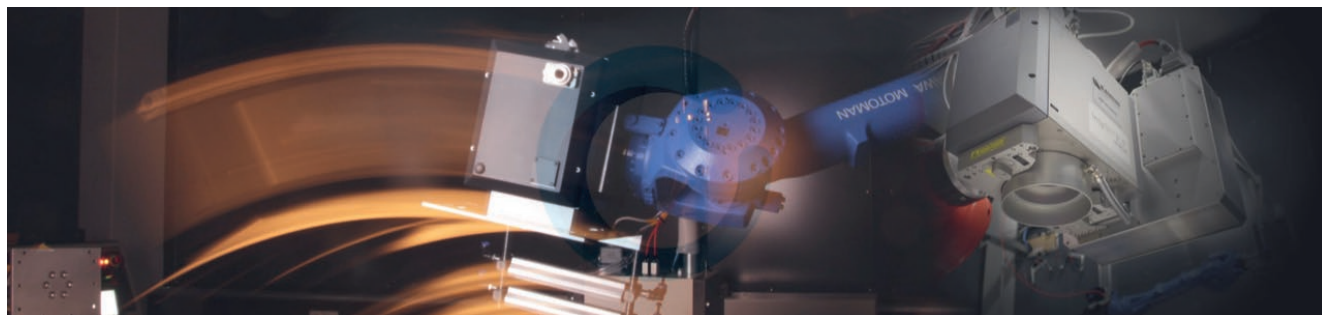
Figur 22. Cenit AG:s mjukvaruprogram "Fast@suite" automatgenererar robotbanan utifrån, i det här fallet, svetsens position i det geometri-beskrivande CAD-underlaget.

till det senare så att spännet momentant lyftes undan.

## Nya applikationer för OCT

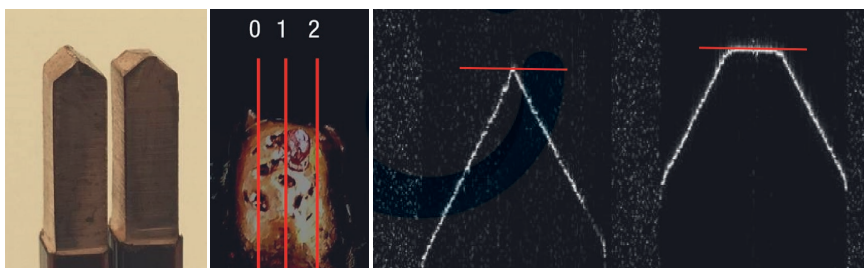
Första dagen avslutades med en s.k. fokus-session som handlade om OCT och visade på några intressanta användningsområden av tekniken. Inledde gjorde



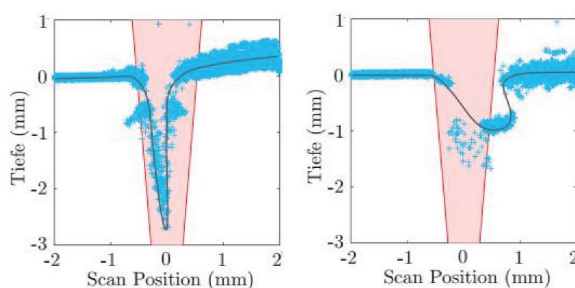


Richard **Steinbrecht** från Lessmüller Lasertechnik GmbH, ett pionjärföretag inom OCT, som visade ett exempel där en OCT-skanner integrerats i ett skanner-verktyg som användes för RLW av s.k. hårnålar i elmotorer. Tre projicerade avsökninglinjer, med ett inbördes avstånd på 0,8 mm, kan identifiera positionerings-avvikelser i vertikalled där mätoperationen tar cirka 10 ms [Fig. 23]. Detta låter sig ju inte göras med en koaxiell kameraövervakning, något som vi fick höra tidigare under dagen från Thibault Bautze. Genom att använda tre avsökninglinjer kan man även identifiera defekter på de enskilda hårnålstopparna. OCT kan också användas för att finna nyckelhålets position och penetrationsdjupet vid RLW [Fig. 24], men då skannas OCT-strålen parallellt med svetsriktningen. Förutom mätning av penetrationsdjupet under svetsprocessen kan OCT även användas för att mäta svetsprofilen efter svetsning, samt upptäcka små defekter som ytbrytande porer.

Dr. Markus **Kogel-Hollacher** från Precitec GmbH & Co. KG har ju många gånger tidigare beskrivit företagets ”IDM” [In-Depth Monitoring] -metod som är snarlik OCT då den bygger på att jämföra längden hos en återreflekterad laserstråle med en referenslängd. Det huvudsakliga användningsområdet har då varit kontroll av penetrationsdjupet vid lasersvetsning, men nu redogjorde den gode Markus för några ytterligare användningsområden för OCT-tekniken som han sade har en årlig tillväxt på 8,9%. Ett spännande användningsområde hittar vi hos BMW där man använder OCT för att till ett kontrollerat djup avverka det yttersta skiktet på det bakre polymera golvet till i3-modellen, för att på så sätt säkerställa en god vidhäftning vid senare limapplicering. Detta görs med en UKP-laser och ett skanner-verktyg från Arges, och utvecklingen hade skett inom ramen för BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] -projektet ”OPTO-Light”. Ett annat populärt område inom bilindustrin är att med kortpulsaser skapa funktionella, texturerade ytor hos



Figur 23. Med OCT kan lägen och eventuella defekter på hårnålstoppar identifieras innan svetsning med hjälp av tre projicerade avsökninglinjer med ett inbördes avstånd på 0,8 mm.

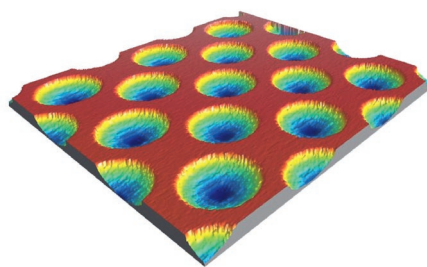


Figur 24. OCT-mätning av penetrationsdjupet vid framföringshastigheterna 20 mm/sek (t.v.) och 80 mm/sek (t.h.).

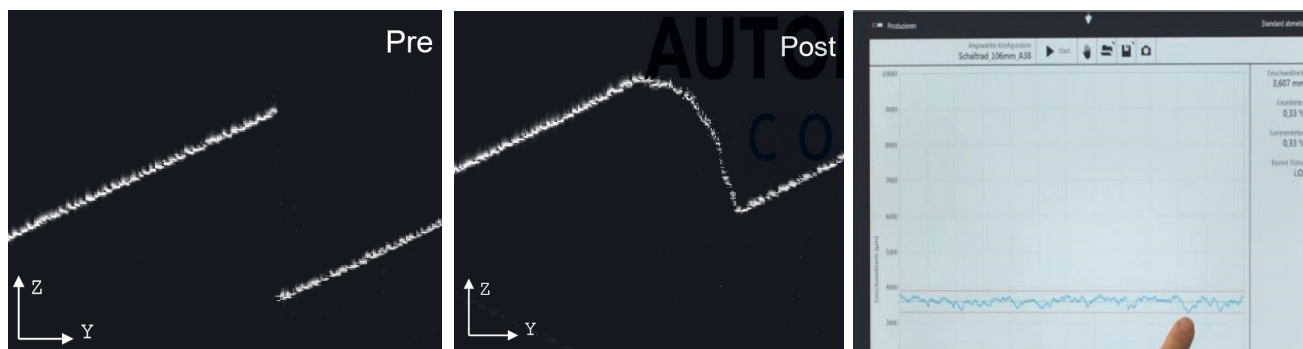
exempelvis cylinderfoder eller gravering av formsprutningsverktyg för plastdetaljer [Fig. 25]. Liksom tidigare talare visade Dr. Kogel-Hollacher på möjligheten att använda OCT för att hitta positionen för nyckelhålet vid svetsning, och han förutspådde att vi framgent kommer att få se speciellt skräddarsydda våglängder för OCT-strålen.

OCT-skannern integrerad i ett I-PFO [Intelligent Programmable Focusing Optics] -verktyg beskrevs av Jan-Patrick **Hermani** [Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH]. Här användes metoden i främsta hand som fogföljning vid kantsvetsning och mätning av den utförda svetsens topp-

yta [Fig. 26]. Fördelen med integrationen i ett skanner-verktyg, jämfört med ett taktilt svetsverktyg, är att svetsprocessen blir riktningsoberoende. Vid fogsökning sades upplösningen ligga på 12  $\mu\text{m}$  i z- och kring 30  $\mu\text{m}$  i x/y-koordinat. Ett praktiskt fall som Herrn Hermani visade handlade om sprickfri svetsning av en aluminiumsidodörr i AA6082-legering där man använt en TruDisc 6001 som laserälla kombinerad med Trumpfs ”BrightLine”-fiber [100/400  $\mu\text{m}$ ], och där OCT-fungerade utmärkt som fogföljningsverktyg även vid så hög svets hastighet som 9 m/min. Intressant att höra var att vid oscillerande svetsning bör OCT-strålen manipuleras i



Figur 25. OCT kan även användas för att kontrollera mönsterdjupet vid lasertexturering av ytor, där det optimala mönstret kan predikteras med avancerad simuleringsteknik (t.h.).



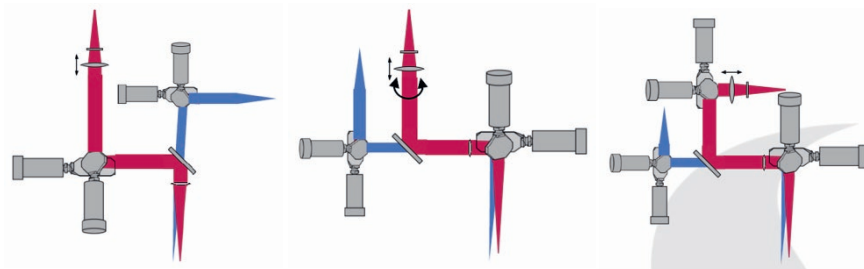
Figur 26. On-linemätning med OCT använd vid fogföljning (pre) och kontroll av svetsprofilen (post), där det senare visualiseras på ett användarvänligt sätt (t.h.) för att fastlägga att denna ligger inom acceptabla värden.

omvänd riktning mot process-strålen.

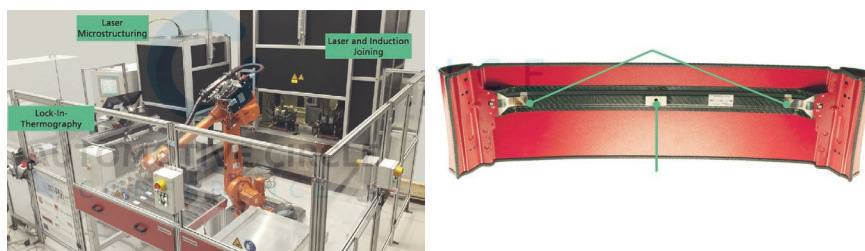
Som siste talare i denna fokus-session fick vi på nytt stifta bekantskap med Thibault **Bautze** från Blackbird Roboter-systeme GmbH och liksom Herrn Hermani adresserade han hur en oscillerande laserstråle och en dito OCT kombineras [Fig. 27]. En dylik lösning måste vara ekonomiskt försvarbar samt ha ett intuitivt användargränssnitt där alla parametrar för en OCT-understödd fjärrlasersvetsoperation finns samlade. OCT-strålen behöver finjusteras och manipuleras med minst 1 kHz frekvens för att utgöra ett hjälpmedel vid exempelvis fjärrlasersvetsning av käl-fogar. För att kompensera för spalter mellan plåtarna i en sådan fog finns enligt den gode Thibault tre parametrar att använda sig av; offset, amplitud och lasereffekt. En ytterligare funktion för OCT kan vara, att om strålen träffar ett spänne i fixturen indikerar detta en risk att även processtrålen kommer att göra detta, varför laserkällan då automatiskt stängs av.

### Lasersvetsning av nya material och materialkombinationer

Endast ett föredrag ingick i denna session och framfördes av Christoph **Engelmann** från Fraunhofer Institute für Lasertechnik [ILT], som adresserade det välbekanta problemet med att sammanfoga en polymer med ett metalliskt material utan att använda vare sig lim eller mekaniska fogningstekniker. ILT har varit en av parterna i Horizon2020-projektet "FlexHyJoin" som löpte mellan 2015 och 2018, omfattade en budget på 5,8 MECU och var inriktat mot mixmaterial-fogning. Drivkraften för dylika koncept är viktsbesparing, något som illustrerades med en studie kring Toyota-modellen "Venza" utförd av Lotus Engineering där karosstrukturen utgjordes av blott 7 vikts-% stål, medan aluminium, magnesium och fiberförstärkta polymerer stod för 37%, 30% respektive 21%! Principlösningen



Figur 27. Några olika lösningar hur de båda skannrarna för svetslaser- (röd) och OCT-stråle (blå) kan arrangeras; fr.v. "post-scanning", "pre-scanning" med ett extra optiskt element, samt "pre-scanning" med en tredje "scanner"-enhet, vilken är gemensam för de båda strålarna.



Figur 28. T.v. den produktionslika cellen vid ILT för sammansättning av en multimaterial-takbåge, där fogningen sker genom att polymeren lokalt smältes med laser (ändkonsol) och induktion (centralplatta) och på så sätt fås att flyta in i de med laser strukturerade metalldelarna.

för sammanfogning av plast till metall har beskrivits åtskilliga gånger tidigare i denna publikation och går till så att metallytan struktureras med hjälp av laser varpå polymeren med hjälp av laser eller induktionsvärme fås att flyta in i de räfflor som skapats och därigenom skapar man en mekanisk låsning. Vid ILT har man byggt upp en produktionslik cell för detta och här hade takbågar till Fiat "Panda"-modellen producerats [Fig. 28]. Takbågen består av en kolfiberförstärkt "Tepex Dynalite 102RG600" med tjockleken 1,5 mm, två stycken ändkonsoler och en centralt placerad infästningsplatta i 0,7 mm mjukt DC04-stål. En dylik takbåge väger endast 273 gram (!) vilket är 38% lättare jämfört med en takbåge helt i stålplåt.

Struktureringen utfördes med en 1 kW fiberlaser från IPG och ett egenutvecklat skanner-verktyg [Fig. 29] med en F-Thea-lins med 330 mm brännvidd där fokuspunkten kunde positioneras  $\pm 20,75$  mm

genom en teleskopoptik. Laservarianten av hopfogningen skedde med en diodlaser från företaget Leister och manipulerades med en 6-axlig ABB-robot. Effekten som användes låg kring 550 W och fokuspunkten var rektangulär med måtten  $1 \times 27$  mm. Framföringshastigheten låg på 6 mm/sek och denna värmetillförsel skedde i två repetitioner per ändkonsol. Processtiden för att foga en ändkonsol till GFRP [Glass Fibre Reinforced Plastic] -takbågen var 53 sekunder varav 10 sekunder utgjordes av avsvälningstid, vilket gör att man hamnar på en total cykeltid kring 2 minuter per takbåge. Slutligen kontrollerades fogkvaliteten med hjälp av termografi [Fig. 30]. Om räfflorna placerades parallellt eller vinkelrätt mot belastningsriktningen hade föga inverkan, men intressant var att draghållfastheten ökade avsevärt om ett likvärdigt antal räfflor placerades i ett rutnär. Sammanlagt tillverkades 500 takbågar i cellen innan den flyttades till företaget

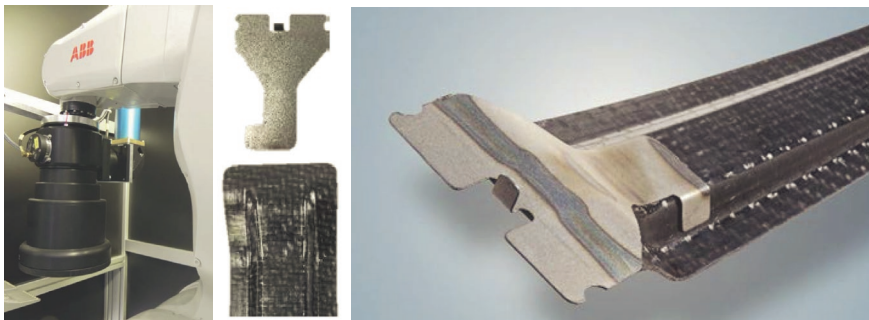


Gubesch, som var en av projektdeltagarna, där den under tre år kommer att användas för fortsatta försök.

### Nyheter kring kvalitetskontroll

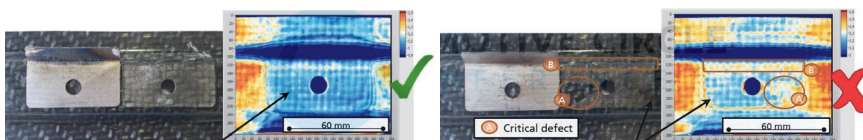
Första presentationen i detta block delades mellan Professor Umberto **Galetti** [Politecnico di Bari (POLIBA)] och Daniele **Bassan** [Fiat Chrysler Automobiles S.p.A.], där den förstnämnde var något av expert inom området termografi. Nu handlade det om att använda en laserstråle som värmegenererare hos en form av kontrollinstrument. Detta hade använts i ett projekt benämnt "PICOetPRO" där lasertermografi nyttjades för att undersöka materialegenskaperna i en presshård B-stolpe som genomgått s.k. tailored tempering, d.v.s. att avslavningshastigheterna vid varmformningsprocessen skräddarsyts lokalt för att erhålla bästa möjliga prestanda. Lasereffekten hade genomgående hållits kring 100 W, medan man undersökt inverkan av olika våglängder. Då man registrerar en lokal förändring i värmeöverföringen indikerar detta förekomsten av någon form av defekt. I samarbete med företaget Multi Des Laser System, som kommersiellt tillhandahåller dylika verktyg för kvalitetskontroll [Fig. 31], hade metodiken applicerats vid motståndspunktsvetsning. En fiberlaser med 50 W effekt från IPG med pulskapacitet på 200 kHz ingick i den utrustning som använts, och med denna kunde tre olika kvalitetsnivåer extraheras; zinklödning, fullgod svets och överhettad sådan. Fiat har således börjat använda sig av tekniken och enligt signore Bassan tar det ungefär 5 sekunder att analysera en punktsvets, men han närde en förhoppning att kunna få ner tiden för efterkontroll till 3,5 sekund.

Dr. Christian **Srajbr** från Edevis GmbH börjar bli en återkommande gäst vid EALA-konferenserna och nu fortsatte han tillsammans med Robert **Ranft** [Thyssenkrupp System Engineering GmbH] på ämnet aktiv termografi utförd med antingen induktion eller laser som värmekälla. Det var främst den förstnämnda metoden som avhandlades, men då applicerad på olika lasersvetsade applikationer. Edevis GmbH som är ett avknopningsföretag från TU [Technische Universität] Stuttgart och grundades 2002, består idag av 12 medarbetare och har specialiserat sig på olika inspektionsmetoder. Den värmeinducerande spolen kan antingen placeras på motsatt sida av fogen i förhållande till den värmerregistrerande kameran, och man talar då om en intern



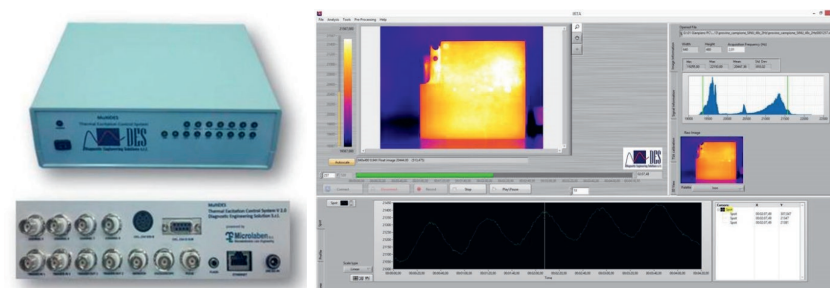
Figur 29.

T.v. ILT:s egenutvecklade skanner-verktyg med vars hjälp plåtkonsolernas kontaktytor struktureras för att ge största möjliga hållfasthet i fogen hos den kompletta takbågen (t.h.).



Figur 30.

Kvalitetskontroll med termografi av en fullgod fog (t.v.) och en med otillräcklig bindningsarea (t.h.).



Figur 31.

Den elektroniska kontrollenheten från företaget Multi Des Laser System (t.v.) för lasertermografi, och t.h. den användarvänliga visualiseringen av värmespridningen i en undersökt komponent.



Figur 32.

T.v. principskiss över en s.k. intern set-up för aktiv termografi med en värmegenererande induktions-spole, och t.h. det kompletta systemet "ITWIS ALWI" med extern set-up.

set-up. Följaktligen innebär en extern sådan att såväl induktionsspole som kamera befinner sig på samma sida i förhållande till den svets som skall undersökas. Edevis GmbH erbjuder ett komplett system kallat "ITWIS ALWI" med automatisk utvärdering av svetskvaliteten, något som gör kontrollen snabb och användarvänlig [Fig. 32]. Ingående komponenter är en luftkyld induktor, ett unikt mjukvaruprogram samt en IR-kamera med en upplösning på 640x480 pixlar, en känslighet <30 mK och en frekvens >50 Hz. Metoden kan även upptäcka små yteffekter, något som inte går att göra med OCT, något som också mycket riktigt påpekades av Herrn **Lessmüller**. Däremot går det inte att upptäcka mikrosprickor mellan plåtarna

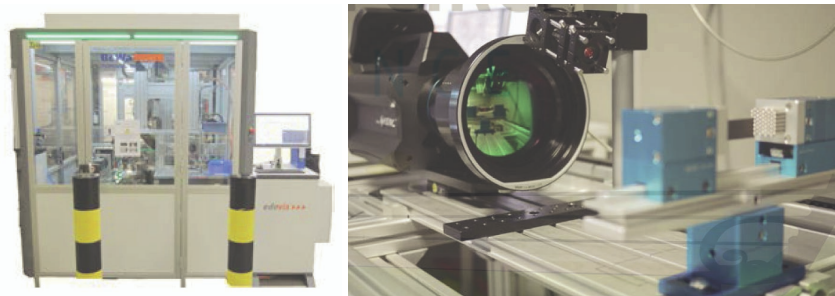
vid exempelvis en punktsvets.

Thyssenkrupp har installerat en vad Herrn Ranft ville kalla halvautomatiserad anläggning för kontroll med aktiv termografi av lasersvetsade batteriapplikationer [Fig. 33] där analystiden per svets ligger på 0,2 sekund. Avslutningsvis meddelade Dr. Srajbr, som svar på en fråga från auditoriet, att kontrollmetoden lämpar sig bäst för materialtjocklekar upp till 3-4 mm. För grövre material hinner värmen sprida sig mer och då blir den registrerade informationen mer diffus.

Fördröjd sprickinitiering vid lasersvetsning av höghållfasta stål med kolhalter över 0,3% var temat för Kyohei **Maeda** från Kobe Steel Ltd. Att använda sådana materialkvaliteter är ett annat sätt att

minska karossvikten genom att tillverka ingående komponenter i tunna plåttjocklekar men med bibehållen hållfasthet. Dock är problemen uppenbara vid all form av svetsning tack vare den höga kolhalten, och uppkomsten av sprickor och bindfel är de flesta biltillverkarna bekanta med. För att detektera sprickinitiering hade Mr. Maeda och en forskargrupp vid JWRI [Japan Welding & Research Institute, Osaka University] använt sig av röntgenanalys. Svetsningen hade utförts med en diskaser på 7 kW med laserstrålen fokuserad till en brännfläksdiameter på 0,6 mm. Svets hastigheten uppgick till 4 m/min, och man hade producerat korta svetsar med längder på 10, 15 och 20 mm. En kort svetslängd introducerar större restspänningar, vilket innebär att den fördröjda sprickinitiering dröjer ju längre svetsen är [Fig. 34], samtidigt som sprickpropageringen sker betydligt långsammare jämfört med en kortare svets. Detta visas på ett pedagogiskt sätt av Mr. Maeda med ett antal höghastighetsfilmer. För att motverka uppkomsten av stelnings-sprickor i slutet av lasersvetsar rekommenderade han att avsluta svetsen med en oscillerande cirkelrörelse. Lasereffekten rampades då ner från 3,75 kW till 2 kW varpå fem cirkulära rörelser med 1 mm diameter följde och avslutades med ytterligare fem men nu med 2 mm diameter [Fig. 35]. Detta medför att svetsmältans volym ökar drastiskt varpå avsvalningshastigheten går långsammare, och därför går det att undvika sprickor i slutet av korta lasersvetsar med denna metodik.

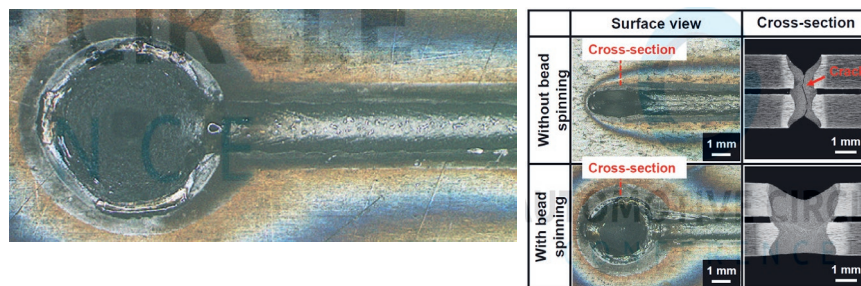
Sist ut i detta temablock var Jochen Sander från Automation W+R GmbH, också han bekant i EALA-sammanhang med tidigare presentationer av företags ”Robiscan”-verktyg som genererar gråskalebilder av svetsars topppytor och därmed kan detektera defekter ner till 0,1 mm storlek med en felfrekvens på blott 0,004%. Nu handlade det om att utnyttja artificiell intelligens [AI] vid utvärderingen av svetsade och lödda fogars lägen och form. Eftersom defekters utseende förekommer i ett oändligt antal variationer [Fig. 36] och där miljöparametrar i form av temperatur, luftfuktighet och vibrationer påverkar den optiska bildanalysen behövs ett instrument som under tid är självlärande beträffande vad som är godkända respektive underkända svetsar. Här kan AI vara ett perfekt verktyg då det minimerar såväl tid som kostnad för kvalitetskontroll, samtidigt som den kan lära sig att hitta defekter som ibland kan



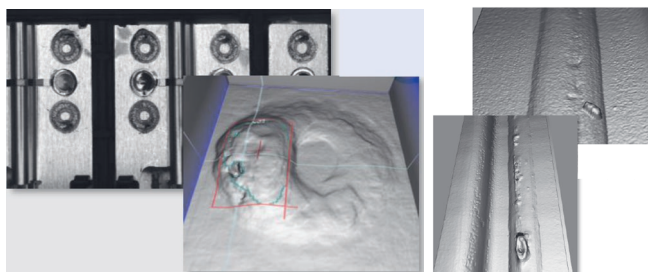
Figur 33. Halvautomatiserad anläggning för kontroll med aktiv termografi av lasersvetsade batteriapplikationer hos Thyssenkrupp.



Figur 34. Genom att utföra långa lasersvetsar fördröjs sprickinitieringen! Röntgenfotona ovan visar på inga sprickor efter 240 sekunders kontinuerlig svetsning, utan dessa uppstår först efter 320 sek. T.v. ses den uppställning som användes vid försöken på JWRI.



Figur 35. En oscillerande cirkelrörelse av laserstrålen vid svetslutet gör att man kan undvika stelnings-sprickor då smältans volym ökar drastiskt och därmed ger en långsammare avsvälning.



Figur 36. Svetsdefekter kan ha ett i princip oändligt antal olika utseenden, varför det kan vara lämpligt att använda sig av artificiell intelligens för att snabbt kunna identifiera icke godkända svetsförband.

upplevas som osynliga för det mänskliga ögat [Fig. 37], vilket ändå anses ha en korrekt bedömning i 99,93% av observationerna, då omgivande struktur kamouflerar felaktigheterna. Nackdelen är att AI däremot inte förstår de bakomliggande faktorerna varför en defekt har uppstått, varför metoden endast kan användas som en larmfunktion under produktionsprocessen. Det unika med den AI-lösning som nu presenterades är att den inte bygger på en s.k. black-box med mängder av referensbilder i flera neurala nätverk, utan istället fungerar som ett filter som snabbt exkluderar irrelevanta slutsatser. Mjukvaran bygger inte på diskreta mätdata utan

bedömer probabiliteten för olika defektutseenden. En rad detekteringsexempel visades i form av svets-sprut, varierande svetsbredd, föroreningar, porer, överskott av tillsatsstråd samt inspektion av vätningsförmågan hos en plåtyta innan applicering av lim med hjälp av en specialmetod som man valt att kalla ”BoNDTinspect®” [Fig. 38].

### Avancerad strålomformning

Det blir allt svårare att hitta nya och revolutionerande laserlösningar inom bilindustrin, och den utveckling som sker ligger mest på utrustningssidan i form av förbättrade laserverktyg. Till denna kate-



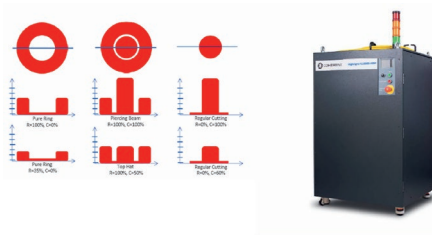
gori får man räkna nya sätt att manipulera laserstrålen, och det var ämnet för denna del av konferensen. Här inledde f.d. LZH [LaserZentrum Hannover] -medarbetaren Dr. Peter **Kallage** från Coherent Inc. med att beskriva konceptet "CleanWeld", som är resultatet av ett samarbete med Scansonic GmbH. Basen är fiberlaserkällor med upp till 10 kW effekt där energifördelningen i distributionsfibern är sådan att den kan fokuseras till en central brännpunkt som omges av en cirkulär sådan. Denna typ av laserkälla marknadsförs nu under benämningen "ARM" [Adjustable Ring Mode, **Fig. 39**]. Energifördelningen mellan dessa två foki går att reglera steglöst, och bland fördelarna med denna lösning nämndes ett stabilare nyckelhål vid svetsning, vilket medför 80% mindre svetsssprut och låg porandel, samt en 40%-ig energibesparing.

En hel del resultat redovisades såsom kvalitativt svetsning av zinkbelagda plåtar med nollspalt, och aluminiumsvetsning av legeringar i 5000- och 6000-serierna. I det senare fallet rörde det sig om kälsvetsning utan tillsatsmaterial med framföringshastigheter mellan 5-7 m/min, där "CleanWeld"-tekniken innebar en god spaltöverbryggnadsförmåga samtidigt som penetrationsdjupet kunde ökas i jämförelse med konventionell lasersvetsning. Scansonic-delen av presentationen hölls av välkände Dr. Florian **Albert**, som visade på några applikationsexempel där "CleanWeld" kombinerats med företagets skanner-verktyg RLW-A [**Fig. 40**]. Även här rörde det sig om aluminiumsvetsning, men nu som överlappssvetsning av AA6082-legeringen i form av två 1 mm tjocka plåtar. Här kunde man påvisa ett sprickfritt beteende vid svetsning med 1,5 kW lasereffekt och en hastighet på 3 m/min även då svetsen låg så nära plåtkanten som 4 mm.

"CleanWeld" hade även applicerats på transmissionskomponenter som kugghjul där man kunde uppnå extrema djup/bredd-förhållanden uppemot 10 med en rotbredd kring 0,3 mm, men det gick även att när så krävdes skapa svetsar som hade ett mera rektangulärt tvärsnitt [**Fig. 41**], vilket Dr. Albert påstod vara möjligt ner till ett penetrationsdjup på 2,5 mm.

Ett annat område där man kan se en stor potential för "CleanWeld" finns inom e-mobility där svetsning av koppar- och aluminiumlegeringar i batteritillämpningar alltmer efterfrågas. Här kunde man visa på betydligt bättre kvalitet vid svetsning av 10 µm tunna kopparfolier i

jämförelse med konventionell lasersvetsning med 4 kW och 5 m/min i svetsastighet [**Fig. 42**]. Andra lovande applikationer där man erhöll en hög svetskvalitet med "CleanWeld" var sprutfri svetsning av hårnålar, aluminium/koppar-kontaktering med hög kvalitet samt aluminiumhöljen för prismatiska battericeller. Dessa var tillverkade i den svårsvetsade legeringsserien 3000, men vid tvärnittsanalys av svetsarna gick det inte att upptäcka några porer som var större än 0,05 mm! Det hela avslutades med ett praktikfall för rörsvetsning i en rullformningslinje där materialet utgjordes av rostfritt 1.4509-stål. Med "CleanWeld" hade sprutnivån reducerats till ett minimum vilket innebar en materialförlust på endast 0,2 mg/mm även vid



**Figur 39.** Coherents "CleanWeld"-koncept där energifördelningen kan varieras mellan en central fokalfunkt och en omgivande cirkulär sådan. Längst t.h ses kaustiken för en dylik stråle.



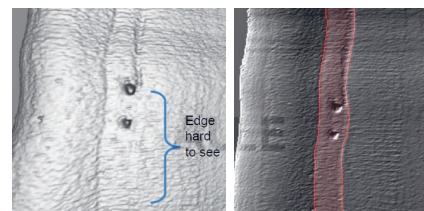
**Figur 40.** Överlappssvetsning av aluminiumlegeringen AA6082 utförd med Scansonics skanner-verktyg RLW-A och konventionell respektive ARM-baserad energifördelning. Med den senare (t.h.) kan man svetsa helt sprickfritt även då svetsen positioneras mycket nära plåtkanten.



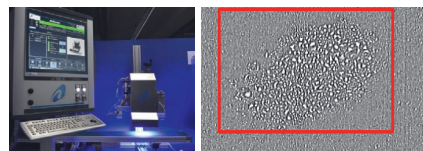
**Figur 41.** Med "CleanWeld"-tekniken går det också att skapa svetsar med ett rektangulärt tvärsnitt, något som kan vara önskvärt ur hållfasthetssynpunkt vid lasersvetsning av transmissionskomponenter.

så höga framföringshastigheter som 8-12 m/min.

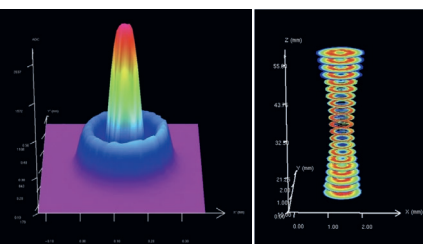
Dr. Volker **Brandl** [Primes GmbH] fick hoppa in som föredragande i stället för sjuke kollegan Dr. Otto **Märten**. Båda dessa gentleman är ju något av pionjärer då det gäller stråldiagnostik och analysverktyg för detta, och nu berättade Dr. Brandl att Primes GmbH sålt över 20.000 dylika enheter sedan starten 1992.



**Figur 37.** Ett exempel på där vanlig tredimensionell bildanalys inte räcker till för att fastlägga ytporernas läge i förhållande till den näst intill osynliga kanten av svetsen. Detta blir däremot möjligt genom att använda artificiell inlärning.



**Figur 38.** Med specialmetoden "BoNDTinspect" går det att detektera föroreningar på en plåtyta, som i detta fall i form av ett fingeravtryck (t.h.).

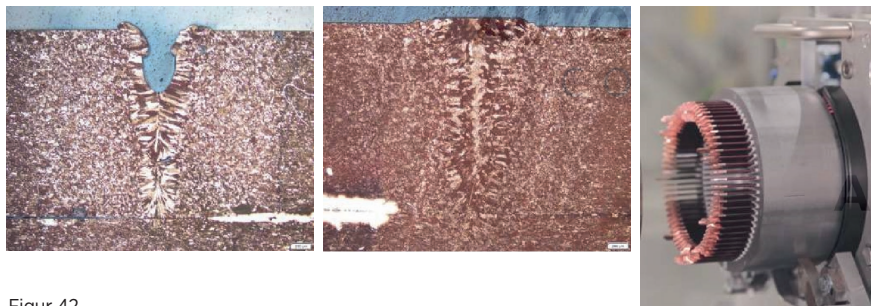


Han inledde med att beskriva företagets produkter [**Fig. 43**] och deras respektive användningsområden. PMM [Power Measuring Module, **Tab. 3a**] används främst vid RLW, taktill svetsning och lödning av karosser, FPM [Focus Parameter Monitor, **Tab. 3b**] nyttjas mest vid batteritillverkning, och BCS [Beam Control System, **Tab. 3c**], som mäter såväl effekt som laserstrålens kaustik kring fokalplanet, används

flitigt vid lasersvetsning av rotations-symmetriska drivlinedetaljer [Fig. 44]. Monitoreringen är främst ett hjälpmedel för att kunna fastlägga underhållsintervall i förhållande till ställda kapabilitetskrav. I framtiden såg han möjligheten att nyttja artificiell intelligens för att genomföra nödvändiga underhållsaktiviteter, och Primes kommer att erbjuda analyservice baserad på över tid insamlad datastatistik som finns tillgänglig i en s.k. moln-miljö. De ovan nämnda produkterna är avsedda för offline-användning, men Primes har nu också börjat marknadsföra verktyg för inline-övervakning vid såväl taktill som fjärrlasersvetsning.

Produkter liknande dem som presenterades av Primes GmbH marknadsförs också av Metrolux Optische Messtechnik GmbH och beskrevs här av Dr. Andreas Reichert i samarbete med Dr. Florian Albert [Scansonic GmbH]. Man erbjuder två verktyg för stråldiagnostik, ett för lägre effekter upp till 100 W och ett som klarar maximalt 6 kW [Fig. 45]. Den senare produkten, kallad "focusLux high power" fungerar i våglängdsintervallet 1.030-1.100 nm och levereras med två moduler för fokallängderna 60 respektive 120 mm. Verktöget har ett kompatibelt interface för GigE och kommer snart att tillhandahållas med ett för ProfiNet!

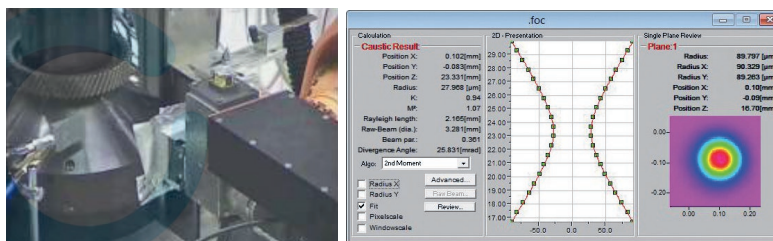
Det är framförallt vid fjärrlasersvetsning som det blir viktigt att ha stabila strålegenskaper beträffande effekt, divergens, fokuspunktsstorlek och -position. Bland applikationsexempel beskrevs koppar-svetsning för e-mobilitykomponenter i form av s.k. hårnålar och kontaktdon [Fig. 46]. Faktorer som kan påverka strålprofilen är exempelvis distributionsfibers kondition, smutsiga skyddsglas eller termisk påverkan av optiken. I svetsförsök utförda med Coherents FL-ARM-laserkälla, med 2 kW i den centrala fokuspunkten och 6 kW i ringfokus, kunde man observera att ett smutsigt skyddsglas gav en fokuspunktsförskjutning på 1 mm, något som avsevärt försämrade svetskvaliteten. Närmast avser Dr. Reichert och hans kol-



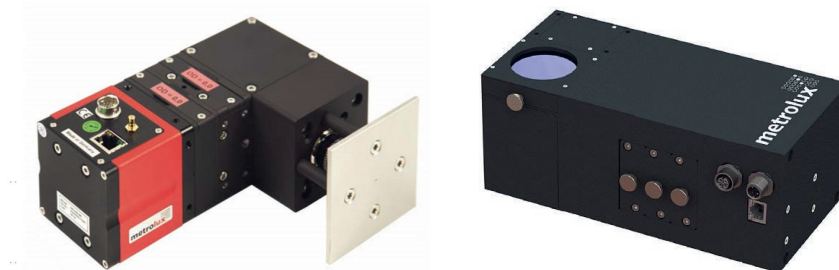
Figur 42. Lasersvetsning av tunna koppafolier med singular fokuspunkt t.v. och energifördelning enligt "CleanWeld"-tekniken t.h. Den senare ger ett överlägset kvalitativt tvärsnitt, men resulterar även i sprutfri svetsning av s.k. hårnålar i koppar.



Figur 43. Storsäljare ur företaget Primes GmbH:s produktportfölj över verktyg för stråldiagnostik; fr.v. Power Measuring Module, Focus Parameter Monitor och Beam Control System.



Figur 44. Daimler AG använder sig av stråldiagnostik vid lasersvetsning av växelkransar i fabriken i Untertürkheim för att säkerställa att den föreskrivna lasereffekten på 5 kW distribueras korrekt genom optiken.



Figur 45. Verktøy for stråldiagnostik från företaget Metrolux. T.v. en enhet för lägre effekter upp till 100 W och t.h. "focusLux high power" som klarar lasereffekter på maximalt 6 kW.

legor att skapa en form av jämförelsetabell mellan strålprofil och svetskvalitet!

#### OEM-slutsatser

Som traditionen bjuder vid en EALA-konferens avslutades denna med vad

Fritz Ebert på sin tid brukade kalla "die Elefantenrunde", d.v.s. några sammanfattande ord om framtiden hos de olika bilföretagen då det gäller laseranvändning. Programstyrelsens ordförande Dr. Jan-Philipp Weberpals [Audi AG] menade

Tabell 3a. Produktdata PMM

| Parameter          | Mätområde mm.                           |
|--------------------|-----------------------------------------|
| Effekt             | 400-12.000 W                            |
| Bestrålning        | 0,3-1,0 sek                             |
| Energi per mätning | 100-1.000 J                             |
| Skadetröskel       | 1,5 kW/cm <sup>2</sup>                  |
| Gränssnittsoption  | Profibus, Profinet, Devicenet, Ethernet |

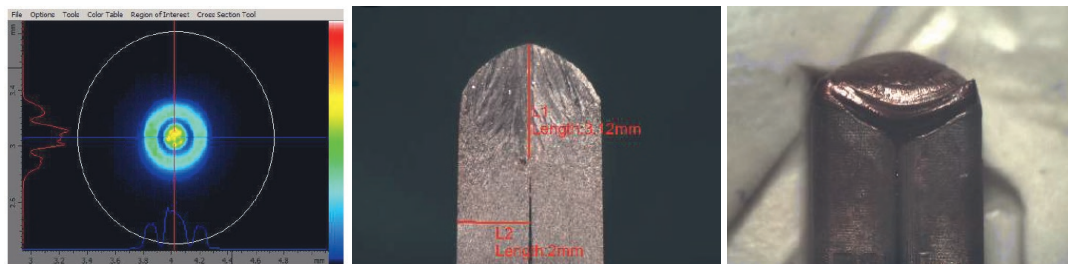
Tabell 3b. Produktdata FPM

| Parameter          | Mätområde mm.        |
|--------------------|----------------------|
| Effekt             | 400-8.000 W          |
| Fokusdiameter      | 50-1.000 µm          |
| Bestrålning        | 0,3-1,0 sek          |
| Energi per mätning | 100-1.000 J          |
| Skadetröskel       | 1 MW/cm <sup>2</sup> |
| Gränssnittsoption  | Profibus, Profinet   |

Tabell 3c. Produktdata BCS

| Parameter      | Mätområde mm.         |
|----------------|-----------------------|
| Effekt         | 400-20.000 W          |
| Fokusdiameter  | 200-3.000 µm          |
| Rayleigh-längd | <30 mm                |
| Divergens      | <200 mrad             |
| Strålkvalitet  | 0,34-100 mm*mrad      |
| Skadetröskel   | 10 MW/cm <sup>2</sup> |





Figur 46.  
Exempel på stråldiagnostik vid svetsning av s.k. hårnålar i koppar för e-mobilitykomponenter.

att det skett en fantastisk utveckling inom området om han jämförde med innehållet i de första upplagorna av EALA, och att biltillverkarna har tillgång till perfekta processer för laserbearbetning. Ny och framtida laseranvändning såg han främst ligga inom e-mobility och tillverkning av bränsleceller, som fortfarande tycks röna ett starkt intresse hos de tyska biltillverkarna.

Dr. Florian **Oefe** [BMW AG] instämde i att nya drivlinekoncept, baserade på elektrisk energi, kommer att innebära nya applikationsområden för lasertekniken, men sade att även nya interiöra utformningar av förar- och passagerarmiljön kan utöka användningen av olika laserprocesser som exempelvis texturering. Huvudsaken är att framtida laserprocesser är stabila men även att kostnadsnivåerna för nyinvesteringar hålls på en jämn nivå.

Merparten av representanterna i programstyrelsen ansvarar för karossutvecklingen vid sina respektive företag, medan Christian **Elstner** [Daimler AG] är den som fokuserat på laseranvändning vid tillverkning av drivlinekomponenter, något som han ansvarade för redan under sin tid hos Volkswagen AG. Därför var det inte överraskande att han mest såg e-mobility som ett framtida tillväxtområde för lasertekniken och kopplat till detta vidare utveckling av laserkällor inom de infraröda och gröna våglängdsområdena.

Min tidigare kollega Jürgen **Hover** [Ford Motor Co.] har ju lyckats väl med en fortsatt implementering av lasersvetsning och -lödning i företagets produkter,

inte minst under sin treåriga sejour vid utvecklingsavdelningen i Dearborn, MI. Tillbaka i Europa avser han nu att fokusera på lasersvetsning av s.k. delsmansättningar, men ett annat område av intresse är att undersöka olika NDT [Non-Destructive Testing] -metoder för lasersvetsar.

Den andre amerikanske representanten i programstyrelsen, Joshua **Solomon** [General Motors Co.], adresserade ämnet självkörande bilar [autonomous drive] som han tror kommer att förändra karosstrukturen och ge möjlighet till nya innovativa lösningar med tillhörande sammansättningskoncept. Även lasersvetsning av ramar för batteripaket såg han ha en stor framtida potential.

Hichame **Roumadni** [Renault S.A.S.] menade att framtida multimaterial-lösningar i karossen kommer att innebära nya utmaningar för lasertekniken.

“Åldermannen” i programstyrelsen, Thorge **Hammer** [Volkswagen AG], förundrade sig lite över varför vi trots allt inte ser fler laserapplikationer i bilbranschen då det finns så många förnämliga laserkällor och -verktyg. Här lyfte han fram innovationer som Coherents ”ARM-laser”, Trumpfs ”BrightLine” och Laserlines ”Spot-in-spot”, samt olika lösningar för processövervakning. Förklaringen till detta trodde han låg i att investeringskostnaderna fortfarande är höga, inte bara beträffande själva laserkällorna utan även för kringutrustning som säkeretskabinett och fixturer.

Slutligen sade Dr. Oscar **Andersson**

[Volvo Cars] att det som framförallt fokuseras i Sverige är batteritillverkning där han ansåg att lasersvetsning har en självklar plats.

Detta och många liknande uttalanden under de två dagarna i Bad Nauheim ger en försmak av vad vi kan förvänta under kommande EALA-konferenser. Laseranvändning vid karossammansättning är en etablerad teknik och utvecklingen inom detta området lär främst komma att handla om mindre förfiningar. Så för att kunna fortsätta att vara den självklara laserkonferensen för bilbranschen bör nog Dr. Meine och hans kollegor utvidga innehållet till att omfatta andra komponentområden. E-mobility och batteritillverkning tycks ju vara självklara teman men också transmissions- och chassidetaljer kan utgöra nya applikationsområden för lasertekniken. Även texturering av ytor som cylinderfoder och interiördetaljer kan vara av intresse, och självklart LMD [Laser Metal Deposition] som en metod vid reparation av press- och klippverktyg avsedda för tillverkning av karossdetaljer.

Hursomhelst kan vi som laserintressenter se ljuset på framtiden, och med spänning mot 2020 års EALA-konferens som i vanlig ordning kommer att äga rum på Hotel Dolce i Bad Nauheim den 11-12 februari. ■



# "Vår investering i lasersvetsutrustning har gett oss helt nya kunder"

Håkan Grubb  
Permanova Lasersystem AB

Brogren Industries tror stenhårt på att använda laser i produktionen av högteknologiska produkter till mekaniska industrier. När de såg ett framtida behov av lasersvetsade komponenter hos sina kunder slog de till och investerade i lasersvetsutrustning från Permanova. Börje Andermård, VD på Brogren, berättar att investeringen blev en stor framgång som bland annat har hjälpt dem att växa som företag och gett dem nya kunder.

## - Hej Börje! Vill du berätta lite om Brogren och er verksamhet?

Gärna det! Brogren Industries är ett familjeägt företag som ägnar sig åt mekanisk industri. Vår historia börjar, som många andra företag, i ett garage på 60-talet. Företagets grundare, Lars Brogren, anställde två år efter starten sin första medarbetare och sedan dess har utvecklingen gått spikrakt uppåt. Idag är vi ett hundratal anställda och har tillsammans gjort en stor tillväxtresa de senaste tio åren. Vi är specialister på att bearbeta och svetsa i varmhållfasta legeringar med snäva toleranser och komplexa geometrier. Inom våra tre affärsområden, Aerospace, Gas turbines och Parts, arbetar vi med kunder som till exempel Siemens, GKN Aerospace och Saab.

## - Kul att höra om er framgång! Vad har ni för krav på er utrustning?

Det som är gemensamt för våra kunder är att de har en tuff kravbild på sina produkter när det kommer till prestanda och

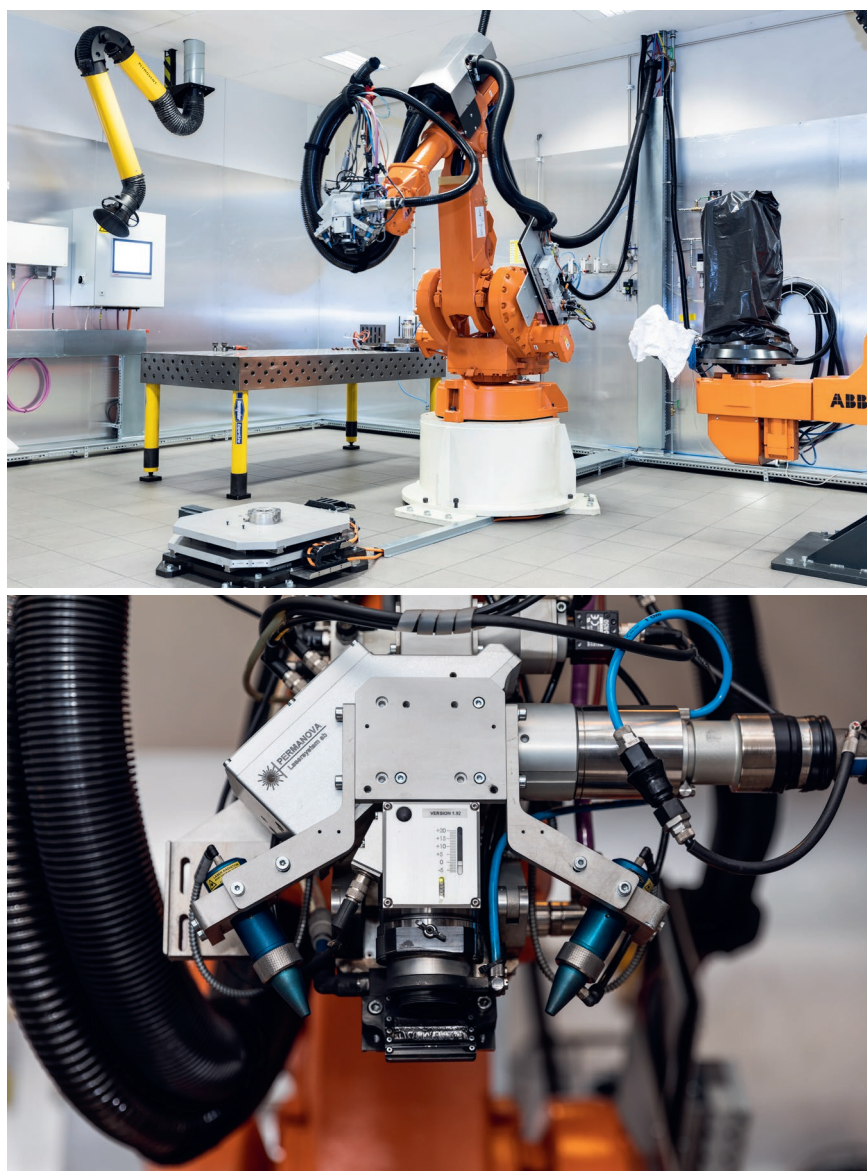


Bild 1.  
Permanova Lasersystem AB har installerat en komplett lasersvetsstation hos Brogren Industries AB.

vad de ska uppnå. Det innebär komplexa produkter gällande till exempel form och

mått, och tillverkningen sker ofta i svåra material. För att vi på Brogren ska kunna



uppfylla våra kunders krav behöver vi använda oss av högkvalitativ utrustning för att tillverka de produkter som våra kunder vill ha. Om våra produkter inte lever upp till förväntningarna kan det leda till stora ekonomiska förluster för våra kunder. Det finns inga mellanting eller ursäkter i det vi håller på med, så på det sättet är det en väldigt krävande bransch vi jobbar i.

**- Varför har ni valt att investera i lasersvetsutrustning?**

Vi förutsåg ett framtida behov av lasersvetsning hos våra kunder, och då vi tror stenhårt på den här metoden valde vi att investera i lasersvetsutrustning för att stå beredda när våra kunders behov uppstod på riktigt. Idag kan vi se att det var ett väldigt lyckosamt beslut. Målet med investeringen var att vi skulle utöka vårt erbjudande och växa som företag och det har vi verkligen lyckats med. Det här var en avgörande investering för oss som har förbättrat vår affär. Hade vi inte investerat i laser så tror jag inte att Brogren hade sett ut som det gör idag. Inte nog med att vi har lyckats behålla befintliga kunder som har fått nya behov, vi har även börjat få uppdrag av nya kunder som vi inte hade möjlighet att hjälpa innan. Det har till och med varit kunder som har vänt sig till oss just på grund av att vi nu kan svetsa med laser! Utöver en ökad affär kan vi nu ta ett helhetsansvar och leverera en mer komplett produkt, vilket är positivt för både oss och våra kunder.

**- Det låter som en bra investering. Varför valde ni att börja samarbeta med Permanova?**

Vi har höga krav på våra leverantörer och för över våra kunders kravbilder direkt på dem. Utöver att ha grundläggande ISO-certifieringar behöver våra leverantörer ha hög prestanda för att kunna möta våra behov rent tekniskt. Vi förhör oss kring produktutbudet, hur serviceorganisationen ser ut, hur stabila de är som leverantörer samt vilket renommé de har på marknaden. Vi märker relativt snabbt om en leverantör är kunnig och vet vad de håller på med. Baserat på de här kraven tycker vi att Permanova lever upp till alla våra förväntningar på en pålitlig och erfaren leverantör. Permanova har även levererat utrustning till våra kunder, vilket gör att vi känner oss trygga med dem och vet att det blir bra.

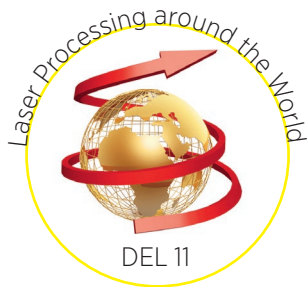
**- Och hur har samarbetet med Permanova fungerat?**

Vi köpte en komplett, kundanpassad laserstation av Permanova som de byggde från grunden. Permanova är en av de leverantörer vi har som till punkt och pricka har levererat det de har sagt att de ska leverera. De utmärker sig genom att alltid leverera i tid och de är proffsiga i sitt utförande vilket vi uppskattar väldigt mycket. Det är väldigt enkelt att samarbeta med Permanova. Vi har en bra relation och vi brukar ringa varandra då och då och kolla läget. Vår relation slutar inte efter leverans utan de finns kvar och är tillgängliga även efteråt vilket är en stor trygghet och fördel för oss. Deras service- och supportfunktion fungerar jättebra vilket också är en avgörande faktor. I vår värld bygger vi långa och djupa relationer, något som vi verkligen har gjort med Permanova.

**- Även vi på Permanova är väldigt nöjda med samarbetet med er på Brogren.**

**Tack Börje för pratstunden! ■**

För mer info kontakta:  
Håkan Grubb, VD  
+46 31 706 1998  
[Hakan.grubb@permanova.se](mailto:Hakan.grubb@permanova.se)

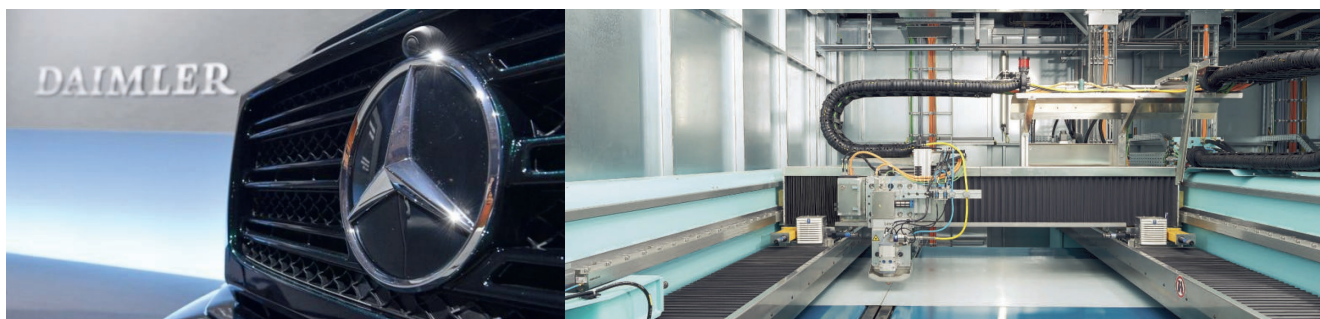


# Blanking with light

THE STORY OF LASER BLANKING'S SUCCESS AT DAIMLER

## Framgångsrik introduktion av "ämnesklippning" med laser i Daimlers Kuppenheim-fabrik

Johnny K Larsson,  
Autokropolis Engineering



Laserskärning är idag en etablerad tillverkningsprocess som har använts vid industriell produktion i snart fyra decennier. Dock har tekniken varit mindre ekonomiskt försvarbar då det gällt att producera stora seriestorlekar, där mekanisk klippning och stansning kunnat utkonkurrera lasertekniken. Detta har kvarstått som ett faktum även sedan fiberlasarna tog skärmarknaden med storm för cirka tio år sedan. Även om en laser av denna typ erbjuder otroligt höga skärhastigheter måste skärverktyget följa detaljernas konturer, varför robotens kinematik kommer att begränsa produktiviteten.

Vid tillklippning av plåtämnen som sedan formas till karosskomponenter kan ett pressverktyg klippa ut den önskvärda geometrin med ett enda slag. Därför har detta varit den förhärskande tekniken för ämnesklippning i högvolymproduktion hos de olika biltillverkarna. Det finns väl ingen rimlig möjlighet att laserskärning, s.k. laser blanking, skulle kunna konkurrera med en traditionell mekanisk klipplinje, eller.....?

2016 installerade Daimler två stycken laserbaserade klipplinjer i Mercedes Benz-fabriken i Kuppenheim. Erfarenheterna var så positiva att i början av detta år invigdes ytterligare en sådan klipplinje i en annan av företagets tyska fabriker, och just nu pågår installationen av en fjärde "laserklipplinje".

Laserbaserade klipplinjer innebär stor flexibilitet då inga verktygsbundna klippverktyg används, en fördel som de flesta användare av planskärslasrar kunnat tillgodoräkna sig sedan många år. Dessutom har vissa "laserklipplinjer" visat sig kunna matcha och t.o.m. överträffa produktiviteten hos många av de mekaniska klipplinjer som varje år installeras i biltillverkarnas pressverk.

Termen "laser blanking" är inte ny, men kan skapa förvirring bland dem som inte arbetar direkt inom bilindustrin och dess leverantörskedjor. Metoden är på intet sätt att jämföras med ämnesskarvning eller LWTB [Laser Welded Tailored Blanks] där olika plåtämnen sammanfogas till ett enda med hjälp av en högeffektlaser för att skräddarsy egenskaperna hos den formade karosskomponenten.

Idag erbjuder biltillverkarna ett större modellutbud och ett mer frekvent modellbyte jämfört med tidigare. Detta

har riktat fokus på att minimera tiden för verktygsbyten i pressverket, och man talar idag mycket om SMED [Single-Minute Exchange of Dies]. Att kunna skifta produktionsverktyg inom loppet av en minut låter ju som en bra och visionär idé, men att inte ha något verktyg att byta över huvudet taget torde vara en ännu bättre sådan.

Tillverkningen av ett mekaniskt klippverktyg blir mest kostnadseffektiv om klipplinjerna är raka och vinklarna räta. Däremot befördrar en laser konturskärning av plåtämnen där skärverktyget endast i ringa grad måste retardera och därpå accelerera sin rörelse då det skär runt hörn. Dessutom har det visat sig att med dylik konturskärning kan man förbättra formbarheten i efterföljande formningsoperationer, särskilt då det är frågan om s.k. djuppressning av detaljerna. Oavsett plåtämnets form medför tekniken med "laser blanking" att konstruktören kan justera dess geometri för att därigenom öka formbarheten.

Framtidens personbilar liksom lastfordon måste vara både säkra och lätta, det senare ur miljösynpunkt med hänsyn till allt strängare krav då det gäller att minimera emissioner från dess drivlinor. Därför använder sig biltillverkarna av olika avancerade höghållfasta stål med ett stadigt



ökande förhållande mellan hållfasthet och plåttjocklek. Den här typen av material sliter hårt på traditionella mekaniska klippverktyg. För laserstrålen spelar inte materialhållfastheten någon större roll. Plåttjocklek samt legeringstypens förmåga att absorbera laserenergin är de avgörande parametrarna i sammanhanget. "Ämnesklippning" med laser eliminerar dock inte alla problem i samband med bearbetning av höghållfasta stålqualiteter. Således måste plåten fortfarande planriktas och balanseras allt eftersom den hasplas av plåtrullen, vilket är en förutsättning för att laserskärprocessen skall kunna utföras med önskvärd kvalitet. Men bara det faktum att typbundna klippverktyg kan exkluderas innebär att det blir möjligt att övervinna många annars vanligt förekommande tekniska hinder.

Andreas Heuer [Fig. 1], ansvarig för formningsteknik vid Mercedes Benz-fabrikerna i Gaggenau och Kuppenheim, började titta på den här tekniken av rent pragmatiska skäl. Företaget ville nämligen inte ändra på den befintliga fabrikslay-outen för att skapa utrymmen för stora maskinfundament, schakt för vändslingsor eller de traverskranar som krävs för att byta de tunga pressverktygen.

"Numera behöver vi inga extra utrymmen för lagerhållning av ett stort sortiment av pressverktyg, och inte heller krävs några traverser för verktygsbyten", säger han. "Den höga flexibilitet som den här teknologin medför är ytterst fördelaktig för oss, eftersom antalet karossvarianter ständigt ökar".

"'Laser blanking' förenklar också eventuella geometriska förändringar som kan behöva göras vid inprovning av nya pressverktygssatser", fortsätter Herrn Heuer, och tillägger att vissa förändrade ämnesgeometrier har visat sig gynnsamma vid efterföljande djupdragningsoperationer. För några verktygssatser kunde vi lätt skapa mellan 6 och 8 olika ämnesgeometrier, vilket möjliggjorde att vi snabbt kunde realisera byten av pressverktyg utan att behöva avbryta pågående produktion".

Daimler använder laserbaserad ämnesklippning vid tillverkning av flera utseendemässigt kritiska karosskomponenter för yttertyr. "Klipplinjen kan för vissa applikationer uppnå en processhastighet på nästan 60 meter i minuten", säger Manuel Hunger som är säljansvarig vid företaget Schuler, som har konstruerat och byggt Daimlers "laserklipplinjer". "Exempelvis ligger produktionskapaciteten för motorhuvar på över 40 enheter per minut".

"Vi laserskär alla plåtämnen för yttre detaljer och de större strukturbärande komponenterna för såväl personbilskarosser som lastvagnshytter", fortsätter Andreas Heuer. "Liksom andra biltillverkare använder vi typiska materialkvaliteter i galvaniserad stålplåt och aluminium, med tjocklekar mellan 0,65 och 1,5 mm".

När man tittar på fabriakens "laserklipplinje" i arbete är det som att studera en väl koreograferad dans, där varje elektronik- och mekanikkomponent utgör en viktig och kritisk aktör. En ny plåtrulle matas in i ett dubbelrullsystem medan den tidigare plåtrullen fortfarande hasplas upp. Om det nya materialet så kräver, byts kassetterna för precisionsinställning av valsarna ut inom loppet av några få minuter. När ett byte av plåtrulle sedan sker matas den nya rullen in i haspelverket med slack, och vidare in i laserskärstationen. Denna är utrustad med tre skärverktyg där vart och ett är kopplat till en fiberlaser med 4 kW effekt från företaget IPG [Fig. 2]. Skärverktygen har axiella rörelser i x- och y-koordinat.

Herrn Hunger säger, att med tre skärverktyg får man en god balans i processen. Färre antal skärhuvuden drar ner produktiviteten, och ett alltför stort innebär ett orimligt antal genomslag, accelerationer och retardationer för robotkinematiken. Detta p.g.a. att varje verktyg endast behöver skära ut en begränsad del i plåten som passerar under laserstrålarna.

Den viktigaste teknikköslösningen vid laserbaserade klipplinjer ligger inte i själva laserskärprocessen utan snarare vad som händer under skärnittet. Plåten måste befinna sig i kontinuerlig rörelse, ha tillräckligt med utrymme under sig för att kunna evakueras smält material, men samtidigt vara stabilt upplagd på bandtransportören. För att realisera detta använder laserbaserade klipplinjer sig av teleskopiska transportörer. I Daimlers klipplinjer hittar vi två bredspåriga transportörer med ett konstant inbördes avstånd, en framför och en bakom det aktiva skärverktyget, vilka rör sig framåt och bakåt i förhållande till materialflödet, och där rörelserna synkroniseras med skäroperationen. Detta garanterar att systemet bibehåller ett konstant utrymme under skärspalten där gravitation och vakuum för bort smälta partiklar och gaser från skärprocessen. Schuler kallar denna synkroniserade transportörrörelse kombinerad med evakueringslösningen för "DynamicFlow Technology".

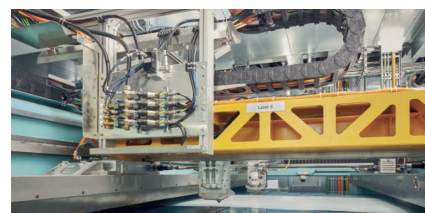
Efter laserskärningen skall de utskurna



Figur 1. Andreas Heuer är formningsteknikansvarig vid Mercedes-Benz-fabrikerna i Gaggenau och Kuppenheim. I den sistnämnda har han drivit på övergången till att använda lasern som ett verktyg vid ämnesklippning, något som påbörjades redan 2017.

plåt detaljerna separeras från plåten och staplas inför den följande formningsoperationen [Fig. 3]. Detta är två kritiska faktorer som man måste ta hänsyn till om "laser blanking" verkligen skall vara meningsfull och lönsam. Några "laserklipplinjer" har, för vissa applikationer, blivit så snabba att de konkurrerar ut konventionella system för ämnesklippning. Sådan produktivitetsökning blir emellertid betydelselös om plåtämnen efter laserskärningen ändå måste hanteras och sorteras manuellt.

Som Manuel Hunger påpekar finns



Figur 2. Vart och ett av de tre laserskärverktygen är kopplat till sin egen portalrobot.



Figur 3. De utskurna plåtämnen staplas och arrangeras för vidare transport till efterföljande formningsoperationer.

det olika scenarier för hur de tillskurna ämnena separeras från skrotmaterialet. Ett sådant är där klippen placerats på ett sådant sätt att det överhuvudtaget inte uppstår något plåtspill. Daimlers laser-skurna plåtämnen för motorhuvar är ett bra exempel på detta. Dessa sträcker sig över hela plåtrullens bredd, och när de lämnar laserzellen genomgår de en rengöringsprocess, varpå ämnena skickas till högeffektiva staplingstransportörer via separata transportband. Staplingsutrustningen är liksint den som används i traditionella klipplinjer. ”Vi måste göra på detta sätt”, säger Herrn Hunger, ”eftersom stapling med hjälp av robotar går för långsamt för att kunna hålla jämna steg med ’laserklipplinjen’”.

Ett annat sätt att separera ämnena från det överblivna materialet i plåten är att låta det senare falla ner medelst en gravitationsbaserad operation som sker efter laserskärningen. Den metoden fungerar emellertid bara om skrotbitarna har en kontur och orientering som gör att de lätt kan falla ner på en underliggande bandtransportör enbart med hjälp av gravitation. I ett sådant fall kan de tillskurna ämnena skickas direkt till staplingstransportörerna på samma sätt som gäller i det tidigare exemplet, medan skrotdetaljerna via en ränna hamnar i en skräpcontainer. Alternativt kan hanteringsrobotar plocka de utskurna plåtämnena [Fig. 4] och lyfta dessa över rännan för skräpdetaljer och placera ämnena på ett transportband som leder till staplingsutrustningen.

Eftersom Daimler ämnesklipper många plåtar avsedda för utseendemässigt kritiska ytterpaneler krävs en borstbaserad rengöringsprocess efter laserskärningen. ”Förekomsten av smuts och damm utgjorde ett bekymmer för oss”, säger Herrn Heuer, men är snar att tillägga att även utan den nämnda rengöringsprocessen kvarlämnar ”laserklippningen” så få dammpartiklar att dessa inte har någon inverkan på efterföljande processteg.

”Vi kan idag konstatera att utrustningen kräver vissa underhållsintervall, precis som för en traditionell klipplinje, om vi skall kunna garantera att plåtäm-

nen är absolut perfekta. Därför utför vi en standardiserad rengöringsprocess varannan vecka, och en mer omfattande rengöring av bandtransportörerna varje halvår. För att reducera det manuella underhållsarbetet av ”laserklipplinjerna” kan varje bandtransportör förses med borstar för rengöring”, tillägger Manuel Hunger. Enligt honom når Daimlers laserbaserade klipplinjer ett OEE [Overall Equipment Effectiveness] -värde, vilket är en form av tillgänglighetstal, på över 75%. ”En sådan nivå har vi aldrig lyckats uppnå i någon av våra konventionella klipplinjer”, säger han.

Genom att Daimler varit tidigt ute med att ta den här tekniken i bruk, ser Andreas Heuer ”laser blanking” vara en metod som på sikt kommer att dominera ämnesklippningen inom bilindustrin, ”Enligt min åsikt kommer ’aser blanking’ att ersätta konventionell ämnesklippning. Teknologin är ett modernt och innovativt sätt att optimera processen för ämnesklippning och öka dess effektivitet. Om sedan pressverktygen anpassas till plåtämnen som tillverkas på detta sätt medför det att ’laser blanking’ blir ännu mer fördelaktig”.

Kan den här tekniken då användas inom andra områden av metallbearbetning? Jomenvisst! Enligt Herrn Hunger kan teknologin så småningom bli intressant för s.k. service centers som agerar i andra branscher än bilindustrins leverantörskedjor, men även för företag som arbetar med stora stålkonstruktioner. Dessa förbrukar stora kvantiteter av vissa plåtkvaliteter och tjocklekar, där det kan löna sig att köpa in hela plåtrullar av det aktuella materialet.

Byte av plåtrullar och kassetter för precisionsinställning av valsarna innebär snabba omställningar från ett material till ett annat. Daimler använder sig exempelvis av en automatiserad process där en operatör kontrollerar materialet och initierar då det är dags att göra en omställning.

De kritiska faktorerna är separering av de utskurna plåtämnena samt uppstapling av dessa i racks. Som Herrn Hunger förklarar så kan vissa automatiserade tillvägagångssätt då det gäller ämnesse-



Figur 4. Industrirobotar griper och staplar de utskurna plåtämnena. Om klipplinjerna är placerade på ett sådant sätt att någon robothantering av ämnena inte krävs, skickas dessa direkt till staplingstransportörerna.

paration vid ”laser blanking” följa samma strategier som används då man tömmer en lasermaskin för planskärning. Sålunda kan mindre ämnen sammankopplas och plockas ur som en enhet med hjälp av en robot.

Naturligtvis måste seriestorlekarna vara tillräckligt omfattande. System för ”ämnesklippning” med laser passar inte för att hantera många olika ämnesstorlekar och –former samtidigt, säger Herrn Hunger och tillägger att plåtämnena som skärs ut måste vara åtminstone 250 mm långa eller breda.

Självklart kommer prototypstillverkare och s.k. jobshops, som producerar en stor flora av plåtämnen i små stycketal, inte att se någon affär i att investera i en utrustning för ”laser blanking” under en överskådlig framtid, men om volymstorlekarna ökar kommer detta att förändras. Om sortimentet av plåtämnen hos ett företag eller service center som tillverkar tunnplåtprodukter kan separeras, staplas och skickas vidare till efterföljande processteg på ett tillförlitligt sätt, innebär laserbaserad ämnesklippning en otvetydig möjlighet till produktionsfördelar. ■





# Karl ny doktor vid Högskolan Väst-

## Lasersvetsning av ultra-höghållfast stål och gjuten magnesiumlegering för lättviktskonstruktion



Bild 1.  
Karl Fahlström, ny doktor inom lasersvetsning vid Högskolan Väst. Karl arbetar nu som F&U chef inom produktionsteknik vid Swerim AB, Kista.

För att kunna möta klimatmål med minskade utsläpp genom minskad bränsleförbrukning så måste dagens fordon bli lättare. Detta kan åstadkommas genom introduktion av nya material med ökad hållfasthet i förhållande till sin vikt. Flera material är lovande, däribland fiberförstärkta kompositer, aluminium, magnesium och höghållfasta stål liksom kombinationer av dessa.

För krockapplikationer är så kallat borstål det mest intressanta materialet. Borstål har hög hållfasthet och styvhet samt är både formbart och svetsbart. För interiöra komponenter så är pressgjutna magnesiumlegeringar av högt intresse på grund av hög hållfasthet i förhållande till sin vikt. Vid tillverkning av bilar så måste dessa material fogas både mot sig själv och mot andra material.

Traditionellt sett har motståndspunktsvetsning varit den mest använda metoden inom fordonsindustrin, men på senare tid har lasersvetsning blivit mer och mer populärt. Lasersvetsning ger fördelar så som hög produktivitet och ökad styvhet i

förbanden.

För att kunna öka användandet av lättviktsmaterial och lasersvetsning inom fordonsindustrin så måste kvaliteten hos svetsarna kunna säkerställas. I denna studie har tänkbara problem studerats som kan uppstå vid lasersvetsning av borstål samt gjuten magnesium.

Kvalitetsproblemen som studerats är geometriförändringar på komponenten samt porositet. Arbetet har inkluderat svetsförsök med olika uppställningar, samt analys av egenskaper och deformationer för att kartlägga och förstå inverkan av svetsningen.

Studien har resulterat i ökad kunskap om de vanligt förekommande kvalitetsproblemen. Även rekommendationer för hur dessa problem ska kunna undvikas har tagits fram. ■

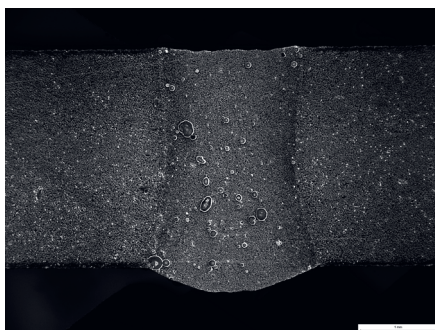
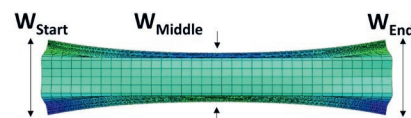


Bild 2.

Kvalitetsproblem som studerats är porositet och geometriförändringar på komponenten. T.v. Porositet vid svetsning av gjuten magnesiumlegering. T.h: Distorsionsbeteende hos ihålig borstålsbalk av dubbla hattprofiler



# Morgan ny laserdoktor vid Högskolan Väst-

## Mätning och styrning vid lasersvetsning av stumfog



Bild 1.  
Morgan Nilsen är ny laserdoktor vid Högskolan Väst. Hans arbete har handlat om att mäta och styra lasersvetsprocessen vid svetsning av stumfog.

Morgan Nilsen har under åren 2014 till 2019 doktorerat på Högskolan Väst i Trollhättan. Hans arbete har handlat om att mäta och styra lasersvetsprocessen vid svetsning av stumfog. Två olika problem har utvärderats, dels problemet med att hitta fogen och styra processen (fogföljning) då man har en stumfog utan gap (nollgap) där fogpositionen därför är problematisk att hitta med hjälp av sensorer, och dels problemet med att uppnå en god kvalitet på svetsen när gapet mellan detaljerna varierar inom samma komponent.

Problemet med att hitta fogen vid nollgap har utvärderats med hjälp av ett kamerasystem som är integrerat i svetsverktyget. Med hjälp av extern belysning har det visat sig att det är möjligt att detektera fogen även vid nollgap och på så sätt styra processen så att svetsning alltid sker i fogen, även vid svetsning av komplexa svetsbanor.

Problemet med varierande gap har utvärderats genom att med en kamera och en laserlinjesensor mäta gapets storlek

under pågående svetsning och med hjälp av denna information styra matningshastigheten på tillsatstråden. Experiment har visat att det är möjligt att överbrygga gapet och få en jämn svetsgeometri även då gapets bredd varierar inom samma komponent. Detta ger möjligheten att lätta något på kraven på fogberedning och kan därför spara pengar för industrin.

### Komplett system

De båda systemen kan kombineras då de använder samma kamera tillsammans med olika sorters belysning (LED lampor och laserlinje). Detta ger då ett komplett system för både fogföljning och styrning av tillsatstråd. En stor del av arbetet har varit att ta fram de algoritmer som använder kamerabilderna som indata och på ett robust sätt tar fram den information som behövs för styrning av processen. Arbetet

har gjorts inom två forskningsprojekt finansierat av Vinnova, RobIn och VarGa, och förutom Högskolan Väst har också Luleå Tekniska Universitet, Swerim samt ett antal lasersvetsande svenska företag deltagit.

Morgan Nilsen arbetar vidare på Högskolan Väst inom området mätning och styrning.

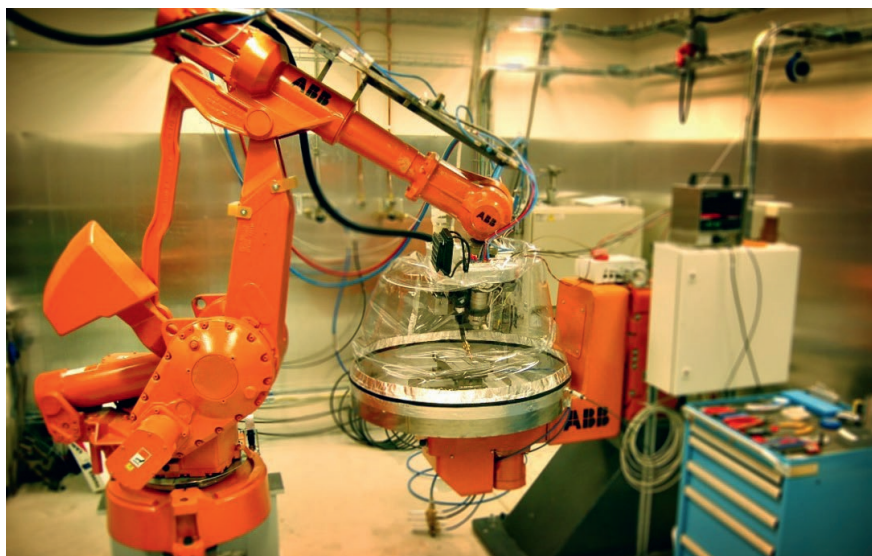


Bild 2.  
Laserzell vid Högskolan Väst.

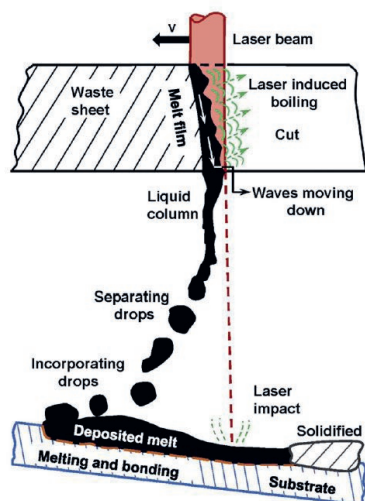


# Ramiz och Jesper - två nya laserdoktorer vid Luleå tekniska universitet

## Smältans rörelse vid "remote" lasersvetsning



Bild 1.  
Ramiz Samarjy blev laserdoktor vid Luleå tekniska universitet 2017. T.h. Ramiz drop: Principiell skiss över CYCLAM metoden som Ramiz utvecklade. Den övre plåten laserskärs och donerar material till plåten nedanför för att snabbt kunna bygga en ny struktur.



Luleå tekniska universitet har producerat två nya doktorer inom laserbearbetning. Först ut av dessa var **Ramiz Samarjy** som framgångsrikt försvarade sin avhandling "Interaction mechanisms for a laser-induced metallic boiling front" i november 2017. Opponent var Professor Michael Schmidt vid University of

Erlangen-Nuremberg, Tyskland. Ramiz avhandling behandlar smältans rörelse i smältfronten under laserskärning utan processgas (Remote laser cutting), resultaten är även applicerbara på lasersvetsning då det är samma mekanismer som återfinns i nyckelhålet under lasersvetsning. Med Ramiz modell är det möjligt att analysera bland annat skärfrontens geometri, absorption, smältans tjocklek och det omsmälta lagret beroende på skärhastigheten. Ramiz använde sig också av höghastighetsfilmning för att studera smältbeteendet. Han använde sig av en ny metod där han med en matematisk modell kunde omvandla tvådimensionella gråskalebilder till en 3D-yta och studera den vågiga ytan i smältan. Genom höghastighetsfilmning studerade han även under vilka förhållanden smältan lämnar skärnittet när man använder en pulsad laser och under vilka förhållanden den stannar kvar. Tack vare sina studier om smältans beteende i skärnittet kom han fram till att smältan till stor del är kontrollerbar och att man med parameterjusteringar kan styra den på olika sätt.

Med detta i åtanke har Ramiz publicerat två vetenskapliga artiklar om en metod där man använder laserskärning för att skapa en smälta som förflyttas från en komponent för att bygga en ny eller addera material till en befintlig komponent. Med metoden Ramiz utvecklade används alltså laserskärning för additiv tillverkning. Tekniken kallas CYCLAM (Recycling to feed laser additive manufacturing) eftersom den kan användas för att återvinna uttjänta produkter och direkt skapa en ny vilket ger en kort återvinningskedja. Ramiz kom till Luleå från Mosul Universi-

tet och trots ovana med kultur och ämnet (I Irak jobbade Ramiz med fräsning) lyckades Ramiz snabbt akklimatisera sig och skapa starka forskningsresultat. Ramiz har efter disputationen valt att stanna kvar i Sverige.

Ramiz har lämnat LTU för en ny karriär.

### Hur värme påverkar olika egenskaper hos detaljer som lasersvetsat

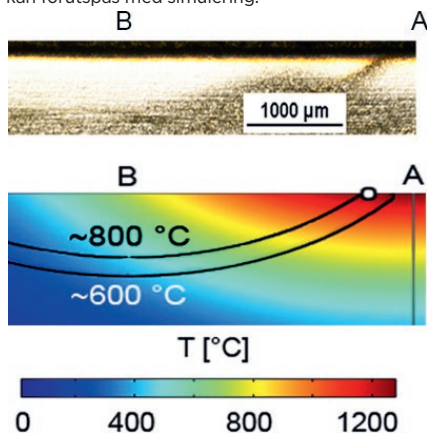
Nästa person som har disputerat är **Jesper Sundqvist** som försvarade sin avhandling i april 2018. Hans avhandling är titulerad "Aspects of heat flow in laser processing of metals". Professor Andreas Otto från Technische Universität Wien var opponent. Likt Ramiz avhandling så innehåller även Jespers avhandling en kombination av experiment och simulering, med ett särskilt fokus på hur värmen påverkar olika egenskaper hos detaljer som genomgått laserprocesser.

En metod för att styra värmefördelningen i arbetsstycket är att använda sig av skräddarsydda former på laserstrålen vilket kan göra med till exempel diffraktiva optiska element. Inom ramen för projektet TailorWeld studerade Jesper känsligheten för utseendet på en C-formad laserstråle vid värmeledningssvetsning av batterier för att hitta ett processfönster där sammanfogad area är nog stor samtidigt som uppvärmning i djupet inte blir för hög. I samband med detta utvecklade han även en matematisk modell tillsammans med ett lättanvänt grafiskt användargränssnitt för att möjliggöra för fler att kunna designa komplexa strålformor som passar deras applikation.

Under sin tid som doktorand spen-



Bild 2.  
Jesper Sundqvist försvarade sin avhandling "Aspects of heat flow in laser processing of metals" i april 2018 vid LTU. T.h. Sensitisation: Två laserhårdade spår där B överlappar A. Att härda ett spår ger ingen risk för intergranulär korrosion men en andra termisk cykel som når kring 600-800 grader ger en korrosionsrisk. De kritiska regionerna kan förutspås med simulering.



derade Jesper fyra månader på Chosun University i Gwangju, Sydkorea. Där studerade han hybridsvetsning med laser och friktionsomrörningssvetsning och tittade på var laserstrålen ska placeras för att minska påfrestningen på verktyget då man svetsar ihop rostfritt stål och titan. I Jespers avhandling återfinns också en artikel om laserhårdning av lågkromhaltigt ferritiskt rostfritt stål och hur den termiska cykeln påverkar korrosionsbeständigheten. Det visade sig att det gick att öka hårdheten till dubbla basmaterialets hårdhet med laserhårdning. Ett spår var korrosionsbeständigt men överlappande spår gjorde att materialet blev lokalt sensitiserat.

Jesper jobbar kvar på LTU som Universitetslektor och jobbar i projekten SPACEMAN, som handlar om utveckling av pulver för additiv tillverkning som är mer hållbara och till lägre kostnad än de som används mest idag, och CINEMA som handlar om att använda laserpåsvetsning som en process för att uppnå en mer cirkulär ekonomi.

## Fråga laserdoktorn

### Fråga

Hej. Jag har en fråga angående skyddsglas till fiberlaser och linser generellt för laser. Vi har haft problem med våra skyddsglas till fiberlasern. Efter en tid tappar vi skärprestanda och snittkvalitet. Vid en närmare anblick ser man att glaset är fullt av partiklar. Efter byte av glas fungerar skärningen perfekt igen.



### Svar

Hej! Det är svårt att ge ett generellt svar utan att analysera vad partiklarna består av. Det finns ett antal möjliga orsaker till problemen. Sprut från skärningen kan generera partiklar på skyddsglas och linser. I andra fall kan det handla om metallångor som kondenserar på ytan. Det finns andra fall där man har konstaterat att partiklar kan genereras i gastillförseln via slitna magnetventiler. Jag har upplevt fall där slitna säten i ventilerna har gett upphov till stora problem. Givetvis kan gasförsörjningen också spela in, men filter på ingående gasanslutningar brukar ta hand om det problemet.

I något fall har jag också sett att man har fått en beläggning på ytan där vi har kunnat härleda problemet till fukt från skärhuvudets kylsystem som har kondenserat på glaset.

Oavsett vad orsaken till era problem är så är det svårt att ange en enkel lösning på problemet. I felsökningen måste man som jag nämnde tidigare ta hänsyn till vad partiklar och eventuell beläggning består av. I många fall kan det här vara svårt att se exakt vilka föreningar som finns på glaset eftersom ytbehandlingen gör att man får utslag för även andra ämnen. Om partiklar och beläggning består av samma ämnen som den skurna metallen bör man titta på vilka skärparametrar som används. Här spelar styrningen av tryck och flöde hos gasen en stor roll.

Om partiklarna kommer från komponenter som magnetventiler med grafit-säten bör man (om man kan detektera kol i sammanhanget) gå över komponenterna i systemet och vid behov ersätta slitna delar.

När det gäller fukt blir det genast

svårare. Gasanalys och en läcksökning av maskinen är två av de första åtgärderna man bör vidta. ■





# Gröna lasrar kommer att utgöra förutsättningen för högkvalitativ tillverkning av e-mobility-detaler tror Henrikki Pantsar

Johnny K. Larsson,  
Autokropolis Engineering

Min finske vän Henrikki **Pantsar** är kanske mest känd som den glade gamäng, som med sin basgitarr brukar ackompanjera Ron Schaeffer då de båda brukar underhålla oss vid ICALEO [International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics] -konferensernas "Welcome Reception" [Fig. 1]. Men Henrikki har också en mer seriös framtoning i lasersammanhang, där han som nybakad doktorand vid LUT [Lappeenranta University of Technology], tillsammans med några kollegor, tog steget att utvandra till USA 2007.

Här kom han bl.a. att bidra vid en omfattande omorganisation av företaget Cencorp, där han under tre år verkade som forskningschef. Efter flera framgångsrika år enrollerades han 2017 av Trumpf North America där han numera är applikations- och serviceansvarig. I biltransporternas förlovade land har naturligtvis intresset för s.k. e-mobility, elektrifierad framdrivning av fordonen, vuxit explosionsartat, och den gode Henrikki tror att lasertekniken kommer att få en framträdande roll vid tillverkning av batteriartiklar, inte minst genom användning av laserkällor i det gröna våglängdsområdet. Därför blev det extra intressant att nyligen sitta ner med Henrikki och lyssna på hans synpunkter.

E-mobility har utgjort den viktigaste utvecklingstrenden inom bilindustrin under de senaste fem åren. Efterfrågan på elektrifierade personbilar har ökat avsevärt p.g.a. deras höga prestanda, bekvämlighet, lätthet att manövrera,



mindre underhålls krav och miljövänlighet. Även lagstiftningen gynnar elektrifierade transporter varför, helt eller delvis, batteridrivna bilar inte längre bara är en nischmarknad för bilindustrin. Därmed blir en av biltillverkarnas viktigaste uppgifter, att tillsammans med underleverantörer och maskinbyggare, skapa tillförlitliga logistikkedjor för att succesivt kunna öka produktionen av elektroniska komponenter. Det hela handlar om att hantera alla produktionsaspekter i samband med tillverkning av elektrifierade drivlinor. En av de största utmaningarna är att komponenter och materialval i den här typen av drivlina är nya för branschen och väsentligt skilda från vad som hittills varit standard inom bilindustrin. Således saknar volymbehovet av batterier med hög kapacitet och lämpliga elektriska motorer motstycke inte bara vid personbilstillverkning utan inom industrin i stort.

Den viktigaste komponenten i dessa sammanhang är själva batteriet, vilket består av enstaka celler som monteras samman i moduler vilka sedan sammanfogas till kompletta batteripaket. För detta krävs ett tillförlitligt handhavande av bat-



Figur 1.

Basisten Henrikki Pantsar brukar tillsammans med Ron Schaeffer underhålla vid ICALEO-konferensernas "Welcome Reception", men är också en gedigen laserentusiast som t.h. besöker ett världigt Cambridge tillsammans med en annan finsk "laserlegendar" – professor Veli Kujanpää [Lappeenranta University of Technology].

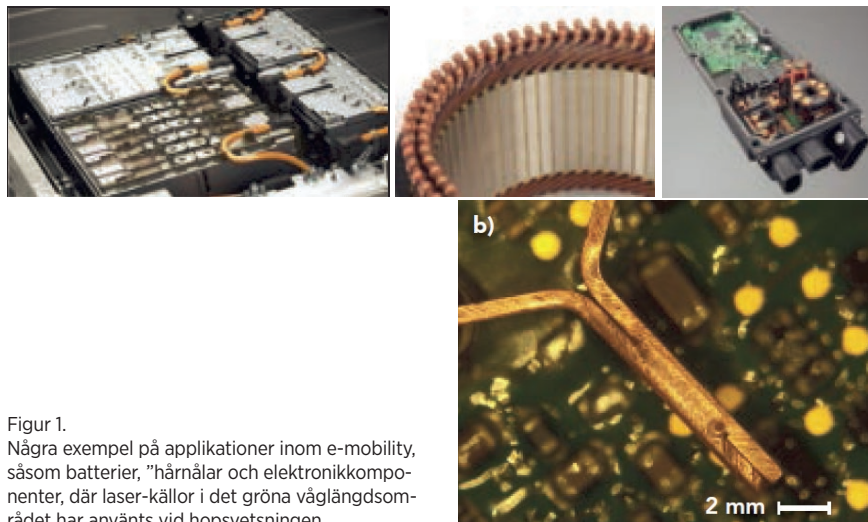
terierna, liksom tillverkning av höljen för såväl celler som moduler så att batterierna kan integreras i fordon. Andra elektriska komponenter såsom laddningssystem, omvandlare och sensorer krävs för att ladda batterierna och hantera distributionen av elektrisk energi inuti bilen. Förutom själva batterierna krävs en elektrisk drivlina för att överföra energin till vägbanan. Det finns olika koncept för detta, allt ifrån hybriddrift, där den elektriska överföringen är direkt integrerad i växellådan, till fyrhjulsdrift där fyra separata elektriska motorer är monterade i direkt anslutning till hjulen. Det som är gemensamt för de nämnda komponenterna är att de inte

funnits i tidigare bilgenerationer, varför den samlade kunskapen kring de tekniska lösningarna är begränsad, och där ett av de dominerande materialen i komponenterna är koppar.

Tillverkning av alla ingående artiklar i ett sådant framdrivningskoncept innebär många utmaningar, men erbjuder samtidigt möjligheter eftersom tillverkningskedjan kan definieras utan förhandenvärande produktionsstandarder. Det finns m.a.o. gott om utrymme för innovationer, och eftersom lasern är ett mycket flexibelt verktyg kan den visa sig vara en nyckel teknik inom e-mobility. Med laserteknik blir det möjligt att uppfylla nya krav i termer av produktivitet och kvalitet, samt att öka produktionen från dagens relativt små volymer till de höga antal som är nödvändiga inom den närmaste framtiden.

Antalet möjliga laserapplikationer och volymen av tillverkade komponenter ökar i samma takt som marknaden för e-mobility tilltar. Särskilt gäller detta för elektronik- och drivlinekomponenter samt batteritillverkning, där lasern möjliggör snabba svets- och skäroperationer med minimal värmepåverkan. Emellertid skiljer sig kravbilderna avsevärt mellan dessa komponentområden. Svetsning av kontaktbon på s.k. DBC [Direct Bonded Copper] –plattor kräver ett ytterst exakt penetrationsdjup, samt minimal värmepåverkan och svetsstrut då omgivande komponenter befinner sig mycket nära svetslägena och skulle därmed kunna förstöras om svetsprocessen inte är tillräckligt stabil. Vid svetsning av de s.k. hårnålar som ingår i en elektrisk drivlina krävs höga lasereffekter och snabba processhastigheter med minimal förekomst av porer och svetsstrut för att säkerställa goda elektriska egenskaper. Samma förutsättningar gäller vid batterikontaktering där ett precist utförande av svetsoperationen är en nyckelfaktor för hög kvalitet och produktivitet. Som tidigare nämnts innehåller merparten av de komponenter som ingår i e-mobility delar som är tillverkade i koppar, och därför passar lasrar i det gröna våglängdsområdet bäst för uppgifterna [Fig. 1].

Den stora fördelen med att använda koppar i dessa applikationer är materialets höga värme- och elektriska ledningsförmåga, men utgör också en stor utmaning ur svetssynpunkt. Koppar har tio gånger så hög värmeledningsförmåga som vanligt använda stålmaterial, varför det krävs en mycket koncentrerad energitillförsel vid svetsning. Därför blir lasern ett utmärkt



Figur 1. Några exempel på applikationer inom e-mobility, såsom batterier, "hårnålar" och elektronikkomponenter, där laser-källor i det gröna våglängdsområdet har använts vid hopsvetsningen.

instrument för dessa svetsoperationer då tekniken bidrar med en hög energitäthet koncentrerad över ett litet arbetsområde. Emellertid leder de materialegenskaper som medför hög elektrisk ledningsförmåga samtidigt till en ökad reflexion av laserstrålen. Laserkällan levererar ju sin energi till arbetsstycket i form av ljus, vilket normalt ligger inom det infraröda [IR] ljusspektret. Reflektiva material, liksom de flesta transparenta sådana, absorberar endast cirka 5% av den tillförda energin från en IR-laser, vilket gör denna typ av laserälla mindre lämplig för svetsning av koppar.

Hög energitäthet krävs för att initiera svetsprocessen och värma upp materialet från rumstemperatur vid vilken absorptionen av laserljus är extremt låg. En uppvärmd kopparyta reflekterar näst intill all tillförd laserenergi till omgivningen där den riskerar att exempelvis förstöra laseroptiken eller andra känsliga komponenter. Absorptionen av laserstrålen från en IR-laser ökar med temperaturen upp till cirka 15% vid kopparmaterialets smälttemperatur, men denna övergång i absorptionsförmåga är svår att kontrollera. Svetsprocessen kräver en hög strålintensitet för att komma igång, men med ökande absorption kan materialet överhettas. Därför blir resultaten vid värmeledningssvetsning föga reproducerbara. Å andra sidan medför nyckelhålssvetsning, särskilt vid låga framföringshastigheter, svetsdefekter och svetsstrut. Samtidigt blir svetsmältan instabil p.g.a. den lägre ytspänningen och viskositeten hos koppar jämfört med stål.

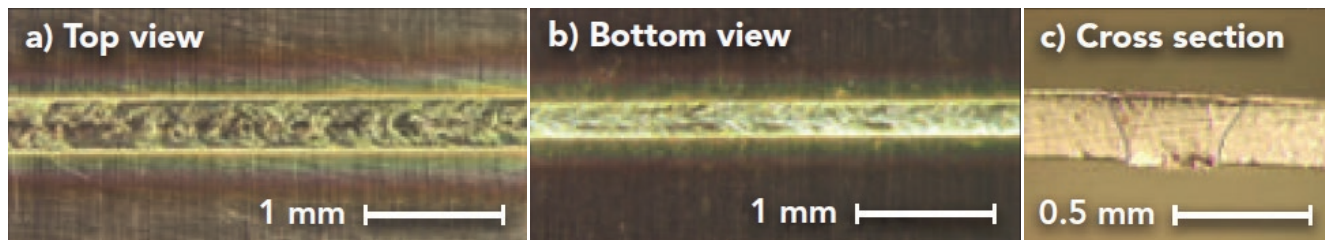
Absorptionen av den gröna laservåglängden kring 515 nm ligger mellan 35-40% i koppar, varför svetsprocessen blir betydligt stabilare samtidigt som alltför tidig absorption och överhettning kan

undvikas. Det blir lätt att hitta de optimala processparametrarna och man behöver inte oscillera laserstrålen för att uppnå en hög svetskvalitet. De "gröna" lasrar som Trumpf kan tillhandahålla är av disktyp och är nyckelfärdiga så att de direkt kan användas för industriell produktion. Laserstrålen distribueras via en optisk fiber som är integrerad i laserkällan.

Det har visat sig vara möjligt att på ett reproducerbart sätt kunna svetsa folier och små, tunnväggiga kopparkomponenter med vägg tjocklekar upp till 0,4 mm genom värmeledningssvetsning tack vare den goda absorptionsförmågan hos en grön laserstråle i kopparmaterial. Då något nyckelhål, som normalt leder till instabiliteter i svetsmältan, inte förekommer har vi kunnat påvisa en helt sprutfri svetsning av koppar med våra "gröna" lasrar, fortsätter den gode Henrikki [Fig. 2]. Detta intygades med höghastighetsfilmer där man kunde se en perfekt slät och stillsam yta hos smältan. Med jämförbara IR-lasrar går det inte att genomföra en reproducerbar värmeledningssvetsning då absorptionen är temperaturberoende, vilket gör att svetsprocessen hela tiden skiftar mellan värmelednings- och nyckelhålssvetsning. Detta gör att man vid svetsning av tunna kopparfolier antingen inte åstadkommer någon bindning alls eller så får man genombränning, m.a.o. ett näst intill obefintligt processfönster.

Att bibehålla en konstant processtemperatur mellan smältning och förångning av koppar är inte möjligt vid svetsning med en IR-laser. Tack vare en bättre processtabilitet och hög absorptionsförmåga hos en laserstråle i det gröna våglängdsområdet kan man även svetsa med förhållandevis höga hastigheter, vilket reducerar värmeförluster i form av värmeledning och värmeutvidgning. Därför känns vär-





Figur 2. Sprutfria svetsar i koppar utförda med en "grön" laser uppvisar hög kvalitet och jämna toppytor.

meledningssvetsning med "gröna" lasrar vara förstahandsvalet vid svetsning av tunna kopparfolier till batterier, samt att sammanfoga de kopparartiklar som ingår i elektiska komponenter [Fig. 3].

För väldigt värmekänsliga detaljer som DBC-plattor, eller vid svetsning i värmekänsliga miljöer, är det rekommendabelt att använda sig av "gröna" lasrar med mikrosekundlånga pulser. En pulserande strålmåde möjliggör en bättre kontroll av den termiska processen, och paustiden mellan pulserna reducerar på ett effektivt sätt termiska spänningar i de material som sammanfogas. Dessutom kan spalter upp till 0,1 mm enkelt överbryggas genom att överlappa pulserna från den "gröna" lasern. Materialet kommer att momentant avsalva mellan pulserna och därigenom minskas värmeförlusten. I motsats till en IR-laser har en laser i det gröna våglängdsområdet inga problem med avsalvningen mellan pulserna, då någon temperaturberoende absorption inte föreligger.

Svetsning av grövre kopparkomponenter, som kräver högre effekt, är också möjligt [Fig. 4]. Kopparlegeringar med högreflektiva ytor och tjocklekar upp till 0,8 mm är svetsbara med våra "gröna" laserkällor menar Henrikki Pantsar. Det maximala svetsdjupet beror på värmekapaciteten hos komponenten. Mindre detaljer och tunnare membran är lättare att svetsa då värmeledningen till omgivande materialbulk är begränsad. Detta är snarare en materialfråga och oberoende av vilken våglängd laserkällan har.

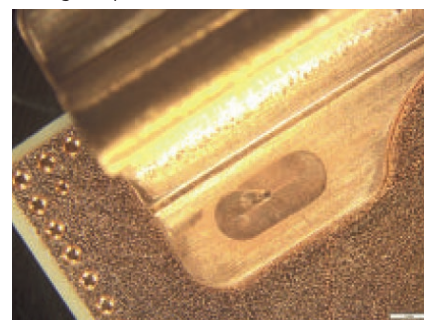
Absorptionsförmågan hos en IR-stråle kan förbättras genom att ytbelägga kopparsubstratet, eller via ytoxideration eller andra ytbehandlingar. Däremot behövs ingen kostsam ytbeläggning av kopparartiklarna då grön laservåglängd används vid svetsningen. Absorptionsfenomenen startar på ett effektivt sätt redan vid rumstemperatur oavsett ytans kondition. Försök som utförts på polerade, sandblästrade, syretsade och oxiderade kopparytor uppvisar ganska liksinta resultat. Den gröna laservåglängden har minimal inverkan av yttillståndet [Fig. 5], och oxi-

derade och polerade ytor kan svetsas med samma parametervärden.

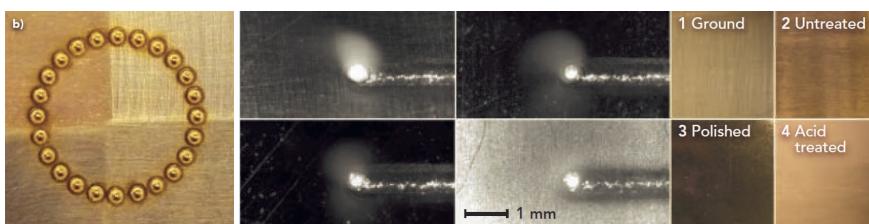
Kopparsvetsning har blivit ett av de mest viktiga forskningsområdena inom bilindustrin p.g.a. trenden mot alltmer elektriska drivlinekoncept inom e-mobility. Nya tekniker krävs för att kunna svetsa koppar sprutfritt och därmed skapa högkvalitativa svetsar. Att då använda sig av laserkällor i det gröna våglängdsområdet har visat sig vara ett framgångsrikt koncept. Ögonblicklig absorption i kopparytan, i kombination med en stabil svetsprocess, blir i högsta grad fördelaktigt då elektriska komponenter i batterier och annan elektronik skall sammanfogas. Genom frånvaron av svetsprut kan även förmonterade elektronikkomponenter svetsas utan risk för funktionsförluster i form av kortslutningseffekter. Vi ser idag allt fler kommersiella "gröna" lasrar på marknaden, avslutar Henrikki Pantsar vårt intressanta samtal, där Trumpf kan erbjuda pulserade varianter på 400 W medeleffekt och pulstoppar på 4 kW, men också kontinuerliga "gröna" lasrar upp till 1 kW effekt. Sammanfattningen blir att de tidigare utmaningar som förekom vid lasersvetsning av koppar och dess legeringar har övervunnits med denna teknologi. ■



Figur 3. Pulsad svetsning med "grön" laser av en värmekänslig komponent.



Figur 4. Ett exempel på en kopparkontaktering svetsad på en DBC-platta med en TruDisc 1020 cw (continuous wave) "grön" laser, en operation som tog mindre än en tiondels sekund!



Figur 5. Ytkonditionen hos en kopparplatta är av underordnad betydelse sett ur svetskvalitet om en laser inom det gröna våglängdsområdet används för uppgiften.





A photograph of an industrial workshop or laboratory. In the center, a large orange robotic arm is mounted on a white base. To the left, a yellow robotic arm is visible. In the foreground, there's a workbench with a perforated metal top and yellow legs. On the floor, there's a grey platform with some equipment on it. The background shows various cables and industrial equipment.

# KALENDARIUM 2-2019

2019

OKTOBER

17

LaserDag 2 Permanova Lasersystem AB, Mölndal

Per Westerhult

DECEMBER

13

LaserNytt 3-2019

Per Westerhult

2020

APRIL

4

LaserNytt 1-2020

Per Westerhult

16

laserdag 1 under planering