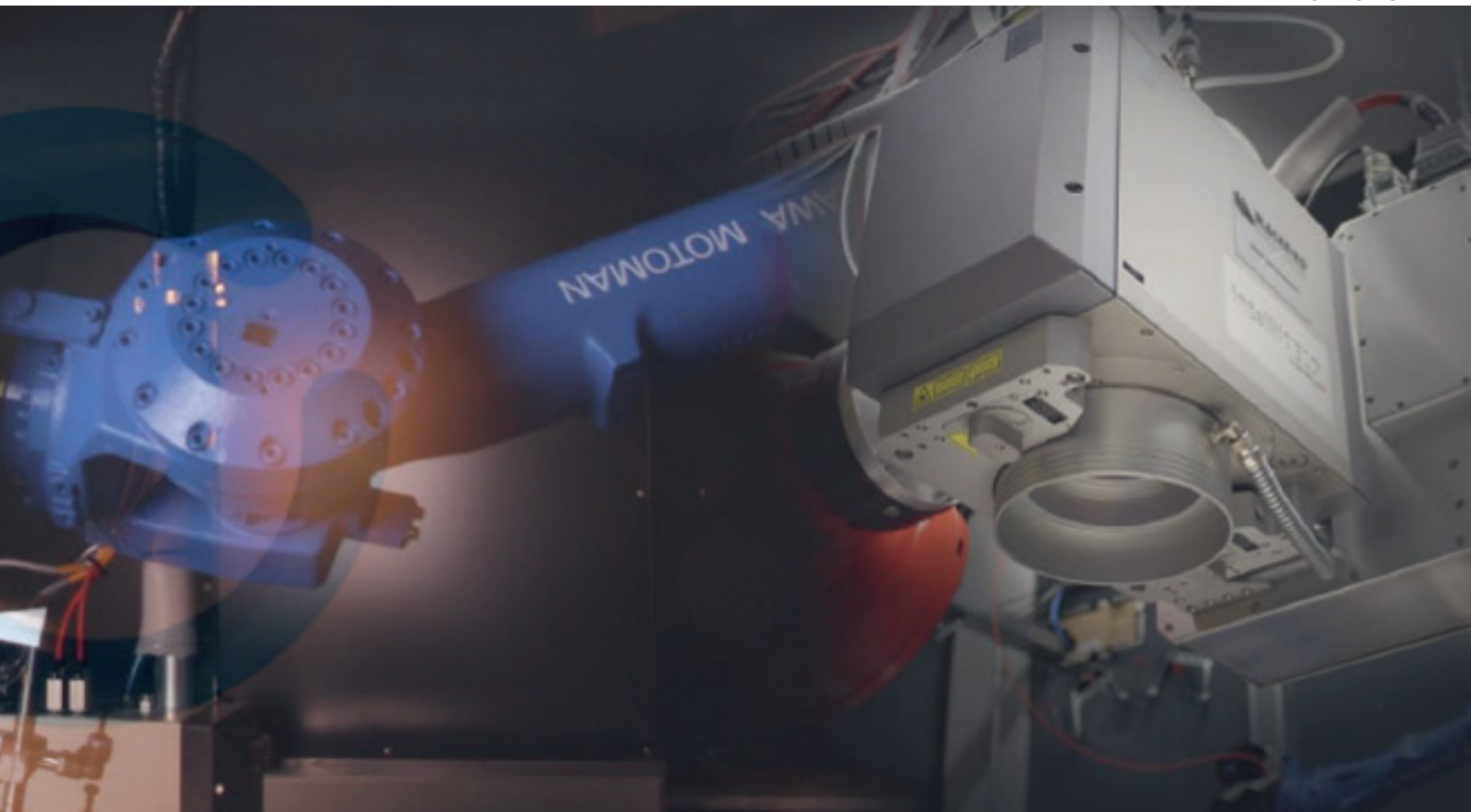


Lasernytt



3-2020



DIGITALISERING BIDRAR TILL ATT ÖKA EFFEKTIVITETEN VID FJÄRRLASERSVETSNING MENAR THIBAUT BAUTZE



LANE-konferensen 2020



Säsongstyrd laserskärning



Nya möjligheter
med laserpåsvetsning

EFW – SPECIALKURS

LASERSVETSNING / LASERHYBRIDSVETSNING

Lasersvetsning är en högproduktiv sammanfogningsmetod för den moderna tillverkande industrin. Lasersvetsning är framtidens metod enligt många experter och ersätter allt mer konventionella svetsmetoder som MIG/MAG-, TIG-, motstånd- och elektronstråle-svetsning

European Welding Federation, EWF, har utvecklat en fristående specialkurs inom lasersvetsning och laserhybridsvetsning som Luleå tekniska universitet ger på svenska. Ett internationellt diplom, EWF-diplomet, garanterar utbildning av hög kvalitet.

Kursen, nivå B, omfattar totalt 68 timmar och ger Dig goda teoretiska och praktiska kunskaper om lasersvetsning, men även en överblick över andra laserbearbetningsmetoder

Kursen vänder sig till svetsingenjörer, svetsstekniker, konstruktörer, produktionstekniker, utvecklingsingenjörer och utbildare m.fl. som vill skaffa sig kunskap om metodens möjligheter för rationell och effektiv sammanfogning.

Intresseanmälan:
<https://www.ltu.se/EFW>

Datum: Kurs planeras för 2021, anmäl intresse för uppdatering av kursdatum

Mer information: Jan Frostevarg,
Luleå tekniska universitet
jan.frostevarg@ltu.se, 0920-49 1675

LASER

LASERGRUPPEN

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

Peter Norman

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

Remote Laser Welding (RLW),
Fjärrlasersvetsning.
Bild: Johnny K. Larsson

Produktion: BrandFactory

Tryck: BrandFactory, Stockholm
www.brandfactory.se



INNEHÅLL

LASERPÅSVETSNING MED JÄRNBASERAT PULVER PÅ ALUMINIUMLEGERING.	2
LANE-KONFERENSEN 2020 "ON-LINE" – ETT INTRESSANT DIGITALT EXPERIMENT	4
Rapport från 11th Laser Assisted Net Shape Engineering Conference, 7-10 September 2020	
DYNAMISK STRÅLOMFORMNING FÖRBÄTTRAR FÖRUTSÄTTNINGARNA VID LASERSKÄRNING AV GROVPLÅT	16
UTÖKAT SKÄRPEDJUP VID LASERBEARBETNING MED HJÄLP AV EN INNOVATIV STRÅLOMFORMNINGSOPTIK	18
"SÄSONGSSTYRD LASERSKÄRNING" HJÄLPER ENGELSK TILLVERKARE ATT ÖKA SIN KONKURRENSKRAFT	19
Laserskärning av komponenter bidrar till ökade marknadsandelar hos en tillverkare av utrustningar för vinterunderhåll	
DIGITALISERING BIDRAR TILL ATT ÖKA EFFEKTIVITETEN VID FJÄRRLASERSVETSNING MENAR THIBAUT BAUTZE	22

Tankar från styrelsen



TANKAR FRÅN STYRELSEN

JAN FROSTEVARG

Först och främst tänkte jag ta tillfället i akt att presentera mig. Jag heter Jan Frostevarg och jobbar vid Luleå tekniska universitet där jag 2008 påbörjade mina forskarstudier inom laserbearbetning och sedan 2014 jobbar som lektor.

Jag tar över den plats i styrelsen i Lasergruppen som min tidigare kollega Hans Engström lämnat. Han gick i pension 2016 men som tyvärr plötsligt gick bort under våren. Han var en uppskattad kollega och en stor inspirationskälla och kommer vara saknad. Han var även en av pionjärerna inom laserbearbetning (sedan 1979) och en av grundarna till Lasergruppen och denna tidskrift. Han var aktiv både nationellt och internationellt och varit huvudorganisatör för flertalet lyckade projekt och konferenser.

Idag ses de flesta laserbearbetningsmetoderna som moderna blir allt vanligare vid val av tillverkningsmetoder. Lasergravering och laserskärning tas för givet hos flera företag, medan lasersvetsningens uppgång pågår men är mer blygsam eftersom den ofta är mer komplex och dyr att investera i. För ett decennie sedan såg vi att fokus i utveckling låg just i svetsning, men därefter har vi sett ett ökande intresse igen för utveckling av skärning, men även andra processer såsom härdning och påsvetsning. Speciellt den senare delen av årtiondet har intresse snabbt ökat för additiv tillverkning, även känt som 3D-printing. Detta har inneburit ett uppsving i antalet aktörer som direkt eller indirekt använder sig av laser vid tillverkning. Speciellt pulverbäddssystem (Laser Powder Bed Fusion, L-PBF) används men för större applikationer finns intresse snarare i fri-

formsmetoder, som bygger på påsvetsningsteknik (ex Direct Energy Deposition, DED, med pulver eller tråd). Mycket av utvecklingen inom additiv tillverkning ligger i material och system, men även för att öka återbruk av metallpulver i högre utsträckning än tidigare.

Det gångna året har varit speciellt, med tanke på Covid-19 och de begränsningar i resande och fysiska möten som detta inneburit. Samtidigt har en ökad acceptans kommit för distansarbete och mer frekvent nyttjande av distansmöten. Jag vet inte om det är inbillning, men har antalet möten ökat? Kommer vi att någonsin att återgå till det vanliga normala igen eller kommer ett nytt normalt att ta vid? Hur det blir kan vi bara spekulera om.

I framtidsvisioner hos många märks det att det har blivit mer fokus på att regioner behöver kunna vara relativt självförsörjande, i olika omfång och storlek beroende på vad det handlar om. Ett exempel är energiförsörjning, mat, metaller, men även förädlade produkter såsom batterier. Här tror jag att 3D-printing i metall har en viktig roll att fylla. Men för att det ska kunna realiseras på en bred front behöver kunnande, omtänk och adaptation ske hos många små- och medelstora företag eftersom tekniken fortfarande är dyr och komplex.

I Lasernytt kan man läsa om konferenser och event kopplade till laser som sker runtom i världen. Dessa artiklar är en bra källa för snabba sammanfattningar av vad som pågår i världen relaterat till utveckling och användande av laserteknik och rekommenderas varmt till alla som har intresse i området.

Jan Frostevarg
jan.frostevarg@ltu.se

Laserpåsvetsning med järnbaserat pulver på aluminiumlegering.

Dr Conny Lampa och
Ivan Smirnov Höganäs Sweden AB
conny.lampa@hoganas.com

Att påsvetsa aluminiumlegeringar med järnbaserade pulver har ansetts vara omöjligt med konventionella svetsmetoder. Svårigheten ligger i att aluminium och järn har väldigt skilda fysikaliska egenskaper vad gäller smältpunkt, värmeledningsförmåga, atomstorlek, värmeutvidgningskoefficient, etc. De bildar också väldigt spröda intermetalliska faser tillsammans, vilka har mycket låg hållfasthet. Med användande av laserpåsvetsning öppnar sig dock nya möjligheter.

Inledning

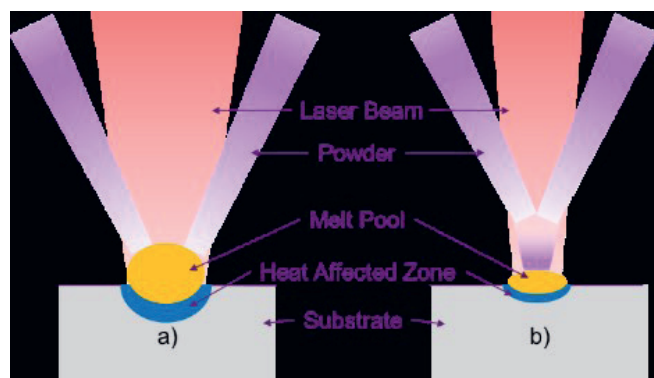
Aluminiumlegeringar är ett attraktivt val av konstruktionsmaterial framförallt på grund av sin låga vikt. Materialet har dock sina begränsningar när det kommer till nötningsmotstånd, framförallt vid högre temperaturer.

Laserpåsvetsning är en metod där man kan skräddarsy ett materials ytskikt till att få de egenskaper som en speciell applikation efterfrågar. Oftast är grundmaterialet ett låglegerat stål där man vill ha bättre korrosionsmotstånd och/eller bättre nötningsegenskaper. Rent metallurgiskt är detta inga större problem på grund av att det påsvetsade skiktet och grundmaterialet legerar sig bra ihop. Så är dock inte fallet med aluminium och järn. Dessa material har vitt skilda fysikaliska egenskaper och bildar dessutom väldigt spröda intermetalliska faser med mycket låg hållfasthet.

Laserpåsvetsning ger väldigt låg värmeförlust jämfört med konventionella påsvetsmetoder. Trots detta har man hittills inte kunnat lägga på järnbaserade skikt på aluminiumsubstrat med



god bindning mellan beläggning och substrat. Detta beror på att större delen av lasereffekten, ca 80%, går till att smälta substratet. Genom att tillämpa höghastighetslaserpåsvetsning (EHLA) och det speciella munstycke som är konstruerat för detta kan man emellertid omfördela distributionen av lasereffekten så att ca 80% absorberas av pulvret och smälter detta innan det når substratet. På detta sätt kan man minimera värmepåverkan av substratet och minimera uppblandningen mellan pulver och substrat. Figur 1 visar schematiskt skillnaden mellan konventionell laserpåsvetsning och höghastighetslaserpåsvetsning.



Figur 1.
Skillnaden mellan (a) konventionell laserpåsvetsning och (b) höghastighetslaserpåsvetsning

Mängden av spröda intermetalliska faser beror till stor del på hur mycket värme som tillförs svetsprocessen; låg värmeförsel som vid användandet av EHLA, håller nere mängden av spröda intermetalliska faser i blandzonen vilket gör att omgivande material kan klara av att kompensera för dessa spröda fasers låga duktilitet.

Experimentella studier

I de experimentella studierna användes en fiberkopplad diodlaser, Laserline LDF 7000-40, där processfibern med diameter 400 μm , transporterar laserljuset till ett robotmonterat verktyg från vilket laserstrålen fokuseras till en diameter på 1 mm. Pulvret transporteras från en pulvermatare via slangar till koaxialmunstycket som bildar ett smalt pulverfokus, se figur 2.

Substratmaterialet i denna studie var cylindriska stavar tillverkade i aluminiumlegeringen AW-6082. Beläggningmaterialet var Höganäs Rockit 401, ett martensitiskt rostfritt stål med mycket goda korrosions- och nötningsegenskaper. Rockit 401 används idag framförallt som ett miljövänligare ersättningsmaterial till hårdförokromning i bl. a hydrauliska cylindrar för gruvindustrin.

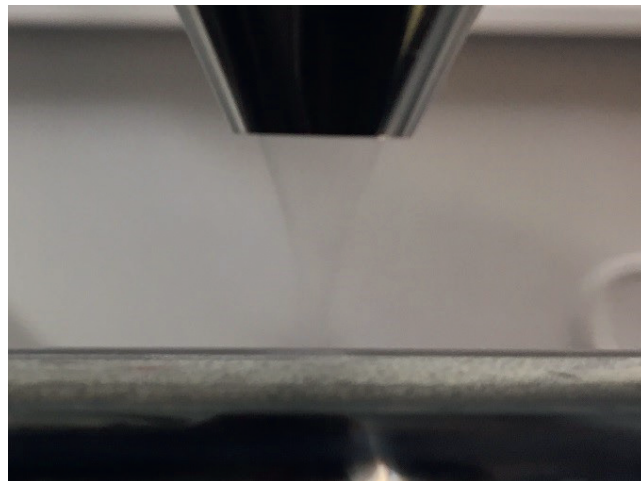
Vid höghastighetslaserpåsvetsning beläggs substratet med relativt tunna skikt, i detta fall med ca 200 μm tjocklek / lager. För tjockare beläggning får man då följaktligen belägga med flera lager tills önskad skiktjocklek erhålls. Figur 3 a-d visar tvärsnitt av laserpåsvetsade substrat för 1,2,3 och 5 lager.

Mikrohardhetsvärden och skiktjocklek för tvärsnitten i figur 3 visas i nedanstående tabell. För jämförelse har aluminiumsubstratet en mikrohardhet på $107 \pm 3 \text{ HV0,1}$

Antal lager	1	2	3	5
Skiktjocklek, μm	219	415	595	1002
HV 0,1	498 ± 44	503 ± 32	521 ± 27	510 ± 33

Slutsats

Laser kan användas till påsvetsning av materialkombinationer som tidigare ansetts vara icke möjliga. Framförallt är detta möjligt vid användandet av höghastighetslaserpåsvetsning (EHLA) då låg värmeförsel, hög svetshastighet och snabb stelning bromsar bildandet av spröda intermetalliska faser.



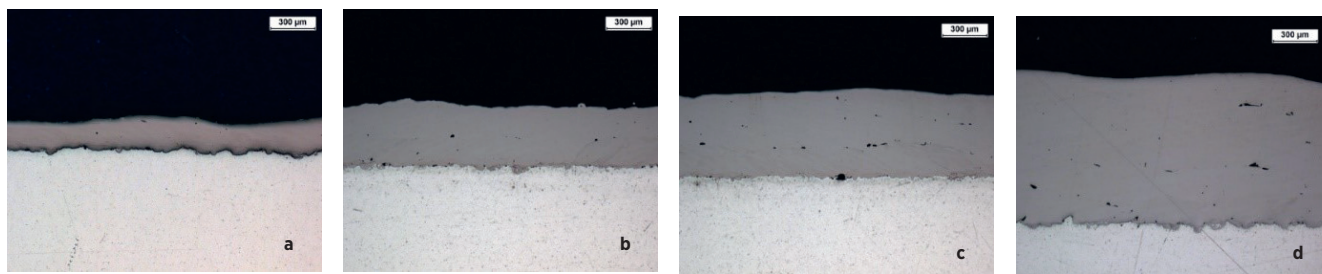
Figur 2.
Pulverfokus från EHLA-munstycket.

Fakta: Höganäs AB

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

Höganäs verksamhet i korthet:

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



Figur 3.
Tvärsnitt av Rockit 401 laserpåsvetsat på aluminiumsubstrat. 1 lager (a), 2 lager (b), 3 lager (c) och 5 lager (d). Tjockleken per lager är ca 200 μm .

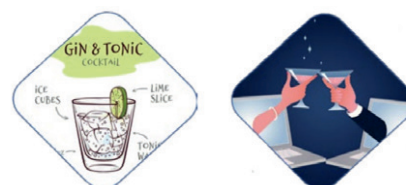
LANE-konferensen 2020 "On-line" – Ett intressant digitalt experiment

Rapport från 11th Laser Assisted Net Shape Engineering Conference, 7-10 September 2020

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering



Vi är ju vana att bevaka eller delta i den vartannat år arrangerade LANE [Laser Assisted Net Shape Engineering] -konferensen i bayerska Fürth. Det här året ställde emellertid Covid19-viruset det mesta på huvudet, men genom ett fantastiskt arbete av arrangerande blz [Bayerisches LaserZentrum] och dess samarbetspartner iChair kunde konferensen genomföras virtuellt med ett synnerligen lyckat resultat! Till och med den alltid lika uppskattade "get together"-kvällen kunde genomföras i ett virtuellt sällskapsrum med inte mindre än 82 deltagare. Bland dessa hittade vi flera av de inbjudna föredragshållarna som postledes hade försatts med ingredienserna för att blanda till en "gin and tonic", varför det gavs åtskilliga möjligheter till såväl "Prost" som "zum Wohl" [Fig. 1]!



Den första konferensdagen hälsades vi välkomna av professor Dr. Michael Schmidt [Fig. 1] till den 11:e upplagan av CIRP [International Institution for Production Engineering Research] Conference on Photonics Technologies, vilket numera är den officiella benämningen för LANE. Han kunde glädja sig åt totalt 419 deltagare från 28 länder, varav cirka 200 deltog under "keynote"-sessionen. Innan denna inleddes informerade sympatiske Michael oss om hur vi kunde använda konferensens avancerade, digitala plattform. Därefter berättade han att

hela 309 "papers" hade lämnats in vilka samtliga granskats av två oberoende medlemmar i de vetenskapliga och tekniska kommittéerna. Efter utgallringen kvarstod 180 vetenskapliga [https://www.sciencedirect.com/journal/procedia-cirp/vol/94/suppl/C] och 23 industriella [https://www.lane-conference.org/industrial-contributions-2020] bidrag. Bland de mest populära ämnesområdena fanns "e-mobility" med tillhörande batteritillverkning samt grundläggande forskning kring additiv tillverkning, och det är några av de mest intressanta presentationerna i dessa sessioner

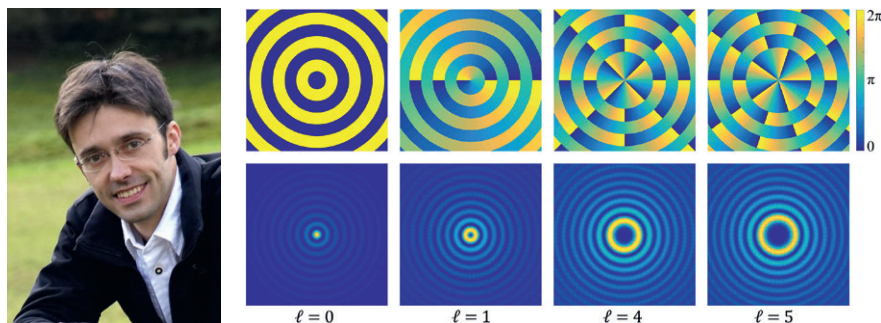


Figur 1. Professor Dr. Michael Schmidt och hans kollegor vid blz hade kommit på innovativa lösningar för att genomföra ett virtuellt "get together"-event.

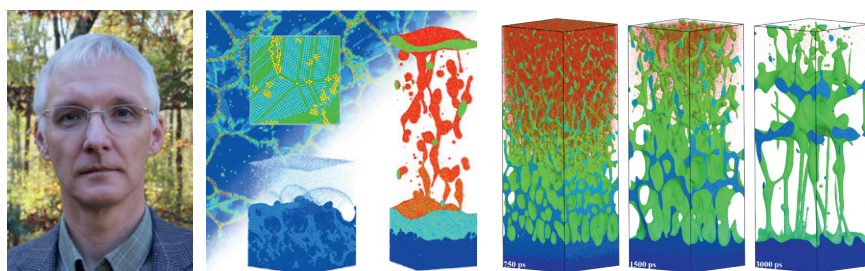
som jag kommer att redogöra för i denna artikel. I nummer 1-2021 av *LaserNytt* kompletterar jag med de föredrag som handlade om klassiska användningsområden för lasertekniken, såsom svetsning, lödning, skärning etc. Dr. Schmidt avslutade sitt hälsningsanförande med att omnämna konferensens sponsorer, vilka på s.k. guldnivå var *Coherent* och *mks*, medan *Amplitude*, *Hamamatsu*, *Holoeye*, *Scanlab* och *Trumpf* utgjorde silversponsorer.

Först ut bland "keynote"-talarna var professor Alexander **Jesacher** från *Medical University of Innsbruck* i Österrike vars tema var dynamisk strålomformning. En typ av sådan är rumslig ljusmodulering eller SLM [Spatial Light Modulation] där man varierar parametrar som fas, amplitud och/eller polarisering [Fig. 2]. Det finns ett antal varianter på hur det kan åstadkommas och professor Jesacher beskrev några av dessa såsom deformerbara speglar, digitala mikrospeglar och flytande kristaller, eller akustiskt via mycket snabba omställningar kring 1 μ s. Vid skapandet av hologram i transparenta material behöver man justera för avvikelser i vågfronten vilket man kan göra med en uppsättning av ovannämnda element. En speciell typ av strålomformning är den där man skapar rumslig multiplexing genom en tredimensionell delning av laserstrålen. Slutligen omnämndes några koncept för finjustering av fokalpunktsläget, något som kan åstadkommas med s.k. optiska vätskor eller linser som består av flera element. Andra lösningar kan baseras på elektronisk vätning med rörliga speglar, roterande diffraktiva linser eller genom en kombination av en konvex och en konkav lins.

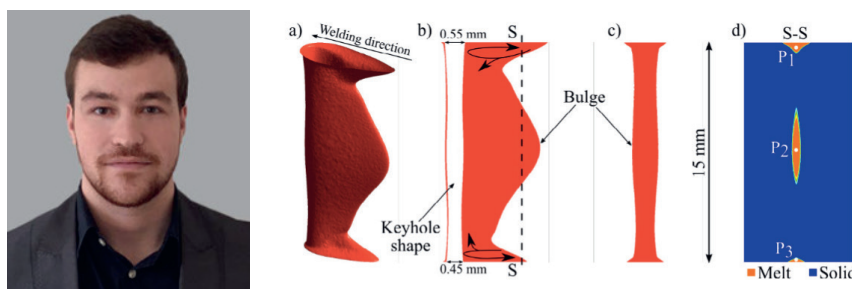
Professor Leonid **Zhigilei** från *University of Virginia* och dess fakultet för "Materials Science and Engineering" redogjorde för ett simuleringsprogram där man studerade hur olika ytor kunde modifieras med laserpulser. Med denna imponerande programvara studerades den molekylära dynamiken på atomnivå och de fasexplosioner som uppstår under själva ablationsprocessen [Fig. 3]. Programmet kan appliceras på såväl solider som vätskor, och i det sammanhanget nämnde professor Zhigilei att vatten begränsar det ovannämnda explosionsbeteendet genom att lägga sig som en dämpande hinna över nanopartiklarna hos exempelvis en metall. Nackdelen är att man då får en något grövre yttextur. Slutligen visades på några simuleringar där det konstaterades att



Figur 2. Professor Alexander Jesacher fick äran att inleda årets LANE-konferens, vilket han gjorde med ett föredrag som handlade om dynamisk strålomformning.



Figur 3. Professor Leonid Zhigilei från University of Virginia presenterade en avancerad simuleringsmodell där man på atomnivå kunde studera en ablationsprocess med 200 femtosekund (10^{-15} sek) långa laserpulser. Modellen är utvecklad i samarbete med professor Peter Ballings forskargrupp vid Aarhus University.



Figur 4. 2018-års vinnare av LANE-priset "Best Presentation Award", Dr. Antoni Artinov, redogjorde för den utbuktningseffekt som uppstår i smältan vid lasersvetsning av grövre materialtjocklekar. T.h. några bilder från den dynamiska flödessimuleringen; tredimensionell svetsmäta (a), longitudinellt (b) och transversellt (c) tvärsnitt genom denna, samt en simulering av den flytande metall som kvarstår i smältans mitt (d).

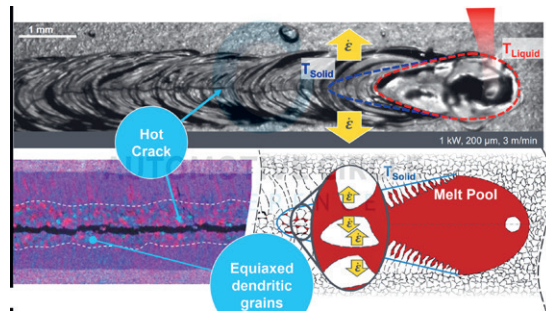
ultrakorta laserpulser [USP = Ultra Short Pulses] medför inte lika stora explosioner som då mer traditionell kortpulsteknik används.

Siste föredragshållare under "keynote"-sessionen var en av välkände professor Michael **Rethmeiers** post-doktorander vid *BAM [Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung]* i Berlin, nämligen Dr. Antoni **Artinov**. Denne var inbjuden i rollen av att vara mottagare av priset "Best Presentation Award" vid *LANE 2018*. Han hade studerat sambandet mellan varmsprickor och den utbuktningseffekt i smältan som uppstår vid lasersvetsning i grövre materialtjocklekar. Därför hade försök utförts på S355-stål med en tjocklek på 13 mm. Dessa defekter är en form av stelningsprickor vars uppkomst påverkas av termiska, mekaniska och metallurgiska faktorer.

Den observerade utbuktningen

sker i nyckelhålets bakkant vilket medför att svetsbredden vidgas vid mitten av plättjockleken. Med termisk flödessimulering av svetsprocessen kunde man konstatera s.k. Marangoni-flöden i ovan- och underkant av smältan [Fig. 4]. Detta i kombination med framföringsrörelsen gör att det uppstår sagda utbuktningseffekten som ett resultat av att materialet här hålls i smält tillstånd under längre tid än vad som är fallet i övriga delar av svetsmäntan. När materialet sedan stelnar uppstår höga horisontala spänningsgradienter vilket i sin tur resulterar i varmsprickor. Eftersom man nu fått en tillförlitlig förklaringsmodell för uppkomsten av dessa utbuktningar i smältan hoppas Dr. Artinov att hitta lämpliga motåtgärder i sin fortsatta laserforskning. Vi inväntar med spänning presentationen av sådana lösningar – kanske vid nästa *LANE*-konferens 2022?

Traditionsenligt avslutades LANE-konferensens plenar-session med utdelandet av det s.k. ”WLT [Wissenschaftlichen Gesellschaft Lasertechnik e.V.] Award”. Detta är en utmärkelse som tilldelas en ung tysk laserforskare under 35 år, som i sitt doktorandarbete åstadkommit något utöver det vanliga. Årets vinnare var Dr. Christian **Hagenlocher** från IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge, Fig. 5] vid Stuttgart Universität, och diplom, minnesplakett och en check på 5.000 euros överlämnades av välbekante professor Frank **Vollertsen** från BIAS [Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik] i Bremen. 23-årige Christian doktorerade på sammanhanget mellan kornstruktur och sprickkänslighet vid lasersvetsning av höghållfasta aluminiumlegeringar där han speciellt studerat töjningshastigheten vid sprickpropagering. 2016 belönades han med ICALEO:s [International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics] ”Best student work”, varpå han reste till Kenya på ett stipendium och där hjälpte till att bygga upp en skola och agera som



Figur 5. Dr. Christian Hagenlocher från IFSW tilldelades årets ”WLT Award” för sin studie rörande uppkomsten av varmsprickor vid lasersvetsning, där man med strålscillering kan påverka kornstrukturen och därmed dämpa töjningshastigheten.

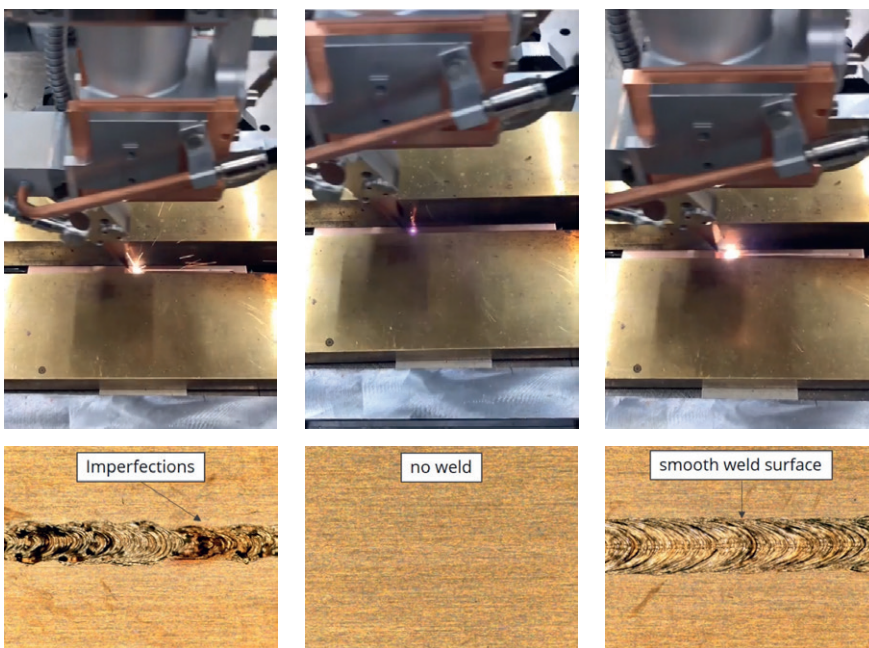
lärare under ett halvår. Nu fick han möjlighet att avsluta ”keynote”-sessionen med att redogöra för resultaten av sin forskning, och här kände jag igen mycket av det som Christian presenterade vid EALA [European Automotive Laser Applications]-konferensen tidigare i år [se artikel på annan plats i detta nummer av Laser-Nytt]. Detta kan sammanfattas som så att dragspänningar uppstår redan i smältan och är till sin storlek kraftigt beroende av svetsens positionering i förhållande till en plåtkant, något som tydligt framgick vid

en jämförelse mellan 4 och 7 mm kantavstånd. Genom att påverka strukturen i svetsgodset med exempelvis strålscillering, kan man få en finare och jämnviktad dendritisk kornstruktur vilken tycks bromsa töjningshastigheten tvärs smältan. Vid experimentella försök med AA6014-legering och en beräkningsalgoritm hade han kunnat fastlägga ett gränsvärde för sträckenergin på 677 W/mm över vilket man fick en så pass låg töjningshastighet att några varmsprickor inte uppstod!



Session E-mobility och Batterier

I den första av tre dedikerade sessioner kring laseranvändning inom e-mobility inledde Falk **Nagel** från *Coherent* med en beskrivning av företagets ARM® [Adjusted Ring Mode]-laser. Konceptet har ju beskrivits utförligt i tidigare nummer av *LaserNytt* [bl.a. i nummer 2-2019], och baseras på en fiberlaser med en optik som fördelar laserenergin mellan en kärnpunkt och en omgivande ring i distributionsfibern. Detta gör att energifördelningen på arbetsstycket kan skräddarsys allt efter behov, vilket är gynnsamt vid svetsning av reflektiva material som aluminium och koppar. Den maximala effekten i kärnpunkten är 7,5 kW medan ringen med sin större projicerade yta klarar upp till 10 kW. Effektfördelningen mellan kärna och ring kan regleras steglöst med en frekvens på 5 kHz och det finns också en inbyggd ”closed loop”-kontroll som kan justera densamma. Svetsförsök utförda på kopparplåtar visade att man fick en väldigt ojämn svets om all energi skickades till

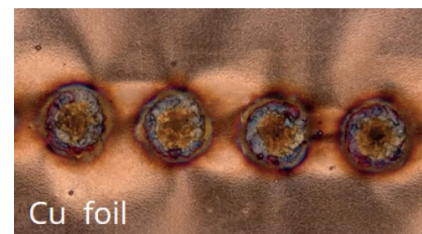


Figur 6. Lasersvetsning av koppar med olika effektfördelning mellan kärna och ring i Coherents ARM®-koncept; fr.v. 3 kW enbart i kärnpunkten, 4 kW enbart i ringen, samt kombinationen 3 kW/4 kW i kärna respektive ring. Samtliga försök utförda med 12 m/min i svets hastighet.

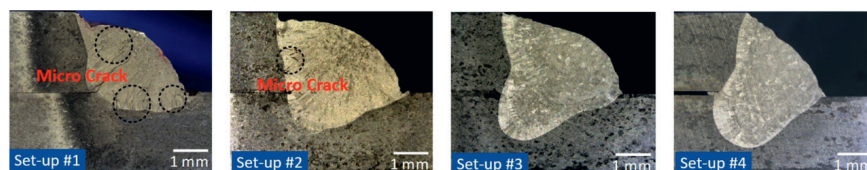
kärnpunkten, och motsvarande reflekterades laserljuset helt om energin enbart lades i ringen. Alltså är det optimala att fördela lasereffekten mellan kärnpunkt och ring [Fig. 6], men vilket som var det optimala förhållandet ville Herr Nagel inte svara på när en sådan fråga restes av Eric Punzel från BBW [Bürger, Burkart und Weiser] Lasertechnik. Däremot medgav han att en högre effektandel i kärnpunkten ger en djupare penetration.

Utbudet av distributionsfibrer består av standarvarianten 100/290 µm, men Coherent erbjuder också vad man kallar kompaktversionerna 70/180 µm, 50/140 µm samt 20/170 µm. Den senare lanserades i juni i år. Några batteritillämpningar visades upp där den första bestod av 50 stycken tunna [5 µm], nickelbelagda kopparfolier sammansvetsade i en enda passering [Fig. 7]. Här användes en SM [Single Mode] -fiberlaser och Coherents eget skannerverktyg "SmartWeld+". Svetsningen skedde med laserpulser <10 ms och framföringshastigheten låg på 800 mm/sek. Resultatet blev sprutfri process utan svetsdefekter. Liknande positiva resultat fick man vid lasersvetsning av kontaktdon, där en 0,2 mm aluminiumplåt svetsades till en 1,5 mm tjock koppardito, och där man framgångsrikt använt sig av HighYag:s RLSK [Remote Laser SKanner] -verktyg. Skannerverktyget gjorde att det gick att skapa "ormlika" svetsmönster [Fig. 7], som ger en större kontaktyta mellan plåtarna och därmed en ökad elektrisk ledningsförmåga!

Ovannämnda ARM®-teknologi kan även användas för att förbättra svetsbarheten hos de höghållfasta aluminiumlegeringar som exempelvis används för batterihyllor i bilmodeller som BMW i3 och Nissan Leaf. Drivkraften är viktsbesparing då en batterihylla i aluminium väger ungefär 40% mindre jämfört med en ställösning. De experimentella resultaten föredrogs av Dr. Tianzhu Sun från Warwick University i Coventry och avdelningen WMG [Warwick Manufacturing Group], som länge utgjort forskningsbasen för engelsk bilindustri i Midlands, vilken består av Jaguar LandRover, Aston Martin, BMW och Honda. Utmaningen vid fjärrlasersvetsning [RLW = Remote Laser Welding] av höghållfasta aluminiumlegeringar i 6000-serien är att överbrygga problem som spalter mellan plåtar och uppkomsten av porer, samt långsgående makrosprickor och tvärsående mikrosprickor i svetsgodset, vilka initieras i gränssnittet mellan de två plåtarna i ett

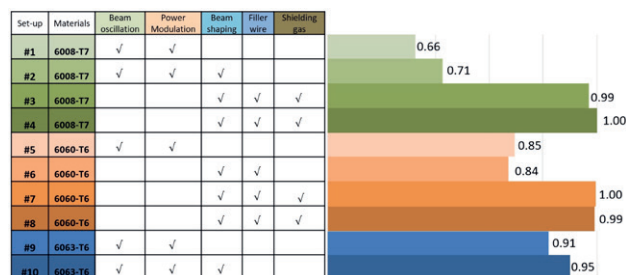


Figur 7. Ovan topp- respektive bottenyta vid pulsad svetsning av tunna nickelbelagda kopparfolier utförd med Coherents skannerverktyg "SmartWeld+". T.h. svetsning av kontaktdon där det "ormlika" svetsmönstret medför en ökad elektrisk ledningsförmåga.



Figur 8. Att enbart använda sig av strålscillering och effektmodulering är inte tillräckligt för att undvika mikro-sprickor vid lasersvetsning av aluminiumlegeringar i 6000-serien. Om man däremot adderar tillsatsstråd och skyddsgas kan sådana defekter elimineras (t.h.)

Figur 9. En sammanställning av svetsförsök utförda på de tre legeringstyperna AA6008-T7, AA6060-T6, AA6063-T6 där de normaliserade draghållfasthetsvärdena hos svetsarna klart visar på de positiva effekterna av strålförning, tillsatsmaterial och skyddsgas.



överlappsförband. De två förstnämnda problemen kan lösas med strålscillering och effektmodulering, medan centrumsprickor kan undvikas genom att inte placera svetsen alltför nära en plåtkant. Kvarstår alltså problemet med tvärsående sprickor och lösningsalternativ hade undersökts för tre typiska extruderingskvaliteter av aluminium; AA6008-T7 och AA6060-T6 båda i tjocklek 2,5 mm samt 1,5 mm tjockt AA6060-T6 [Fig. 9]. Genom att använda den cirkelformade energifördelning man får med ARM®-tekniken erhåller man såväl en för- som eftervärmning av arbetsstycke och svetsgods, medan kärnfokalpunkten utför den djuppenetrerande svetsoperationen. Den 10 kW höga effekten som den använda laserkällan, Coherents ARM® FL10000 med en strålkvalitet på 16 mm* mrad, levererade fördelades lika mellan kärnpunkt och ring. Fiberdiametern var 70/180 µm och skannerverktyget Precitecs "Weld-Master" med 300 mm kollimeringslins och en fokallängd på 150 mm. ARM®-tekniken kombinerad med strålscillering och effektmodulering visade sig inte vara

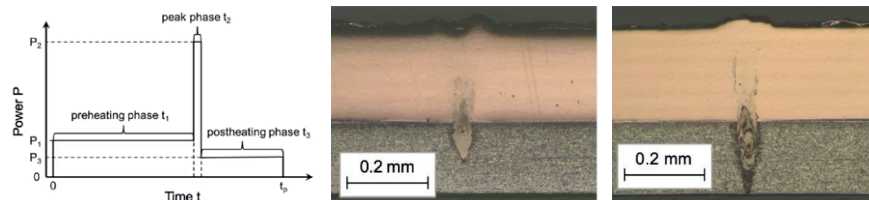
tillräckligt för att undvika de nämnda mikrosprickorna, utan bäst svetskvalitet och högsta hållfasthet fick man vid en kombination av ARM®-laser, tillsatsstråd [AlSi12] och skyddsgas [Argon], där användandet av tillsatsmaterial kraftigt bidrog till eliminering av mikrosprickorna och därmed en förhöjd hållfasthet [Fig. 8, 9]. En intressant iakttagelse var den att då all laserenergi projicerades i ringen nådde man en 50% högre svets hastighet med bibehållen hög draghållfasthet i svetsen!

Michael Kick och hans kollegor vid Technisches Universität [TU] München adresserade ett annat aktuellt forskningsområde vid batteritillverkning, nämligen användandet av laserljus med kortare våglängd som har en högre absorption vid svetsning av koppar och aluminium i jämförelse med den traditionella 1 µm-våglängden. I det aktuella fallet hade man använt en frekvensdubblad TruDisc1020-laser med 515 nm våglängd och en "tophat"-energifördelning i den 150 µm stora fokalkpunkten. Uppgiften var att svetsa strömskenor av koppar till cylindriska battericeller i Hilumin-material för

18650 Lithium-Ion-batterier med pulsat grönt ljus, och för det ändamålet hade man använt *Trumpfs* skanner-verktyg PFO [Programmable Focusing Optics] 20-2. Kravet på sådana svetsar är att de skall ha en likformig resistens som ger låga elektriska förluster samt resultera i hög termisk konduktivitet. Försök hade genomförts med pulsat svetsning av 0,2 mm tjocka kopparmembran som toppplåt och Hilumin-dito som bottenplåt med kravet att endast partiell penetration i bottenplåten godkändes. Pulstiderna sattes så att man förutom toppulsen fick en förvärmnings- och en eftervärmningseffekt [Fig. 10]. Lasereffekten och varaktigheten för de olika tidsstegen varierades och elektrisk ledningsförmåga och draghållfasthet mättes. För att hitta den optimala pulsformen hade en s.k. logistisk regressionsmodell, som är en enklare variant av artificiella neurala nätverk, utvecklats. En total pulstid på 15 ms gav en godkänd penetration medan man vid 25 ms fick genombränning i bottenplåten. Optimalt resultat fick man vidare med en förvärmningstid som var tre gånger större än tiden för eftervärmning och där effekten i dessa två tidssteg låg mellan 25-30% av toppeffekten. Alltför höga effekter leder till en ökad resistens över svetsen, vilket förklarades med att nickelatomer i Hiluminets ytbeläggning diffunderar in i kopparn och förstör dess elektriska ledningsförmåga. Beträffande den mekaniska hållfastheten var det svårare att uttyda de olika parametrarnas inverkan, men längre total pulstid och låg effekt i eftervärmningsdelen av pulsen gav högst draghållfasthet.

En flitig herre under konferensen var Eric Punzel, som i "e-mobility"-sessionerna bidrog med två presentationer. Han representerar företaget *BBW Lasertechnik*, som förfogar över hela 43 lasermaskiner på 8.000 m² verkstadsyta samt 150 medarbetare och vars verksamhet tidigare beskrivits i *LaserNytt* [se nummer 3-2011, 1-2013, 1-2015]. Hans första presentation handlade om lasersvetsning av koppar där tre olika angreppssätt använts. Dels IR [InfraRed]-baserad svetsning med stråloscillering eller variabel energifördelning med hjälp av *Trumpf*-konceptet "2-in-1"-fiber [Fig. 11], dels svetsning med synlig, grön våglängd [Tab. 1].

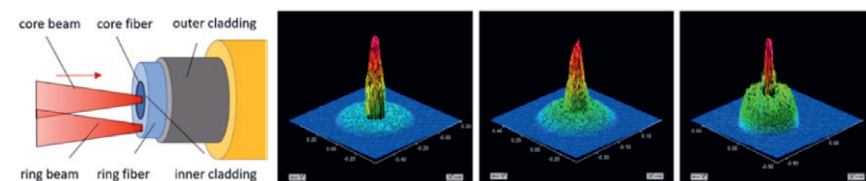
Herrn Punzel gick inledningsvis igenom de kommersiella koncept för variabel energifördelning som idag erbjuds på marknaden såsom det redan nämnda "2-in-1"-fiber från *Trumpf*, även kallat "BrightLine®", och "AMB®" [Adjus-



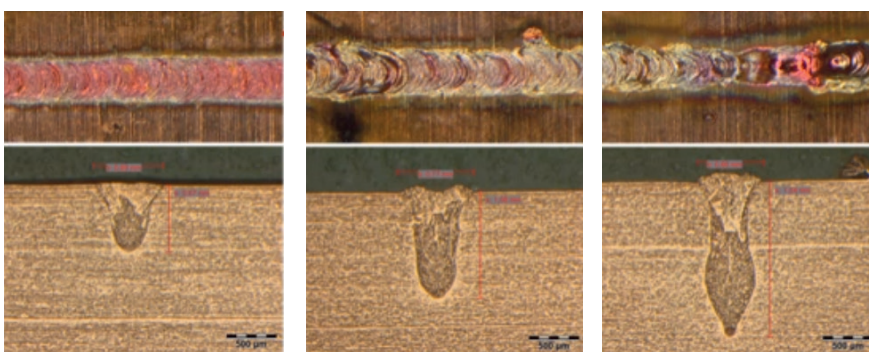
Figur 10. T.v. schematisk avbildning av pulsformen där lasereffekten i olika tidssteg varierades. Med hjälp av en regressionsmodell kunde de bästa parametervärdena för en känslig svetsprocess fastläggas, och en pulstid (t_p) på 15 ms gav en godkänd svets medan en på 25 ms resulterade i genombränning (t.h.).

Laserkälla	IPG YLS-6000	TruDisc 4001	TruDisc 2021
Våglängd	1.070 nm	1.030 nm	515 nm
Medeleffekt	6 kW	4 kW	2 kW
Teknik	Oscillerad fokalpunkt (IR)	2-in-1 fokalpunkt (IR)	Oscillerad fokalpunkt (grön)
Fokaldiameter	180 μ m	170 μ m	170 μ m
Strålkvalitet	1,8 mm*mrad	4,0 mm*mrad	4,0 mm*mrad
Optik	Skanner/Raylase AS50	Fast optik/Trumpf MSO	Skanner/Trumpf PFO20

Tabell 1. De tre olika uppsättningarna för kopparsvetsning som ingick i studien



Figur 11. *Trumpf*-konceptet "2-in-1"-fiber, även kallat "BrightLine®", är bara en av flera kommersiella produkter som gör det möjligt att skräddarsy energifördelningen i laserstrålen.



Figur 12. Toppvy och tvärsnitt vid BOP [Bead-On-Plate]-svetsning av Cu-OF-kuponger med "BrightLine®"-fiber och 4 kW total lasereffekt. Energiandelen i kärnpunkten är fr.v. 30%, 50% och 70%, och det framgår tydligt att det förstnämnda alternativet ger bästa svetskvalitet och en sprutfri process.

table Mode Beam] från *IPG*, *Coherents* "ARM®"-lösning och "Corona®" från *nLight*. Vidare också de skillnader mellan infrarött, "grönt" och "blått" laserljus vad beträffar absorptionsförmåga och strålkvalitet, där den "blå" laserns sämre BPP [Beam Parameter Product] inte är lämplig för penetrationssvetsning och därför valdes bort i den aktuella studien.

Svetsförsök hade utförts på 2 mm tjocka plåtkuponger av Cu-OF [Oxide Free] och svetskvaliteten hade utvärderats med mikroskopi och metallurgi. I fallet med IR-laser och skanneroptik erhöll man bästa svetskvalitet vid 6 m/min i svetsshas-

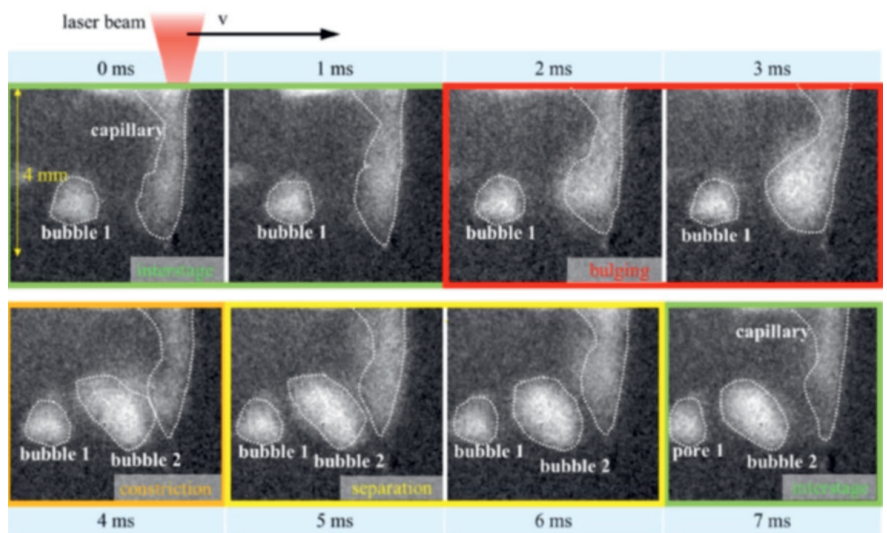
tighet och ett cirkulärt oscilleringsmönster utförd med 400 Hz frekvens. Oscilleringen i sig innebär självklart en lägre framföringshastighet, varför man även undersökt svetsning utan oscillering. Då nåddes svetsshastigheter på över 10 m/min med relativt god svetskvalitet, samtidigt som man observerade att vid lägre hastigheter blev processen instabil med mycket svetsssprut som resultat. Med "2-in-1"-lösningen bör kärnpunkten endast ha 30% av den totala laserenergin för att erhalla en hög svetskvalitet [Fig. 12]. En sådan effekt fördelning gav en sprutfri process vid svetsshastigheter mellan 2,5 och 12 m/min,

samt den bästa visuella topptytan jämfört med de övriga angreppssätten.

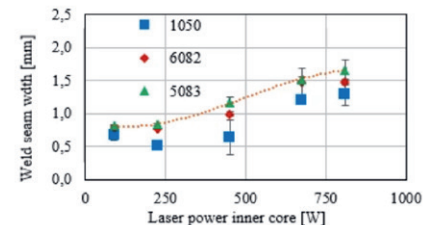
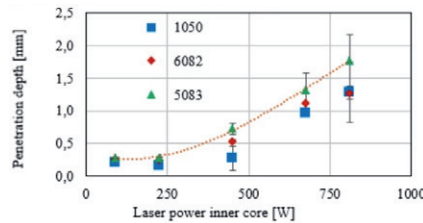
Vid svetsning med den ”gröna” lasern kunde man konstatera att endast halva effekten behövdes i jämförelse med IR-svetsning för att nå samma penetrationsdjup. Svetsprocessen visade ett mycket stabilt beteende, dock förekom en mindre andel porer i svetsgodset vars närvaro Herr Punzel inte kunde förklara. Däremot nämnde han att man vid svetsförsöken med den ”gröna” lasern var begränsad till de 2 kW som idag finns på marknaden, men att *Trumpf* har utlovat att en 3 kW-enhet kommer att vara tillgänglig 2021. Detta föranledde min ”laserkompis” sedan många år Dr. Mo **Naeem** [*Prima Power*] att ställa några frågor kring prisbilden för denna typ av laserkälla. Svaret blev något oprecist att ”gröna” lasrar är dyrare än traditionella IR-lasrar. Slutsatsen från Herr Punzel var att den bästa uppställningen för lasersvetsning av Cu-OF var att använda en ”grön” laser i kombination med en ”2-in-1”-fiber.

Eric **Punzels** andra presentation några konferensdagar senare spann vidare på temat variabel energifördelning i fokalpunkten med hjälp av ”2-in-1”-fibern, men nu applicerad på aluminiumsvetsning. Ett klassiskt problem vid lasersvetsning av aluminium är uppkomsten av porer i svetsgodset vilka går att härleda till föroreningar i materialet eller på dess yta, något som leder till momentana kollapsar av nyckelhålet och därmed en instabil svetsprocess [Fig. 13]. Det finns ett antal angreppssätt för att lösa detta problem som t.ex. strålscillering eller andra tekniker för att vidga nyckelhålet och ge smältan längre tid att stelna såsom att använda dubbelfokus eller överlagra två separata laserstrålar. Ett ytterligare sätt kan vara att använda en mycket hög svetshastighet, men detta på bekostnad av penetrationsdjupet.

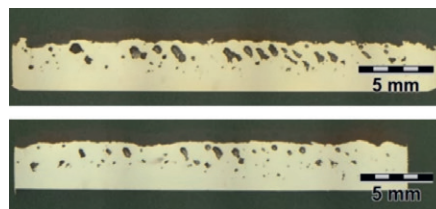
Vid de genomförda experimenten hade man använt en TruDisc-laser med 4 kW totaleffekt och en 75/300 μm grov ”2-in-1”-distributionsfiber. Kärnpunkten i fokalpunkten mätte 200 μm och den yttre ringen hade en diameter på 800 μm . Tre olika aluminiumlegeringar hade studerats; AA1050, AA5083 och AA 6082, och den totala energin hölls konstant på 900 W men den procentuella fördelningen mellan kärnpunkt och ring varierades. Ett klart samband mellan effekten i kärnpunkten och penetrationsdjupet kunde konstateras, men beträffande svetsbredden var sambandet inte lika tydligt [Fig.



Figur 13. Höghastighetsfilmning av svetsförloppet vid lasersvetsning av aluminium. Signifikant för processen är uppkomsten av inneslutna porer, vilka går att härleda till en instabil svetsprocess i form av momentana kollapsar av nyckelhålet.

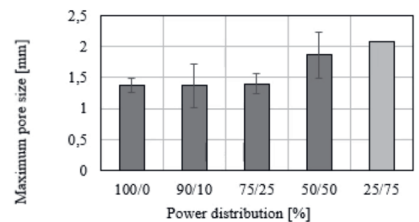
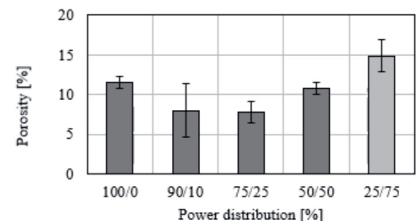


Figur 14a. Det är energiandelen i kärnpunkten som dominerar såväl penetrationsdjup som svetsbredd även om sambandet inte är lika linjärt för den senare.



Figur 14b. Med en energifördelning på 90/10% eller 75/25% mellan kärnpunkt och cirkel kunde porositet och porstorlek minimeras vid svetsning av AA5083 med en ”2-in-1”-distributionsfiber.

Tvårsnitten ovan representerar energifördelningarna 100/0 respektive 75/25 (underst).



14a]. Intressant är emellertid att det är energin i kärnpunkten som även dominerar svetsbredden eftersom energitätheten i cirkeln blir förhållandevis låg även om den matas med 75% av den totala energin. Beträffande uppkomsten av porer vid svetsning av legeringen AA5083 kunde denna reduceras med 50% jämfört med traditionell lasersvetsning med endast en fokalpunkt. De bästa resultaten uppnåddes vid en energifördelning på 90/10% och 75/25% mellan kärnpunkt och cirkel [Fig. 14b], men helt porfria svetsar gick

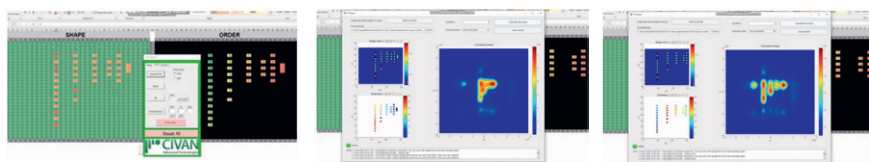
inte att åstadkomma. Även här kom Mo **Naeem** med en fråga om huruvida uppkomsten av sprickor i svetsgodset gick att undvika med en variabel energifördelning, men svaret blev att detta inte varit något tema i den här undersökningen.

Aluminiumsvetsning var temat också för Ms. Eva **Vaamonde** från *AIMEN Technology Centre* i Spanien som hade studerat inverkan av dynamisk strålomformning vid svetsning av kylsystem för batterier tillsammans med företaget *Valeo* som är en leverantör av dylika komponenter.

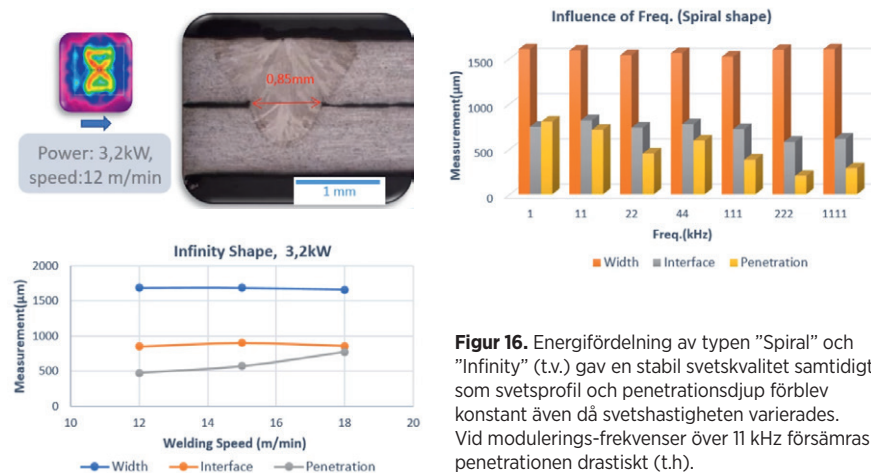
Produkterna byggs upp av tunna aluminiumplåtar med en tjocklek under 1 mm, vilka idag sammanfogas genom ugnslöding. Detta begränsar kylsystemens storlek samtidigt som energikonsumtionen blir hög med denna metod. Utöver tidigare nämnda tekniker för strålomformning med speciella fiberkoncept eller diffraktiva optiker hade man här använt s.k. CBC [Coherent Beam Combining] kombinerad med OPA [Optical Phased Array]. Företaget *CIVAN Technology* har utvecklat denna metod där den inkommande laserstrålen delas upp i flera och sedan genom interferens kan skapa den önskade energifördelningen på arbetsstycket och variera denna med en omställningshastighet på upp till 1 MHz. Man har utvecklat en mjukvara med vars hjälp det går att fastlägga den optimala energifördelningen inom 5 minuter, varpå parametrarna kan laddas upp i laserns styrsystem [Fig. 15].

Experiment hade utförts på legeringen AA3003 där två 0,8 mm tjocka plåtar överlappsvetsats med krav på endast partiell penetration i den undre plåten. Laserkällan som använts var en cw [continuous wave] OPAG6-laser med 1.064 nm våglängd och en strålkvalitet på $M2 < 1,1$. Olika energifördelningar hade studerats och svetsningen hade utförts vid hastigheter mellan 6-18 m/min med frekvensomställningar mellan 5 kHz och 1 MHz. Lasereffekten hade varierats mellan 2,4-3,6 kW och någon skyddsgas hade inte använts. Energifördelningarna "Spiral" och "Infinity" visade sig ge bästa och mest stabila kvalitet, och med 11 kHz omställning av energifördelningen bibehölls penetrationsdjup och svetsbredd konstant även om svetshastigheten varierades [Fig. 16]! Penetrationen kunde t.o.m. bli högre vid ökande framföringshastighet, något som förklarades av att överlappet i spiral-mönstret blev lägre men att man därigenom utnyttjade den tillförda laserenergin på ett mer optimalt sätt. Även inverkan av den nämnda omställningsfrekvensen hade i "Spiral"-varianten studerats vid konstant lasereffekt [2,6 kW] och framföringshastighet [6 m/min]. Svetsbredden tycks vara oberoende av vald frekvens, medan däremot frekvenser över 11 kHz resulterar i sämre penetration och därmed smalare svetsbredd i gränssytan mellan plåtarna [Fig. 16].

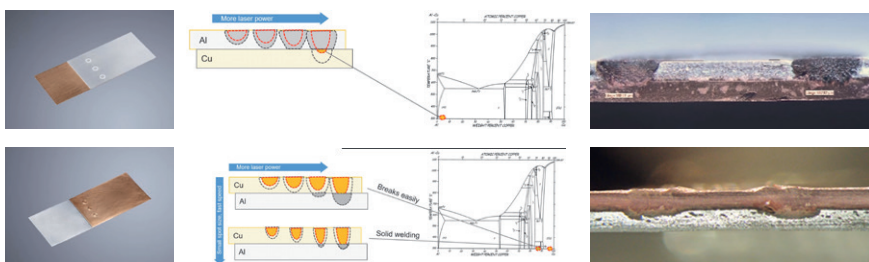
En annan kvinnlig laserexpert vid LANE-konferensen var Frau Elke Kaiser från *Trumpf GmbH* som berättade om de utmaningar som föreligger vid lasersvetsning av koppar/aluminium-kombinationer



Figur 15. Bildskärmsexempel från operatörsgränssnittet vid användning av CIVAN Technologys mjukvara med vars hjälp man kan optimera en strålomformningsmetod som kombinerar CBC och OPA.



Figur 16. Energifördelning av typen "Spiral" och "Infinity" (t.v.) gav en stabil svetskvalitet samtidigt som svetsprofil och penetrationsdjup förblev konstant även då svetshastigheten varierades. Vid modulerings-frekvenser över 11 kHz försämrades penetrationen drastiskt (t.h.).



Figur 17. Skillnader i smälttemperatur och värmeledningsförmåga är faktorer som problematiserar lasersvetsningen av aluminium/koppar-kombinationer främst i det nedre fallet med koppar som topplåt.

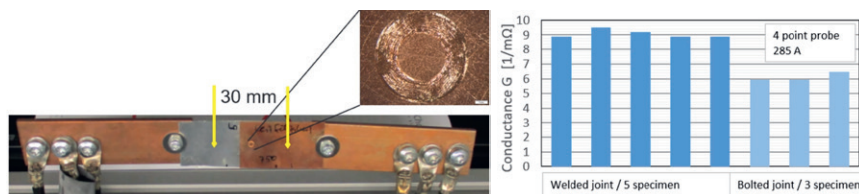
ner med en SM-laser. Dessa båda material skiller i smälttemperatur med hela 400 °K vilket bl.a. bidrar till en risk för tjocka intermetalliska faser hos svetsgodset i gränsskiktet mellan materialen och därmed låg hållfasthet och en försämrad elektrisk ledningsförmåga. I försöken hade en TruFiber 2000-laser, med 1.075 nm våglängd och strålkvalitet $M2 = 1,2$, använts kombinerad med skannerverktyget PFO 20-2 där fokuspunkten på arbetsstycket uppmättes till 37 µm. Olika skanningmönster såsom "zigzag", "circle" eller "cross" hade undersökts, och där man valde en cirkulär svetsgeometri med en ytterdiameter på 4 mm för att hållfasthetsmässigt kunna jämföra med de bultförbindningar som idag används för dylika batteriapplikationer. Materialen utgjordes av Al99.5 och Cu-OF i form av tunna folier med 0,3 mm tjocklek, och

den cirkulära svetsen hade en bredd på 0,8 mm. Vid försöken med aluminium som topplåt hade inverkan av lasereffekt och fokuspunktsläge på draghållfastheten studerats. Resultatet blev att 250 W gav såväl högsta hållfasthet som bästa utseende hos svetsens toppyta. I det mer problematiska fallet med koppar som topplåt menade Frau Kaiser att det var nödvändigt att arbeta med en liten fokuspunkt och snabb skanner-hastighet för att undvika att alltför mycket aluminium, som har den lägsta smältpunkten av de två materialen, smälts upp och ger för hög inblandning i kopparsmältan [Fig. 17]. Med rätt processparametrar kunde tjockleken hos det intermetalliska skiktet uppmätas till att ligga under 20 µm. Den elektriska ledningsförmågan hos denna variant hade uppmätts vid en pålagd strömstyrka av 285 A och jämförts med värdena för en

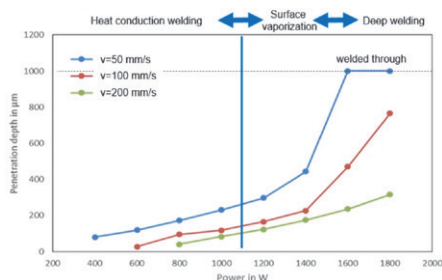
mekanisk bultförbindning. Här visade de lasersvetsade provstavar en cirka 50% bättre konduktivitet i jämförelse med de bultade [Fig. 18]. Vid dragprov nåddes en max.last på 200 N då aluminiumpartnern brister, vilket måste anses om ett utmärkt resultat även om det är 50 N lägre jämfört med brottlasten för de provstavar som svetsades med aluminium som topplåt.

Mr. Simon Britton från Laserline GmbH visade hur företagets diodlasrar med höga effekter i det blå våglängdsområdet kan vara ett utmärkt verktyg vid lasersvetsning av koppar då materialet har en hög absorptionsförmåga av ”blått” laserljus. I sin s.k. LDM_{blue}-serie finns numera en 2 kW-variant [LDM_{blue} 2000-60] kommersiellt tillgänglig. Nackdelen med diodlasrar är deras sämre strålkvalitet, vilket gör att fokuspunkten blir relativt stor och energitätheten därmed låg. Därför är dessa källor främst lämpade för värmeledningssvetsning och exempel på detta visades i form av överlappsvetsning av två 0,3 mm tunna kopparfolier med 1 mm fokuspunktsstorleken där svetshastigheter kring 15 m/min går att uppnå med 1 kW effekt. Dock är nyckelhålssvetsning inom ett visst parameterfönster möjlig, och här hade penetrationsdjupet undersökts vid svetsning av 2 mm tjockt Cu-ETP [Electrolytic Tough Pitch] och CuSn6, legeringar som har ungefär likformig absorption av den tillförda laserenergin, men där den senare legeringen möjliggör djupare penetration beroende på en lägre värmeledningsförmåga [75 mot 380 W/(m*K)]. Vid såväl värmelednings- som nyckelhålssvetsning kunde Mr. Britton uppvisa en helt sprutfri process. I motsats till IR-svetsning får man också en mycket jämnare övergång i penetration mellan värmelednings- och nyckelhålssvetsning då ”blått” laserljus används [Fig. 19].

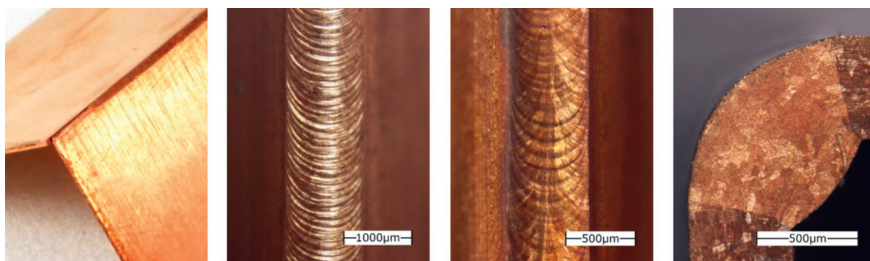
Ett exempel på utmärkt spaltöverbrygnadsförmåga illustrerades med en hörnsvets mellan 2 stycken 0,5 mm tjocka kopparplåtar [Cu-ETP] utförd med 1,2 kW lasereffekt och en svetshastighet på 3 m/min [Fig. 20]. Även vid överlappsvetsning av dessa plåtar kunde spalter motsvarande den enskilda plåttjockleken överbryggas längs 70% av svetslängden vid en effekt på 1,5 kW och 600 µm stor fokuspunkt. Ett första exempel på ”e-mobility”-applikation gavs i form av svetsning av s.k. hårnålar till elektriska statorer, ett ämne som avhandlats i flera tidigare nummer av LaserNytt. Här är diodlaserns större fokuspunkt gynnsam då den kan täcka ett stort antal vajerändar samtidigt.



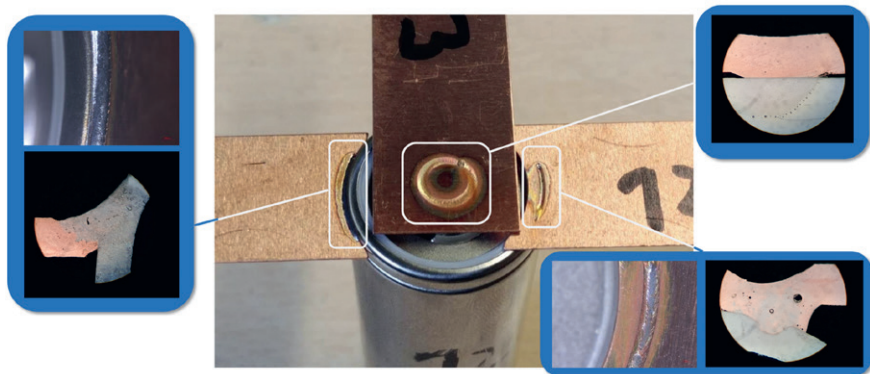
Figur 18. T.v. försöksupställningen vid uppmätning av den elektriska ledningsförmågan hos fogpunkterna vid en strömstyrka på 285 A. Resultaten t.h. visar att denna är 50% högre för lasersvetsar i jämförelse med de bultförband som idag används vid kontaktering mellan aluminium- och kopparpolen.



Figur 19. Med en laser i det blå våglängdsområdet får man en jämnare övergång från värmelednings- till nyckelhålssvetsning i jämförelse med en IR-laser. Detta beror på en mer gynnsam värmeackumulering vilket också minskar sprutbenägenheten.



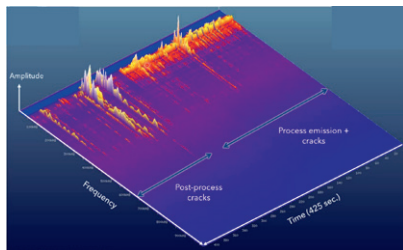
Figur 20. En visuellt tilltalande och högkvalitativ lasersvets av ett hörn där två stycken 0,5 mm tjocka kopparplåtar möts



Figur 21 Exempel på kontaktering av cylindriska batteri-celler där plus-polen i mitten svetsades med värmeledningssvetsning, en metod som också användes vid minuspolens koppling mot cylinderns vägg (t.v.), medan anslutningen till cylinderns skuldra skedde med nyckelhålssvetsning (t.h.).

Sålunda tar svetsningen av en bunt av vajrar endast 250 ms vid 1,3 kW effekt. Ett annat applikationsexempel handlade om kontaktering av cylindriska nickelbelagda battericeller där koppartabbarna för plus-polen svetsades enligt värmeledningsprincipen, medan de för minus-polen utfördes med såväl penetrerande nyckelhålssvetsning som värmeledningsdito beroende på foggeometrin [Fig. 21]. De korta svetsstygnen utfördes på mellan 50-100 ms.

Slutligen redogjorde Mr. Britton för ett försök där 10 stycken 25 µm tunna kopparfolier samtidigt svetsats till en 0,5 mm tjock kopparplåt med 1,1 kW från en LDM_{blue} 1500-60-laserkälla och 25 mm/sek i framföringshastighet.

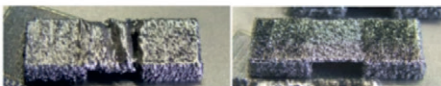
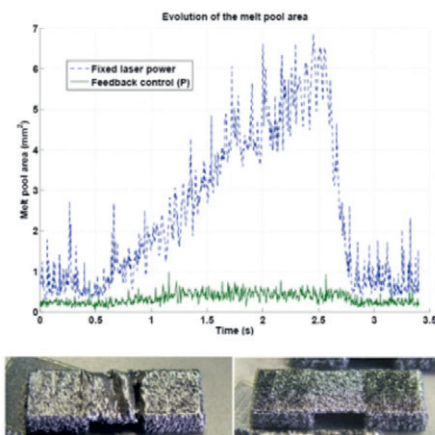
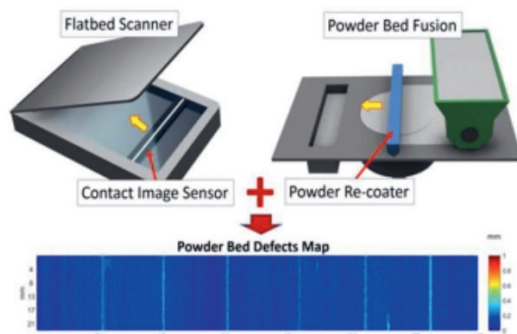


Övervakning och kontroll vid additiv tillverkning

Den här sessionen inleddes av professor Bianca Maria **Colosimo** från *Polytechnico Milano* som gav en bred översikt över de metoder som finns för processövervakning i realtid vid additiv tillverkning [AM = Additive Manufacturing] med pulverbäddstekniken L-PBF [Laser-Powder Bed Fusion]. Eftersom denna process oftast betar sig mindre stabilt krävs olika hjälpmedel för att erhålla tillräckligt hög kvalitet på de tillverkade objekten, såsom exempelvis sensorer, tillförlitlig processimulering samt dito övervakning "in-situ". Intresset för olika kontrollmetoder, med eller utan "closed-loop"-funktion har vuxit explosionsartat under senare år, och Dr. Colosimo kunde konstatera att merparten av patenten inom området kommer från industrin och i mindre antal från forskningsvärlden. De olika delar i L-PBF-processen som skall övervakas kan indelas i 4 nivåer.

- Nivå 1 är de signaler som genereras via sensorer som finns inbyggda i AM-maskinen
- Nivå 2 omfattar pulverbädden och ett enskilt smält skikt, där det kan handla om att detektera inhomogeniteter i pulvret och geometriska distorsioner
- Nivå 3 monitorerar den enskilda skannade strängen med avseende på formering av sprutpartiklar och plasma-bildning, samt registrerar temperaturgradienter
- Nivå 4 övervakar stabiliteten hos smältan, dess storlek, form, intensitet och temperaturfördelning

För nivå 1 och 2 används mest "off-axis"-metoder som höghastighetskameror med hög upplösning eller IR-kameror, medan man för nivå 3 hellre vill ha tekniker med koaxiell övervakning i form av pyrometrar, fotodioder eller även här höghastighetskameror. Dessa senare metoder kan med fördel kombineras med någon form av maskininlärningsalgoritmer. En innovation för nivå 1 var att montera en linjeskanner direkt på utstrykaren i

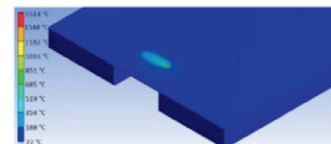
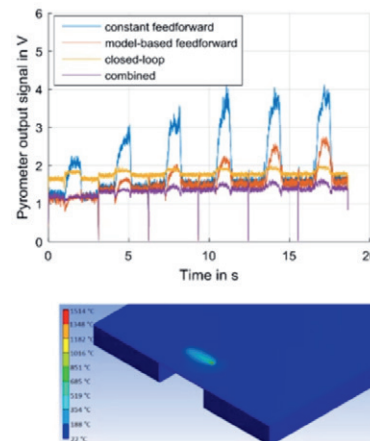


Figur 23. Några exempel på kontroll av L-PBF-processen; närmast justeras lasereffekten via en "feed-back"-signal, och längst t.h. framföringshastigheten genom att använda en "förutseende" algoritm, s.k. "feed forward".

pulverbäddsmaskinen som kan detektera variationer i pulverskiktet med en upplösning på 5 µm/pixel [Fig. 22]. Ett annat angreppssätt för samma uppgift kan vara att använda en multisensor för s.k. fringe-projektion av pulverbädden. Vid *Polytechnico Milano* har man tagit fram en utrustning för L-PBF kallad "Penelope" i vilken finns inbyggd en "självläkande" funktion i form av en linjärhyvel som kan jämna ut ojämnheter i ett stelnat pulverskikt innan ett nytt lager påförs.

Avslutningsvis presenterades några exempel på adaptiva lösningar i form av "feed-back"-kontroll, antingen med reglering av lasereffekten eller av skanningshastigheten, och där man i ett fall även kunde anpassa processparametrarna efter temperaturhistoriken i underliggande skikt

Figur 22. En innovation från Nanyang University där en linjeskanner monterats direkt på utstrykaren och mäter pulverbäddens topografi med en noggrannhet på 5 µm/pixel. Avvikelser i planhet identifieras som regioner som ligger ur fokus för skannern



[Fig. 23]. Framtida utmaningar ligger i att kunna hitta defekter som uppkommer längre ner i objektet efter hand som det byggs upp. Andra problem att lösa är hur man skall kunna filtrera bort icke-relevanta defektsignaler som kan uppstå i en fabriksmiljö, samt hur väl processövervakningen fungerar vid tillverkning av olika objekt med mer komplexa geometrier.

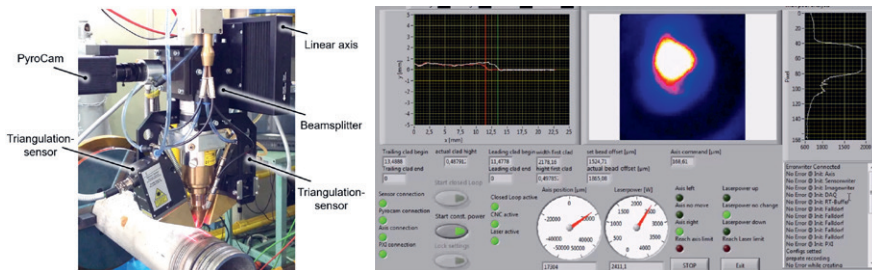
En "closed loop"-kontroll av stränghöjden vid strukturuppbyggnad med LMD [Laser Metal Deposition] -metoden presenterades av diplomingenjören Dieter **Tyralla** från *BIAS*. Han hade kombinerat en koaxiell pyrometerkamera med två stycken trianguleringssensorer av typen "Falldorf" och kunde med den förstnämnda mäta smältans storlek, vilken kunde hållas konstant genom en åter-

koppling till lasereffekten. Den använda kameran detekterar temperaturer i intervallet 600-1.900 °C och registrerar 30 fps [frames per second, **Fig. 24, 25**].

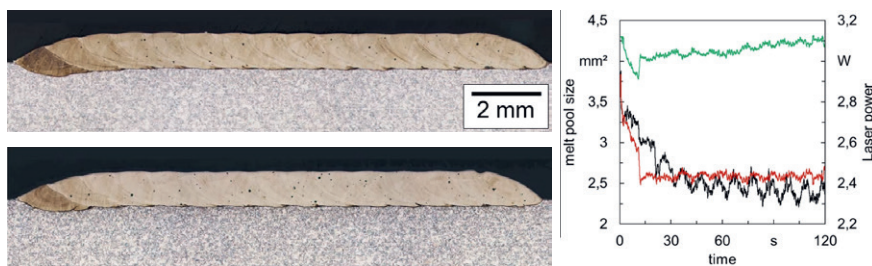
Vid försöken hade man utgått från en effekt på 3 kW vilken fokuserades till en 2,5 mm stor brännfläck och framföringshastigheten hölls konstant till 2,1 m/min. Pulvret utgjordes av 2.4438-material och matades med ett flöde av 20 g/min till en substratplatta tillverkad i materialet 1.0038. Med triangulerings-sensorerna kunde stränghöjd och bredd mätas med en noggrannhet av 35 respektive 25 µm vid en insamlingsfrekvens på 33 Hz. Dessa användes också för att mäta överlapp mellan två sekventiellt pålagda strängar. I händelse av avvikelse från ett börvärde kunde detta justeras genom en linjär rörelse av påläggningsmunstycket tvärs framföringsriktningen vilket gjordes med en hastighet på 0,1-0,3 mm/sek. Metoden hade även provats vid beläggning av krökta ytor och där resulterat i en mycket jämn toppyta vid ett överlapp kring 45% och med endast 15% inlösning i substrat-materialet. Av intresse kan det vara värt att nämna att projektet genomförts i samarbete med *Mitsubishi Heavy Industry*.

Näste talare var señor Camilo **Prieto** från *AIMEN Technology Centre* som beskrev hur man med en s.k. optisk mikrofon kunde upptäcka uppkomsten av sprickor under LMD-processen. Denna beröringsfria teknik, utvecklad av företaget *XARION Laser Acoustics GmbH*, som bygger på laserinterferometri presenterades för första gången vid *International Laser Symposium* i Dresden 2018 [se *LaserNytt 2-2018*]. Principen är att laserljus med låg effekt riktas mot det objekt som skall provas. Sker tryckförändringar i detta, som exempelvis vid uppkomsten av interna sprickor, påverkar detta ljushastigheten och en dylik intensitetsförändring har visat sig vara proportionell mot det alstrade ljudet från exempelvis en sprickinitiering. Den optiska mikrofonen arbetar inom ett bandbreddsområde från 10 Hz ända upp till 1 MHz [**Fig. 26**].

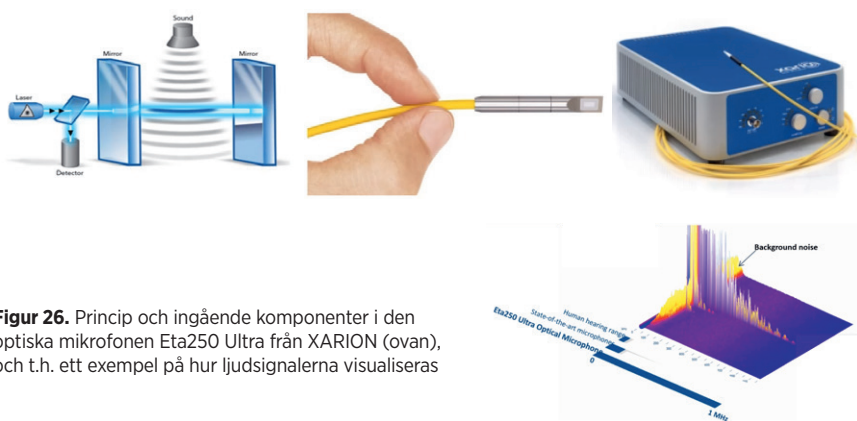
Försöksuppställningen bestod av en TruDisc 16001 från *Trumpf* kopplad till *Permanova*-verktyget WT03, vilket i sin tur manipulerades av en *ABB*-robot av typ IRB 4400/60 [**Fig. 27**]. Pulvermataren från *GTV* kombinerades med påläggningsmunstycket Coax8. Två olika LMD-experiment hade utförts; ett där man byggde 50 mm långa, tunna väggar i det rostfria materialet 316L i 20 respektive 40 skikt, och ett annat där verktygsstålet AISI M2



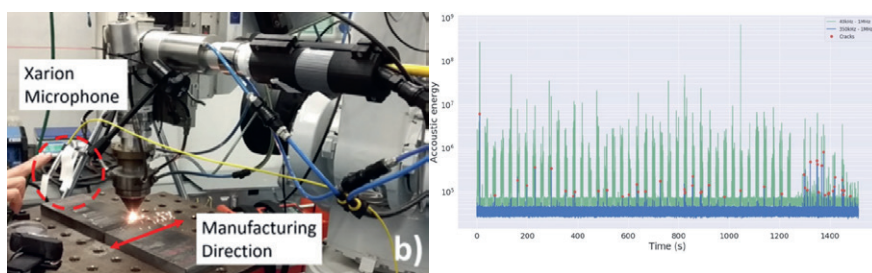
Figur 24. Den använda kontrollutrustningen, bestående av en koaxiell pyrometerkamera och två stycken "Falldorf"-sensorer, här använd vid laserpåläggning av ett rör. Ett exempel på operatörens bild-skärms-information ses t.h.



Figur 25. Genom att kontrollera temperaturen vid påläggningsprocessen kan smältans storlek hållas konstant. Överst en sträng utförd utan kontroll (svart kurva t.h.) och därunder en med temperaturkontroll (röd kurva). Lasereffekten illustreras av den gröna kurvan.



Figur 26. Princip och ingående komponenter i den optiska mikrofonen Eta250 Ultra från XARION (ovan), och t.h. ett exempel på hur ljudsignalerna visualiseras



Figur 27. T.v. den använda försöksuppställningen med positionen för den optiska mikrofonen inringad, och t.h. illustreras hur den akustiska energin förändras vid uppkomsten av sprickor, såväl under påläggningsprocessen som omedelbart efter densamma.

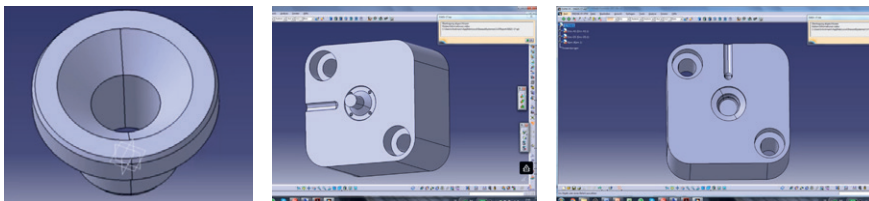
belades med 9 strängar om vardera 75 mm längd. De parametrar som varierades var lasereffekt, framföringshastighet och pulvermatning. Med den optiska mikrofonen kunde man framgångsrikt upptäcka sprickor som uppstod såväl under påläggningsprocessen som efter densamma i form av varmsprickor [**Fig. 27**]. Resultaten visade på en god korrelation mot andra NDT [Non-Destructive Testing]

-metoder som röntgen och läckströmsmätning vid mätfrekvenser över 350 kHz. På en fråga rörande placeringen av den optiska mikrofonen angav señor Prieto att ett lämpligt avstånd är mellan 15-20 cm i förhållande till processpunkten. De presenterade försöken utgör en del i ett större europeiskt utvecklingsprojekt inom additiv tillverkning kallat "Integradde".

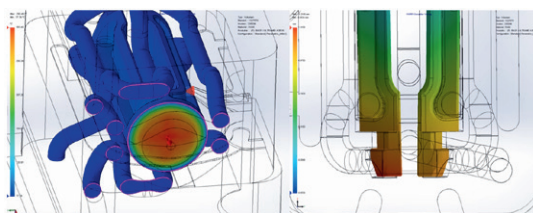
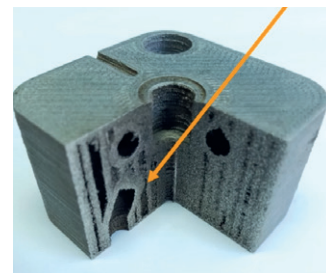
...och så till sist några AM-applikationer

Här kan det vara lämpligt att avsluta med några av de applikationsexempel på additiv tillverkning som presenterades under konferensen. Ett av dessa handlade om designen av kylkanaler i ett formsprutningsverktyg där dessa kan utformas och positioneras för att ge optimal kyleffekt genom att bygga upp verktygshalvorna med SLM [Selective Laser Melting] -metoden. Herrn Thorsten **Hickmann** från *Eisenhuth*, ett KMU [Kleiner & Mittlere Unternehmen] -företag i Osterode am Harz, delgav oss hur man där hade använt sig av dylika lösningar i kombination med mer traditionell maskinbearbetning. Man arbetar huvudsakligen med material som rostfritt 316L eller verktygsstålet 1.2709 med efterföljande elektro-polering vid tillverkning av verktygen. Generellt menade han att man får en större frihet att arbeta med kanalernas tvärsnittsform och där man konstaterar att s.k. takformade tvärsnitt har en bättre kyleffekt jämfört med helt cirkulära då de förstnämnda bidrar till en ökad flödes hastighet hos kylmediet. Även ytstrukturen på kylkanalernas väggar kan ha en inverkan på flödesprestanda. Två olika praktikfall presenterades där det första utgjordes av en distansring till en liten medicinteknisk applikation med måtten 60×60 mm för insatsverktygen [Fig. 28]. Här hade SLM-tekniken möjliggjort utformningen av dubbla, parallella kylkanaler vilket gjorde att den totala kyltiden för varje tillverkad distansring kunde minskas från 20 till blott 6 sekunder! I det andra praktikfallet handlade det om en formsprutad distanshållare i PA 6.6 [PolyAmid] med måtten 108×60×42,5 mm avsedd för montering i motorhuv till en personbil [Fig. 29]. Här förelåg höga krav på formriktighet varför en anpassad kylning var viktig för att undvika exempelvis uppkomsten av förvrindningar. Därför hade man använt avancerade simuleringsverktyg för att utforma kylkanalerna på ett optimalt sätt. Här hade kyltiden kunnat reduceras med 60% vilket ledde till en 40% kortare cykeltid. Herrn Hickmann avslutade med att de lyckade exemplen var ett resultat av ett nära och kontinuerligt samarbete mellan företagets konstruktörer och dess verktygsmakare. Vidare hade man erhållit finansiellt utvecklingsstöd dels från *BMBF* [Bundesministerium für Bildung und Forschung] och dels från delstaten Sachsen i form av projekten "Kitkadd" och "Malekues".

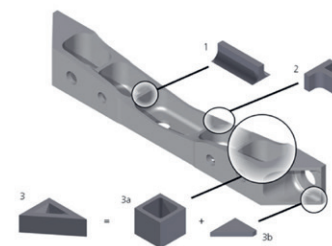
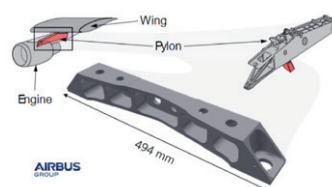
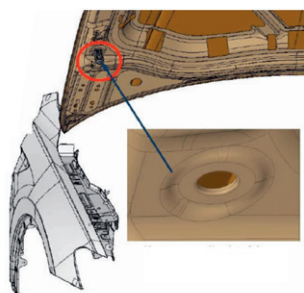
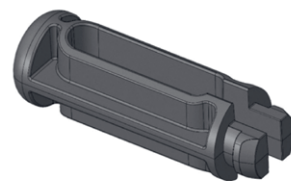
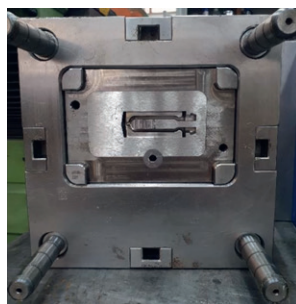
De följande två presentationerna har båda anknytning till additiv tillverkning



Figur 28. En formsprutad distansring till en medicinteknisk applikation där över- och underverktyget tillverkas med SLM-processen utifrån ovanstående CATIA-geometrier. T.h. ett tvärsnitt genom det fysiska underverktyget med en integrerad stödstruktur för den "lutande" delen av kylkanalen.



Figur 29. Avancerad flödessimulering hade använts vid utformningen av kylkanalerna i formverktyget för att optimera svalningsprocessen vid tillverkning av denna distanshållare till en motorhuv. Närmast t.h. syns den färdiga AM-tillverkade verktygsinsatsen.



Figur 30. Den s.k. pylonkonsolen är en kritisk komponent som kopplar turbinmotorn till flygplansvingen. För att hitta den bästa strategin för tillverkning med LMD-process delades artikeln in i tre karakteristiska geometrier; vägg, T-fog och en triangel.

inom flygindustrin och företaget *Airbus*, som i det första fallet studerat LMD-tillverkning av en komponent i Inconel718 i samarbete med *ILT* [Institut für Lasertechnik] i Aachen. Institutet representerades av Jochen **Kittel** som redogjorde för detta praktikfall, och han inledde med att förklara begreppet "buy-to-fly" [BTF] -ratio. Eftersom flyg- och rymdindustri använder dyrt material i många av sina produkter

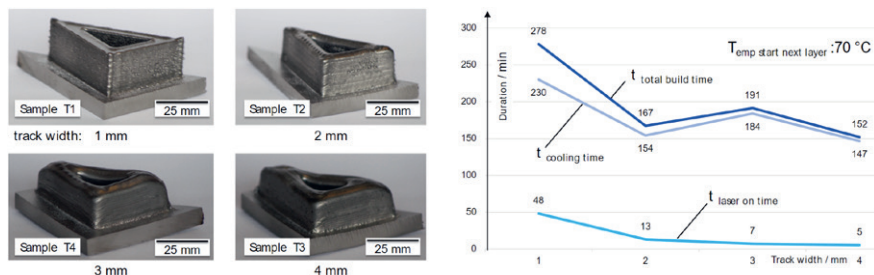
vill man hålla nämnda förhållande så lågt som möjligt, d.v.s. att minimera skillnaden mellan inköpt material och det material som återstår efter bearbetning av de olika komponenterna.

En sådan artikel är en s.k. pylonkonsol, vilken ingår i den konstruktion som kopplar turbinmotorn till flygplansvingen [Fig. 30]. Komponenten mäter 496×65×60 mm och väger 4,4 kg. Vid den maskinbearbet-

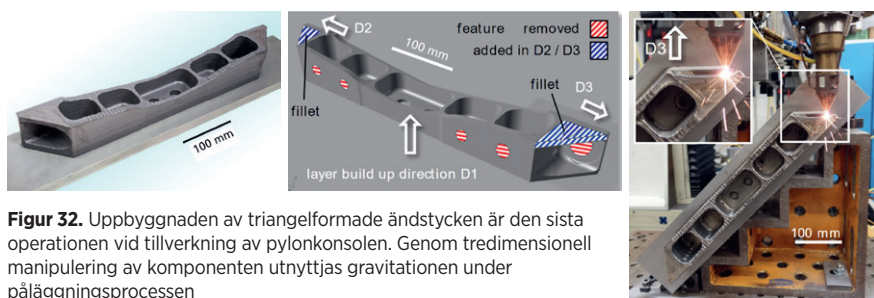
ning som används vid dagens tillverkning ligger BTF kring 4, något som innebär att ungefär 75% av materialet kommer att resultera i skrot, varför drivkraften för ett bättre resursutnyttjande är att använda additiv tillverkning. Idag fräses komponenten ut ur ett solitt block som har en volym på 2.150 cm³. Om den istället byggs upp med LMD åtgår cirka 1.070 cm³ pulver, vilket innebär en potential att minska BTF från 4 till 2 och därigenom få en avsevärt lägre materialkostnad. Några utmanande krav vid LMD-tillverkningen var att den totala distorsionen hos pylonkonsolen måste vara mindre än 2 mm samt att eventuella porer inte fick överstiga 125 µm. Samtidigt skulle hög produktivitet och geometrinoggrannhet innehållas. För att underlätta att finna de bästa processparametrarna delades komponenten upp i tre karakteristiska geometrier; vägg, T-fog och ett triangelformat element [Fig. 31].

Strängbredder mellan 1-4 mm hade utprovats och visade inte alltför överraskande att smalare spår gav den bästa noggrannheten, men detta måste alltid vägas mot kravet på hög produktivitet. Därför hade man undersökt de fyra alternativen med randvillkoret att objektstemperaturen inte fick överstiga 70 °C innan nästa skikt lades på. Det visade sig då att 2 och 4 mm strängbredd var gynnsammast ur produktivitetssynpunkt medan 1 mm strängar gav sämsta resultat [Fig. 31]. Vid en avvägning mellan noggrannhet och produktivitet valdes därför 2 mm strängbredd för tillverkningen av pylonkonsolen.

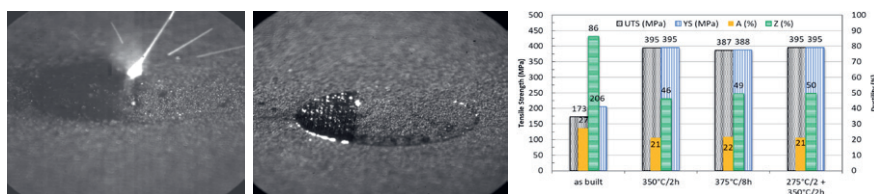
Deformationsanalys av en halv konsol hade genomförts i form av en digital skanning med programvaran "Atos GOM". Denna gav vid handen att distorsionen översteg kravet på max. 2 mm med 0,75 mm. Därför användes en 20 mm tjock byggplatta med uppvärmningsmöjligheter vid den slutliga tillverkningen vilket minimerade förvriddningen till 1,6 mm. Det krävdes 75 skikt för att färdigställa komponenten, vilken kunde vridas tredimensionellt för att påläggningen av de triangelformade ändstyckena skulle bli gynnsam [Fig. 32]. Den laserenergi som användes var 1,2 kW och framföringshastigheten låg på 1,5 m/min. Överlappet på strängarna var 0,8 mm och med en 2 mm stor fokuspunkt låg deponeringseffektiviteten på 600 g/tim vilket resulterade i en total byggnationstid på 24 timmar med ett BTF-värde på 1,75. Denna studie hade utförts inom ramen för det EU-finansierade projektet "AMAZE" [Additive Manufacturing Aiming towards Zero



Figur 31. Initiala försök hade utförts med strängbredder mellan 1-4 mm för att finna det bästa alternativet för att uppfylla de motstridiga kraven för precision och produktivitet. Valet föll på 2 mm strängbredd som har en marginellt längre byggtid än 4 mm strängen, men uppvisar avsevärt bättre geometri.



Figur 32. Uppbyggnaden av triangelformade ändstycken är den sista operationen vid tillverkning av pylonkonsolen. Genom tredimensionell manipulering av komponenten utnyttjas gravitationen under påläggningsprocessen



Figur 33. Bilder från höghastighetsfilming av L-PBF-processen visar på ett klart stabilare bettende för det nyutvecklade pulvermaterialet "ScanCromAl®" (t.h.) jämfört med "Scalmalloy". Efter värmebehandling uppvisar de tillverkade objekten goda egenskaper både vad gäller hållfasthet och duktilitet.

Waste & Efficient Production of High-Tech Metal Products], där vidare studier kring kortare tillverkningstider kommer att undersöka möjligheten att integrera en temperaturkontroll för att minska den kritiska kyltiden.

I jakt på ytterligare viktsbesparingar och ökad prestanda pågår en ständig materialutveckling inom flyg- och rymdindustri, något som adresserades av Frank Palm från Airbus. Man har utvecklat en höghållfast legering med god duktilitet avsedd för L-PBF-metoden som fått namnet "ScanCromAl®", och vilken på sikt är avsedd att ersätta företagets tidigare patenterade AlMgSc-legering "Scalmalloy". Dess hållfasthet ligger kring 250 MPa/g/cm³, alltså i nivå med Ti-6-4, men en nackdel med denna legering är att dess absorption av laserljus är synnerligen instabil. Detta beror främst på Mg-innehållet, vilket man därför har försökt att minimera i "ScanCromAl®" samtidigt som nya legeringselement har tillförts för att minimera dynamiken i smältan genom en anpassad

ytpänning och viskositet kombinerad med låg förångning av materialet [Fig. 33]. Dessa element utgörs främst av krom som är väl kompatibelt med scandium och aluminium, men också av tillsatser av zirkonium, molybden och vanadin, varför den adekvata kemiska beteckningen för "ScanCromAl®" blir AlCrSc(Zr). Efter uppbyggnad av provkroppar i den nya legeringen gav en mikroanalys vid handen att kornstrukturen visar på något långsmalare korn i jämförelse med "Scalmalloy", men Herrn Palm menade att detta inte bör påverka de mekaniska egenskaperna, utan brottförslängningen ligger kring 21-22% och hållfastheten efter värmebehandling omkring 395 MPa!

I nästa nummer av *LaserNytt*, som är planerat att utkomma i april 2021, kommer jag att fortsätta min rapportering från LANE2020. Då kommer ni att kunna läsa om för verkstadsindustrin relevanta lasernyheter inom svetsning, skärning, lödning samt kombinationsmetoder och laserunderstödda bearbetningsprocesser. ■

Dynamisk strålomformning förbättrar förutsättningarna vid laserskärning av grovplåt

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering

Även om skärning av tjock plåt utgör en underordnad marknadsandel beträffande laserbearbetning så är detta en nödvändig funktion hos dagens ”State-of-the-Art”-laserskärmaskiner. På senare år har forskningen kring laserskärning koncentrerats på olika kvalitetsproblem, särskilt då slaggkontaminering och snittykans utseende, som äventyrar produktiviteten. Detta har resulterat i noterbara förbättringar.

Föregående år utgjorde grovt räknat 20% av forskningen kring laserskärning, skärning av metaller med tjocklekar över 4 mm. Samtidigt pekar genomförda marknadsundersökningar på ett ständigt växande intresse från industrins sida för detta område, eftersom skärning av grovplåt utgör ett viktigt kriterium då olika laserskärmaskiner skall jämföras med varandra. Skärning med CO₂-lasrar kvarstår som den etablerade metoden inom plåtbearbetande industri, och varje laserskuret snitt jämförs med kvaliteten vid CO₂-skärning.

Emellertid har vi på senare år sett en ökande marknadsandel för laserskärmaskiner baserade på fastkroppslasrar, vilka uppvisar en årlig tillväxt på över 10%. Fastkroppslasrar erbjuder flera olika fördelar såsom högre verkningsgrad, enklare handhavande och högre skärhastigheter i tunnplåt. Däremot, då det gäller grövre plåttjocklekar, har dessa typer av laserbatterier inte kunnat uppnå en acceptabel snittkvalitet, och inte heller högre skärhastigheter i jämförelse med vad CO₂-lasrar klarar.

En första ansats till att nå optimala resultat vid skärning med fastkroppslasrar är att justera skärspaltens dimension för varje enskild applikation. Vid grovplåtsskärning krävs en tillräckligt bred skärspalt för att smält och förångad metall skall kunna avlägsnas ur densamma.

Statisk strålomformning är en vanlig metod för att justera skärspaltens storlek, men resulterar ändå inte alltid i en tillräckligt bra snittkvalitet. Med sådan teknik använder man sig av olika optiska element för att modifiera laserstrålens fokalpunktstorlek eller form, antalet fokalpunkter, polarisationsriktning m.m. Slutresultatet blir en optiklösning som passar en specifik skäruppgift. Detta är naturligtvis en fördel då det gäller höga volymer och serieproduktion, men statisk strålomformning kan inte i tillräckligt grad anpassa sig till de frekvent varierande uppdrag som utgör det dagliga arbetet hos ett tillverkande industriföretag.

Dessutom kräver laserskärning av grovplåt med fastkroppslasrar oftast någon form av mekanisk efterbearbetning för att avlägsna slaggpartiklar. Sålunda är ett extra produktionssteg nödvändigt vilket kräver extra arbetskraft och utrustning. Statisk

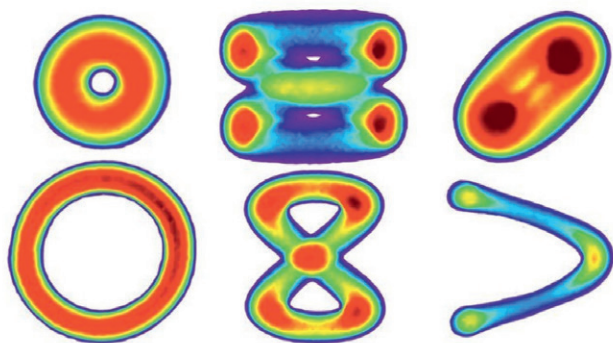
strålomformning kan lösa dylika utmaningar genom att använda laserbatterier med högre effekter, men även om detta också ökar produktiviteten, ökar å andra sidan också investerings- och driftskostnader.

Uppfinningsrik laserskärning

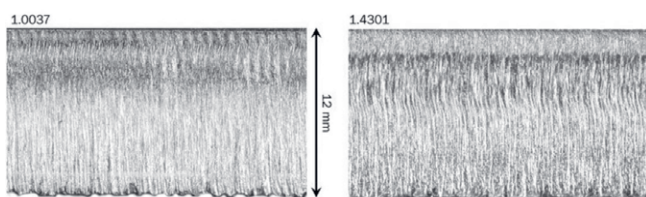
Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff- und Strahltechnik] i Dresden sysslar med dynamisk strålomformning [DBS = Dynamic Beam Shaping] som en lösning på utmaningen med att laserskära grövre plåtar. Tekniken adresserar hög produktivitet, förbättrad snittkvalitet och effektivitet kombinerad med standardutrustningar, och man betraktar densamma som en tilläggfunktion till konventionella processer.

Konceptet baseras på två överlagrade rörelser hos laserstrålen. Den första är den robotiserade rörelsen hos själva skärmaskinen, som programmeras med avseende på skärbana och -hastighet. Den andra rörelsen är en högfrekvent oscillering av laserstrålen inuti skärspalten. Som en konsekvens av detta fördelas laserenergin mer homogent i materialet vilket gör att man erhåller en optimal skärspalt.

I motsats till statisk strålomformning är DBS en rumslig och tidsmässig metod under skärprocessen med obegränsade variationsmöjligheter. Förutom fastkroppslaserns standardkomponenter krävs att en tvådimensionell skanner-enhet integreras i skärverktyget. Skannern består av två oscillerande speglar med vars hjälp laserstrålen ges ett definierat rörelsemönster i fokalplanet. All nödvändig hårdvara för DBS finns idag tillgänglig att integreras i standardskärmaskiner. Skärverktygets optiska egenskaper påverkas inte eftersom skannern placeras mellan kollimeringslins och skärverktyg. *Fraunhofer IWS* arbetar just nu med att ytterligare optimera hårdvarukomponenterna, minska skanner-enhetens storlek och utveckla en mindre drivmekanik. Själva skannern tillhandahåller ytterligare fem justeringsmöjligheter i laserskärprocessen. Sålunda har varje spegel en tidsbestämd position styrd av en viss frekvens och amplitud. Färförskjutningen mellan de båda speglarna utgör den femte



Som det här urvalet av DBS-mönster visar är en oändlig mängd av godtyckliga rörelsemönster hos laserstrålen möjliga.



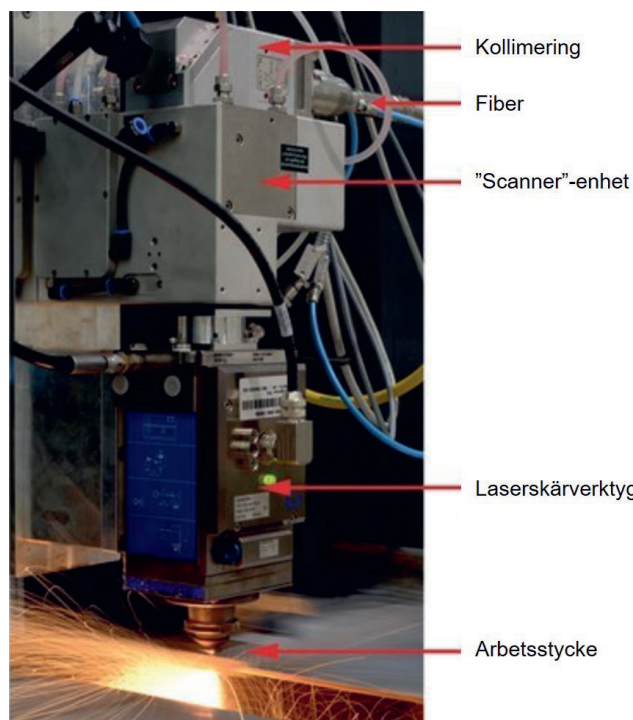
Laserskurna snittkanter i materialen mjukt kolstål t.v. och rostfritt stål t.h. utförda med dynamisk strålomformning och 3 kW lasereffekt. Stålblätens snittytor är såväl slagg- som oxidfria, medan efterbearbetningen av den rostfria ytan minimeras tack vare DBS-tekniken

parametern för att kontrollera skärspaltens framställning. Som ett resultat av detta blir det möjligt att skapa en oändlig mängd godtyckliga rörelsemönster hos laserstrålen. Därtill kan, beroende på valda parametrar, oscilleringshastigheten hos laserstrålen inuti skärspalten uppgå till cirka 500 m/min! Den artificiella strålgeometri som skapas genom DBS kan enkelt justeras genom ett mjukvaruprogram så att den passar för olika skäruppgifter. Dock är den rätta inställningen av oscilleringsparametrarna för varje skäruppgift nyckeln till ett lyckat resultat. Därför krävs det expertkännedom om alla ingående parametrar såsom materialtyp, godstjocklek, optikutformning och typen av laserkälla.

Förbättrade skärnsnitt

En rutin då man använder statisk strålomformning är att anpassa optikinställningen för olika uppgifter. Laserskäring av tunnplåt kräver en mycket liten fokuspunkt, medan sönderdelningen av grovplåt lämpligtvis sker med fokuspunktsstorlekar kring 200 µm. Sådana skillnader kräver utbyte av skeroptiken. Vid DBS-understödd laserskäring kan ett byte från tunn- till grovplåtsskäring ske utan något verktygsbyte och därmed utan medverkan från en operatör. Den korrekta strålformen för en viss skäruppgift blir istället en smart parameteruppsättning lagrad i en databas, och där laserstrålen manipuleras via ett förprogrammerat rörelsemönster. Endast en universell skeroptik krävs, varför det inte föreligger något behov av ett större lager av olika optiker, samtidigt som man eliminerar risken för fel som uppstår vid verktygsbyten och därtill hörande processanpassningar.

Förutom att vara ett användarvänligt system förbättrar DBS också såväl processhastighet som snittkvalitet. Genom att öka den användbara processhastigheten kan antalet skurna detaljer per tidsenhet ökas och därmed reduceras kostnaden för varje



Införandet av DBS-tekniken kräver en tvådimensionell skanner-enhet, som arbetar med hög frekvens, förutom gängse standardkomponenter för laserskäring. Skannern placeras mellan kollimeringslins och skärverktyget för att inte påverka det sistnämndas optiska egenskaper.

laserskuren meter. En högre skärhastighet medför en mer vinklad framkant av skärfronten, vilket förstör interaktionsytan mellan laserstråle och material, reducerar effektförluster och förbättrar laserskärprocessens verkningsgrad.

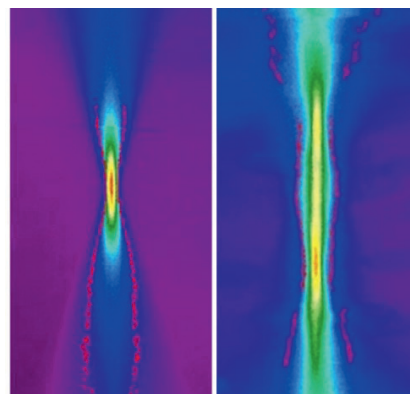
Den högre verkningsgraden gör att så gott som alla typer av fastkroppslasrar kan använda DBS för skärning av tjocka plåtar. Vid exempelvis lasersmältskäring av rostfri eller mjuk stålplåt över 8 mm har man påvisat att produktivitetsökningar uppemot 200% är möjliga utan en motsvarande ökning av lasereffekten. Skärkvaliteten vid DBS är också den bättre jämfört med skärning utförd med statisk strålomformning vid likvärdig lasereffekt, och processtabiliteten uppfyller etablerade industrinormer. I kombination med kommersiella sensorer och avancerad signalbearbetning kan laserskärprocessen optimeras ytterligare.

Vid skärning av rostfritt material minimerar DBS efterbearbetning eftersom slaggprodukterna reduceras avsevärt, samtidigt som skärspaltens väggar är näst intill parallella.

Hittills har det inte varit möjligt att lasersmältskära kolstål i plättjocklekar över 8 mm med en acceptabel snittkvalitet. Med DBS blir det möjligt att skapa slagg- och oxidfria snittkanter. Resultaten från lasersmältskäring av såväl rostfritt som kolstål, vilken har utförts med 3 kW lasereffekt, visar att snittkvaliteten är likvärdig med den som uppnåtts med högre effekt och statisk strålomformning. Den reducerade efterbearbetning som DBS-tekniken medför minskar behovet av såväl manuellt arbete som maskinutrustning jämfört med andra processer. DBS kan även användas för andra processer där material skall avverkas som exempelvis vid laserborrning, samtidigt som tekniken möjliggör skärning av material som tidigare varit svåra att separera med laser som exempelvis aluminium. ■

Utökad skärpedjup vid laserbearbetning med hjälp av en innovativ strålomformningsoptik

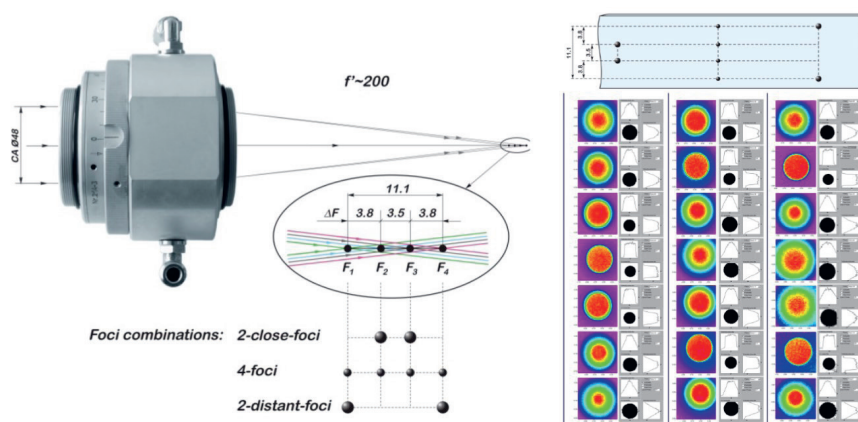
Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering



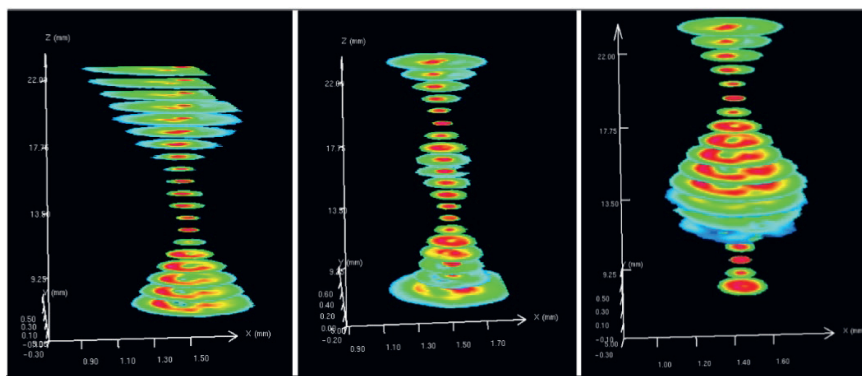
Vare sig det handlar om skärning eller svetsning av olika material med laser är slutresultatet beroende av storlek, form och intensitet hos det laserljus som projiceras på arbetsstycket. Standardoptiker för dessa ändamål levererar en laserstråle med Gaussisk energifördelning där en bestämd stråldiameter fokuseras till en enda fokuspunkt. På senare tid har det utformats diffraktiva optiker, s.k. DOE [Diffractive Optic Elements] med vars hjälp det går att skapa flera fokuspunkter utefter laserstrålens utbredningsriktning. Detta innebär ett ökat skärpedjup, s.k. DOF [Depth Of Field] hos laserstrålen, vilket gör laserprocessen mindre positioneringskänslig, samt förbättrar såväl svets- som skärkvalitet vid bearbetning av tjockare material kring exempelvis 10 mm. En variant av en sådan flerfokusoptik kan skapa två närliggande eller två distanserade fokuspunkter alternativt fyra fokuspunkter med samma inbördes avstånd längs laserstrålens utbredningsriktning. Detta medför en signifikant skillnad då det gäller laserenergens utbredning i arbetsstycket. Dessa flerfokusoptiker är väsentligen att betrakta som refraktiva strålomformningssystem bestående av ett flertal optiska element med extremt släta, polerade ytor som har hög motståndskraft mot den kraftiga strålning de utsätts för av högeffekts- eller ultrakortpuls-lasrar. Idag finns på marknaden optiker som kan leverera upp till sju separata fokuspunkter, men teoretiskt sett finns det egentligen ingen begränsning av antalet, varför vi i framtiden kan räkna med att få se optiker som kan skapa flera dussin simultana fokuspunkter. Detta går helt i linje med utvecklingen av alltmer kraftfulla laserkällor, vars effekt på så sätt kan distribueras på ett effektivt sätt längs laserstrålens optiska axel. En konventionell optik, som skapar en fokuspunkt, medför att man får en hög energikoncentration just i denna, men där energitätheten snabbt avtar ovanför och under

densamma. En optik som däremot bygger på fyra separata fokuspunkter medför en förlängd och longitudinellt tämligen konstant strålprofil, vilken är användbar vid exempelvis hålbörning för att därmed minimera uppkomsten av metallsprut. Likaså finns ingen begränsning då det gäller fokuspunkternas placering relativt varandra utan positioneringen väljs med hänsyn till applikation och det material som skall bearbetas för att exempelvis reducera svets-sprut eller åstadkomma bättre snittkvalitet vid laserskärning eller -börning. Vid exempelvis laserskärning av grövre plåtar garanterar det förlängda

skärpedjup som flerfokusoptiken ger en jämn energifördelning över hela materialjockleken, vilket innebär ett snabbare skärförlopp och högkvalitativa snittytor. Likaså då man laserskar spröda material innebär metoden med flera fokuspunkter att sprickpropagering inuti materialet blir lättare att undvika jämfört med den stokastiska spricktillväxt som oftast sker då endast en singular fokuspunkt används. Därför finns numera skräddarsydda optiker att tillgå vid laserskärning av sprickkänsliga material såsom glas, safir och kiselkarbider. ■



Ovan principen för en optik som skapar flera fokuspunkter utefter laserstrålens utbredningsriktning, och t.h. variation av strålprofil och energifördelning längs med laserstrålens optiska axel vid två närliggande fokuspunkter (t.v.), fyra fokuspunkter (mitten) och två distanserade fokuspunkter (t.h.).



Tredimensionell isometrisk beskrivning av energifördelningen vid användning av en strålomformningsoptik som ger två närliggande fokuspunkter (t.v.), fyra fokuspunkter (mitten) och två distanserade fokuspunkter (t.h.).



”Säsongsstyrd laserskärning” hjälper engelsk tillverkare att öka sin konkurrenskraft

Laserskärning av komponenter bidrar till ökade marknadsandelar hos en tillverkare av utrustningar för vinterunderhåll

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering

Om du under den här vintern skulle råka befinna dig i Storbritannien och hamna bakom ett fordon som sprider ut sand eller salt på vägen, finns det en 80%-ig sannolikhet att det har inköpts eller hyrts från Econ Engineering [Ripon, England] som är ett företag som specialiserat sig på utrustningar för vinterunderhåll [Fig. 1]. Man är nämligen det största företaget i branschen i Storbritannien och producerar 360 enheter om året i sin drygt 8.000 m² stora fabrik, vilken öppnades 1980. Lägg därtill att man driver en växande uthyrningsflotta av dylika, fordon vilken för närvarande uppgår till 800 enheter, så förstår man varför årsomsättningen ökat upp till mer än 400 miljoner svenska kronor, vilket gör firman till en av de största bidragsgivarna i den lokal ekonomin.

Under sitt femtionde verksamhetsår har Econ upplevt en aldrig tidigare skådad orderbok vilket delvis kan förklaras med de senaste årens hårda vintrar, men också av företagets multi-plattformsbaserade produkter som gör att kunder kan använda ett och samma chassi för ett flertal arbetsuppgifter. Dessa kan omfatta såväl vägbanereparationer som vinterunderhåll vilket gör att gjorda investeringar blir användbara under hela året.

Econ Engineering, med 220 medarbetare, dominerar marknaden mycket tack vare sina produkters förstklassiga kvalitet, samt att man själva står för allt konstruktionsarbete och all tillverkning. Särskilt har plåtbearbetningsutrustningar från Bystronic Laser AG i Niederörs i Schweiz under senaste 15 åren hjälpt till vid komponenttillverkningen att innehålla snäva toleranser, vilket styrker företagets rykte om att tillverka produkter med toppkvalitet.

På 1950-talet startade en man vid namn Bill Lupton en verksamhet i en lada på familjens bondgård där han tillverkade slätter- och häckklippningsmaskiner för att med dessa klippa vägrenar och buskhäckar på ett mer effektivt sätt. Vintern 1962-1963 drabbades England av extremt kalla väderförhållanden, vilket mer eller mindre förlamade landet, och många

invånare kom att bli isolerade under flera veckor. Detta inspirerade emellertid Mr. Lupton till att börja utveckla det första fordonet avsett för saltspridning, vilket han hoppades skulle kunna bidra att få landet på fötter igen och på nytt sätta industrins hjul i rullning.

För att tillverka dessa fordon startade han 1969 företaget Econ Engineering i en gammal bryggerianläggning i Ripon. På den tiden hade motorvägen M1 öppnats, liksom vissa delar av M2, M4 och M6, och lokala fullmäktige, särskilt i Lancashire och Westmorland, uttryckte ett avsevärt intresse för vinterunderhåll av vägnäten. Särskilt då spridning av salt eller sand för att göra bilkörningen säkrare.

En andra generation av familjen Lupton, i form av Jonathan och Andrew [Fig. 2], tog över verksamheten 2003 och bidrog med att utveckla uthyrningsavtal för spridare och snöplogar vid en tidpunkt då nedskärningar i den offentliga finansieringen gjorde det svårt för entreprenadföretag att investera i nya utrustningar. För att ytterligare förstärka denna del av verksamheten utökades fordonsflottan 2005 genom förvärvet av ett större konkurrentföretag.

Det var också i början av 2000-talet som den första planskärningsmaskinen från Bystronic kom att ersätta en stanspress

och en plasmaskärningsmaskin för bearbetning av merparten av sina komponenter, vilka tillverkas från plåtämnen av lågkolhaltigt stål [Fig. 3]. Förutom att användas vid tillverkningen av salt- och sandspridande utrustningar används komponenterna för snöplogar samt fordonsöverbyggnader för motorvägsunderhåll och vägreparationer. De senare monteras av Econ på lastbilsschassier tillhandahållna enligt beställarens specifikation.

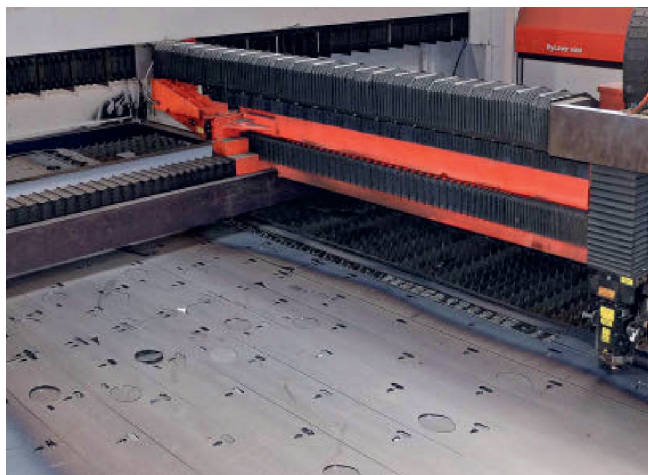
Planskärningsmaskinen, en ”ByStar 4020” med 4 kW effekt från en CO₂-laser levererad av Bystronic UK i Coventry, ökade såväl produktionskapaciteten som geo-



Figur 1. En sand- och saltspridare från Econ Engineering i arbete någonstans i Storbritannien förra vintern.



Figur 2. Jonathan (t.v.) och Andrew Lupton är idag stolta verkställande direktörer i familjeföretaget Econ Engineering.



Figur 3. Interiör från planskärningsmaskinen där lågkolhaltiga plåtämnen laser-skärs till inte mindre än 87.000 olika komponenter.



Figur 4. 6 meter långa formatplåtar med standard-bredden 1.830 mm lagras i s.k. racks. I bortre delen av fotot ser man hur en sådan plåt är på väg att överföras till skärslans växelbord.



Figur 5. Inledningskedet av påbyggnadsprocessen får varje lastvagnschassi sitt unika serienummer för att förenkla spårbarheten av det färdig-utrustade fordonet.

metrinoggrannheten hos de laserskurna komponenterna. Plåtämnen i storleken 4x2 meter gick att bearbeta i maskinen, medan senare installerade 4,4 kW- och 6 kW-enheter klarar plåtar med mått upp till 6,5x2 meter, men idag använder Econ helst den standardiserade plåtbredden på 1.830 mm [Fig. 4]. Detta beror på att plåtämnena klipps från rullar producerade vid europeiska stålverk och därmed garanteras att materialspecifikationerna uppfyller de högt ställda kvalitetskraven. Större karosspaneler kan produceras utan svets skarvar och produktiviteten av mindre artiklar höjs genom möjligheten att ”nesta” optimalt antal delar i varje enskild plåt, något som även reducerar mängden skrotmaterial.

Den nuvarande planskärningsmaskinen, som installerades 2014, arbetar dygnet runt och skär upp till 35 ton plåtmaterial i veckan. 87.000 olika komponenter produceras i seriestorlekar mellan 5 och 30 enheter och med toleranser ner till 0,5

mm. Med en så stor mängd av artikelnummer använder sig Econ i stor utsträckning av moderna mjukvarubaserade resursplaneringsverktyg i sin produktion, liksom färgkodning av komponenterna på verkstadsgolvet, vilken anger materialkvalitet, plåttjocklek och produkttyp.

Bystronics ”off-line”-program ”BySoft” placerar ut komponenterna för optimalt utnyttjande av plåtämnena. Därefter skapas skärbanorna, något som ofta sker 14 dagar innan det schemalagda produktionsstillfället så att aktuellt plåtmaterial kan avropas just innan det skall användas, och under själva skärprocessen monitoreras denna i realtid. Sammantaget blir effekten av de här åtgärderna en uppenbar produktivitetförbättring med en maskinutnyttjandegrad på 63%, d.v.s. den tid då laserstrålen verkligen skär plåtmaterial.

Mer än 70% av detaljerna som levereras ut från planskärningsmaskinen bockas sedan i tre kantpressar från Bystronic. Två av

dessa är placerade jämte varandra och kan användas antingen individuellt eller vid tandem-bockning av större komponenter. Det finns även en mindre kantpress [40 ton/m] från företaget Xpert som används för att bocka mindre komponenter mera kostnadseffektivt. Denna kan också enkelt flyttas runt i verkstaden allt efter behov.

”Vi har alltid försökt att förbättra våra tillverkningsprocesser och införa nyheter i vår strävan efter perfektionism, något som inte illustreras på ett bättre sätt än när vi installerade laserskärning i vår fabrik”, säger Jonathan Lupton, en av de nuvarande verkställande direktörerna. ”Trots att en planskärningsmaskin innebär en avsevärd investeringskostnad i början utgör den ett exempel på vår ambition att vara marknadsledande i branschen. Den här investeringen har redan betalat av sig i termer av en ökad produktivitet, samtidigt som det skurna detaljernas geometriska exakthet nästan helt eliminerat behovet av injustering inför efterföljande sam-

mansättningsoperationer som exempelvis svetsning, vilka medför sekundära kostnadsbesparingar”.

Jonathan fortsätter: ”Vår konkurrenskraft har stärkts ytterligare då vi inte bara fokuserar på produktkvalitet utan också på våra kunders verkliga behov. Därför har vi ett för Storbritannien rikstäckande nätverk av serviceverkstäder för underhåll och kalibrering av våra utrustningar så att säga ”ute på fältet”, där den senaste anläggningen öppnade i Cardiff under våren.

1989 var Econ först med att lansera en lösning där man snabbt och enkelt kan växla mellan olika påbyggnadsalternativ och på så sätt använda ett och samma chassi för ett flertal olika applikationer

[Fig. 5]. T.ex. kan en värmelåda för asfalt adderas då fordonet skall användas för vägreparationer, eller kan det kompletteras med ett tippflak, en kran eller en grävskopa. Detta reducerar myndigheternas kapitalinvesteringar då man inte längre behöver en hel flotta av olika fordon för det vägunderhåll som skiftar med årstiderna!

En ny uppfinning av företaget är ett system med vars hjälp spridningsbredden av salt och sand från förarhytten och automatiskt optimerar mängden använt material, vilket sparar onödigt slöseri samtidigt som man skyddar vägbanan. Med touch-kontroll från hytten kan man höja eller sänka snöplogen, aktivera spridarens

ljusramp med flera andra funktioner, vilket gör förarens uppgifter enklare och mindre tröttande. Kontrollenheten är också kopplad till fordonets GPS [Global Positioning System] för att hjälpa till att finna det effektivaste vägvalet. ”Våra framtidsvisioner innefattar nya tekniker som förlösa fordon och vätskor i stället för salt som avisningsmedel, vilket vi tror är mindre skadligt för vägbanorna”, avslutar visionären Jonathan Lupton, en man som onekligen tror på en fortsatt utveckling av ett framgångsrikt företag. ■



Delivering Econ's
engineering standards
for over 50 years.

ECON





Digitalisering bidrar till att öka effektiviteten vid fjärrlasersvetsning menar Thibault Bautze

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering

Under senare år har mitt intresse för processövervakning och kvalitetskontroll i realtid av olika laserprocesser vuxit, och detta accentuerades ytterligare då jag i samband med LAF [Laser Anwender Forum] -konferensen i Bremen 2019 kom i kontakt med Herrn Thibault **Bautze** från *Blackbird Robotersysteme GmbH*. Det visade sig att vi hade flera gemensamma intresseområden, vilket ledde till många djuplodande teknikdiskussioner i ämnet processövervakning. Den gode Thibault kunde delge mig sina erfarenheter kring de optiklösningar som utvecklats i deras laboratorium i Garching, och som kan effektivisera de processer för fjärrlasersvetsning [Remote Laser Welding (RLW)] redan idag används av flera biltillverkare.

Samtidigt som skanner-baserad lasersvetsning av påhågsdetaljer, sätes- och karosstrukturer [Body-In-White (BIW)] är att betrakta som State-of-the-Art hos flertalet OEM:s [Original Equipment Manufacturers] och deras underleverantörer, ser vi en kraftig tillväxt av tekniken applicerad på "e-mobility" och lättviktsstrukturer. Det finns emellertid möjligheter att effektivisera existerande applikationer för fjärrlasersvetsning, speciellt då det gäller påhågsdetaljer, genom att använda s.k. Optical Coherence Tomography [OCT].

Initialt introducerades OCT-teknologin som ett verktyg för att samla in och spara information från lasersvetsprocessen. Själva OCT-sensorn är en optik som möjliggör avståndsmätning mellan två punkter med hög insamlingsfrekvens och en upplösning som ligger under μm -nivå, och som har sin egen ljuskälla i form av en laser med en effekt på några få mW. Avståndsmätning kan därför ske i smältbadets omedelbara närhet och t.o.m. i själva nyckelhålet, vars djup därmed kan registreras och utgöra ett mått på svetsens penetrationsdjup.

OCT-strålen kan manipuleras med en 2D-skanner som förflyttar mätpunkten längs det fördefinierade skannings-mönstret, och därmed skapar vad man kan kalla "topografiska kartor". Den sålunda insamlade data av höjdvariationer kan användas för olika ändamål, men i fallet med lasersvetsning främst för fogsökning och -följning samt analys av den utförda svetsens topptyta. Traditionellt har sådana mätningar utförts med s.k. triangulering, en metod som är begränsade till en svetsriktning och endast lämpad för stationär optik eller åtminstone mycket begränsade arbetsområden vid fjärrlasersvetsning. Genom att förse en traditionell svetsoptik med en dylik 2D-skanner kan den, i förhållande till den svetsande laserstrålen, koaxiellt infallande OCT-strålen utföra en mängd olika mätuppgifter.

Svetsning "on-the-fly"

Den implementering av OCT-tekniken som utvecklats hos *Blackbird Robotersysteme GmbH* har som mål att utöka förmågan för "on-the-fly"-processer vid användning av en robotburen 3D-skanner [Fig. 1]. Denna typ av svetsning, såsom den används idag, maximerar processhastighet och cykeltid, men saknar förmågan för fogföljning. En sådan är viktig då kälfogar är ett bättre alternativ till överlappsedito då det handlar om konstruktionsutformning för viktsbesparing och svetsning av aluminium utan tillsatsmaterial. Genom att använda OCT identifieras fogkanten och därmed kan laserstrålen mycket precist följa kanten under svetsningen.

Emellertid kan en spalt uppträda mellan plåtarna orsakad av termiska distorsioner, otillräcklig fixering eller alltför stora tillåtna toleranser. En högfrekvent strålscillering [pendling] som automatiskt anpassar sig efter spaltens storlek och variationer har visat sig vara ett lämpligt sätt att lösa problemet. Grundläggande svetsparametrar är här pendlingens amplitud, effektfördelning och den relativa positioneringen av laserstrålen vis-a-vis topplåtens kant. Alla dessa parametrar justeras i realtid som funktioner av den uppmätta spaltens storlek med den av Blackbird utvecklade lösningen.

Den högfrekventa oscillering, som utförs av 3D-skannerns galvospeglar för att manipulera laserstrålen som utför svetsoperationen, avlänkar också den avståndsmätande OCT-strålen. Denna klarar oscilleringsfrekvenser upp till 1 kHz utan att kvalitén hos de insamlade topografivärdena från arbetsstycket försämras. **Figur 2** avbildar fyra olika OCT-skanningar utförda med en intelliWELD PR 3D-skanner vid olika oscilleringsfrekvenser. Inga relevanta skillnader kan observeras i dessa rådata vilket bevisar användbarheten av OCT för svetsning utförd med en oscillerad laserstråle.

Kombinationen av riktningsoberoende fogföljning, samtidig OCT-skanning och strålscillering för ökad spaltöverbrygnadsförmåga tillsammans med en 3D-skanner kapabel för svetsning "on-the-fly" innebär ett högpresterande verktyg som möjliggör ett brett spektrum av användningsområden.

Svetsning av batteridelar

Den växande sektorn för "e-mobility" medför att nya komponenter krävs för sådana fordon, de flesta av dessa går att hänföra till energilagring och drivlinor. En vanlig applikation är svetsning av batterilådor samt kopplingen mellan batteriernas poler till strömskenan. Då den senare monteras till en lång rad av batterier överstiger arbetsstyckets dimensioner skanner-verktygets arbetsområde, varför detta eller själva arbetsstycket måste manipuleras i rymden. Idag baseras de flesta svetstillämpningar på en stationärt arbetande skanner. Detta innebär att dyrbar svetstid går förlorad då skanner-verktyget måste flyttas från en grupp av svetsar till en annan. Dessutom träffar laserstrålen arbetsstycket med olika infallsvinklar vilket leder till variationer hos utseendet hos svetsarnas tvärsnitt. En robotbaserad svetsning on-the-fly kan förbättra situationen, men innebär samtidigt ökade kostnader i form av större golvyta och investeringen för en industrirobot.

Då de flesta rader av batterier är orienterade som plana tvådimensionella geometrier kan skanner-verktyget förflyttas med hjälp av en eller två linjära axlar. Blackbird har realiserat en sådan hanteringslösning med möjlighet till svetsning on-the-fly, som man valt att benämna "realtidsutsträckning" eller RTX [Real-Time Extension] vilken möjliggör inmatning av två olika kodomvandlande signaler i skanners kontrollenhet. Verktygets faktiska läge längs linjärxaxeln används för att kontrollera skanner-verktygets avlänkning av laserstrålen, vilket möjliggör svetsning av arbetsstycken i storleksordningen flera meter under en enstaka kontinuerlig verktygsrörelse. Det bästa vore att skannern kan förflyttas med en hastighet som är så hög att laserkällans "off-time" minimeras. Försök utförda i laboriemiljö bekräftar att en effektiv "on-time" för lasern kan överstiga 99% vid svetsning av en strömskena till en rad av batterier.

Vidare matas data från kodomvandlaren in i Blackbirds mjukvaruprogram RoboSyncUnit© som därpå ger en förhandsvisning om skannerns tilltänkta rörelsebana. I ett andra steg kan svetsprocessen justeras manuellt genom att man antingen minskar den improduktiva tiden för lasern eller optimerar laserstrålens infallsvinkel för varje enskilt svetsstyg. Slutligen kan en icke effektiv "off-time" minimeras genom att öka hastigheten hos linjärxaxlarnas rörelser.

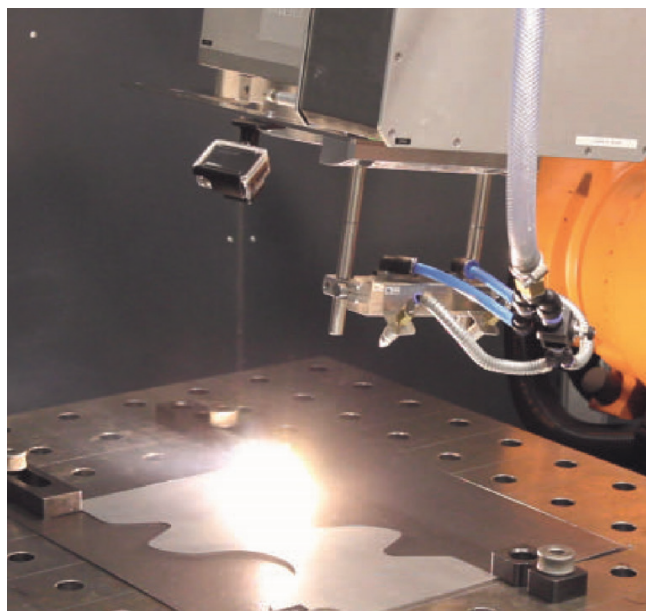
Med RTX ges möjlighet att förbättra förutsättningarna vid tvådimensionell lasersvetsning exempelvis för batteriapplikationer. Kombinationen av linjärxaxlar och skanner-baserad lasersvetsning maximerar produktiviteten. En av de första anläggningarna där RTX integrerats i produktionsflödet har byggts av företaget *StramaMPS* i Straubing, GER, och kan i ett dedikerat processupplägg tillverka över 100.000 enheter om dagen.

Svetsning av "hårnålar"

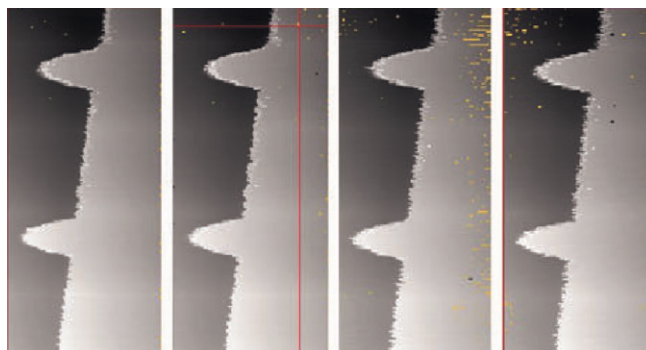
Tillsammans med energilagring lär vi få se en omfattande och snabb tillväxt av drivlinekomponenter för "e-mobility". Svetsning av kopparvagnar, populärt kallade "hårnålar", till de statorer som ingår i elektriska motorer har under senare år utgjort ett omfattande applikationsområde för lasersvetsning. En förklaring till succén ligger inte enbart i ett korrekt val av processparametrar

utan minst lika mycket i en framgångsrik implementering av tekniker för maskinvision som detekterar sagda vagnar, justerar och optimerar svetsprocessen och sedan också utför en bedömning av svetskvaliteten.

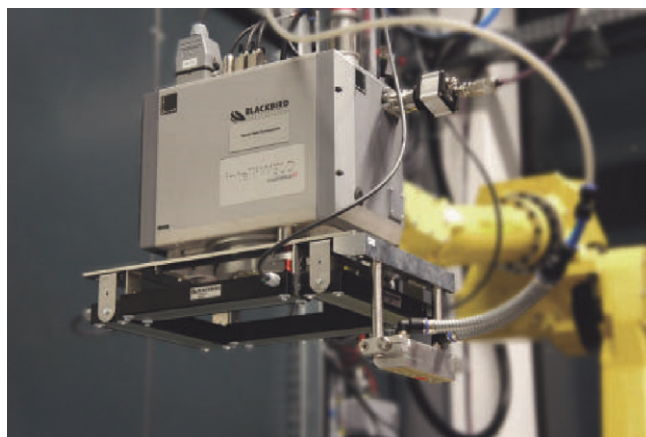
Det nyligen lanserade verktyget ScaVis® [Scanner Vision] utökar dugligheten hos en 2D- eller 3D-skanner genom kompletteringen med en koaxiell kamera med egna belysningsmoduler [Fig. 3]. All den bildanalys som krävs utförs med särskilda



Figur 1. Med hjälp av OCT skapas möjligheter för riktningsoberoende fogföljning vid fjärlasersvetsning "on-the-fly".



Figur 2. Rådata från fogföljning med OCT vid strålscillering med fr.v. 0, 250, 500 och 1.000 Hz.



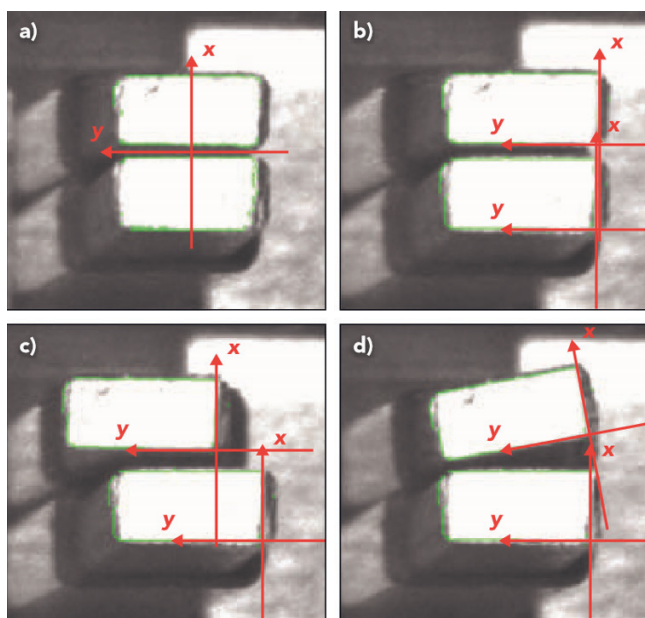
Figur 3. Blackbird-skannern IntelliWELD PR utrustad med ScaVis®, en koaxiell kamera med integrerade belysningsmoduler.

åtgärdsfaktorer vilka är integrerade i mjukvaran för lasersvetsningens arbetsflöde. I fallet med hårnålsapplikationer krävs en exakt lokalisering av vajrarnas lägen innan svetsoperationen kan påbörjas.

Eftersom den relativa orienteringen mellan vajrarna kan variera p.g.a. spalter, fellinjering eller olika vinkelförhållanden blir möjligheten att detektera läget för varje individuell vajer viktig för att kunna hantera dylika avvikelser [Fig. 4]. Baserat på varje vajerändes läge anpassas processparametrar som lasereffekt och oscilleringsmönster så att dessa kan användas under fjärrlasersvetsningen. Om ett mått överskrider ett visst förutbestämt tröskelvärde utförs ingen svetsning av en sådan felpositionerad eller skadad ”hårnål” för att hindra ytterligare förstörelse av statorenheten. Däremot sker en återkoppling till kontrollenheten [PLC = Programmable Logic Controller], vilket gör operatören uppmärksam på att vissa svetsar inte har blivit utförda, utan manuell justering av de felaktiga vajrarna måste göras. Detta tillvägagångssätt i tre steg, svetsning med ordinarie parametrar, svetsning med anpassade parametrar, eller ingen svetsning alls, maximerar produktiviteten och förhindrar att man fördärvar kompletta statorenheter.

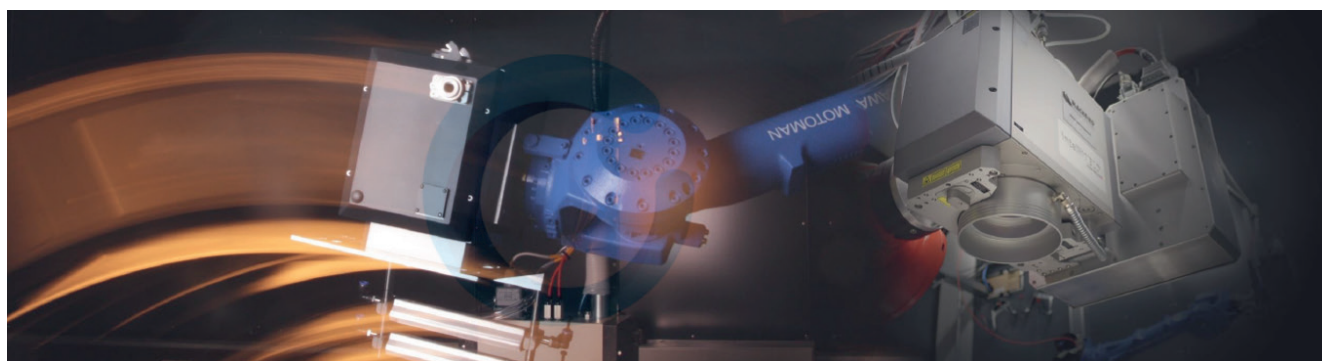
Slutsatser

De tre applikationer som här har beskrivits, d.v.s. RLW av påhågsdetaljer med fogföljning, svetsning ”on-the-fly” med linjära rörelseaxlar i combination med ett skanner-verktyg, samt maskinvionsstödd lasersvetsning av ”hårnålar”, drar alla nytta av en långt driven kommunikation mellan sensorer, manöverdon, skanner och kontrollenheter. Datahantering och delning av data



Figur 4. Parvis positionsdetektering av ”hårnålar” (a), detektering av läget för en enskild ”hårnål” (b), lateral förskjutning (c) och vinkelfel (d).

mellan alla dessa komponenter är sålunda viktiga element som bidrar till att öka kvalitet och produktivitet, av vilket följer ett lägre pris per tillverkad detalj. En sådan utveckling är avgörande för att kunna hantera konkurrerande fogningsmetoder och ökande arbetskostnader. Därmed har digitaliseringen visat sig bli en stöttepelare för framtida fjärrlasersvetsning. ■





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

PERMAFLEX
samlad kunskap i en robotcell



Kvalitet. Produktivitet. Lönsamhet.
www.permanova.se



The northernmost University of Technology in Scandinavia
World-class research and education

Welcome to the 18th

NOLAMP Conference

Nordic Laser Materials Processing

24-26th August 2021 in Luleå, Sweden

- Additive manufacturing
- Welding
- Cutting
- Surface treatment
- Laser systems
- ... and any other laser materials processing

Conference language: **English**

Abstract submission by: **15th January 2021**

Manuscript submission, for peer review by: **31st March 2021**

Industrial contributions by: **30th May 2021**

Welcome!

Jan Frostevarg and Alexander Kaplan, LTU

Contact information, registration and updated details:
www.ltu.se/nolamp



LULEÅ
UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY