

Lasernytt



1-2020



LASERDAG HOS PERMANOVA

- svetsning, industriella tillämpningar, trender, demonstrationer.....och mingel



Forskning inom additiv tillverkning



EALA [European Automotive Laser Applications Workshop] i Bad Nauheim



FORMNEXT - branschmessa



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

PERMAFLEX
samlad kunskap i en robotcell



Kvalitet. Produktivitet. Lönsamhet.
www.permanova.se

Lasernytt utkommer med 3 nummer/år och ges ut av

Lasergruppen c/o Svetskommissionen
Box 5073, 102 42 Stockholm
Telefon: 08-120 304 03

Redaktör

Hans Engström
Telefon: 070-626 90 96
E-post: hans.engstrom@levitronics.se

Redaktionellt arbete och kansli

Per Westerhult
Telefon: 08-120 304 03
E-post: per.westerhult@svets.se

Ansvarig utgivare

Per Westerhult

Lasernytt på Internet

www.lasergruppen.eu

Omslagsbild

Mingel under LaserDagen hos
Permanova Lasersystem AB

Produktion: BrandFactory

Tryck: BrandFactory, Stockholm
www.brandfactory.se

LASER
LASERGRUPPEN

INNEHÅLL

E-MOBILITY OCH ADDITIV TILLVERKNING	2
LASERDAG HOS PERMANOVA - med svetsning i fokus	11
FORSKNING INOM ADDITIV TILLVERKNING VID HÖGSKOLAN VÄST I TROLLHÄTTAN	17
ACCEL - ADAPTED CHEMICAL COMPOSITION OF MATERIALS FOR ENHANCED LASER WELDING	19
BLIR TILLVERKNING AV "E-DRIVE"- KOMPONENTER NÄSTA STORA ANVÄNDNINGSMÅL FÖR LASERTEKNIKEN?	20
Rapport från 21st European Automotive Laser Applications, 11-12 februari i Bad Nauheim, Frankfurt a.M.	
LASERSVETSNING; PARAMETRARS INVERKAN PÅ MEKANISKA EGENSKAPER	26
FORMNEXT - centrum av additiv tillverkning	29
LASER PROCESSING AROUND THE WORLD, DEL 13 Ytbeläggning med hjälp av laser förbättrar processen för volymtillverkning av ventilståten hos Toyota Motor Company	32
SAMTAL KRING LASERTRENDER DEL 35 Del 35	34

Tankar från styrelsen



TANKAR FRÅN STYRELSEN

JOHNNY K LARSSON, AUTOKROPOLIS ENGINEERING

Behövs Lasergruppen i framtidens digitala värld?

För *Lasernytt*s läsare kan frågan tyckas vara minst sagt provokativ, men jag tycker ändå att det finns ett berättigande i att ställa den, med hänsyn tagen till det paradigmskifte som genomsyrar dagens informationssamhälle.

När *Lasergruppen* bildades 1988 var tanken att på ett opinionsbildande sätt främja verkstadsindustrins användning av laserteknik, samt att utgöra en plattform för kunskaps- och erfarenhetsutbyte mellan medlemmarna. Självklart är målsättningen densamma idag som för 32 år sedan, däremot kommer sagda plattformar utseende att radikalt förändras under kommande decennier!

Vi som var med under "pionjäråren" tillhör alla de s.k. 40- och 50-talisterna för vilka det har varit naturligt med fysiska träffar på *Laserdagar* och vid olika tillfällen för laserutbildning, men nu måste vi "släppa taget" och låta nya generationer, som har ett helt annat s.k. mind set än vårt, säkerställa *Lasernytt*s fortlevnad.

Digitalisering är ju ett begrepp som idag sätter sin prägel på såväl utbildning som näringsliv, och jag menar att detta är en utveckling som knappast går att hejda. Det viktiga är istället att se

till att utnyttja denna "cyber-värld", med dess digitala plattformar och distansutbildningar, på det vis som gagnar *Lasergruppen*s syften på bästa sätt.

Jag vet att merparten av våra medlemmar ser ett stort värde i att få träffas på våra *Laserdagar*, men betänkt då att framtida generationer, uppväxta med Smart Phones och läsplattor, kommer att se på informationsbehovet med helt andra ögon. Det mesta finns ju redan idag att söka på Internet, och kvalitén på funktioner som *Skype*, *Zoom* etc. för digitala möten och konferenser förbättras hela tiden. Visst kan vi "gamlingar" se ett mervärde i att träffas fysiskt, men jag tror inte att framtida generationer kommer att ha samma synsätt. Bra eller dåligt? - Jag lägger inga specifika värderingar på detta!

Den digitala världen är här för att stanna, så det är bara att "gilla läget". Samtidigt tror jag inte att vi idag kan föreställa oss hur den kommer att utvecklas, men jag tror att vi kan använda samma "klyscha" som en gång myntades för lasertekniken; *Det är bara fantasin som sätter gränserna!*



E-mobility och Additiv Tillverkning

var bara två av russin i laserkakan vid 2019 års upplaga av Laser World of Photonics Del 2

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering



Europas största evenemang för oss i laserbranschen måste utan konkurrens vara *Laser World of Photonics*, som arrangeras vart annat år vid IMM [*International Messe München*]. Detta är den andra rapporten från konerensen - Del 1 finns i LaserNytt 3-2019.

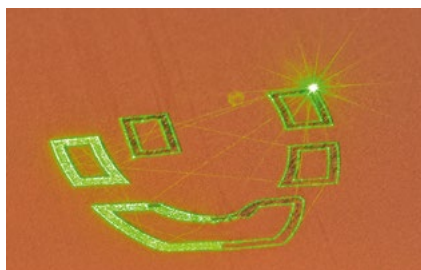
Application Panel Additive Manufacturing (forts)

Siste talare i sessionen var Daniel **Heußen** som är forskningsingenjör vid ILT i Aachen. Han beskrev de försök som gjorts vid SLM-tillverkning med kopparpulver och en s.k. grön laser från *Trumpf*. Denna har modellbeteckningen TruDisc1020 och är av cw [continuous wave] -typ med en våglängd på 515 nm. Toppeffekten är 1 kW och experimenten hade utförts med en 180 µm stor fokalpunkt. Som vi vet är absorptionen i koppar våglängdsberoende och en kortare våglängd är därför gynnsam [Fig. 49]. Detta visade sig bl.a. i att man uppnådde en densitet på 99,5% att jämföras med 98% som blev resultatet då en laser i det infraröda våglängdsområdet användes. Fem olika kopparlegeringar hade ingått i studien; CuCrNb, CuCrNi2Si, CuCr1Zr2, samt mässing [CuSn10] och brons [CuSn8]. Provobjekten hade byggts upp med en skiktjocklek på 30 µm

och ett inbördes avstånd på 100 µm mellan strängarna. Maximal elektrisk ledningsförmåga är också viktig då man bygger upp kopparstrukturer för exempelvis batteriapplikationer, och med den gröna lasern fick man höga IACS [International Annealed Copper Standards]- värden, d.v.s. med en elektrisk ledningsförmåga i närheten av den för ren koppar. Dock gick det inte att fastlägga något klart samband mellan elektrisk ledningsförmåga och densiteten hos de tillverkade provkropparna. 1 µm-lasern har en nästan tiopotens lägre absorption än "grön våglängd" i kopparmaterial, men detta går att förbättra genom att öka effekt och processhastighet, vilket vi sett i tidigare försök med lasersvetsning. Nackdelen är emellertid att processen blir instabil och parameterfönstret mindre i jämförelse med när

en "grön laser" används. Dessutom visade sig den senare vara överlägsen i fråga om produktivitet med en hastighet tre gånger så snabb som den för IR-lasern.

Låt mig komplettera informationen från applikationspanelen med ytterligare två presentationer kring additiv tillverkning som hölls vid andra tillfällen under *LiM*-konferensen. Den första handlar om konsekvenser av efterbearbetning av SLM-tillverkade objekt i form av värmebehandling och hölls av André **Edelmann** från *University of Applied Sciences i Aschaffenburg*. Provstavarorna tillverkades i en "LaserTec 30"-utrustning från DMG Mori och pulvermaterialet hade levererats av *LPW Technology* och utgjordes av materialet 1.2709. Detta är ett verktygsstål av maraging-typ med låg kolhalt och hög Nickelhalt. Stavarorna hade byggts upp i



Figur 49. Laserljus i det gröna våglängdsområdet har en tiopotens högre absorption i koppar jämfört med en infraröd våglängd. Vid SLM-tillverkning ger detta fördelar i form av en stabilare och snabbare process med högre densitet och bättre konduktivitet hos de tillverkade objekten.



Figur 50.

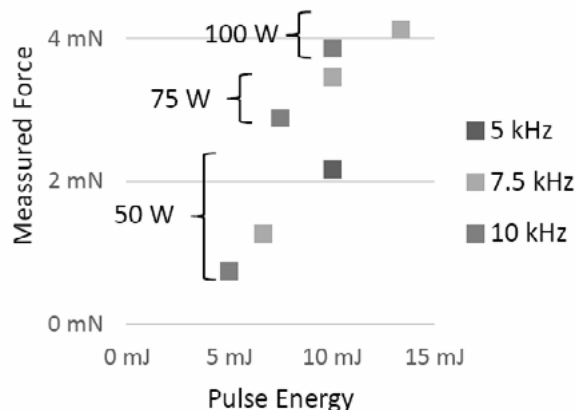
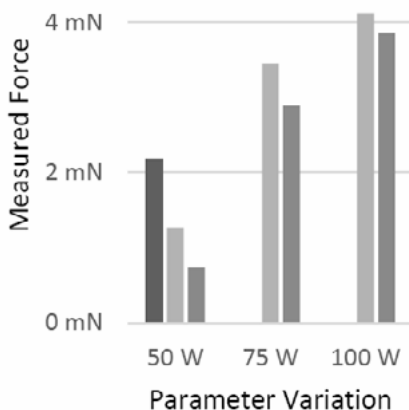
Ovan mikro- och submikrostrukturen hos fr.v. obehandlade, lösningshårdade och HIP-behandlade provstavar. Efterbehandlingen homogeniserar kornstrukturen och gör denna isotrop vilket gör att hållfastheten blir oberoende av byggnationsriktningen. Dock sänks hållfasthetsnivån genom att den initialt finkorniga strukturen förstörs.

fem olika riktningar relativt byggplattan; 0°, 22,5°, 45°, 67,5° och 90°. Efterbearbetningen skedde dels som lösningshårdning i en ugn typ LH 120/12 från Nabertherm, dels som HIP [Hot Isostatic Pressing] i en utrustning från *Quintus Technologies* [QIH 15L].

Hårdningen bidrar till att homogenisera kornstrukturen, medan HIP-behandlingen gjorde att porositeten i de tillverkade objekten minimerades och densiteten ökade från 97,30% till 99,90%. Behandlingen innebär också att mikrostrukturen blir näst intill helt isotrop, vilket gör att hållfastheten blir oberoende av byggnationsriktningen. Däremot gör den värme som tillförs både vid lösningshårdning och vid HIP att den initiala finkorniga strukturen förstörs och ersätts av block bestående av martensit, något som medförde att draghållfastheten minskade i jämförelse med de objekt som inte genomgick någon efterbehandling [Fig. 50]. Resultaten bör nog tas med en nypa salt, och här vill jag poängtera att den mekaniska provningen utfördes som statiska dragprov, då tidigare forskningsresultat visar på positiva effekter av värme- och HIP-behandling då det gäller cyklisk utmattningsprovning.

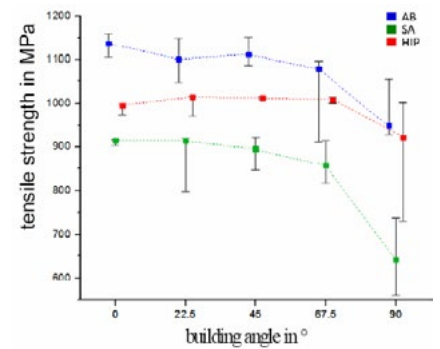
Att bygga strukturer med LMD och tillsatstråd är en annan form av additiv tillverkning och här redogjorde Marius Gipperich från *Fraunhofer IPT* [Institut

für ProduktionsTechnologie]. Han och kollegorna hade använt en cw-laser som kompletterades med en 100 W pulsad laserkälla [EdgeWave IS201-IT] med en linjeformad fokuspunkt. Denna hade som uppgift att aktivera ett tryck på smältan, och är en lösning som man tidigare framgångsrikt använt vid lödning av aluminium. Eftersom storleken på denna tryckkraft hittills varit obekant hade man här försökt kvantifiera ett medelvärde av densamma genom att placera en liten metallkula med 6 mm diameter som vägde 0,8796 gram i laserstrålen. Försöksuppställningen var placerad i en fixtur som stegvis kunde lutas under försöken. När tyngdkraften överskrider trycket från laserstrålen faller kulan ner varpå det går att korrelera det aktiva trycket på smältan med använda laserparametrar. Testmatrisen bestod av tre olika medeleffekter; 20, 75 och 100 W, samt pulsfrekvenserna 5, 7,5 och 10 kHz. Man kunde inte så överraskande konstatera att med tilltagande lasereffekt ökade kraften medan en högre pulsfrekvens minskade densamma [Fig. 51]. Ett teoretiskt resonemang gav vid handen att om gravitationskraften antas ligga kring 0,5 mN skulle de genererade resultaten innebära att LMD-processen kan utföras i s.k. overhead-position. Fortsatta försök kommer att förutom pulsfrekvens undersöka inverkan av pulslängd och -energi.



Figur 51.

Genom att aktivera ett tryck på smältan med en pulsad laser kan man nå vissa fördelar vid LMD-tillverkning. Denna kraft ökar vid en högre effekt men minskar vid en ökad frekvens.



Innovativa processlösningar och laserverktyg

Att lasersvetsning har många fördelar är vi alla bekanta med, men det snabba svetsförloppet, med ty åtföljande snabb avkylning, gör att svetsgodset får en hög hårdhet, vilket gör svetsen spröd och därmed känslig för höga belastningar. Därför kan en form av förvärmning av substraten som skall svetsas vara fördelaktig och olika typer av tekniker för en sådan förvärmning har presenterats vid ett flertal konferenser. Nu kunde vi räkna in ytterligare ett angreppssätt som visades av Dr. Libor Mrňa från *Institute of Scientific Instruments* i Brno, som hade använt en TIG-brännare med låg strömstyrka [20-60 A] som löpte framför laserstrålen. Därmed kunde avsvältningshastigheten sänkas till 130-137 °C/sek att jämföras med de cirka 500 °C/sek som gäller vid autogen lasersvetsning. Undersökningarna hade inletts med svets-simuleringar i "Sysweld"-programmet för att fastlägga de rätta laserparametrarna, varpå den teoretiska utvärderingen följts av experiment på 3 mm tjockt HSLA [High Strength Low Alloy] -stål med fiberlasern YLS-2000 från IPG, svetsverktyget YW30 från Precitec och strömkällan "MagicWave 1900" från Fronius. Tre olika interavstånd, 1,0, 2,0 och 3,0 mm, mellan fokuspunkt och TIG-ljusbågens TCP [Tool Center Point] hade undersökts, där avståndet inte bör vara för

stort om man skall kunna utnyttja ljusbågens stabiliserande inverkan på laserstrålen [Fig. 52]. Initialt hade strömkällan använts i DC [Direct Current] -mod, men då kontaminerades elektroden snabbt. Detta gick att motverka om man istället använde AC [Alternating Current] där två olika frekvenser provades; 40 respektive 160 Hz. Den skyddsgas som nyttjades var ren Argon där flödesriktningen optimerats genom Schlieren-analys. Presentationen avslutades med några tänkbara applikationer såsom ett statorhjul till en gasturbin där ett X12Cr13-material svetsades till ett S355-stål. Institutet driver ett nära samarbete med den tillverkningsenhet som *Siemens Turbo Machinery* har i Tjeckien, varför en annan tänkbar applikation är lasersvetsning av turbinblad i materialet X22CrMoV12-1 [Fig. 53].

Ett intressant verktygskoncept för LMD visades av Michael **Güpner** från *Ernst-Abbe-Hochschule Jena University of Applied Sciences*. Här hade laserkällan integrerats i själva påläggningsverktyget i form av 5 alternativt 6 stycken diodstänger à 200 W. Arbetsområdet angavs vara 200×200×300 mm och verktygsvikten cirka 40 kg. Munstycksöppningen är 2,5 mm och såväl tråd som pulver kan matas koaxiellt, i det senare fallet med en utnyttjandegrad på 90%. För att säkerställa gasskyddet omges munstycksöppningen av en större utloppscirkel för skyddsgasen. Detta kan innebära en ökad risk för oxygen-förorening i skyddsgasen, varför man hade genomfört en mätning med hjälp av en utrustning från företaget *Zirox* [SWM200T]. Denna visade emellertid på en O₂-koncentration under 10 ppm, vilket var avsevärt lägre jämfört med när ett munstycke med konventionell skyddsgastillförsel användes [Fig. 54]. Verktyget har getts namnet "ProFocus1000" och går att införskaffa från företaget *OSCAR PLT GmbH*. Dock kunde Herrn Güpner inte informera om dess aktuella pris.

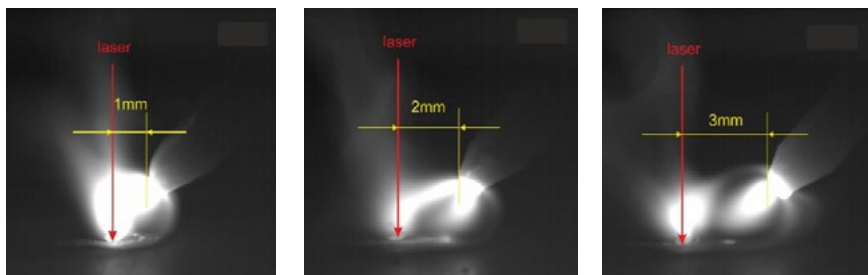
Framgångsrika försök, med en pulvermatningsenhet från *GTV GmbH* och matarverket FD100LS från *Dinse GmbH*, hade utförts med pulvermaterialet 1.3342 applicerat på 1.0330-substratmaterial samt tråd av 1.2343 applicerat på ett substrat av samma material [Fig. 55].

I en privat konversation med Dr. Thomas **Seefeld** från *BIAS [Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik]* berättade denne att institutet är granne med ett företag med namnet *Additec Europe GmbH* [Fahrenheitstraße 11, D-28359 Bremen; www.additec.net] som tagit fram en likvärdig kommersiell produkt.

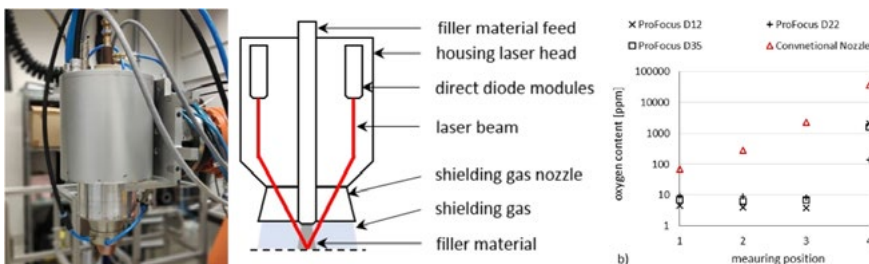
Figur 52. Den experimentella uppställningen till höger där interavståndet mellan fokuspunkt och ljusbåge inte bör överstiga 3 mm om laserstrålens positiva förmåga att stabilisera den senare skall kunna utnyttjas.



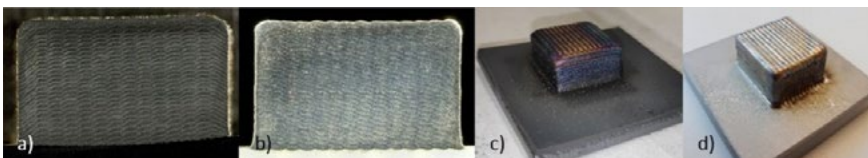
Nedan höghastighetsfilmning av processen med 1,0, 2,0 och 3,0 mm interavstånd.



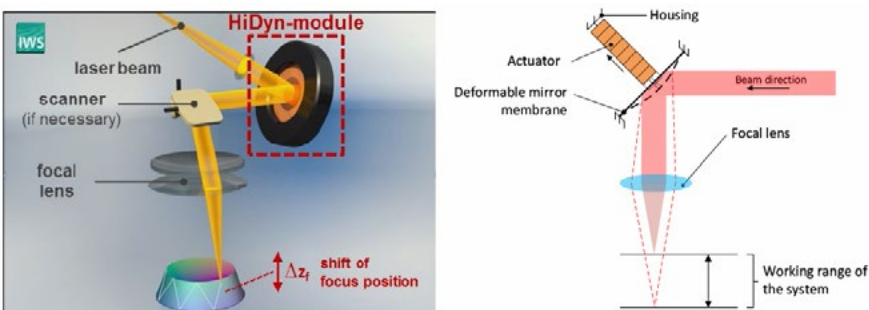
Figur 53. Tänkbara applikationer för hybridprocessen "laser-TIG" kan vara ångturbinblad eller -hjul.



Figur 54. Påläggningsverktyget "ProFocus1000" med integrerade diodlasermoduler (t.v.). Trots det relativt stora utloppet för skyddsgasen visar mätningar utförda på olika avstånd från verktygscentrum att oxygenföroreningarna är mindre jämfört med en konventionell munstycksutformning.



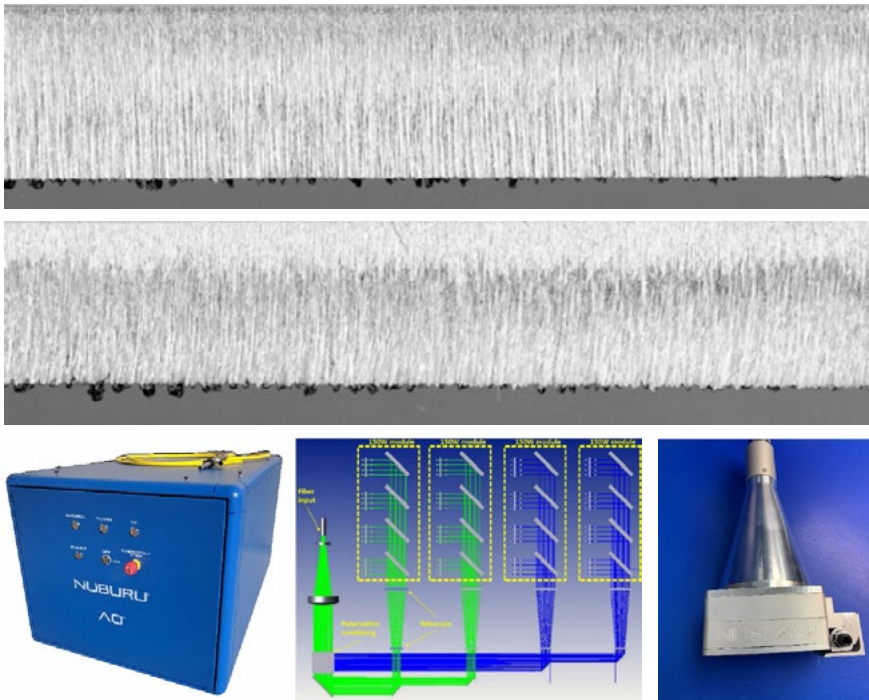
Figur 55. Några exempel på strukturuppbyggnad med det nya verktyget "ProFocus 1000" utförda med pulver (a, c) respektive tråd (b, d).



Figur 56. Konceptet för "HiDyn" där fokuspunkten kan förskjutas längs laserstrålens utbredning med en frekvens på 2,5 kHz genom att med piezoelektrisk drivning deformera skanner-spegeln.

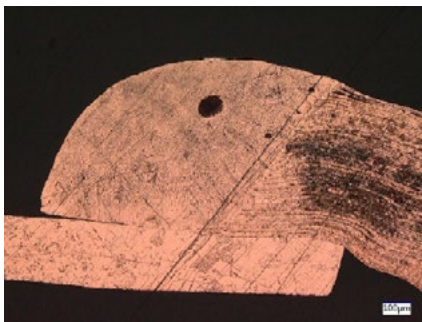
Att manipulera laserstrålens form under pågående process för att påverka densamma på ett gynnsamt sätt har vi hört talas om tidigare. Redan vid *LANE [Laser Assisted Net Shape Engineering]* -konferen-

sen 2016 beskrev professor Craig **Arnold** [*Princeton University*] hur man med magnetism kunde påverka fokuserlinsens form och därmed flytta fokuspunkten över arbetsstycket. Nu visade Dr. Axel **Jahn**



Figur 57. Jämbördig snittkantskvalitet vid skärning av 10 mm rostfritt stål 1.4301 utförd med konventionell teknik och 0,5 m/min (ovan), och med "HiDyn" vid 0,8 m/min (nedan).

Figur 58. Nuburus "blå laser" AO-500 är uppbyggd av fyra stycken 150 W-moduler (t.v.) och kan kombineras med företagets svetsverktyg BlueWeld™.



Figur 59. 70 stycken 8 µm tjocka kopparfolier svetsade till en 254 µm tjock elektrod i samma material med 500 W effekt från en "blå laserkälla" och en 215 µm stor fokuspunkt.

från Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff und Strahltechnik] i Dresden ett koncept kallat "HiDyn" där laserstrålen kan oscillerades inte bara tvärs sin utbreddningsriktning, utan även längs densamma genom att med piezoelektrisk drivning deformera skanner-spegeln. Detta kan ske med en frekvens upp till 2,5 kHz, vilket är betydligt snabbare än den omriktning som kan göras med galvo-spegel, och lösningen kan integreras i standardoptiker för såväl skärning som svetsning [Fig. 56].

Med konceptet, som tagit fram i samarbete med bl.a. Fraunhofer IOF och PI [Physik Instrumente] GmbH inom projektet "PISTOL", kan fokalplanet förskjutas hela 17 mm. Detta innebär att fokuspunktsdiametern fördubblas och energitätheten därmed minskas med en faktor 4. Den maximala förskjutningen kräver 1 kV vilket medför en 28 µm stor formförändring hos det deformerbare spegelmembranet.

Vid laserskärning bör moduleringens centrumlinje placeras i mitten av materialtjockleken för att nå högsta möjliga processhastighet. Detta hade påvisats i försök med en fiberlaser med 3 kW effekt och strålkvaliteten 3,2 mm*mrad, där man genom att använda denna aktiva styrning av fokuspunkten kunde öka skärhastigheten från 0,5 till 0,8 m/min i 10 mm tjockt rostfritt stål 1.4301 [Fig. 57].

Vid svetsning kan man variera svetsbredden med hjälp av "HiDyn", men även förbättra processtabiliteten något som resultat från svetsning av aluminiumlegeringen AlMg3 bevisade. Genom att modulera laserstrålen med 1.000 Hz förlängs smältan, svetsströmmen minskar och fogens kvalitet förbättras. Fortsatta experiment kommer att vara inriktade mot svärsvetsade material som pressgjuten aluminium och zinkbelagd stålplåt, men även processkontroll av fokuspunktsläget kommer att ingå i studierna.

NUBURU Inc. har ju genom Mathew Finuf vid tidigare laserkonferenser och -mässor marknadsfört sin 500 W-laser [AO-500, Fig. 58] i det blå våglängdsområdet, men här förde Mark Steven Zediker företagets talan. Laserkällan är uppbyggd av fyra stycken 150 W-moduler som ger en strålkvalitet på 30 mm*mrad och en numerisk apertur [N.A.] på 0,15. Målsättning vid utvecklingen av denna laserkälla har varit att den skall kunna garantera ett kontinuerligt effektuttag på 500 W under 20.000 driftstimmar! Distributionsfibern mäter 400 µm i diameter och kan

kopplas till ett egenutvecklat svetsverktyg [BlueWeld™, Fig. 58] med fokallängden 180 mm vilket ger en fokuspunkt på 400 µm. Där en mindre brännfläck krävs, exempelvis vid e-mobility-applikationer tillhandahåller NUBURU ett annat svetsverktyg där den 70 mm långa brännvidden resulterar i en fokuspunkt med 215 µm diameter.

Applikationsexemplen var hämtade just från e-mobility i form av lokal avverkningskorrosionsskyddet på "hårnålar" samt svetsning av kopparartiklar som just dessa "hårnålar", strömskenor bestående av 2 stycken 150 µm tjocka folier eller stack-ups av 70 stycken 8 µm-folier [Fig. 59]. Mark redogjorde också för svetsning av batteri-tabbar som utgjordes av 300 µm stål vilka fogades till två stycken 80 µm tjocka kopparfolier. Ytterligare svetsförsök hade utförts på Cu-ETP [Electrolytic Tough Pitch] och rostfritt SS304-material. Mr Zediker avslöjade slutligen att man numera även erbjuder en 1 kW "blå laser" där strålen påstods kunna fokuseras till en brännfläck på 440 µm. Då denna laserkälla är uppbyggd av två stycken 500 W-enheter ställde jag den relevanta frågan om vilken strålkvalitet man kunde garantera, varpå jag fick svaret 30 mm*mrad eller samma som för den tidigare beskrivna 500 W-lasern! Tro't den som vill?

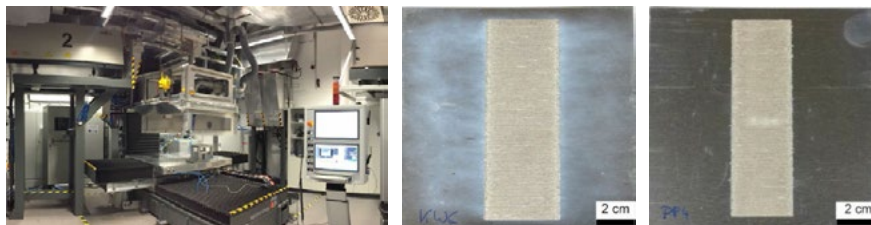
Slutligen några ord om den flexibla arbetsstation som finns att tillgå hos IWS i Dresden. Deras "MuReA" [MultiRemoteArbeitsstation, Fig. 60]-system beskrevs av Tom Schiefer, och hur detta använts i projektet "CleanRemote" för att rengöra ytor på aluminium [AA2024 & AW6082], rostfritt [1.4301] och CFRP genom laserablation. Fördelen med laserrengöring över andra metoder är att lasern är snabb och passar utmärkt för tredimensionella ytor som kan bearbetas kontaktlöst från avstånd upp till 2 meter! I "MuReA" kan såväl 1- som 10 µm-källor kopplas in och i det aktuella fallet hade en 3 kW-laser från IPG [YLS-3000SM] använts tillsammans med skanner-verktyget "Axialscan 50" från Raylase Inc. Fokuspunkten på arbetsstycket uppmättes till 110 µm vid ett arbetsavstånd på 1.400 mm. Arbetsfältet för skanner-verktyget var 50x50 mm och laserstrålen manipulerades med en hastighet mellan 10-18 m/sek, och effekten varierades mellan 1,3 och 3,0 kW. Abla-

tionen av ytskiktet skedde i ett meander-mönster med ett linjeavstånd på 220 µm. Efter avverkningen av ytskiktet hade man provat att ta bort restpartiklarna med kolsyresnö alternativt med luft under högt tryck, där den förstnämnda metoden visade sig vara mest effektiv [Fig. 60]. Herr Schiefer avslutade sin presentation med att omnämna att den tilltänkta applikationen för den här rengöringsprocessen är ett armstöd i CFRP till ett personbilsäte.

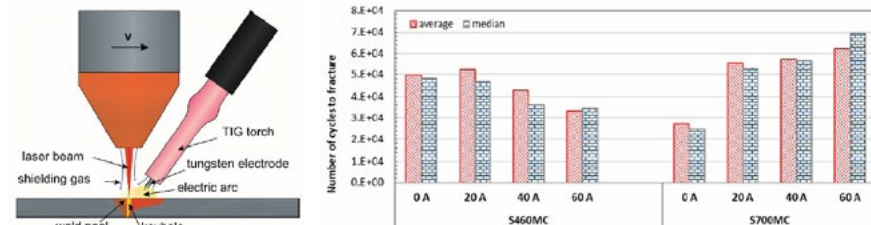
Kvinnliga laserforskare

Jag har ju tidigare ondgjort mig över att det förekommer så få kvinnor i lasersammanhang, men detta är kanske nu på väg att förändras, något som jag observerat under min tid som gästforskare vid Högskolan Väst i Trollhättan. Där hittar vi många kvinnliga doktorandstudenter som forskar kring såväl lasersvetsning som additiv tillverkning vid högskolans *ProduktionsTekniska Center* [PTC]. Även under *LiM*-konferensen kunde vi lyssna till ett flertal kvinnliga laserforskares redogörelser, vilka visserligen var av lite blandad kvalitet.

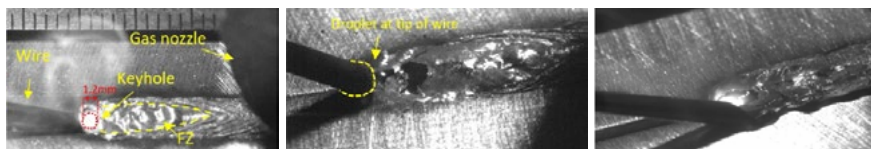
En av dessa presentationer hölls av Hana Šebestová från *Institute of Scientific Instruments of the Czech Academy of Sciences i Brno*. Vid lasersvetsning av höghållfasta stålmaterial som S460MC och S700MC innebär det snabba svetsförloppet också en hastig avsvälning av svetsgodset, något som gör att dess duktilitet försämras. Detta får en negativ inverkan på fogens utmattningsegenskaper, vilket Ms. Šebestová försökt lösa med en hybridlösning där hon använde en ljusbåge från en TIG-brännare med låg strömstyrka till att förvärma substratmaterialet. Laserkällan var en YLS-2000 fiberlaser från IPG med en 200 µm grov distributionsfiber fram till svetsverket YW30 från *Precitec*. TIG-strömkällan var av märket *Fronius* "MagicWave1700" där strömstyrkan varierats i steg om 20 A mellan 0-60 A. Stumsvetsade provkroppar med godstjockleken 3 mm tillverkades med en svets hastighet på 20 mm/sek och 1,5 kW lasereffekt. Vid den efterföljande utmattningsprovningen som skedde med en frekvens mellan 40-44 Hz och $R=-1$ kunde man se en positiv effekt med ökande strömstyrka vid svetsning av S700MC-materialet medan förhållandet var det omvända för S460MC-kvaliteten [Fig. 61]. Detta tolkade Ms. Šebestová som så att svetsgodsets mikrostruktur är av underordnad betydelse för utmattningshållfastheten jämfört med andra svetsdefekter som t.ex. ytbrytande porer.



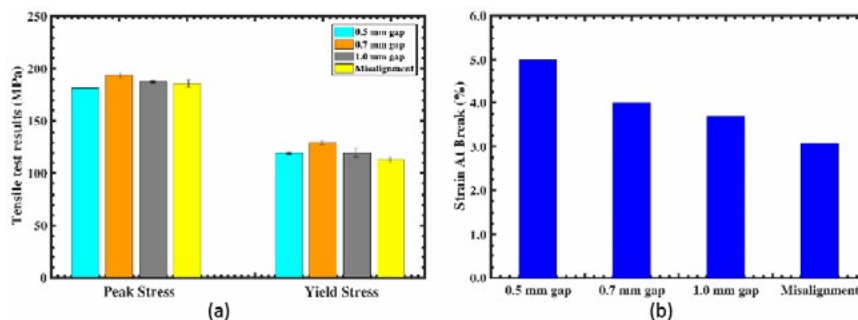
Figur 60. I IWS' "MuReA-anläggning" har man bl.a. tittat på att rengöra aluminiumytor med cw-laser där restpartiklarna sedan avlägsnats med kolsyresnö. T.h. utseendet före respektive efter denna behandling.



Figur 61. Schematisk skiss över försöksupställningen (t.v.) där den genomförda hybridsvetsningen resulterade i en med strömstyrkan minskande utmattningshållfasthet för S460MC-materialet, medan förhållandet blev det omvända då metoden applicerades på S700MC-kvaliteten.



Figur 62. Tillsatsstrådens inmatning i förhållande till laserstrålen har stor betydelse för svetskvaliteten. Fr.v. optimal position, för stort intervavstånd och offset positionering i förhållande till fogen.



Figur 63. Draghållfasthet och töjningsvärden för olika spalter och kantförskjutning mellan plåtarna i stumfogen.

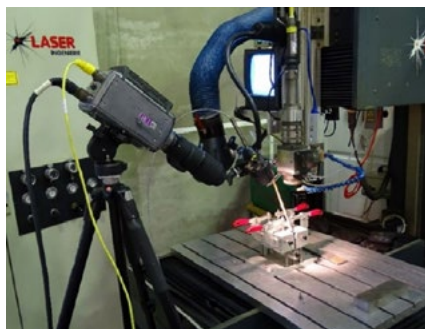
Ett känt ansikte från ICALEO-konferensen i Atlanta 2017 var Ms. Fatemeh Mirakhorli från *National Research Council Canada* i Québec, som liksom då redogjorde för lasersvetsning av aluminium med kall tillsatsstråd. Arbetet hade utförts på uppdrag av *Bombardier Transport Canada Inc.* där materialet utgjordes av 5 mm tjockt AA6005-T6 och tillsatsstråden var av kvalitet ER53336 med en diameter på 1,6 mm. Trådens inmatning i förhållande till laserstrålen har stor betydelse för att undvika svetsdefekter och bäst resultat fick man då tråden precis träffade strålens framkant [Fig. 62]. I försöksupställningen hade laserstrålen en infallsvinkel på 5° mot substratytan, och tråden tillfördes i en motsvarande vinkel på 40° med hjälp av ett *Miller XR*-matarverk. Skyddsgasen utgjordes av ren Argon med ett flöde av 23,6 l/min.

Spalten i stumfogen hade varierats inom tre intervall; 0,3-0,5 mm, 0,5-0,7 mm och 0,7-1,0 mm. De genomförda svetsförsöken, som utfördes med en pulsad *TruDisc*-laser med 10 kW maximal effekt, visade att det gick att överbrygga spalter upp till 0,75 mm liksom kantförskjutningar i samma storleksordning under förutsättning att svets hastigheten sänktes från 3,0 m/min till 2,75 m/min för de större spalterna. Efterföljande analys gav vid handen att spaltens storlek hade föga inflytande på hårdheten i svetsgodset eller dess hållfasthet, där de högsta värdena för brott- respektive sträckgräns låg på 187 respektive 121 MPa. Däremot kunde man vid dragproven konstatera att töjningsvärdena sjönk med ökande spalt och kantförskjutning [Fig. 63].

Lilla Fatemeh lät meddela att framtida experiment kommer att utföras på 2 mm

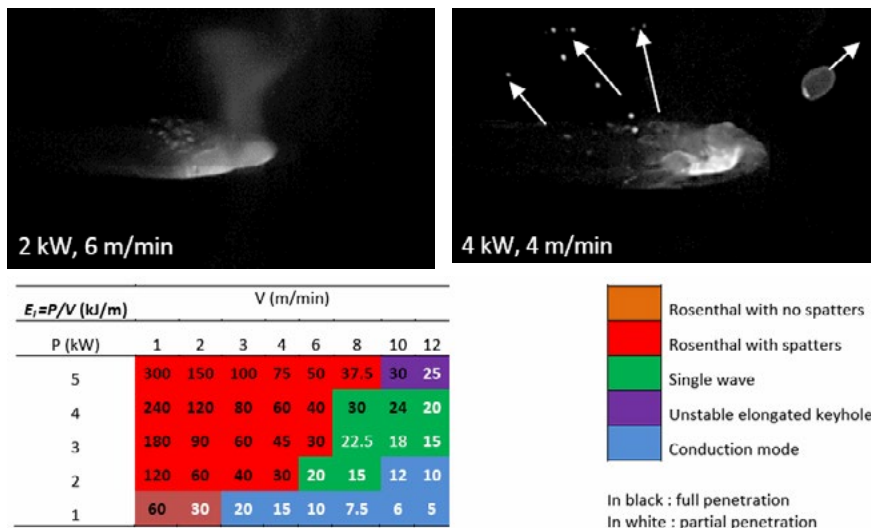
tjockt AA7075-T6 där man räknar med att kunna överbrygga spalter på upp till 3 mm genom att oscillera laserstrålen. I en annan undersökning skall man prova en med Scandium modifierad tillsatstråd för att se om detta har en positiv inverkan på kornstrukturen i svetsgodset.

Nästa talare var Iryna **Tomashchuk** från *Laboratoire Interdisciplinaire Carnot* i Bourgogne där hon tillsammans med kollegor studerat smälta och svetsnsprut vid kontinuerlig lasersvetsning av Titan av kvalitet T40 med tjockleken 2,0 mm. Laserkällan var en Yb:YAG-enhet med 6 kW maximal effekt varifrån strålen fokuserats till en brännfläck med 600 µm diameter, och skyddsgasen utgjordes av Argon med ett flöde på 20 l/m [Fig. 64]. Effekten hade varierats mellan 1-5 kW och framföringshastigheten mellan 1-12 m/min, och i en provmatris med dessa båda parametrar kunde man fastlägga olika regimer för svetsprocessen, vilka refererade till gamla auktoriteten på området; professor René **Fabbro**.

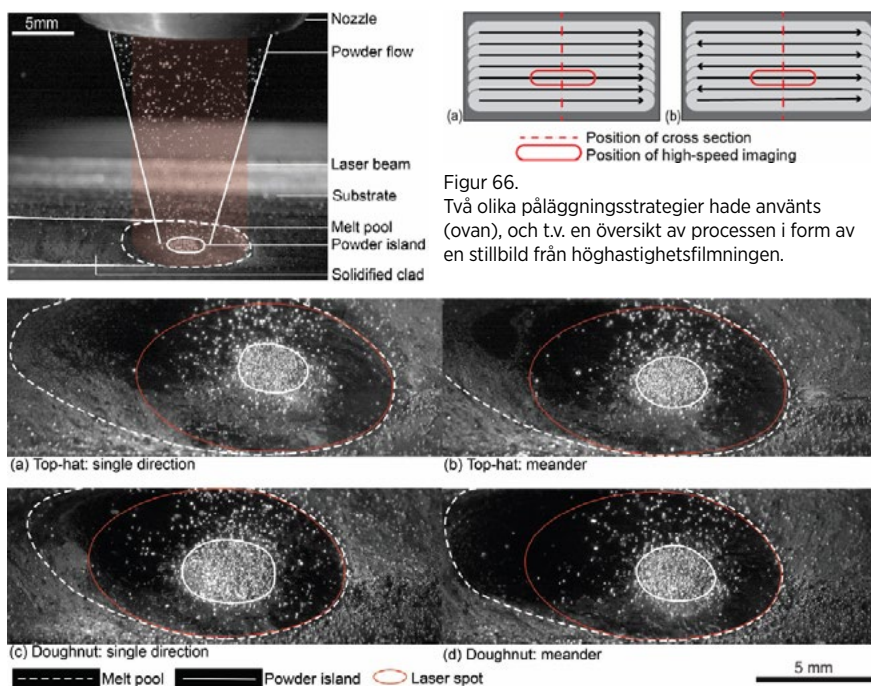


Figur 64. Den aktuella försökuppställningen där svetsprocessen visualiserades med hjälp av höghastighetsfilmning.

10 cm långa svetsar hade utförts där processen registrerades genom höghastighetsfilmning med 500 fps [frames per second]. Svetsnsprut uppstod i såväl den s.k. Rosenthal-regimen som vid ett förlängt nyckelhål, och genererades både från nyckelhålens framkant och från dess bakkant. Experimenten visade därmed att godkända svetsar endast erhöles inom regimen "single wave" [Fig. 65]. Man hade även observerat sprutpartiklarnas storlek, vilka rörde sig med hastigheter mellan 0,5-3,5 m/min, och kunde konstatera att mängden små partiklar minskade med tilltagande lasereffekt, men då på bekostnad av att de större ökade i antal. Avslutningsvis menade Iryna att tröskelvärdena för övergång från Rosenthal- till single wave-regim respektive förlängt nyckelhål sker vid en något högre svetsastighet i jämförelse med rostfritt stål, detta beroende på det relativt låga förångningsstrycket hos ren Titan.



Figur 65. Endast i den s.k. "single wave"-regimen (ovan t.v.) erhåller man en stabil svetsprocess medan "Rosenthal"-regimen (ovan t.h.) resulterar i svetsnsprut. Detta går att korrelera mot sträckenergin vilket illustreras i diagrammet.



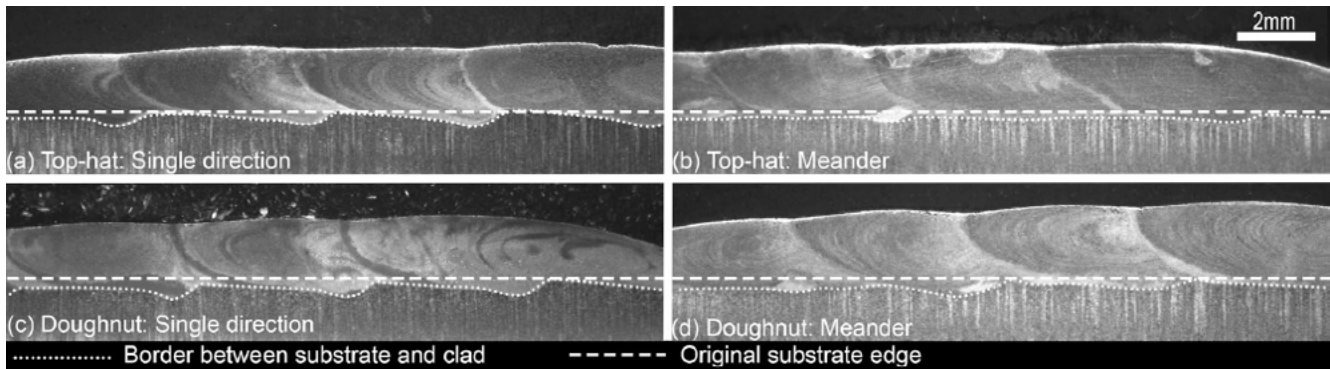
Figur 66. Två olika påläggningsstrategier hade använts (ovan), och t.v. en översikt av processen i form av en stillbild från höghastighetsfilmningen.
Figur 67. Samtliga experiment uppvisade en region av osmält pulver i fokalpunktens centrum. Denna var störst då man använde en energifördelning av s.k. doughnut-typ.

I skaran av kvinnliga laserforskare kunde vi även räkna in en svensk delegat i form av Himani Siva **Prasad** från *Luleå Tekniska Universitet*. Hennes arbete handlade inte om lasersvetsning men jämväl om LMD. Sedan tidigare känner vi ju till att höghastighetsfilmning är en favorit bland professor **Kaplan** och hans disciplar vid universitetet och nu hade Ms. Prasad använt detta för observation av metalldeponering av ett järnkarbidpulver applicerat på ett höghållfast stål [ASTM (American Society for Testing and Materials) A579-Grade31] med hjälp av två olika strålprofiler; en med en "tophat"-energifördelning och en med s.k. "doughnut"-dito. Substratmaterialet förvärmades till 350 °C med en 9 mm stor laserpunkt, varpå

påläggningen skedde med en laserkälla med 1.070 nm våglängd, 5 kW effekt och framföringshastigheten 0,5 m/min.

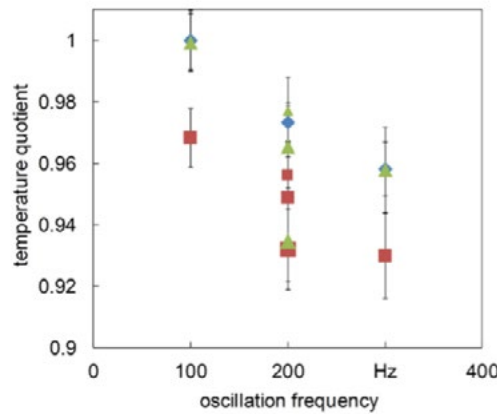
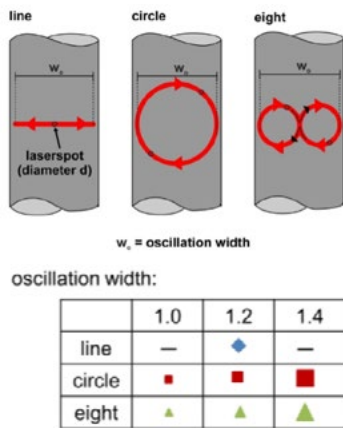
Två olika påläggningsstrategier hade använts där den första hela tiden skedde i samma riktning, medan den andra var av s.k. meander-typ där strängarna lades växelvis från olika håll [Fig. 66]. Påläggningsträngarnas överlapp var 50%.

En tidig intressant observation var den att man hela tiden fick en region av osmält pulver i fokalpunktens centrum. Denna visade sig vara större för en "doughnut"-än en "tophat"-energifördelning speciellt i fallet då påläggningen skedde från ett och samma håll, medan skillnaden minskade vid "meander"-påläggning [Fig. 67].



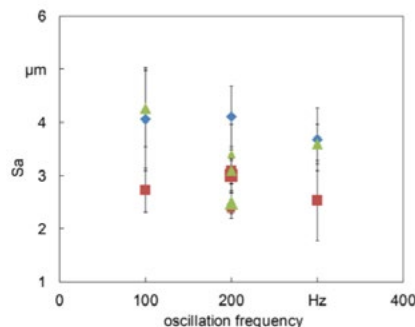
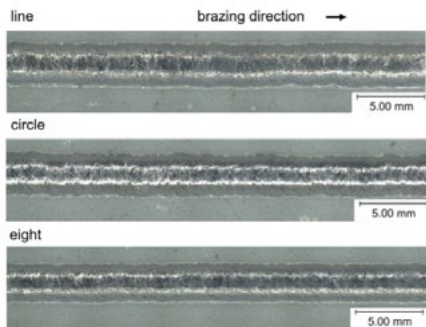
Figur 68.

Tvårsnittsskärningar för olika påläggningsstrategier där en energifördelning av typen "tophat" ger minst och jämnaste inlösning i substratmaterialet.



Figur 69.

Tre olika oscilleringsmönster hade använts; linjärt, cirkulärt och "åttaformigt", där det cirkulära som utfördes kontinuerligt utan vändlägen gav lägst värmepåverkan.



Figur 70.

Utseende hos lödfogar utförda med olika oscilleringsmönster, 200 Hz frekvens och en pendlingsvidd på 1,2 mm. T.h. en sammanställning av ytråhetsvärdena som visar att ett cirkulärt oscilleringsmönster (röda kvadrater) ger den slätaste toppytan.

Här hade Himani en teori om att denna osmälta pulverregion kunde undvikas om man använde en gaussisk energifördelning i laserstrålen.

För båda påläggningsstrategierna visade sig "tophat"-profilen ge den jämnaste inlösningen av pulver i substratmaterialet [Fig. 68]. Arbetet har delvis finansierats genom bidrag från VINNOVA [Verket för Innovationssystem] -projektet "ÖVERLAG" [2017-03240].

BIAS-presentationer

Jag avslutar mitt reportage från LiM 2019 med att referera några presentationer som gjordes av mina goda vänner och BIAS-medarbetare och börjar med Peer

Woizeschke som berättade om vad han kallade nyckelhålslödning. Ett problem när man laserlöder med aluminium- eller kopparbaserat trådmateriale är 1 µm-våglängdens låga absorptionsgrad i dessa material. Genom att använda en så pass hög intensitet att det uppstår ett nyckelhål i själva tillsatstråden underlättas absorptionen. Denna metodik hade använts vid försök på elförzinkat DC04-material där tillsatstråden utgjordes av AlSi12 med en diameter på 1,2 mm. Laserkällan var en YLR-1000 SM [Single Mode] från IPG ur vilken effekten 450 W valdes och laserstrålens 15 µm stora fokuspunkt oscillerades över arbetsstycket med hjälp av Scanlabs "welDYNA"-verktyg. Framföringshastig-

heten var 1 m/min och trådmatningen skedde med 1,87 m/min. Oscilleringsvidden varierades mellan 1,0-1,4 mm och frekvensen mellan 100-300 Hz. Såväl linjär som cirkulärt och "åttaformigt" skanning-mönster hade provats där det cirkulära gav en lägre värmepåverkan och därmed mindre inlösning av lodmaterialet i substratet [Fig. 69]. Tydligt har vändlägena under pendlingen en negativ inverkan eftersom värmeackumuleringen i substratmaterialet då tilltar. Det cirkulära mönstret utfördes ju kontinuerligt helt utan vändlägen varför denna variant gav minst uppsmältning av substratmaterialet.

Det cirkulära oscilleringsmönstret resulterade även i en slätare toppyta hos lödfogen, vars kvalitativa utseende tycks öka med ökande oscilleringsfrekvens [Fig. 70].

Eftersom aluminium knappast är ett vanligt förekommande tillsatsmaterial då vi laserlöder inom bilindustrin undrade jag om man hade planer på att utvärdera andra tillsatsmaterial, och fick då till svar att även den vanligt förekommande legeringstypen CuSi3 kommer att provas.

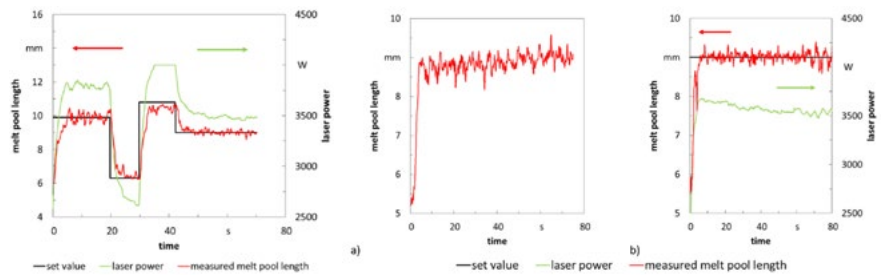
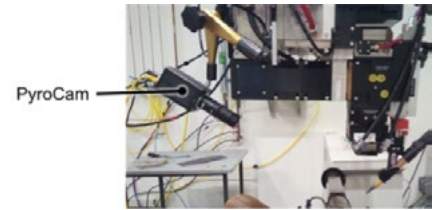
Dieter Tyralla spannar vidare på temat kring stråloscillering, men här tillämpat vid laserpåläggning med varmtråd [LHWC = Laser Hot Wire Cladding]. Kombinationen av pendling och förvärmad tråd ökar deponeringseffektiviteten, i det aktuella fallet till hela 2 kg/timme vid endast 1 kW lasereffekt, och inlösningen i substratmaterialet kan hållas under 5% även då man använder en förhållandevis liten fokuspunkt på 1,0 mm. Försöksuppsättningen bestod av en TruDisc12002 diskklaser från Trumpf och ett modifierat "ALO3"-verktyg från Scansonic. Trådmatarverket var av typen "Masterliner MF1" från Abicor Binzel och strömställaren "HWT220" från företaget Lorich som kan leverera en konstant strömstyrka på 170 A: Arbetsstyckena utgjordes av rör; dels i materialet S235 [1.0038] med en ytterdiameter på 100 mm och en väggjocklek på

8 mm, dels i rostfritt 42CrMo4 [1.7225] där ytterdiametern var 50 mm och vägg-tjockleken 5 mm. Den solida tillsatsstråden utgjordes av det rostfria materialet 316LSi [1.4430] och förekom i två varianter; 1,0 och 1,2 mm i diameter. Olika oscilleringsmönster med 200 Hz frekvens och 1,8 mm pendlingsvidds hade undersökts. I fallet med S235-materialet sattes processhastigheten till 1 m/min, trådmatningen till 6 m/min, och lasereffekten 1.500 W fokuserades till en 200 µm stor brännfläck. För 42CrMo4-materialet valdes påläggningshastighet och trådmatning till 4 respektive 5 m/min, lasereffekten var 3.500 W och fokalpunkten 1,0 mm. Dieter och hans kollegor har utvecklat en adaptiv lösning för processen där en pyrometerkamera mäter temperaturen inom intervallet 600-1.900 °C [Fig. 71]. Genom utvärdering medelst högfrekvent FPGA [Field Programmable Gate Array] kan temperaturen korreleras till smältbadets längd. Adaptiviteten strävar efter att hålla detta konstant genom att variera lasereffekten [Fig. 72], varigenom inlösningen i substratmaterialet kan begränsas även vid höga deponeringstal!

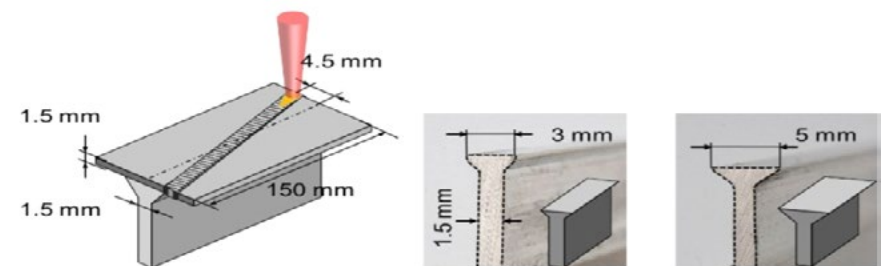
Ämnesområdet lasersvetsning av s.k. dolda T-fogar har vi ju hört Christoph **Mittelstädt** redogöra för tidigare [se *LaserNytt* 1-2019], men nu kompletterades redogörelsen med rykande färskt resultat vilka inkluderade processövervakning med OCT [Optical Coherence Tomography]. T-fogarna utgjordes av 1,5 mm tjocka aluminiumplattor i legeringen AA5083, där den vertikala delen förstärks med en 3 respektive 5 mm bred trapetsoid ändförtjockning [Fig. 73]. Laserkällan var en TruDisc12002 från *Trumpf* med våglängden 1.030 nm där effekten varierats mellan 1,38 och 2,13 kW i försöken som utfördes med en svets hastighet på 3,0 m/min. Svetsverktyget var *Precitecs* YW52 med integrerad IDM [In-Depth Monitoring] -funktion vilket är en typ av OCT-mätning.

Genom att svetsa över fogen i en vinkel på 3,3°, där start- och ändpunkt låg 4,5 mm förskjutet till centrumlinjen, avsåg man att få såväl full som partiell penetration. Att detektera de båda fallen med en obehandlad OCT-signal visade sig vara opålitligt då reflexioner från såväl nyckelhål som plåtyta "lurar" systemet att tro att en djupare penetration föreligger, vilket ju skall vara fallet då laserstrålen träffar den vertikala plattan. Därför tvingades den gode Christoph att hitta ett bättre sätt att utvärdera OCT-mätningen och kom då

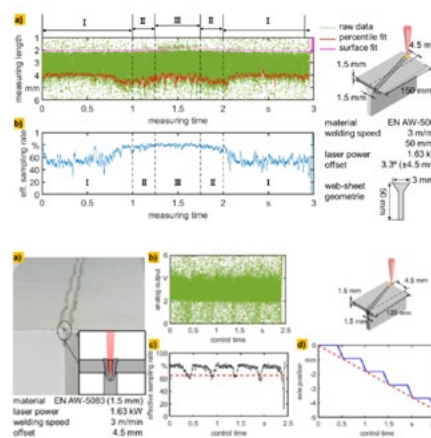
Figur 71. Försökupställning för "Laser Hot Wire Cladding" där en pyrometerkamera mäter temperaturen hos smältan och kan korrelera denna till smältbadets längd.



Figur 72. Då det finns ett samband mellan smältbadets längd och tillförd lasereffekt (värme) kan informationen från pyrometerkameran via en FPGA användas för en adaptiv processövervakning genom att i realtid reglera lasereffekten. Detta illustreras ovan t.h. med en reglerad respektive reglerad påläggningsprocess.



Figur 73. Schematisk illustration av provobjekt, foggeometri och laserstrålens rörelsemönster för att ge såväl full som partiell penetration, samt t.h. de två varianterna med en trapetsformad förstärkning.



Figur 74. Gröna rådatapunkter från OCT-mätningen med en 95-percentilkurva (röd) visar på svårigheten att korrekt tolka om full eller partiell penetration föreligger (a).

Bättre då att räkna antalet insamlade rådatapunkter (b).

Figur 75. Den dolda T-fogen svetsad med OCT-baserad positionskontroll (a).

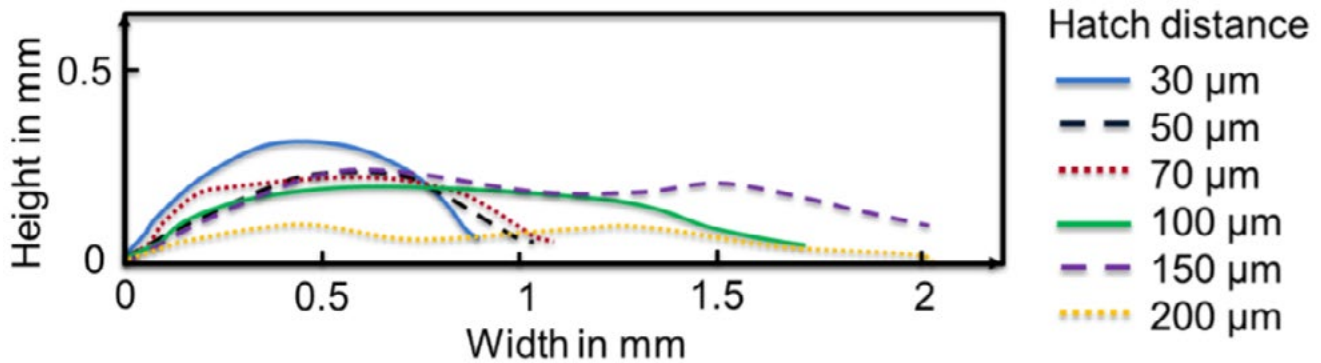
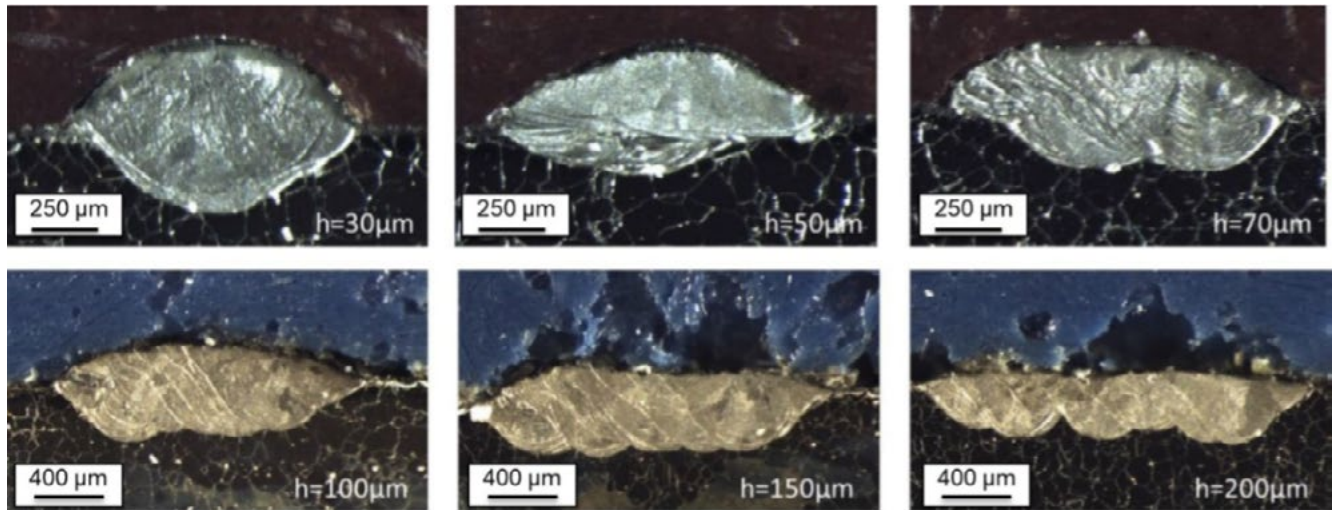
Rådata från den analoga signalen vid OCT-mätningen (b)

Från rådata bearbetad insamlingsfrekvens (c). Adaptiv justering av fokalpunktens läge med hjälp av en linjärmotor (d).

fram till att istället räkna antalet insamlade rådatapunkter per tidsenhet, vilket gav en bättre distinktion mellan de båda svetsgeometrierna [Fig. 74]. Dessa gick också lättare att särskilja då lasereffekten höjdes. Med dessa kunskaper tog han fram en adaptiv lösning där en linjärmotor kunde justera laserstrålens träffpunkt då man medvetet försökte forcera fram en felaktig fokalpunktsplacering [Fig. 75]. Självklart blev processen också mer robust då varianterna med förstärkta, vertikala plattor användes.

En av de allra sista presentationerna under *LiM*-konferensen hölls av Jörg

Volpp, som väl fortfarande kan få räknas in bland *BIAS'* doktorander, även om han numera är anställd vid *Luleå Tekniska Universitet*. Han hade studerat hur avståndet mellan påläggningssträngarna i ett och samma skikt kunde variera i höjd och form beroende på ytspänningar i smältan och omsmältning av tidigare utförda strängar. Pulvermaterialet var rostfritt 316L-material i fraktioner mellan 45-90 µm applicerat på en substratplatta av samma material. Laserkällan som användes var en 300 W fiberlaser från *IPG* där strålen fokuserades till en 75 µm stor brännfläck vid ett effektuttag på 250



Figur 76.

Vid påläggning av 316L-pulver med 250 W lasereffekt och en processhastighet på 2 m/min blir påläggningssträngen hög och smal om strängarna placeras nära varandra (raden ovan), medan man får en flackare men mer oregelbunden tvärsnittsgeometri då det inbördes avståndet är större än 100 μm (nedre raden).

W. Processhastigheten vid uppsmältning av 7 parallella strängar låg på 2 m/min. Då strängarna lades tätt blev den smälta volymen hög och smal [Fig. 76], medan då det inbördes avståndet ökades fick man flackare, men också mer oregelbundna tvärsnittsgeometrier.

Vid en kort summering av mina intryck från *Laser World of Photonics* årgång 2019 kan jag konstatera att evenemanget har en stark attraktionskraft på kollegor i branschen. Det största utbytet har man vid att besöka den imponerande mässan och få höra om senaste innovationer och produkter. Däremot har konferenser som

LiM tenderat att bli alltför akademiska där den industriella nyttan av vad som presenteras kan diskuteras. Så mycket forskning kring laser har skett under senare år att det mesta är kartlagt, varför det blir svårt att hitta nya infallsvinklar. Oftast blir forskningsmålen krystade och man hamnar lätt i petimeter-diskussioner och frågeställningar som jag bedömer vara av mindre intresse för *Lasergruppens* medlemmar. Därför har jag försökt att selektera informationen i den här redovisningen och begränsat mig till de presentationer som jag fann vara av industriell nytta. Framförallt vill jag lyfta fram de s.k. Application Pa-

nels som jag tycker är ett bra initiativ från arrangörernas sida, där representanter från såväl industri som forskningsinstitut får göra sin stämma hörd kring aktuella områden som exempelvis e-mobility och additiv tillverkning. Om någon läsare händelsevis önskar mer information om någon av presentationerna går det bra att vända sig till författaren som har tillgång till den kompletta LiM-dokumentationen.

Till sist en liten påminnelse om nästkommande *Laser World of Photonics 2021* som är planerad att äga rum i München mellan 21-24 juni. Vi kan ses där och då? ■

Laserdag hos Permanova – med svetsning i fokus

Hans Engström
Levitronics Lasersystem AB

Permanova Lasersystem AB i Mölndal stod som värd för Laserdagen den 17 oktober 2019, med ambitionen att presentera intressanta tillämpningar hos deras kunder som har installerat lasersystem. Temat för dagen blev naturligt nog lasersvetsning eftersom det var företag som har installerat lasersvetsssystem som deltog i presentationerna.

Värdar hos Permanova var Håkan Grubb, vd, och Björn Lekander, marknadschef. Laserdagen lockade 32 deltagare.

- Permanova Lasersystem är en integratör som utvecklar, tillverkar och installerar kundanpassade laser-robotssystem för metallbearbetning inom industrin, berättar Håkan Grubb, när han inledde presentationerna under laserdagen, bild 1. Vi har tre affärsområden; Lasersystem, Service samt Lab & Konsult och har nu 24 anställda med en omsättning på ca 60 miljoner kronor.

Permanova levererar nyckelfärdiga laser-robotssystem där ökad produktivitet är ett vanligt skäl för kunderna att välja laserteknik. Man har också en egenutvecklad laseroptik som gör att kundernas optik kan anpassas efter deras behov. Det är en mycket stor fördel och är ovanligt även bland internationella integratörer, fortsätter Håkan Grubb. Permaflex, ett modulärt koncept med kundanpassad optik, är ett exempel på de nyckelfärdiga system vi levererar.

Permanova levererar system både för utveckling som t.ex. hos SWERIM, GKN Aerospace Sweden och SINTEF och produktion som hos Volvo och Brogren Industries m.fl.

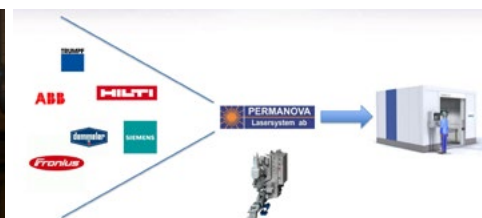


Bild 1. Håkan Grubb, vd vid Permanova Lasersystem AB berättar om Permaflex som ett modulärt laser-robot koncept med kundanpassad optik.

Applikationerna i fokus under Laserdagen var svetsning, additiv tillverkning och hårdning, bild 2.

Permanova har levererat system över hela världen till många internationella kunder med tyngdpunkter i Europa, USA och Kina.

- Ca 70 % av projekten är nu internationella, avslutar Håkan Grubb.



Bild 2. Svetsning, additiv tillverkning och hårdning var de applikationer som stod i centrum under Laserdagen.



Lasersvetsning och additiv tillverkning hos GKN i Trollhättan

GKN Aerospace Sweden har en omfattande laserverksamhet i Sverige där man både lasersvetsar och utför additiv tillverkning med tråd som tillsatsmaterial.

- GKN Aerospace är en ledande global tier 1 aerospace-leverantör med 18 000 anställda och en omsättning på £ 3.53 miljarder år 2018, berättar Hans Falk, Director Engines Technology, bild 3. Vi har 51 tillverkningsenheter i 15 länder och vi arbetar inom tre områden; Aerospace som är störst, Engine Systems och Special Technologies.

Engine Systems har en stark ställning i dagens flygplansflotta fortsätter Hans Falk. Mer än 90 % av alla nya kommersiella flygplansmotorer använder komponenter från GKN. Men GKN är inte bara leve-



Bild 3. Hans Falk, Director Engines Technology, berättar om verksamheten hos GKN Aerospace. Aerostructures är största området och svarar för 63% av omsättningen år 2018.

rantör. Marknaden fungerar så att man är delägare i motorerna som man levererar komponenter till t.ex. i Pratt & Whitneys motorer. Med det följer ett ansvar i 30 år.

Prestanda är drivkraften

Den drivande kraften i motorutvecklingen är prestanda. Om man lyckas öka en motors verkningsgrad 0.1% så kan planet ta 100 kg ökad last. Lyckas man också minska vikten på motorn med ett kg, så ökar planets lastförmåga med 100 kg.

Redan tidigt insåg vi på GKN att vägen framåt inom vår bransch var att fabricera och att TIG/Plasmasvetsning gav stora deformationer, fortsätter Hans Falk, och lasern såg vi som en lösning på detta. Inom additiv tillverkning har vi flera strukturer och vi arbetar med alla metoder: pulver, tråd, pulverbädd med laser och elektronstråle. En applikation är s.k. bossar.

Nozzlen till Ariane 6 raketerna kommer också i produktion. Under 2020-2021 introduceras den största AT-komponenten i världen i en Pratt & Whitney motor.

- Ett råd på vägen för att introducera additiv tillverkning avslutar Hans Falk: börja enkelt och var uthållig!

Kunder drev laser hos Brogren

Brogren Industries AB i Älvängen är ett familjeägt företag och är en partner till större företag och hjälper dessa att färdigställa en del slutprodukter genom industriell bearbetning. Börje Andermård, vd, berättar att företaget har 100 anställda och arbetar inom tre affärsområden; aerospace, komponenter och gasturbiner, bild 4.

- Det var kunder som drev utvecklingen mot att vi introducerade lasersvetsning i vår verksamhet, säger Börje Andermård. Det var år 2012 som vi skaffade en egen laser-robotanläggning inköpt från Permanaova. Den första produkten som vi svetsade i var en bränslespridare tillverkad av Siemens. Produkten är en meter lång och tillverkas av rostfritt stål och Ni-baslegering.

Man arbetade i två år med att kvalificera processen och utvecklade också en egen ultraljudanläggning för kvalitetskontroll. Nu lasersvetsar Brogren också ledskenor i plåt till GKN Aerospace och för detta jobb så utvecklade man ett simuleringsverktyg för att beräkna deformationer.

- Vårt utvecklingsarbete har gett oss nya kunder, säger Börje Andermård. Vi lasersvetsar nu t.ex. gaskylare i Sterlingmotorer. Där svetsas ett hundratal tunnväggiga rör, bild 5, med 2 mm diameter i Inconel 718. Här använder vi



Bild 4. Börje Andermård, vd vid Brogren Industries AB i Älvängen berättar att det var kunder som drev laseranvändningen hos företaget.



Bild 5. Brogren Industries lasersvetsar gaskylare till Sterlingmotorer. Svetsstiden är ca 1 s/hål tack vare ett mycket snabbt koordinatbord.



ett mycket snabbt koordinatbord som ger en svetsstid på ca 1 s/rör.

- Vår satsning på lasersvetsning och annat utvecklingsarbete har gett oss nya kunder som har utvidgat vår verksamhet, avslutar Börje Andermård.

Aelion elektrifierar

Aelion Energy Systems AB i Torslanda arbetar med elektrifiering med litiumjonbatterier för ett flertal branscher. Företaget har nu ca 50 anställda i nya lokaler i Torslanda.

- Vi tillverkar litiumjonbatterier och kompletterar med ett system för att optimera användningen av batterierna kallad "Battery Management System", BMS, berättar Fredrik Lüsich, bild 6.

Aelion har vuxit från 10 miljoner i omsättning 2015 till 185 miljoner 2018. Man är nu certifierade och har service i 90 länder och levererar till 60 länder. Man förfogar över 15 patent. Aelion arbetar med tillverkning av truckbatterier, elektrifiering av tunga fordon inom gruvtruckar och terminalfordon för flygplatser och



Bild 6. Fredrik Lüsich, COO och CTO vid Aelion Energy Systems AB, Torslanda, berättar att företaget arbetar med elektrifiering och har levererat lösningar i form av klimatsmarta, effektiva energisystem och litiumjonbatterier för små och stora företag över hela världen.



Bild 7. Aelion Energy Systems bidrar med både hård- och mjukvara i syfte att öka kundernas effektivitet i energianvändningen.

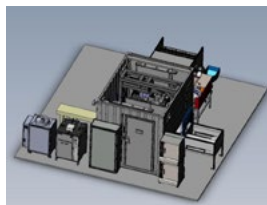


Bild 8. Lasersvetscell hos Aelion Energy System i Torslanda. Cellen ingår i en automatiserad tillverkningsline signerad ÅF.

hamnar. Man tar bransch för bransch och har hunnit längst med lättare truckar. Man strävar efter att öka energieffektiviteten hos sina kunder genom en kombination av hård- och mjukvara, figur 7, där litiumjonbatterierna har en central roll.

Som ett led i sin egen utveckling har man investerat i ett produktionssystem för automatisk produktion av batterimoduler, där lasersvetsning ingår som en viktig process. Lasersvetscellen har en 3 kW fiberlaser, ABB robot och Permanaovas svetsoptik, och är helt automatisk med flexibel fixturering av ett flertal produkter. I cellen svetsas aluminium och rostfritt stål. Lasersvetscellen är en del av en helt automatiserad line (ÅF), bild 8.

Lasersvetsning har för Aelions tillämpningar flera fördelar som att det är en ren process eftersom battericellerna är känsliga för metalliska föroreningar; låg värmeförlust till cellen, inga omställningar mellan materialbyte, och låga rörliga kostnader.



Bild 9. Anna Wallner berättar om Permanovas ny oscillerande optik, Permascan.

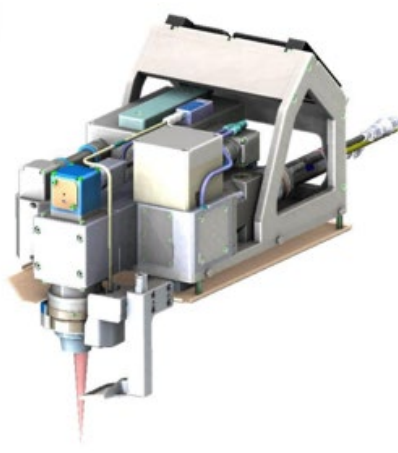


Bild 10. Permascan är ett nytt scannerverktyg från Permascand Lasersystem AB

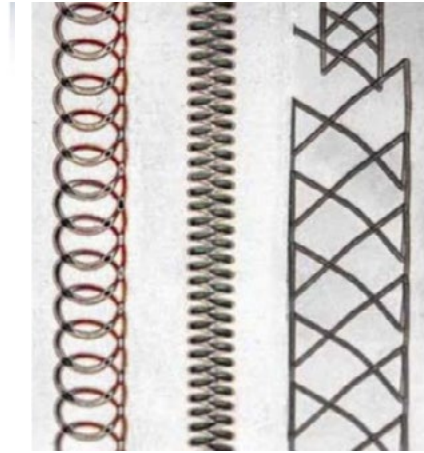


Bild 11. Dr. Per Lindahl, berättar om Volvos "laserhistoria" som startade redan i början av 1980-talet, genom samarbete med Luleå tekniska universitet.

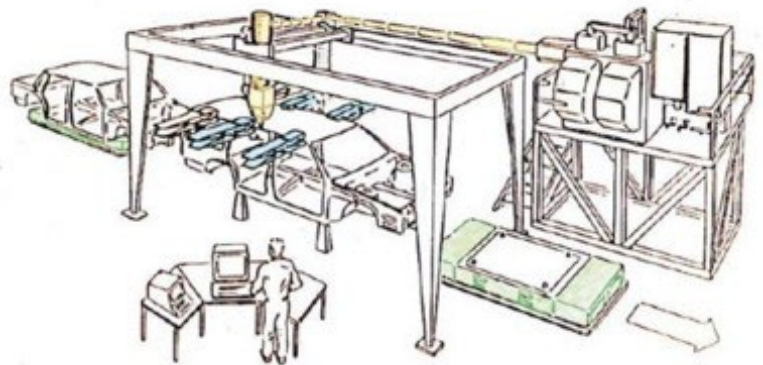


Bild 12. Denna bild brukade Volvo visa för att illustrera problematiken med fixtureringen av överlappsvisen under taksvetsningen av Volvos 850-modell.

- Men, avslutar Fredrik Lüscher, lasersvetscellen innebär en stor investering och det är dyrt att modifiera cellen.

Permanova lanserar scanneroptik

Permanova Lasersystem AB har nu lanserat ett nytt laserverktyg, Permascan, som är en oscillerande optik.

- Permascan har ett brett användningsområde, säger Anna Wallner, bild 9, som berättar om verktyget. Man kan t.ex. använda det för aluminiumsvets utan tråd, att svetsa fogar med varierande gap, batterisvetsning, härdning mm.

Verktyget, bild 10, bygger på Permascands erfarenheter från deras befintliga verktyg; robusthet, integrerad säkerhet, effektiv kylning och god åtkomst. Det ska klara hög effekt, scanning i xy-plan, kontrollerad varierande effekt över arbetsområdet, fogföljning, tråd och kunna simulera effektfördelning.

Permascan klarar 8 kW och har en typisk spotstorlek på 0.33 mm med 200µm fiber. Optiken är 120/200 mm och ger ett scannerområde på ± 10 mm. Kommunikationen sköts via ProfiNet. Verktygets

HMI klarar fogföljning, temperaturövervakning, larmhantering, buskommunikation och att sköta scannerverktyget för att definiera t.ex. effekt, robothastighet och scanningmönster.

- Permascan har också ett kompetent simuleringsverktyg som nu är tillgängligt för marknaden, avslutar Anna Wallner.

Laser hos Volvo Cars – igår, idag, i morgon

Volvo Cars har arbetat med laser i sin tillverkning sedan mitten på 1980-talet. Den första applikationen, 3 D-laserskärning, sjuöppades i prototyp tillverkningen på Torslanda, efter ett intensivt samarbete med Luleå tekniska universitet, där man renskar och skar hål i pressade plåtdetaljer. Detta revolutionerade mer eller mindre denna tillverkning genom att ge bättre toleranser och stora tidsbesparingar eftersom laserskärningen ersatte manuellt plåtarbete.

- Volvo var först med att lasersvetsa taket på bilkarosserna på 850-modellen i början av 1990-talet, berättar Per Lindahl, Volvo Cars, bild 11. Det var en

ren överlappsfog som svetsades med CO₂-laser i ett gantrysystem i Gent.

En av de stora frågorna var hur man skulle klara fixtureringen vid taksvetsningen och för att åskådliggöra problematiken brukade man då visa den "legendariska" bilden på lasersvetscellen med klädnypor, bild 12. Volvo löste sedan problemet genom att använda en tryckrulle för att pressa ihop plåtarna under svetsningen.

Lasersvetsning av kaross och karosskomponenter kom efterhand att kompletteras med laserlödning, där Audi var en drivande kraft. Volvo anammade tekniken och införde laserlödning av bakluckor på S80 modellen, bild 13, efter tre års utvecklingsarbete. Små porer är ett problem vid denna teknik för de kan ge upphov till rostskador.

- Vi hade ett gott samarbete med Audi och fick träna på 300 Audiluckor innan vi sjuöppade tekniken i produktion, berättar Per Lindahl.

Produktionen skedde i Olofström under någon tid. Sedan kom nya krav från designavdelningen som innebar att man täckte fogen med en kromlist, bild 13.

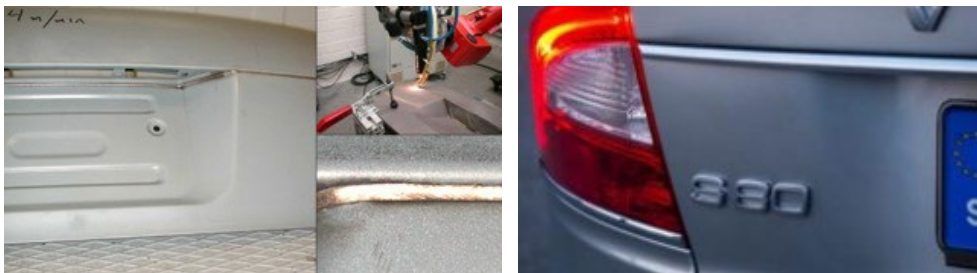


Bild 13. Laserlödning av bakluckor på Volvos S80-modell infördes för att klara designen av bakluckan. Eftersom fogen är synlig ställdes höga krav på lödningens utseende. Det blev sedan modernt inom bilvärlden att införa en kromlist på bakluckan och även Volvo anammade detta "mode".



Bild 14. Ny design hos Volvo V70 gjorde att Volvo införde laserlödning av den s.k. "ring-frame" (t.v.) för att göra fogen "osynlig".



Bild 15. Fogningsmetoder vid karosstillverkning hos Volvo Cars. Bilden visar också hur Volvo använder olika material i karossen. Punktsvetsning är fortfarande viktigast.

Bild 16. I framtiden är design fortfarande viktig men kostnaden är ännu viktigare för Volvo Cars. Elektrifieringen kommer eventuellt att medföra mera lasersvetsning i bilarna.

Den andra tillämpningen av laserlödning hos Volvo blev den s.k. "ring frame" hos V70 modellen, bild 14. Även här låg krav från design bakom att tekniken infördes eftersom fogningen blev synlig.

Idag arbetar Volvo mycket med strukturer och material i karossen, fortsätter Per Lindahl. Volvo använder mest borstål av alla biltillverkare men aluminium ska in. Bild 15 visar hur Volvo använder olika material i karosstrukturen, samt vilka fogningsmetoder som är aktuella.

Vad kan vi då vänta oss i framtiden??

- Ja, designen är viktig men kostnaden är viktigare berättar Per, bild 16.
- Eventuellt kommer mera lasersvetsning in när bilarna elektrifieras. Utmaningarna

för framtiden är att öka processernas robusthet, att förenkla processteknologin, förbättra geometri och passningar, samt att reducera investeringskostnaderna, avslutar Per Lindahl.

Lasersvetsning hos SteelTech

Att man kan utveckla sin verksamhet och tillverkning med hjälp av lasersvetsning och laserskärning är bekant. Ett exempel på det är SteelTech AB i Alingsås som har börjat tillverka sina produkter med lasersvetsning.

- SteelTech i Alingsås startade år 1998 som ett "management buy-out" när jag och en kollega köpte verksamheten av Electrolux, berättar Björn Sjölin, vd och delägare i företaget, bild 17.

Verksamheten vid starten var kontraktstillverkning vilket lever kvar, men nu har man också egna produkter. SteelTech är nu en komplett underleverantör av hela, färdigmonterade och leveransklara lösningar åt sina kunder. Företaget är också en av Europas ledande underleverantörer och specialister på rostfria produkter och logistik för storkök och livsmedelsindustri, där man utvecklar, tillverkar och säljer kundanpassade grytor och upptinningsprodukter samt rengöringssystem. Idag har man ca 85 anställda och omsätter ca 125 miljoner kronor.

Högsta kvalitet till våra kunder är vårt motto, säger Björn Sjölin. Laserresan började 2012 då man tillsammans med Alingsås Kommun, Trumpf Maskin AB, Högskolan i Alingsås och Sparbanksstiftelsen bildade Alingsås Tunnsplätcenter (ATC). Syftet var att ha en verksamhet där man kunde bedriva kompetensutveckling och rekrytera personal. Centret skulle också vara ett nätverk för företag, skolor och andra organisationer i området. Man investerade 2013 i en lasersvetsrobot och en laserskärmaskin. Därefter följde ett spännande utvecklingsarbete med Aelion AB inom batterisvetsning.

- Vi har köpt loss lasersvetsroboten från ATC och har flyttat till nya lokaler, berättar Björn, där vi nu också har möjlighet att ta nya kunder.



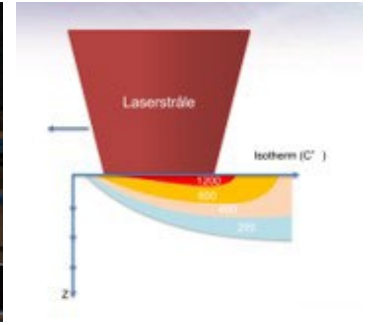
Bild 17. Björn Sjölin, vd SteelTech AB i Alingsås (t.v.) och Patric Strandberg, försäljningschef, berättar om hur lasersvetsning och laserskärning har bidragit till att utveckla företaget och dess tillverkning.



Bild 18. Laserskuren dekoration av stödmur i rostfri stålplåt längs E45 i Göteborg är designad och framtagen av SteelTech.



Bild 19. Erik Wännman, Permanova Lasersystem berättar om laserhårdningens princip och fördelar. Laserstrålen värmer ytan till över 900 °C och värmeledningen för värmen in i materialet. Snabb uppvärmning ger liten kornstillväxt. Snabb avkylning från det omgivande materialet ger hårdning av den uppvärmda zonen (martensit bildas) med mycket fin och hård mikrostruktur.



Patric Sandberg berättar om ett annorlunda uppdrag där man har levererat 700 m laserskuren dekorationsplåt i rostfritt till ombyggnaden av E45 genom Göteborg. Både plåt och dess utskurna motiv – Göteborgs vägnät sett från ovan - är framtagna av SteelTech, bild 18.

- Lasersvetsning av en egen produkt har dramatiskt sänkt svetstiden, berättar Patrik Strandberg. Med handsvetsning var svetstiden 47 minuter och med laser 40 sekunder.
- Vi arbetar längs hela produktkedjan från prototyp till verkning, produktionsanpassning till "face-out", avslutar Patric Strandberg.

Nytändning för laserhårdning??

Laserhårdning är en av de gamla laserprocesser som kom till användning redan under 1970-talet, speciellt i USA. Laserhårdning av cylinderfoder är en klassisk applikation från den tiden. I Sverige har tekniken svårt att komma till någon större användning av flera orsaker. En sådan är att så länge CO₂-lasern dominerade bland högeffektlasrarna behövde man påföra ytorna som skulle hårdas med ett absorberande skikt, t.ex. sot från en acetylenlåga. En extra process alltså som tog tid och sedan skulle detaljen också rengöras efter hårdningen.

Men nu har Permanova Lasersystem levererat två system för laserhårdning så möjligen ser vi en försiktig nytändning av tekniken. Erik Wännman från Permanova, bild 19, presenterade utförligt laserhårdningstekniken och dess fördelar t.ex. en snabb och automatiserad process, kompakta och flexibla system med korta omställningstider som kan integreras i produktionskedjan.

Medan CO₂-lasern, som bara har en verkningsgrad på ca 10%, gav dålig absorption av energin i materialet så har diodlasern, som nu finns i effekter på 10 kW och mer, en absorption av ljusenergi på 30-40% samtidigt som laserns verkningsgraden är ca 45%. Alltså en mycket effektivare laser och en mycket effektivare hårdningsprocess.

- Verktyget fokuserar laserljuset till en spot som belyser materialet som ska hårdas. Denna spot kan vara rund, en linje, rektangulär eller annan form och även energifördelningen i spoten kan styras och varieras, berättar Erik Wännman. Strålens form och storlek kan styras via en fast optik, zoomoptik eller scanneroptik. En pyrometer kan integreras i systemet vilken mäter temperaturen i spoten och styrsystemet anpassar därefter lasereffekten så att hårdningen optimeras.

SECO, den välkända svenska verktygstillverkaren, har installerat ett laserhårdningssystem från Permanova för att lokalt förbättra slitaget hos Perfomax-borrarna, bild 20, där bara ett litet område behövde en extra värmebehandling för att öka livslängden.

Systemlösningen blev en direkt diodlaser från LaserLine med zoomoptik och integrerad pyrometer samt en ABB-robot för hantering av produkter som står i paletter. Ett visionsystem används för orientering och positionering av produkter vid hårdning. Och resultatet blev mer än 140% ökad livslängd på produkten.

Engcon/Kvalitetslego i Strömsund hade problem med slitage på vissa delar i stommen på tiltrotatorer, bild 21, medan andra delar kräver seghet. Man löste problemet med slitbrickor, vilket var en dyr lösning eftersom den krävde inköp, lagerhållning och montering. Man försökte med att härda stommen externt men det blev ingen bra logistisk lösning.

- Den slutliga (senaste) lösningen blev i stället en laser-robotcell för laserhårdning av de ytor som hade slitbrickor, fortsätter Erik Wännman. Hårdstationen placerades i produktionslinjen med bearbetningsmaskiner före och målning efter.



Bild 20. Selektiv laserhårdning förbättrar livslängden hos Perfomax-borrar tillverkade av SECO.



Bild 21. Laserhårdning av avgränsade ytor i stommen i tiltrotatorer hos engcon/Kvalitetslego i Strömsund sker i en laser cell med diodlaser och två robotar. Cellen är placerad i produktionslinjen.



Bild 22. Björn Lekander, marknadschef på Permanova Lasersystem, berättar om trender inom laservärlden. Lasrarna får högre effekt och minskar i storlek samtidigt som kostnaden minskar. Antalet lasertillverkare på marknaden ökar också.

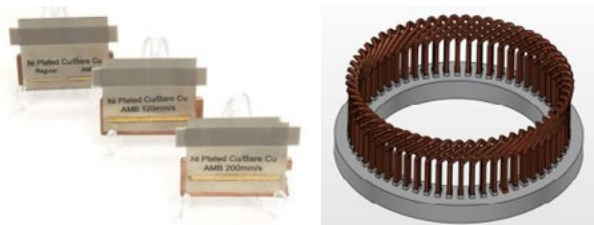


Bild 23. Lasersvetsning hittar nya tillämpningar inom e-mobility, bl.a. för materialkombinationer som t.ex. Cu/Al och s.k. "hair pins".

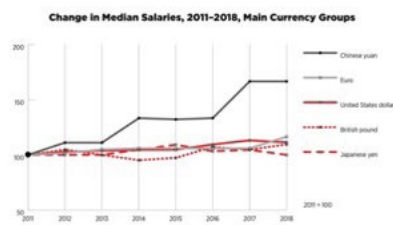


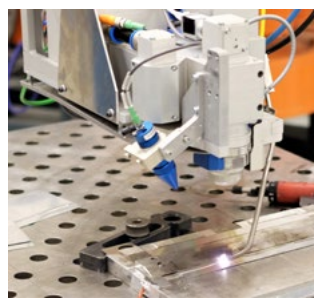
Bild 24. Utveckling av lönekostnader inom olika valutagrupper mellan 2011 och 2018.



Bild 25. Utveckling av skyddskläder mot laserstrålning och aktiva laserskydd är en trend på lasermarknaden.



Bild 26. Arash Moini, chef för teknik och leverans vid Permanova Lasersystem AB berättade om utvecklingsarbetet inom företaget och övervakade demonstrationen av Permascan, Permanovas nya oscillerande optik.



En stor ABB-robot hanterar detaljen från ett transportband till en lägesställare där en mindre robot i laserstationen hanterar verktyget som är en fast optik med spot 13x13 mm. Lasern är en diodlaser från LaserLine.

Resultatet blev jämnare kvalitet och att man sparar 11% i tillverkningskostnad.

- Laserhårdning har flera fördelar, sammanfattar Erik Wännman. Ökad produktivitet med lägre kostnad, hög jämn kvalitet utan efterbearbetning, samt kompakta och flexibla anläggningar. Dessutom kan många produkter utformas med förbättrad design som ger smartare produkter med bättre materialutnyttjande.

Trender inom laservärlden

Laserdagen avslutades med att Björn Lekander, bild 22, pratade om trender i "laservärlden" och inledde med laserkällorna. Trenden går fortsatt mot högre effekt och mindre storlek hos de ledande tillverkarna. Flera tillverkare från Kina bl.a. Raycus och Han*s Laser finns nu på marknaden och pressar priserna. Så har kostnaden för en 1 kW fiberlasermodul minskat från \$7500 till \$5000 på två år.

Utvecklingen inom e-mobility går snabbt och lasersvetsning hittar nya användningsområden bl.a. inom batteritillverkningen där olika materialkombinationer nu svetsas, bild 23. Lasersvetsning av s.k. "hair pins" är en annan tillämpning.

Kvalitetskraven ökar också. Medan lasersvetsning av biltak kräver ca 60% felfria svetsar så är kravet 100% rätt inom batteritillverkningen. Detta ställer högre

krav på inkommande material, underhåll och processövervakning.

- Lönekostnaderna har ökat 67% i Kina mellan 2011 och 2018, berättar Björn Lekander, med de bara har ökat 17% inom Euro-länderna, bild 24. Detta har medfört att produktion har överförs från Kina till lägstkostnadsländer i Europa.

Investeringskostnaden för laser (CAPEX; capital expenses) närmar sig utrustning för konventionella svetsmetoder som MIG/MAG/TIG medan driftskostnaderna (OPEX; operating expence) är lägre.

Ägandeskapets totalkostnader (TCO; total cost of ownership) är också bättre för laser, menar Björn Lekander.

- Det finns också en trend mot personlig säkerhet där olika skyddskläder mot laserstrålning har utvecklats, bild 25. Aktiva skydd i laserceller som t.ex. LaserSpy ökar också, avslutar Björn Lekander.

Laserdagen innehöll också en presentation av utvecklingsarbetet inom Permanova Lasersystem av Arash Moini och en demonstration av Permanovas nya oscillerande optik, Permascan, bild 26.

Laserdagen blev en trevlig och intressant dag med mycket värdefull information som lockade 32 deltagare där också laserveteranen Sven-Olof Roos, bild 27, aktivt deltog i många diskussioner.

Laserdagen är ett utmärkt forum för nätverkande där man har möjlighet att träffa många olika personer som arbetar med tekniken i Sverige. Här har tre laserdoktorer från Luleå tekniska universitet stålat samman, bild 28 och minglar i glatt samspråk.



Bild 27. Sven-Olof Roos, nestor inom svensk lasertechnik, har arbetat med utveckling av lasertechnik och fiberoptik i Sverige sedan början av 1980-talet och är nu verksam i Permanovas styrelse.



Bild 28. Laserdagen inbjuder till nätverkande. Här har tre laserdoktorer från Luleå tekniska universitet strålat samman med två andra deltagare över en mugg kaffe. Frv. Bengt Johansson, Teknikcentrum i Gnosjö AB, Dr Peter Norman, Svetskommissionen, Dr Anders Ivarson, SSAB EMEA AB, Dr Conny Lampa, Höganäs AB samt Mattias Weibull, Höganäs AB.

LaserGruppen tackar Permanova Lasersystem AB för samarbetet med Laserdagen.

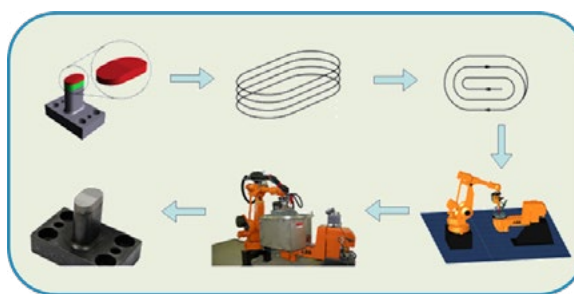
Dokumentation av föredragen är tillgänglig för medlemmar och finns på LaserGruppens hemsida, www.lasergruppen.eu ■

Forskning inom additiv tillverkning vid Högskolan Väst i Trollhättan

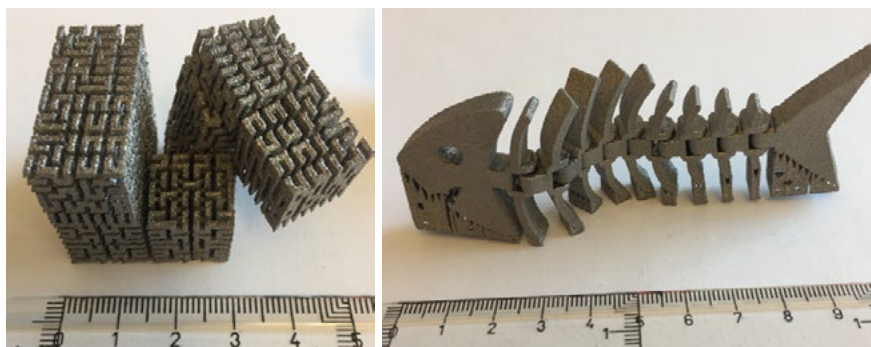
Robert Pederson,
Joel Andersson,
Mikael Ericsson,
Högskolan Väst

Additiv tillverkning (AM, från engelskans Additive Manufacturing) innebär att material byggs enligt lager-på-lager principen, enligt en förutbestämd geometri, ofta enligt en CAD ritning. En fördel med denna teknik är att material ”byggs” på de ställen där det verkligen behövs, vilket kan få avsevärda besparingar på materialspill jämfört med konventionella tillverkningsprocesser.

Som exempel kan nämnas metalliska komponenter till flygindustrin i förhållandevis dyra material såsom titanlegeringar och Ni-baserade superlegeringar. Vid konventionell tillverkning utgår man här ofta ifrån gjutgods eller smiden som sedan behöver maskinbearbetas ner till den färdiga komponentens geometri. Inte sällan handlar det här om att så mycket som 70-80% av ursprungsmaterialet bearbetas bort. Även om det mesta av spillmaterialet i form av bearbetningsspånor sedan återvinns genom omsmältning till nytt material och sedan kommer tillbaka i produktkedjan, bidrar dagens konventionella tillverkningsprocesser till onödiga påfrestningar på miljön ur ett hållbarhetsperspektiv. Här kommer därför AM in som en potentiellt mer hållbarhetsvänlig teknik i och med att tekniken medför direkt nära-slutgeometriska byggen, utan betydande maskinbearbetning för att nå slutlig färdiggeometri. Reparation är ytterligare ett område där AM har visat sig vara värdefullt. Istället för att kassera trasiga komponenter och ersätta med nya, kan det trasiga området på en detalj bearbetas bort och med hjälp av AM sedan återuppbyggas på nytt, se **Figur 1**.



Figur 1. Ett exempel ifrån ett verkligt fall där ett utslitet stansverktyg med hjälp av AM kunde repareras istället för att kasseras. Den utslitna toppdelen (rödmarkerad) bearbetades bort, robotbanan för deponering av metalltråden planeras och utförs sedan varefter slutgeometrin bearbetas fram. Den reparerade stansen visade sig senare hålla betydligt längre än originalet.

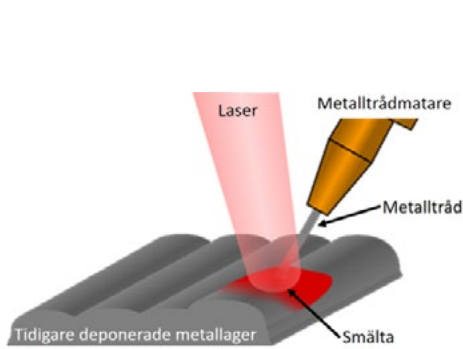


Figur 2. Till vänster ses en kubisk detalj med ett extremt komplext 3 dimensionellt nätverk av solid metall integrerat i kuben. Den här detaljen och geometrin är omöjlig att tillverka med konventionell tillverkningsteknik. Till höger ses ett fiskskelett med ledad ryggrad, där alla lederna går att röra sinsemellan, och dessa var integrerade i samma bygge. Om detta fiskskelett skulle tillverkas med konventionell tillverkningsteknik skulle varje led först behöva tillverkas separat följt av montering av lederna och ev tillförslutning av respektive led. Kuben och fiskskelettet är byggda i en metallpulverbädd AM process som kallas för Elektronstrålesmältning (EBM, från engelskans Electron Beam Melting).

Ytterligare en anledning till varför intresset ökat AM är det faktum att komplexa geometriska detaljer nu kan tillverka i ett svep, geometrier som inte är möjliga att tillverka med konventionella tekniker, se exempel i **Figur 2**. Detta har i sin tur lett till att helt nytt designer-område har bildats, så kallad ”design for AM”, som innebär att designingenjörer inom AM behöver lära sig och förstå de nya designkriterier som AM möjliggör.

Additiv tillverkning är det övergripande namnet för flera olika metoder. Vid additiv tillverkning av metaller kan

man dela in de olika AM metoderna i två grupper – en grupp som utgår ifrån en pulverbädd (PBF, från engelskans Powder Bed Fusion) och en grupp där materialet deponeras, endera i form av ett pulver eller som tråd, på ett substrat eller på ett tidigare smält lager (DED, från engelskans Directed Energy Deposition). De olika metoderna har fördelar och nackdelar i jämförelse med varandra och det är därför svårt att säga vilken metod som är ”bäst” ur ett generellt perspektiv. Kostnaderna för investering i utrustningen för respektive metod skiljer sig också åt. De



Figur 3. Schematisk bild till vänster som visar hur energikällan (laser) smälter metalltråden som matas ner ovanpå ett tidigare deponerat lager. Till höger visas processen i verkligheten där den sitter på en robot som möjliggör automation av AM processen. I exemplet sker smältandet av metalltråden i ett slutet tält fyllt med inert argongas för att undvika att oönskat syre reagerar med den smälta metallen under tiden komponenten byggs.

billigare systemen, som i stort bygger på konventionell ljusbågesvetsning, kostar därefter, medan de dyrare systemen som tex pulverbädd AM metoderna kan kosta flera miljoner kronor i investering.

Högskolan Väst (HV) i Trollhättan bedriver sedan snart 20 år forskning inom området additiv tillverknings för metalliska material. I början på 2000-talet var det främst DED processen med laser som värmekälla som forskningen kretsade kring, se **Figur 3**. Idag forskar man vid HV på de flesta AM metoderna för metalliska material, och vid Produktionstekniskt Centrum (PTC) i Trollhättan där högskolans tekniska forskningsverksamhet är koncentrerad, finns idag utrustningar och system för såväl DED processer som pulverbäddsystem. De metalliska material som det idag framförallt byggs med innefattar Titan-legeringar, Ni-baserade superlegeringar, olika sorters stål-legeringar, samt Aluminium-legeringar. Forskningen bedrivs i nära samarbete med industriföretag ifrån en rad olika applikationsområden, såsom till exempel flygindustrin, rymdindustrin, övriga fordonsindustrin, samt en rad industriföretag med andra tillämpningar där potentialen med AM jämfört med konventionella tillverkningsprocesser undersöks. Tack vare de 40-tal ingenjörer och forskare som tillsammans med den omfattande systemparken bestående av olika AM metoder finns på plats fysiskt vid PTC går forskningen snabbt framåt. Industriföretagen har därmed möjlighet att med egen personal på plats följa utvecklingen i de olika forskningsprojekten. I vissa fall handlar det om företag som ännu inte själva investerat i AM system men är intresserade och vill lära sig mer om de olika metoderna innan företagen går vidare och eventuellt satsar på egna system. Forskningen bedrivs tillsammans med företag i hela process-

kedjan för additiv tillverknings, dvs från materialframställare av pulver och tråd för AM, utrustnings- och systemtillverkare för olika AM metoder, underleverantörer liksom slutanvändare av produkter tillverkade med AM.

HV's forskningsområden kopplat till AM handlar dels om processutveckling av AM processerna, tillsammans med partnerföretagen, där företagens egna kravspecifikationer för såväl processkontroll som produktkrav ligger till grund för forskningen. För vissa AM processer utvecklas samtidigt integrerade system med olika slags sensorer för processkontroll och automation, vilket på sikt leder till mer robusta och automatiserade processer. Förutom att utveckla vidare AM processerna så är det även viktigt att förstå hur olika process parametrar inverkar på det byggda materialet. Därför bedrivs betydande forskning på att kartlägga och förstå sambanden mellan AM processparametrar – mikrostruktur/defekter – mekaniska egenskaper hos färdigbyggt material. I december 2019 fick HV beviljat det hittills största forskningsprojektet inom AM. Projektet heter ”**POwDer Bed Fusion Additive Manufacturing of Metals for Gas Turbine Applications**” (**PODFAM**), med forskningsfokus på pulverbädd AM metoderna. Total budget för projektet är drygt 80 MSEK där hälften är företagens egna insatser, och samarbetspartners i projektet är Arcam, GKN Aerospace Engine Systems, Sandvik Machining Solutions AB, Siemens Turbo Machinery AB, och Quintus Technologies. Vid HV ges även olika kurser inom AM, såväl i master program som skräddarsydda kurser för anställda inom industrin.

För närvarande är 10 doktorander stationerade vid PTC, här följer en lista i namnordning på dessa doktorander med respektive forskningsområde:

- Ali Abadi's doktorsstudier går ut på att utveckla en simuleringsmodell för DED processen för tråd-deponering av en titanlegering;
- Olutayo Adegoke's doktorsstudier går ut på att utforska sambanden mellan PBF-LB processparametrar och mekaniska egenskaper hos en högttemperatur Ni-baserad superlegering;
- Pradip Aryal's doktorsstudier går ut på att utveckla en simuleringsmodell för DED processen för tråd-deponering av en ställegering;
- Arun R Balachandramurthi's doktorsstudier går ut på att utforska de mekaniska egenskaperna hos Ni-bas legeringar tillverkade med PBF processer;
- Sneha Goel's doktorsstudier går ut på att utforska hur olika typer av efter-bygg processer såsom värmebehandling/HIP (Hot Isostatic Pressing) inverkar på mikrostrukturen hos Ni-bas legeringar tillverkade med PBF processer;
- Agnieszka Kisielewicz's doktorsstudier går ut på att utveckla metoder för att mäta olika variabler in-line för DED processer för att möjliggöra process kontroll/automation;
- Chamara Kumara's doktorsstudier går ut på att simulera och modellera hur mikrostrukturen förändras (strukturbeståndsdelar/utskiljningar/lokal kemisk variation) med tid-/temperatur-historik för olika avancerade legeringar vid tillverknings med både DED och PBF processer;
- Paria Karimi Neghlani's doktorsstudier går ut på att studera hur olika processparametrar i PBF-EB processen inverkar på mikrostrukturen för en Ni-baserad superlegering;
- Tahira Raza's doktorsstudier går ut på att studera egenskaperna hos Ni-baserade superlegeringar tillverkade med PBF-LB;
- Suhas Sreekanth's doktorsstudier går ut på att studera egenskaperna hos Ni-baserade superlegeringar tillverkade med DED processen med laser där metallpulver deponeras.

Är du eller ditt företag intresserad av att veta mer om AM verksamheten vid Högskolan Väst är ni välkommen att kontakta Professor Robert Pederson (robert.pederson@hv.se, tel 0739013357), Biträdande Professor Joel Andersson (joel.andersson@hv.se, tel 0739013319), eller Dr. Mikael Ericsson (mikael.ericsson@hv.se, tel 0733975074).

ACCEL - Adapted Chemical Composition of materials for Enhanced Laser welding

Jan Frostevarg
Luleå tekniska universitet

Projektet ACCEL är ett "Vinnova produktion2030" projekt som syftar till att utveckla och förstå avancerade kemiska stålblandningar och få insikt i deras beteende under lasersvetsning och laserskärningsoperationer. Detta kan leda till mer hållfasta konstruktioner och energieffektivitet med ökad robusthet i processande och minskade antalet operationer i tillverkningskedjan. Under projektet kommer en ny testbädd för snabbare anpassning och förståelse för stål kemi i svetslika förhållanden att utvecklas, vilket möjliggör accelererad produktionsutveckling.

Ny testbädd för snabbare materialutveckling och anpassning av material för given applikation och process

Den nya testbädden, här kallad Snapshot, kommer att påskynda utvecklingen av stål kemi för termiska processer som en effektiv metod för att snabbare kunna prova, skraddarsy och förstå den kemiska sammansättningen av tillsatsmaterial i kombination med basmaterial och använd svetsprocess. I detta projekt kommer den att utvecklas och användas för att efterlikna de termiska processerna laserhybridsvetsning och lasersvetsning.

Kemiskt anpassad laserhybridsvetsning, lasersvetsning och laserskärning

Sex projektpartners med kompletterande stålkompetens kommer att studera tre termiska metoder. Som fogberedning för laserhybridsvetsning kan laserskärning direkt användas för att ytterligare minska energiåtgång och kostnader. När svetsningen sker

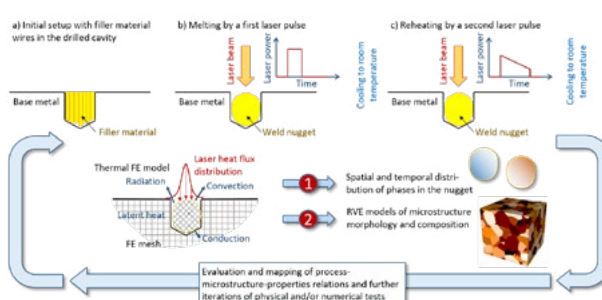


Figure 1: Snapshot - en termodynamisk testbädd. I en kavitet kan valt material smältas och blandas med en laserstråle. Denna kyls av väldigt snabbt, men med tillsatt energi från en laserstråle kan avkylningen göras på ett mer kontrollerat sätt. Luleå tekniska universitet utför fysiska experiment medan Lunds universitet utvecklar en numerisk simuleringsmetod. Tillsammans kan experimentella och numeriska metoden accelerera materialutveckling görs. I detta projekt kommer grundmaterial och tillsatsmaterial att blandas och testas för att iterativt ta fram mer lämpliga tillsatsmaterial för de här använda svetsmetoderna, laserhybridsvetsning och lasersvetsning.

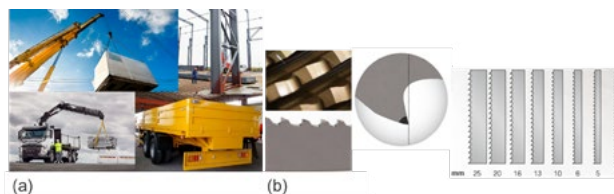


Figure 2: (a) Möjliga applikationer för höghållfasta stål och (b) Bimetallsågblad som ska lasersvetsas.

kommer anpassad kemi för tillsatsmaterial att användas så att lämplig mikrostruktur kan erhållas. Dessutom är svetsmetoden väl lämpad för att foga avancerade höghållfasta stål jämfört med andra metoder på grund av minskad värmepåverkad zon. För att skärningen ska fungera som fogberedning är det en förutsättning att skärningen inte varierar längs snittet. Okontrollerad smältoxidation som kräver minskade skärhastigheter ska studeras för att se om detta kan undvikas. För lasersvetsning av sågblad i bimetall kan dislokationer uppstå som kan kräva signifikant omarbete med konventionella metoder, men även få en mindre hård materialstruktur i svetsrågen. Nuvarande både process och material ska studeras och metoder för att förbättra svetsgeometri och metallurgiska egenskaper ska undersökas och utvecklas.

Projektpartners

Avdelningen för hållfasthetslära, Lunds universitet
SSAB EMEA AB
ESAB AB
SNA Europa
Erasteel Kloster AB
Kontakt
Jan Frostevarg
Luleå tekniska universitet
Produktionsutveckling, Produkt- och produktionsutveckling,
Institutionen för teknikvetenskap och matematik
Telefon: 070-520 47 50
E-post: jan.frostevarg@ltu.se

För mera information:

<https://www.ltu.se/research/subjects/Produktionsutveckling/Forskningsprojekt/ACCEL-Adapted-Chemical-Composition-of-materials-for-Enhanced-Laser-welding-1.185761>

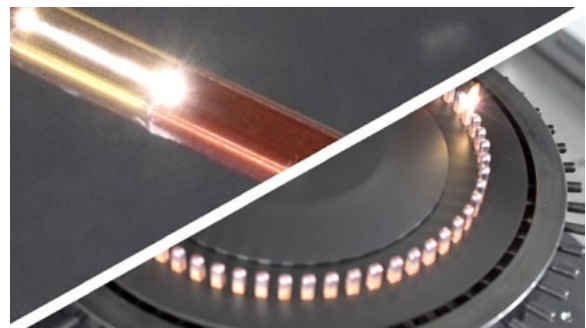


Bli tillverkning av "e-Drive"-komponenter nästa stora användningsområde för lasertekniken?

Rapport från 21st European Automotive Laser Applications, 11-12 februari i Bad Nauheim, Frankfurt a.M.

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering

Vi som deltog vid den 21:a upplagan av EALA [*European Automotive Laser Applications Workshop*] i Bad Nauheim i februari månad fick säkert uppfattningen att det självklara svaret på frågan i rubriken ovan var ett otvetydigt JA! Konferensens huvudtema var just "Lasers go e-Mobile", med tyngdpunkt på lasersvetsning för elektromobilitet, och det blir den delen av konferensen som jag kommer att rapportera om i detta nummer av *LaserNytt*. Men EALA innehöll även ny spännande information kring optiklösningar och laserverktyg samt nya metoder för kvalitetskontroll och processövervakning, vilket läsarna kan se fram emot i nästkommande nummer av tidningen.



Årets konferens hade samlat 153 delegater från 16 länder, och corona-viruset hade tydligen påverkat deltagarantalet så tillvida att representationen från Asien var betydligt lägre än vad vi är vana vid; 6 japaner och en enstaka kines bildade det asiatiska inslaget, medan tyskarna som vanligt utgjorde den största andelen, eller 60%, av de närvarande. Sverige var väl representerat med hela 8 delegater på plats, samma antal som gällde för USA och Österrike [**Tab. 1a**]. EALA har ju blivit något av ett skyltfönster för underleverantörsföretag till bilindustrin, s.k. OES [Original System Suppliers] och utgjorde 79% av deltagarna, medan endast 14% kom från bilföretagen själva [OEM = Original Equipment Suppliers, **Tab. 1b**]. Resterande 7% representerade forskningsinstitut, högskolor och konsultföretag.

Som traditionen bjuder hälsades vi välkomna av Dr. Dirk **Meine** från arrangerande ACI [*Automotive Circle International*], som kunde meddela två EALA-nyheter. Man introducerade för första gången en konferens-app där all information, deltagarförteckning och samtliga presentationer fanns att tillgå på ett lättillgängligt sätt. Den andra nyheten var guidade visningar genom den tillhörande utställningen, där de 19 leverantörsföretagen [**Tab. 2**] gavs vardera 2 minuter för att på ett komprimerat sätt redogöra för sina nya produkter.

Tabell 1a. Deltagare per nation

Nation	Antal
Tyskland	91
Sverige	8
USA	8
Österrike	8
Spanien	7
Japan	6
Storbritannien	5
Tjeckien	5
Frankrike	4
Finland	2
Italien	2
Nederländerna	2
Turkiet	2
Canada	1
Danmark	1
Kina	1
Summa	153

Tabell 2.
Utställande företag

Tabell 1b. Deltagare per OEM	
OEM	Antal
Audi AG	6
General Motors	3
Scania CV	2
Volkswagen AG	2
Volvo Cars	2
BMW AG	1
FCA [Fiat/Chrysler]	1
Ford Motor Co.	1
Honda	1
Mercedes AG	1
Adam Opel AG	1
Renault S.A.S.	1
Summa	22



Konferensens inledande talare var gamle bekantingen Christian **Elsner** från Mercedes Benz AG, vars tidiga satsning på bränsleceller med bipolärplattor i rostfritt material var ett tidigt exempel på ”e-mobility”, och redan för 15 år sedan presenterade man Mercedes S400 med Li-Ion-batterier, vilken då var den första europeiska personbilen med hybriddrift. Idag har man såväl PHEVs [Plug-In Hybrid Electric Vehicle] som rena elbilar [BEV = Battery Electric Vehicle] i sitt sortiment, där modellen EQC-400 [Fig. 1] är ett exempel på det senare med två elmotorer, en på vardera hjulaxeln, med en sammanlagd effekt på 408 hk.

Principupbyggnaden för ett s.k. batteripack är att först tillverka battericellerna och kontaktera dessa och det blir då aktuellt att sammanfoga materialkombinationer som koppar-koppar, aluminium-aluminium samt koppar-aluminium. Därpå sammanfogas cellerna till batterimoduler, vilka slutligen kopplas samman och placeras inuti en säkerhetsram som monteras under eller i karossgolvet. Vid svetsning av den artolika koppar-aluminiumkombinationen är risken för uppkomsten av spröda faser som exempelvis Cu₄Al₃ [624 Hv] och CuAl [648 Hv] uppenbar. Detta menade den gode Christian går att motverka med kontrollerade svetsparametrar, samtidigt som han konstaterade att den höga reflexionen hos koppar och aluminium medför snäva processfönster. De huvudsakliga fördelarna med att använda lasersvetsning i dessa sammanhang är:

- Minimalt elektriskt motstånd i fogen
- Nödvändigheten av en ensidig fogningsmetod
- Mycket låga termiska spänningar tillförs battericellerna
- Fjällasersvetsning medför enklare åtkomst

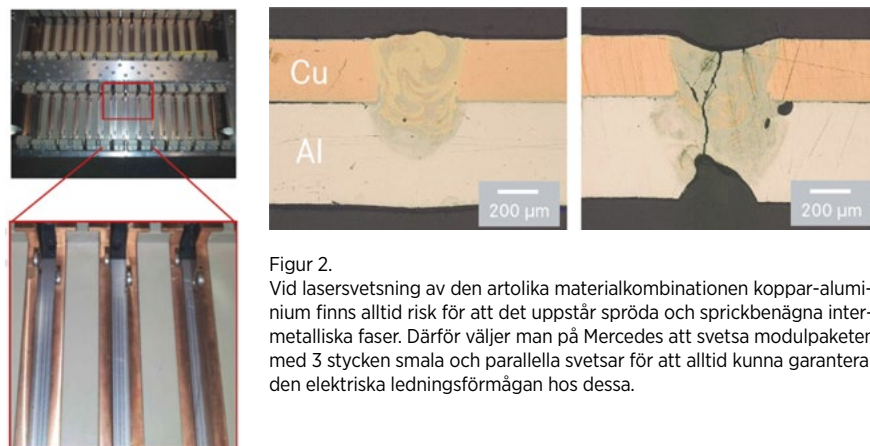
- Arges GmbH
- Automation W+R GmbH
- Bergmann & Steffen GmbH
- Blackbird Robotersysteme GmbH
- Coherent Shared Services B.V.
- DINSE GmbH
- FANUC Deutschland GmbH
- hema electronic GmbH
- II-VI HIGHYAG Lasertechnologie GmbH
- IPG Laser GmbH
- Laserline GmbH
- MKS Instruments – Ophir Brand
- Panasonic Industry Europe GmbH
- plasm Industrietechnik GmbH
- Precitec GmbH & Co. KG
- PRIMES GmbH
- Scansonic MI GmbH
- Shape Process Automation EU
- TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH



Figur 1. Mercedes EQC-400 är ett exempel på en större BEV med en elmotor på vardera hjulaxeln. Batterierna väger hela 650 kg med ett energiinnehåll på 80 kWh vilket innebär en räckvidd på 450 km.

Svetsningen av modulpaketet sker med 3 smala parallella svetsar i stället för 1 bred sådan [Fig. 2], dels för att minimera värmeförlusten med också för att garantera

att det alltid finns elektrisk ledningsförmåga mellan materialen. Svetstiden för varje enskild svets ligger på svindlande 0,15 sekunder.



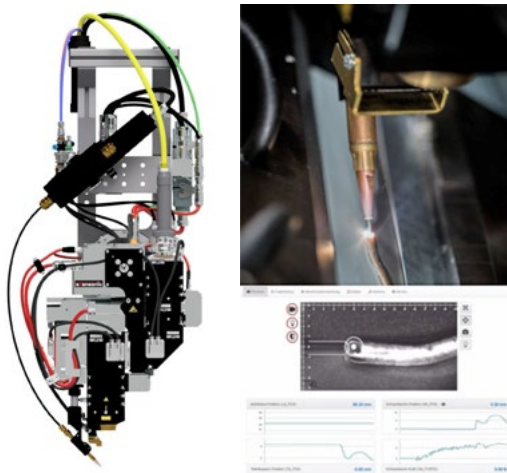
Figur 2. Vid lasersvetsning av den artolika materialkombinationen koppar-aluminium finns alltid risk för att det uppstår spröda och sprickbenägna intermetalliska faser. Därför väljer man på Mercedes att svetsa modulpaketet med 3 stycken smala och parallella svetsar för att alltid kunna garantera den elektriska ledningsförmågan hos dessa.

Merparten av Mercedes batterier produceras idag av företaget Deutsche Accumotive GmbH & Co.KG, som är ett s.k. Joint Venture med företaget Evonik Industries, och har sitt huvudsäte i tyska Kamenz. Därutöver producerar Mercedes batterier i polska Jawor samt i Beijing. Nyligen har en andra fabrik invigts i Kamenz där en komplett tillverkningslinje för BEV-batterier mäter hela 90 meter. Eftersom batterisvetsning kräver en hundraprocentig koppling mellan de olika materialen medför detta höga krav på svetskvaliteten. Idag valideras denna enbart med visuell avsyning, vilket Herr Elsner menade inte är tillräckligt. Andra kontrollmetoder måste användas vid volymproduktion av framtida batteripack, men vilka dessa blir ville han emellertid inte avslöja.

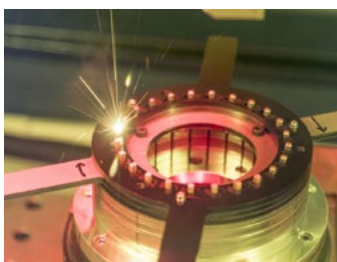
Näste talare var Pravin Sievi från Scansonic MI GmbH som berättade om lasersvetsning av de strukturella batterilådorna vilka vanligtvis utgörs av aluminiumextruderar i legeringarna 5- och 6000, med typiska vägg tjocklekar på mellan 2-3 mm, men som även förekommer i stålutförande. För att säkerställa lådornas krocksäkerhet är de försedda med stag för att kunna ta upp tvärkrafter vid en eventuell sidokollision. I det fallet är det främst T-fogar som blir aktuella att lasersvetsa, men även käl- och stumfogar förekommer. Krav föreligger på lådornas gastäthet varför svetsarna måste vara helt fria från spricktendenser. Fördelarna med lasersvetsning i det här sammanhanget menade Herr Sievi vara:

- Långa kontinuerliga svetsar
- Enkelsidig åtkomst
- Minimal värmepåverkan
- Hög processflexibilitet

Olika angreppssätt hade studerats såsom taktill svetsning med tillsatstråd eller RLW [Remote Laser Welding]. I det förstnämnda fallet är den laterala positioneringen av fokuspunkt och tråd vid kälsvetsning viktig. Om man ligger mer än 0,5 mm in på topplåten kan man inte åstadkomma någon bindning, och om man ligger 0,4 mm eller längre ut på bottenplåten får man genombränning. Den ideala positioneringen tycks vara all ligga 0,2 mm ut på bottenplåten från kälän räknat. I fallet med fjärrlasersvetsning kunde vissa fördelar konstateras då det gäller att sluta spalten mellan plåtarna. Vid taktill svetsning och tillsatstråd klarade man att överbrygga spalter upp till 33% av topplåtens tjocklek. Om man däremot använde RLW i kombination med strålscillering gick det att sluta spalter ända upp till 50%. Eftersom



Figur 3. Scansonics senaste svetsverktyg ALO4 utvecklat och tänkt att användas vid svetsning av "e-mobility"-komponenter som exempelvis strukturella batterilådor i aluminium. För processövervakning vill man främst satsa på Lessmüllers SCeye®-verktyg (t.h.)



Figur 4. För att kunna svetsa rotnors "hårnålar" med hög kvalitet måste först det korrosionsskyddande polymer-skiktet avlägsnas med hjälp av korta laserpulser. För detta ändamål har Clean-Lasersysteme GmbH utvecklat laserkällorna CL600 och CL1000.



aluminium är ett sprutbenäget material vid lasersvetsning blir det viktigt att kontinuerligt övervaka nedsmutsningen av optikens skyddsglas, eftersom detta innebär att mindre effekt når arbetsstycket. Detta kan man göra genom att observera en eventuell temperaturökning hos optiken vilket indikerar en ökad nedsmutsning. Slutligen visade Herr Sievi några svetsverktyg som Scansonic numera erbjuder för denna typ av "e-mobility-svetsning"; ALO4-L med ett utökat arbetsavstånd och ALO4-F som är speciellt lämpligt vid svetsning i trånga hörn [Fig. 3]. Beträffande framtida utveckling inom företaget kommer man att studera lösningar för hur taktill- och fjärrlasersvetsning kan kombineras, automatisk parameteranpassning vid varierande spalter samt "in-line"-kontroll av svetskvaliteten med hjälp av företaget Lessmüllers SCeye®-verktyg [Fig. 3].

Svetsning av s.k. hairpins till elektriska statorer adresserades under många av föredragen. Dessa "hårnålar" svetsas samman parvis, men då de är försedda med en korrosionsskyddande polymer måste denna film avverkas selektivt för att möjliggöra svetsningen [Fig. 4]. Just detta processteg skulle Edwin Büchter från Clean-Lasersysteme GmbH komma att berätta om. Som företagsnamnet indikerar är rengöring med hjälp av en laserstråle fokusområdet, och tekniken har länge

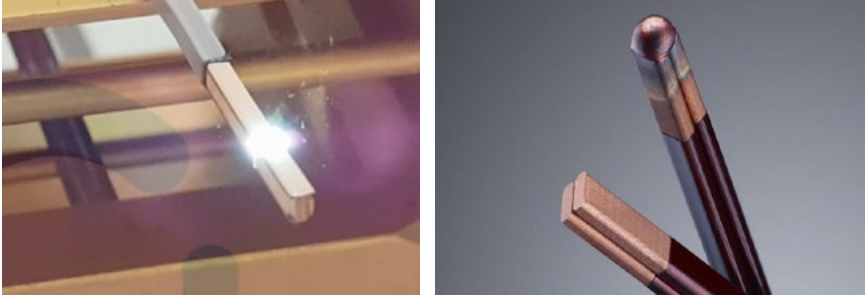
använts för att avlägsna gamla färgskikt, t.ex. på flygplanskroppar. Man erbjuder för ändamålet anpassade laserkällor i tre effektområden; modellerna CL12-CL200 med låg effekt, medeffektvarianterna CL150-CL600, samt CL1000 och CL2000 med hög effekt [Fig. 4].

Användningsområdet handlar alltså om att avverka mycket tunna ytskikt genom att förånga dessa med korta laserpulser under 100 ns med hjälp av laserkällor med en våglängd på 1.064 µm. Ett praktikfall som presenterades handlade om att lokalt avverka det 12-35 µm tjocka, katodiskt anbringade korrosionsskyddet på batterilådor för Audis E-Tron-modell för att därigenom skapa elektrisk ledningsförmåga [Fig. 5]. Genom att använda en CL600-källa med STAMP30-optik kunde detta utföras med en processhastighet på mer än 6 cm²/sek, vilket innebar att cykeltidskravet på 130 sekunder kan innehållas.

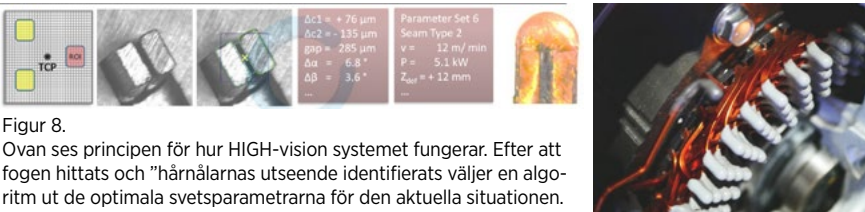
Beträffande den ovannämnda avverkningen av polymerskiktet [PA eller PEEK] på "hårnålarna" sker, enligt Herr Büchter, denna lämpligtvis med 500 W från en CL500-källa och en STAMP25-optik. För att avverka en 20 mm lång sträcka per hårnål tar det mellan 1,8-2,5 cm²/sek [Fig. 6], och som kvalitetskontroll använder man en höghastighetskamera för processövervakning. Ett annat exempel handlade om bort-



Figur 5. Selektiv avverkning av korrosionsskyddet på batterilådor för Audis E-Tron-modell för att skapa elektrisk ledningsförmåga vid sammanbyggnad av desamma.



Figur 6. Olika exempel på förångning av skyddspolymeren på "hårnålar" utförd med Clean-Lasersystemes CL500 och en avverkningshastighet på mellan 1,8-2,5 cm²/sekund.



Figur 8. Ovan ses principen för hur HIGH-vision systemet fungerar. Efter att fogen hittats och "hårnålarnas utseende identifierats väljer en algoritm ut de optimala svetsparametrarna för den aktuella situationen.

tagning av formsläppmedel från en stator med en CL600-källa och en STAMP30-optik med 163 mm brännvidd. Här avverkades mantelytan med en processhastighet av 36 cm²/sek och fasadytorna med 16 cm²/sek. Efter presentationen ställdes bl.a. en fråga från Dr. Florian **Oefe** från BMW om varför man i praktikkallet med limning inte utfört denna och borttagningen av lackskiktet i en och samma produktionscell. Herrn Büchter menade dock att det inte var att rekommendera, eftersom detta skulle innebära ett alltför komplext processupplägg.

En av de mera intressanta presentationerna gjordes av Matthias **Kühnel** [II-VI HighYag Lasertechnologie GmbH] när han berättade om en ny metod för processövervakning vid fjärrlasersvetsning baserad på bildanalys. Det hela baserades på HighYags skanner-verktyg för tvådimensionell manipulering av laserstrålen "HIGHmotion 2D" [Fig. 7], vilket nu kombinerades med ett kamerabaserat övervakningssystem benämnt "HIGHvision". Skanner-verktyget har ett arbetsfält på 200×300 mm, kan hantera såväl IR- som grön våglängd upp till 6 kW, samt energifördelningar i form av single-mode [SM], multi-mode [MM] och ring-mode [RM]. För att få bästa förutsättningar för bildanalysen kan arbetsområdet

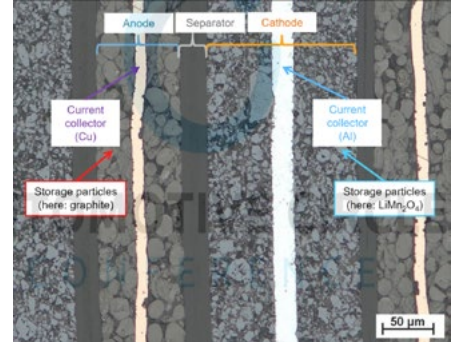
belysas från samtliga fyra sidor med lysdioder integrerade i skanner-verktyget. Den information som inhämtas via "HIGHvision" analyseras av en egenutvecklad algoritm som korrigerar eventuella avvikelser genom en "closed-loop"-funktion.

Ett praktikfall handlade om hur man justerade laserstrålens position vid svetsning av batterilådor. Svetsningen skedde med en 8 kW fiberlaser med stråldistribution via en 100 μm optisk fiber fram till arbetsstycket där den projicerades till en 300 μm stor fokuspunkt. Svetsningshastigheten uppgick till 7 m/min då man använde 2 kW lasereffekt och fokuspunkten oscillerades i ett cirkulärt mönster. Det uppstod en spalt mellan plåtarna då dessa förvreds genom värmegenererade distorsioner vilket ledde till en undermålig svetskvalitet. Genom att introducera några häftsvetsar och ändra oscilleringen till ett sinusformat mönster kunde dessa problem lösas.

Det andra exemplet handlade om hur man använde "HIGH-vision" för fogsökning vid svetsning av "hårnålar" [Fig. 8]. Här tog det 12 ms för systemet att hitta fogen och identifiera dess utseende, varpå optimala parametrar automatiskt valdes ut med hjälp av den tidigare nämnda egenutvecklade algoritmen. Svetsningen av en "hårnål" tog 0,17 sekunder med 2 kW



Figur 7. För att ge HighYags "HIGHvision"-system bästa förutsättningar för bildanalysen kan skanner-verktyget "HIGHmotion 2D" förses med dioder som belyser arbetsområdet från samtliga fyra sidor.



Figur 9. Ett förstort tvärsnitt genom elektroderna i ett batteri där anod och katod är omgivna av strömlagringspartiklar av grafit respektive litium och sammanhållna av ett bindemedel. Porositeten mellan partiklarna har avgörande betydelse för den elektriska lagringskapaciteten liksom hastigheten med vilket batteriet kan laddas.

lasereffekt och utfördes i ett skruvformat mönster [LSW = Laser Screw Welding] med fyra cirklar vilket gav en svetsbredd på 2,4 mm. Avslutningsvis nämnde Herrn Kühnel att man snart kommer att lansera "HIGHvision" för tredimensionell RLW med systemet integrerat i HighYags RLSK-verktyg.

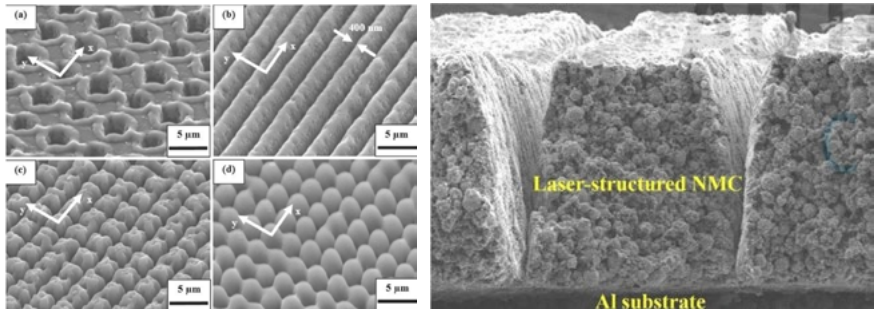
En vetenskaplig insikt i hur batterier i detalj är uppbyggda och fungerar fick vi av Prof. Dr. Harald **Riegel** från Aalen University of Applied Sciences. Han beskrev hur man medelst lasermanipulation av elektroderna i ett Li-Ion-batteri kunde öka lagringskapaciteten i dessa. De strömförande anod- [Cu] respektive katoderna [Al] är omgivna av skikt som utgörs av strömlagringspartiklar sammanhållna med hjälp av ett bindemedel. I fallet med anoder utgörs partiklarna av grafit medan en litium-legering används kring katoderna [Fig. 9]. Om det förekommer hög porositet kring dessa partiklar går uppladdningen av batteriet snabbt, men lagringskapaciteten blir låg. Vid det omvända förhållandet med en väldigt kompakt partikelstruktur och få porer blir lagringskapaciteten hög men å andra sidan ökar tiden för uppladdning av batteriet, varför kompaktering av partiklarna inte är någon lösning om man dessutom vill kunna ladda batteriet snabbt.

Detta motsatsförhållande har man försökt övervinna genom olika angreppssätt med lasertekniken. En klassisk åtgärd är 3D-strukturering av elektroderna för att därigenom öka dess aktiva yta och korta laddningstiden, men samtidigt avverkar man aktivt material och därigenom minskar lagringskapaciteten [Fig. 10]. Vad man istället har försökt göra vid *Aalen University* är, att utifrån ett tämligen kompakterat skikt av de strömlagringspartiklarna, endast förånga ett tunt skikt av bindemedlet och inte påverka det aktiva materialet! Detta hade man gjort med en pulsad laser från *Trumpf* [TruMark5020], och genom optimerade parametrar såsom längre pulstider kunde detta ske utan att de aktiva partiklarna smälte [Fig. 11]. På så sätt påverkas inte batteriets laddningskapacitet, men däremot kan laddningstiderna minskas med mellan 10-20%. Merparten av forskningen har inriktats på katoderna, men enligt professor Riegel kommer man i projektet ”structur.e”, där bl.a. *Volkswagen AG* och *Porsche AG* är aktiva konsortiummedlemmar, att bearbeta anoderna med samma metodik.

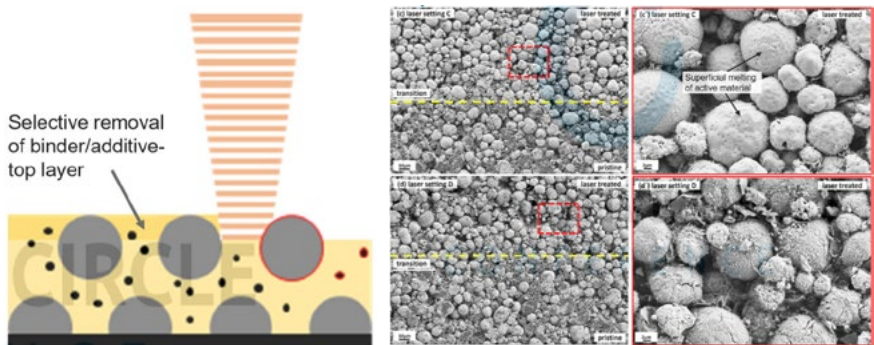
Före detta BLZ [*Bayerisches Laser Zentrum*] -medarbetaren och välkände laserprofilen Dr. Florian **Albert**, sedan länge representerande *Scansonic MI GmbH*, återkom till det populära ämnesområdet lasersvetsning av ”hårnålar”. Han inledde emellertid med den tänkbara reflexionen; att av de årligen producerade cirka 2 miljoner eldrivna personbilar [BEVs och PHEVs], drygt hälften tillverkas i Kina!

Det sitter mellan 200-400 ”hårnålar” i en stator och de har en toppyta på 1,3×3,6 mm medan längderna varierar mellan 30-50 mm. Som tidigare nämnts måste det korrosionsskyddande isolerskiktet avverkas med laserpulser innan svetsningen kan utföras. Dr. Albert beskrev de problem som föreligger vid lasersvetsning av koppar som ju är det material som ”hårnålarna” består av. Materialet har låg absorption men hög värmeledningsförmåga, vilket främst inverkar vid svetsprocessens början. Dessutom medför hög svets hastighet att man får en ackumulering av små porer i svetsgodset. P.g.a. hög ytspänning och viskositet hos smältan kan man även få större centumporer. Vidare är svetsens form viktig om man vill undvika läckströmmar, samt att hela skiktjockleken hos isolerfilmen tagits bort [Fig. 12].

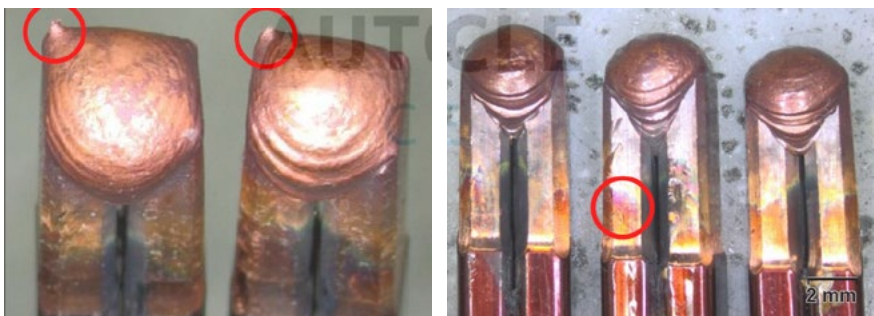
Fixering av ”hårnålarna” i x-, y- och z-koordinat är också viktig, då de har vissa måttoleranser. För en säkerställd svetsning vid volymproduktion bör x/y-toleranserna inte överstiga ±0,1 mm och vertikalavvi-



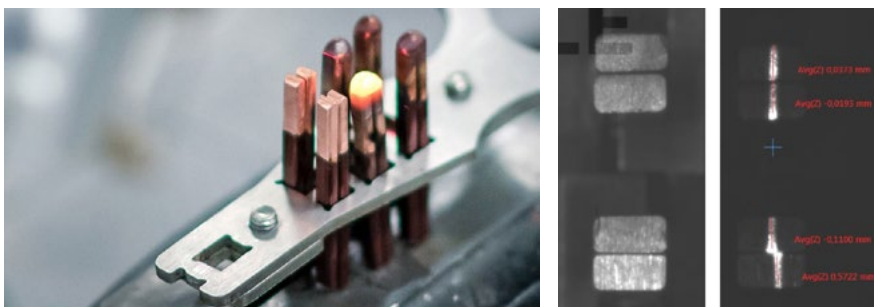
Figur 10. Ett vanligt sätt att korta laddningstiden för ett batteri är att öka dess aktiva yta genom strukturering med laser, men då man samtidigt avverkar material (t.h.) minskas lagringskapaciteten.



Figur 11. Ett bättre sätt att både öka laddningskapacitet och korta laddningstiden för ett Li-Ion-batteri är att endast förånga ett tunt skikt av bindemedlet med laserpulser utan att smälta de aktiva strömlagringspartiklarna (nedan t.h.).



Figur 12. För att få en maximal elektrisk ledningsförmåga över hårnålarna krävs att svetsen mellan dessa har en jämn form annars riskerar man läckströmmar. Likaså får det inte finnas kvar några rester från den korrosionsskyddande polymeren.



Figur 13. Då toleranserna vid svetsning av ”hårnålar” är snäva blir fixeringen av dessa viktig. Scansonic har utvecklat ett analysverktyg baserat på triangulering och gråskalebild av de olika ”hårnålsparen” som en hjälp att välja de bästa laserparametrarna i varje enskilt fall.

kelsen inte vara större än 0,5 mm. Eftersom produktivetskraven vid svetsning av ”hårnålar” ligger under 100 ms per par [inklusive fogsökning] har *Scansonic* utvecklat ett skanner-verktyg som identifierar förutsättningarna för lasersvetsning av varje enskilt ”hårnålspår”. Tekniken är en kombination av triangulering och analys av en gråskale-

bild [Fig. 13], och en algoritm som utvärderar de geometriska förutsättningarna i fogen hjälper till att välja ut optimala laserparametrar. Sålunda kontrolleras lasereffekten i start- och stoppunkterna för svetsen, och med *Coherents ARM* [Adjustable Ring Mode] -laser har man kunnat svetsa helt sprutfritt vid en hastighet på 20 m/minut.

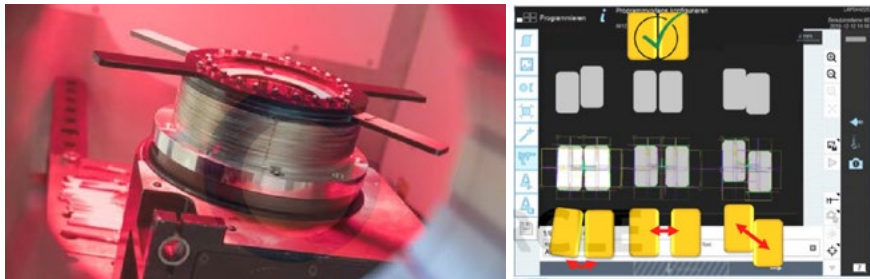
Svetsning av "hairpins" var som tidigare nämnts ett återkommande tema under EALA-konferensen, så också för Matthias Beranek, från *Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH*. Dock inledde han med att beskriva några andra "e-mobility"-applikationer där Trumpf, i mer än 50 olika projekt sedan 2016, undersökt möjligheterna för laserbearbetning. Dessa var svetsning av rotoraxlar i höghållfast stål [$R_m > 1.000 \text{ MPa}$] med diskaser och strålscillering, svetsning och skärning av kallvalsat elektriskt stål, samt svetsning av koppar med lasrar i det gröna våglängdsområdet kombinerat med företagets BrightLine®-fiber.

Beträffande "hårnålarna" förekommer dessa i tre varianter där I-typen är den vanligaste, övriga är sammanvävda och kontinuerliga "hårnålar" [Fig. 14]. Som tidigare nämnts måste den korrosionsskyddande polymeren selektivt avlägsnas inför svetsningen. Fördelen med att använda laser för detta ändamål är att kopparmaterialet inte påverkas. Om man istället använder sig av mekaniska metoder för avverkningen kan även viss del av kopparna tas bort, vilket leder till större och varierande spalt mellan "hårnålarna" och därmed sämre förutsättningar för att nå ett fullgott svetsresultat. Pulslängder i ns-området med höga effekter är vad som gäller för denna operation.

Vid den efterföljande svetsningen hade man i Herr Beraneks exempel använt en TruDisc6001-laser med en BrightLine®-fiber som ledde fram till *Trumpfs* skannerverktyg PFO [Programmable Focusing Optics]. Inicialt skapas en smälta som man genom strålscillering sedan låter växa, Den totala svetsstiden för varje "hårnålspår" ligger mellan 50-200 ms, och genom att använda sig av den energifördelning som man får ut ur BrightLine®-fibern blir svetsningen helt sprutfri. BrightLine® förekommer i två varianter; 50/200 μm -fiber för maximalt 5 kW lasereffekt och 100/400 μm -fiber användbar upp till 8 kW. Även pormängden i svetsgodset minimeras med denna typ av distributionsfiber p.g.a. en stabilare svetsprocess och frånvaron av momentana nyckelhålskollapsar. För processkontroll hade man i försöken använt sitt eget "VisionLine"-system för att fastlägga "hårnålarnas" position [Fig. 15], vilket enligt Herr Beranek fungerade väl. Om man emellertid önskar en ytterligare visuell upplösning av svetsområdet rekommenderade han att använda OCT [Optical Coherence Tomography]. Slutligen meddelades att nästa utvecklingssteg kommer att handla om aktiv och adaptiv processkontroll.



Figur 14. Oavsett om statorn är uppbyggd av s.k. I-typ eller sammanvävda "hårnålar" måste dessa frigöras från det korrosionsskyddande polymerskiktet i det område "hårnålsparen" skall sammansvetsas.



Figur 15. Helt sprutfri svetsning av "hårnålar" i koppar, och t.h. den användarvänliga informationen från processkontrollverktyget "VisionLine".



Figur 16. Några exempel på ett robotburet "intelliSCAN"-verktyg utvecklat hos Scanlab GmbH, och som numera ingår i produktsortimentet hos Blackbird Robotersysteme GmbH.



Figur 17. Några exempel på felpositioneringar av "hårnålarna" (olinjäritet, höjdavvikelse, varierande spalt eller vinkel) och hur detta visualiseras i ScaVis' bildanalysprogram.

Redan i fjol blev jag bekant med Thibault Bautze [*Blackbird Robotersysteme GmbH*], en synnerligen kunnig och kompetent herre i lasersammanhang med bakgrund från en tidigare anställning vid *Precitec GmbH & Co. KG*. Han inledde sin presentation med att lista trender och OEM-krav på lasertekniken, vilka ser ut så här:

- Korta implementeringstider
- Robusta processer
- "Closed-loop"-system
- Skalbara laserkällor och tillhörande utrustningar
- Ökat förebyggande underhåll
- Användning av "digitala tvillingar" [digital twins]
- IT-säkerhet
- Enkelt handhavande utan behov av expertkunskap

Därefter gick han vidare med att tala om det nu nästintill uttjatade temat "hårnåls"-svetsning av statorer. Detta hade här utförts med *Scanlabs* skannerverktyg "intelliSCAN", som är en tvådimensionell skanner med F-Theta-optik [Fig. 16]. Eftersom det rör sig om miljontals "hårnålar" som i volymproduktion skall tillverkas med mycket korta cykeltider, och då man inte kan förvänta sig

en perfekt positionering av varje "hårnål", behövs ett tillförlitligt verktyg för detektering av deras läge. För detta ändamål hade därför kameralösningen "ScaVis" använts för bildanalys i gräskala. Typiska felpositioneringar kan vara: olinjäritet, höjdavvikelse, varierande spalt eller dito vinkel [Fig. 17]. Dessutom kan form och längd hos "hårnålarna" variera. Utifrån de olika förutsättningarna att nå en godkänd svetskvalitet väljs laserparametrar för varje enskild svetsoperation. Dessa kan vara fokuspunktsstorlek, energifördelningen i densamma samt olika svetsmönster såsom raka stygn, oscillerat sinus-, cirkel- eller spiralmönster. Om "ScaVis" bedömer enstaka "hårnålspår" vara så pass felpositionerade att de inte kan svetsas med godkänt resultat larmar systemet och en operatör kan manuellt justera "hårnålarnas" lägen. När detta är gjort placeras statorn åter i svetscellen, och eftersom samtliga mätdata har lagrats kan systemet identifiera endast de "hårnålspår" som nu behöver svetsas. Herr Bautze underströk speciellt att skyddsgas för såväl optik som smälta måste hanteras på ett kontrollerat sätt vid denna typ av svetsoperation. ■

Fortsättning följer i *LaserNytt 2-2020*.

Lasersvetsning; Parametrars inverkan på mekaniska egenskaper

Jukka Siltanen
SSAB Europe Oy

Introduktion

I den här undersökningen har de mekaniska egenskaperna hos lasersvetsar studerats med avseende på sträckenergi och avsvalningshastighet. För att variera sträckenergin och avsvalningshastigheten varierades laser effekten och svets hastigheten. Materialet som användes var ett termomekaniskt valsat konstruktionsstål med en sträckgräns på 500 MPa. För samtliga tjocklekar (3, 4 och 6 mm) utfördes flera svetssträngar med varierande lasereffekt och svets hastighet. För de tre tjocklekarna användes tre olika sträckenergier; 0,05 kJ/mm, 0,07 kJ/mm och 0,15 kJ/mm. Svetsningen utfördes som "bead-on-plate".

Lasersvetsning av höghållfasta konstruktionsstål kan vara lite utmanande, vilket innebär att viss kunskap och erfarenhet är till nytta för att erhålla svetsar av god kvalitet. Lyckligtvis erbjuder ställeverantörerna oftast god information om hur höghållfasta stål ska bearbetas, t.ex. svetsrekommendationer. Som tumregel kan sägas att ju högre hållfasthet stålet har desto viktigare är det att rätt sträckenergi används, vare sig för låg eller för hög är speciellt bra. Det ska dock poängteras att rekommendationen är att använda så låg sträckenergi som möjligt för det aktuella stålet. Detta för att minimera avsvalningshastigheten, t8/5. Med lågt t8/5 värde minskas risken för förlorad styrka i svetsen och den intilliggande värmepåverkade zonen. Sträckenergin beräknas utifrån använd lasereffekt och svets hastighet.

Provmaterial

I undersökningen användes SSAB Domex 500 MC med tjocklekarna 3, 4 och 6 mm.

Tabell 1.
Mekaniska egenskaper och CEV värde för de tre tjocklekarna.

t (mm)	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	Slagseghet (J, -20 °C)	CEV
3	545	637	27	40	0,30
4	555	629	25	40	0,28
6	561	640	24	62	0,29

Tabell 2.
Lasersvetsparametrar för samtliga tjocklekar

Prov id	3a	3b	3c	4a	4b	4c	6a	6b	6c
Svets hastighet, v (m/min)	3,5	5,25	7,0	2,6	3,9	5,2	1,2	1,8	2,4
Lasereffekt, P _I (kW)	4,0	6,0	8,0	4,0	6,0	8,0	4,0	6,0	8,0
Sträckenergi, E (kJ/mm)	0,069	0,069	0,069	0,092	0,092	0,092	0,20	0,20	0,20
Avsvalingstid, t _{8/5} (s)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1,3	1,3	1,3
Interaktionstid, τ _i (ms)	10,2	6,9	5,1	13,8	9,2	6,9	30	20	10
Specifik punktenergi, E _{sp} (J)	41,14	41,14	41,14	55,38	55,38	55,38	120,0	120,0	120,0

SSAB Domex är SSAB:s varumärke för varmvalsade konstruktionsstål med en sträckgräns under 550 MPa. Antingen är SSAB Domex varmvalsad bandplåt (240-550 MPa) eller kvartovalsad plåt (355-500 MPa). Materialet som användes i undersökningen (SSAB Domex 500 MC) är alltså varmvalsad bandplåt som överensstämmer med standarden EN 10149-2. SSAB Domex varmvalsad bandplåt behöver inte förvärmas vid svetsning då det ej föreligger risk för vätesprickor. Naturligtvis krävs att svetsfogen är ren och att tillsatsmaterial med låg vätehalt används. I denna undersökning används inget tillsatsmaterial.

Svetsning och provning av provmaterial

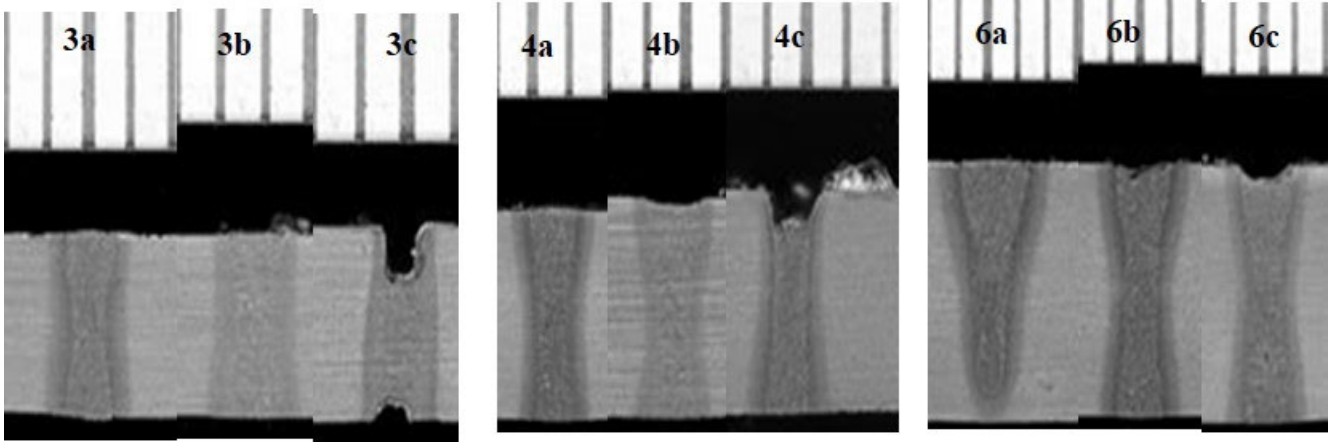
Under svetsförsöken användes en 12 kW Trumpf disc laser som var utrustad med en 400 µm matningsfiber och svetsoptik med 200 mm kollimatorlins och en fokal-

längd på 300 mm. Laserstrålens diameter på materialets ovansida var 0,6 mm och svetsningen utfördes i horisontell position (PA). Tabell 2 visar aktuella svetsparametrar (ingen skyddsgas användes).

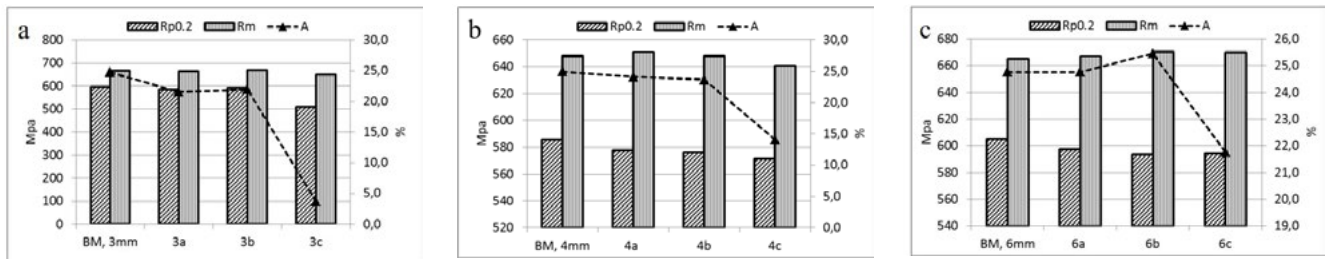
Provingen bestod av flera undersökningar; studie av tvärsnitt av svets, hårdhetsmätning och dragprovning. Ytterligare mättes svetsfogens geometri vid tre positioner.

Tvärsnitt av svets

Som fotona visar i figur 1 så påverkar svetsparametrarna utseendet på svetsens tvärsnitt. Detta trots att sträckenergin och avsvalingstiden är densamma för respektive tjocklek. Tvärsnittet visar också att det finns en övre gräns för respektive tjocklek gällande kombinationen svets hastighet och lasereffekt för erhållandet av acceptabel svets.



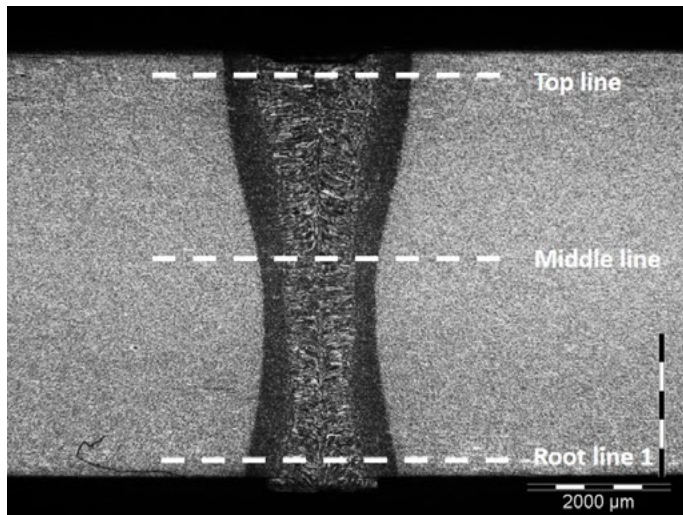
Figur 1. Tvärsnitt av svets. a) 4 kW, b) 6 kW och c) 8 kW.



Figur 2. Hållfasthet - dragprovning.

Dragprovning

Resultaten av dragprovning försöken visas i figur 2. Samtliga prover testades i det svetsade utförandet, d.v.s. eventuell svetsråge eller svetsdike var fortfarande kvar på provet. Två provkupper för varje parameteruppsättning testades och medelvärdet är det som visas i figur 2. Som framgår av resultaten är hållfastheten riktigt god förutom i de fall där dålig svetsgeometri föreligger vilket resulterar i låg hållfasthet. Det ska dessutom tilläggas att samtliga brott skedde i basmaterial förutom 3 och 4 mm svetsade med 8 kW där brottet skedde antingen den värmepåverkade zonen (HAZ) eller smältgränsen.



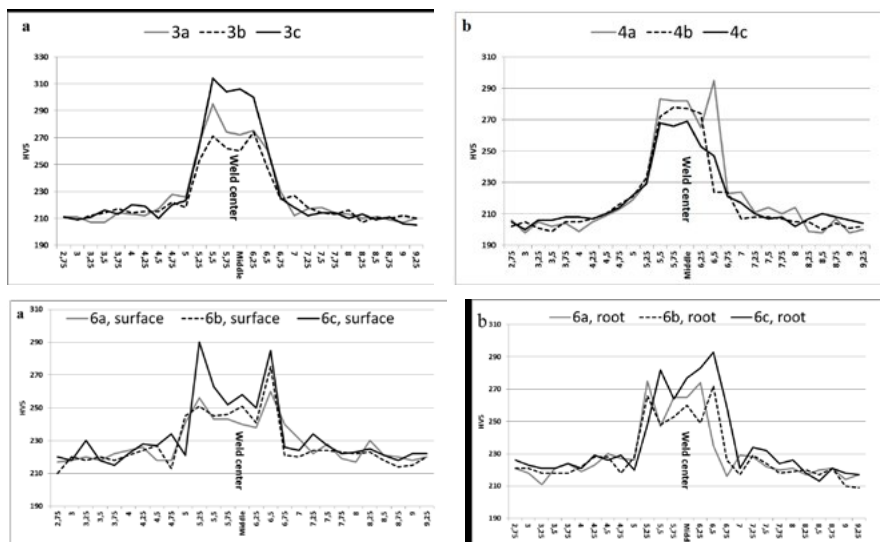
Figur 3. Mätställen - hårdhet och geometri.

Hårdhet

Hårdheten över svets mäts från basmaterial, via svets, till basmaterial. För tjocklekarna 3 och 4 mm gjordes en mätning i mitten av materialtjockleken (centrum) och 6 mm mättes vid överytan respektive underytan, se figur 3. Resultaten av mätningarna visas i figur 4 där det kan noteras att vare sig variation i lasereffekt och/eller svetshastighet har någon större inverkan på hårdheten i svetsen eller HAZ.

Svetsgeometri

Ett annat sätt att utvärdera svetsparametrarnas inverkan på svetsresultatet är att mäta och analysera svetsgeometrin. Noterbart för fiberlaser svetsning är att topp- och rotsidan är bredare än mitten



Figur 4. Hårdhet.

av svetsen, d.v.s. en tydlig midja. I den här undersökningen finns det dock ett undantag, vilket är 6 mm materialet svetsat med 4 kW och en icke fullt penetrerad svets där rotsidan är smalast. I fallet 3 mm minskar svetsbredden med ökad lasereffekt, se figur 5. Detsamma gäller för 4 och 6 mm, men trenden är inte lika tydlig.

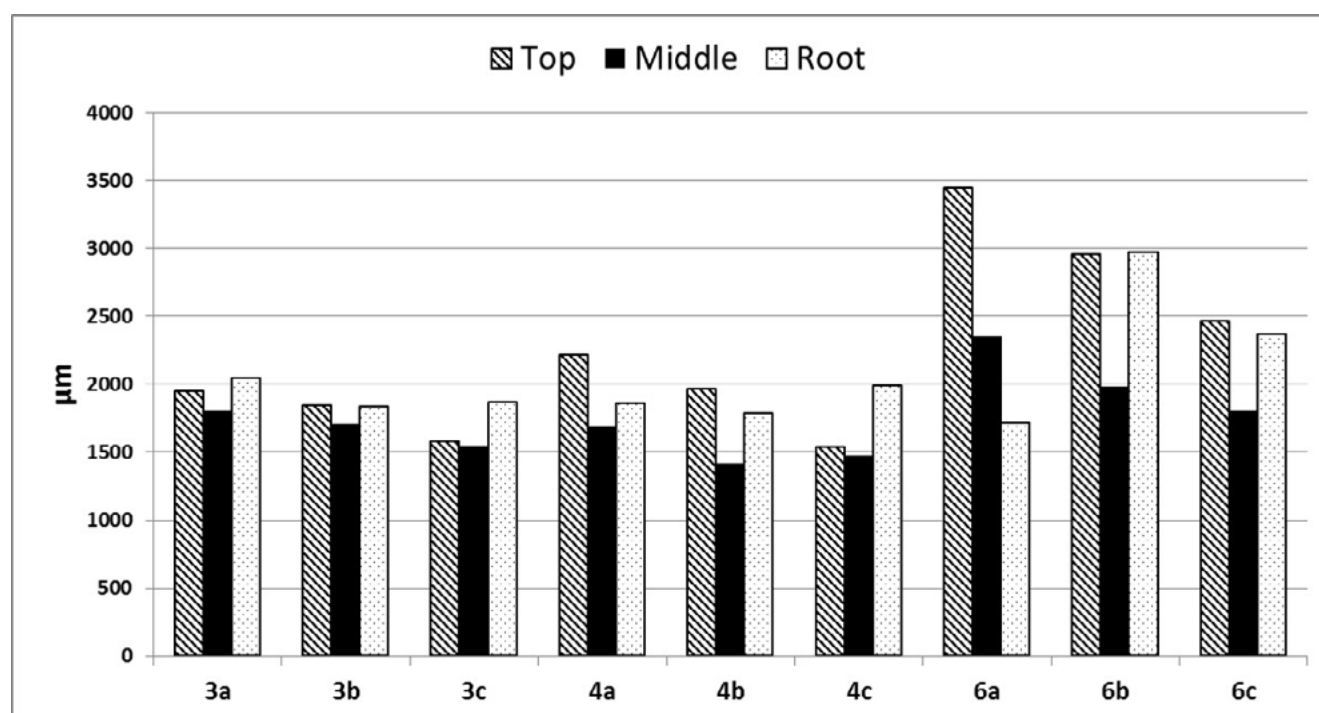
Diskussion och slutsatser

Syftet med den här undersökningen var att studera svetsparametrars inverkan på svetsfogens mekaniska egenskaper. Som nämnts tidigare så hölls sträckenergin konstant oavsett lasereffekt och svets hastighet. Antagandet var att en konstant sträckenergi, trots variation i effekt och

hastighet, skulle resultera i likvärdiga svetsar i och med att laserstrålen skulle interagera (absorberas) på likvärdigt sätt när sträckenergin är oförändrad.

Som framgår av undersökningen så var detta inte fallet. Vissa svetsars tvärsnitt uppvisar defekter, t.ex. konkav ovan och undersida. Tydligast är defekterna för den högsta lasereffekten, där interaktionstiden är kortast och där värmen inte hade någon tid att sprida sig i materialet. Tidigare studier har visat att mätheter som effekttäthet och interaktionstid inte är relevanta för att beskriva lasersvetsprocessen. Av den anledningen är det av intresse att tillföra enheten specifik punktenergi för att precisera processen.

Resultatet i denna undersökning kan uttryckas enligt följande; Svetsdjupet bestäms främst av effekttätheten och den specifika punktenergin medans svetsbredden beror till största delen av interaktionstiden. Med detta sagt framgår det att den här undersökningen avviker till viss del från tidigare undersökningar och erfarenhet. Till exempel, interaktionstiden har inte någon synbar inverkan på svetsbredden. Slutligen så står det klart att det finns en övre gräns gällande lasereffekt för en specifik materialtjocklek. ■



Figur 5. Svetsgeometri.

FORMNEXT – centrum av additiv tillverkning

Mikael Olsson
Trumpf Maskin AB

Om någon fortfarande hade tvivel om den ljusa framtiden för additiv tillverkning så bör framgången kring världens viktigaste AM-branschmässa hjälpa till att skingra dessa tankar. Summeringen från Formnext 2019 inkluderade 34 532 besökande specialister och chefer (2018: 26 919) som deltog i en imponerande uppvisning av digital tillverkningskapacitet. Totalt utgjorde 852 utställare (2018: 632) scenen på Messe Frankfurt, bild 1, för de ständigt ökande användningsområdena för additiv tillverkning. Mässan flyttade till de nya moderna utställningshallarna 11 och 12 för att rymma expansionen, vilket utökade den totala utställarytan till 53 039 kvadratmeter.

Branschen präglas av nyfikenhet, dynamik och entusiasm saknas sannerligen inte. Det var mycket bra stämning i alla hallar och korridorer. I jämförelse med etablerade äldre mässor finns en helt annan spänning i luften av förklarliga skäl då branschen är inne i en mycket expansiv fas. Än så länge med fler projekt än färdiga produkter men implementeringen ligger och väntar runt hörnet för den breda industriella industrin.

AM-företag ifrån alla faser av processramen för additiv tillverkning presenterade ännu effektivare och ny tillverknings-teknologi tillsammans med avancerade lösningar för industriell integration. Många internationellt etablerade, såväl som nystartade företag, presenterade nyheter längs hela processkedjan. Dessa



Bild 1. Interiör från Formnext 2019, Messe Frankfurt.

inkluderade nya material för 3D-printning som avsevärt utvidgar applikationsområdet för tekniken inom flyg-, bil- och järnvägsindustrin samt inom tillverkning av formverktyg. Inom det viktiga området efterbearbetning kunde många utställare presentera innovationer som ytterligare främjar den industriella användningen av additiv tillverkning.

- ”Även under sitt femte år fortsätter Formnext sin imponerande framgångshistoria”, säger Sascha F. Wenzler, vice president Formnext på arrangören Mesago Messe Frankfurt GmbH. ”Additiv tillverkning har definitivt anlänt till branschen. Tillsammans med vår oerhört dynamiska bransch kommer vi att fortsätta att följa, stödja och främja denna utveckling som en mässoorganisationsör”.

Besökarna var också entusiastiska över utvecklingen av Formnext och utställarnas många innovationer.

- ”Det finns ingen annan plats att gå och träffa företag från hela värdekedjan för AM i Europa, USA, Kina och andra marknadsplatser. Mängden värde som vi får ut av att delta och avkastningen på att besöka är oöverskådlig,” kommenterade Haden Quinlan, programchef, Center for Additive and Digital Advanced Production Technologies vid Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Ökande intresse från investerare

För branschen är Formnext en viktig affärsplattform där många företag registrerar konkreta affärer direkt på utställningsgolvet. Den fortfarande unga världen för additiv tillverkning lockar också fler och fler investerare. Vid Formnext 2019 var det en betydande ökning av intresset från riskkapitalföretag och industriföretag som till exempel vill bli strategiska partners för unga företag. Med Start-up Challenge och Start-up Area kunde Formnext år 2019 återigen erbjuda dessa företag en effektiv

mässplattform för att presentera sig för en internationell handelspublik och bana vägen till en framgångsrik framtid genom kontakter med investerare.

Hög grad av internationell närvaro

Med en imponerande grad av internationalitet med besökare från 99 nationer har Formnext återigen bevisat sin position som världens ledande mässa för additiv tillverkning och modern industriell produktion. Specialister och chefer från olika användarindustrier var övertygade om den senaste utvecklingen inom additiv tillverkning och det ständigt ökande utbudet av applikationer.

Den imponerande besöksfrekvensen och diskussionernas höga kvalitet berömdes också av utställarna:

- "Med ökat samarbete som en katalysator för innovation, är Formnext en perfekt möjlighet att visa upp våra nya lösningar och teknologier och att interagera med potentiella kunder och andra resenärer," säger Fried Vancouver, grundare och VD Materialize

TRUMPF presenterade en ny 3D printer

TRUMPF presenterade en ny 3D printer under Formnext. Den går under namnet TruPrint 2000, och är särskilt lämpad för medicinteknik och andra applikationer med extra höga standarder och kvalitetskrav. Experter har nu vidareutvecklat systemet så att skyddsgasen flödar jämnt igenom från baksida till framsidan av byggkammaren. På så sätt ökar kvaliteten på de printade detaljerna.

I och med en annan inbyggd nyutveckling, en pulverborttagare - Powder Removal, kan nu operatören ta bort överskott av pulver från komponenten direkt i systemet och slipper som tidigare ta ut och packa upp den på en separat station. Detta är både enklare och sparar tid när man har att göra med små 3D kammare som i TruPrint 2000. Den nydesignade maskinen som processar metallpulvret i skyddsgasmiljö gör även att man förhindrar att smuts och förorening ska infiltrera i pulverkretsen. Det här är av stor betydelse för känsliga komponenter.

Högsta produktivitet, låg kostnad och inbyggd digital övervakning

TruPrint 2000, bild 2, är utrustad med Multilaserprincipen. Två 300-watt lasrar arbetar parallellt och kan bearbeta hela 3D printerns byggplatta och boosta systemets produktivitet. Med samma tillvägagångs-



TruPrint 2000

TruPrint 2000 gör det möjligt för operatören att ta bort överflödigt metallpulver från den printade detaljen utan att behöva plocka ur den ur maskinen.



Powder removal

Den nydesignade maskinen har en inbyggd pulverborttagare som processar pulvret i en skyddsgasmiljö för att förhindra föroreningar.



Medicinsk utrustning

TruPrint 2000 är bra lämpad för printning av detaljer inom medicinteknik så som till exempel ryggradsimplantat.



Multilaser princip

Två 300-watt lasrar arbetar parallellt och kan enskilt bearbeta hela 3D printerns byggplatta och boosta systemets produktivitet.

Bild 2. TRUMPF presenterade en ny 3D-printer på Formnext - TruPrint 2000.

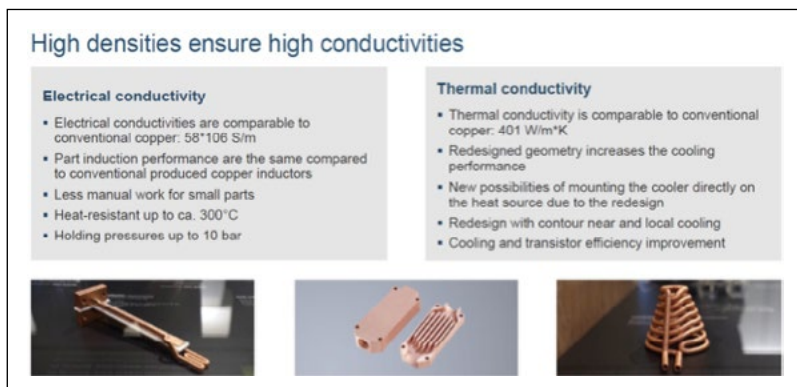


Bild 3. Hög densitet ger hög ledningsförmåga i 3D-printade koppardetaljer.

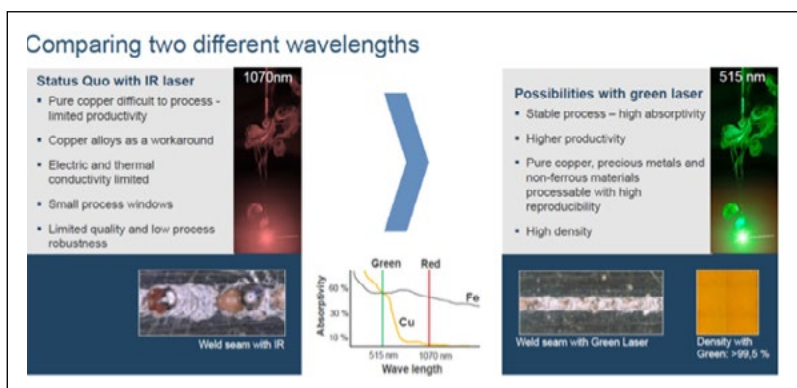


Bild 4. Jämförelse mellan IR och grön laser vid 3D-printing av koppar.

sätt som för TruPrint 1000 har man minskat laserns brännvidddiameter till 55 micrometer för att kunna printa komponenter med jämnare ytor, förbättrad kvalitet och komplicerade strukturer. TruPrint 2000 är perfekt för att printa detaljer i

titan vilket är ett vanligt förekommande material inom medicinteknik.

Då företagen inte behöver en separat upppackningsstation bidrar det till en mer effektiv lösning. Maskinens nya design ger därmed linjeproduktionsfördelar och



Bild 5. Egenskaper hos process och komponenter vid 3D-printning av koppar med grön laser.

kräver färre moment vilket gör instegsinvesteringen lägre för företag som vill börja med additiv tillverkning.

Den automatiserade pulverbädden och smältpoolen är dessutom digitalt övervakade. Skulle ett felmeddelande genereras tillkännager systemet detta till operatören direkt och säkerställer därmed kvaliteten ytterligare.

3D-printing av ren koppar

På mässan visades också en mängd nya material och anpassade metoder för printning. Bland annat grön laser i kombination med pulverbädd vilket möjliggör 3D-printning av tex. rödguld, platinumguld och ren koppar till en hög densitet, bild 3, som medför hög konduktivitet och därmed bästa ledningsförmåga.

Den högre absorptionen av den kortare gröna våglängden i kopparmaterialet möjliggör en stabilare process och förbättrade materialegenskaper, bild 4.

3D-printing av koppar med grön laser ger snabbare, effektivare och stabilare processfönster, bild 5. ■

Formnext + PM South China hålls 9-11 September 2020. Arrangörerna rekommenderar att besökare kontrollerar statusen för virussituationen före ett ev. besök.



Ytbeläggning med hjälp av laser förbättrar processen för volymtillverkning av ventil-säten hos Toyota Motor Company

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering

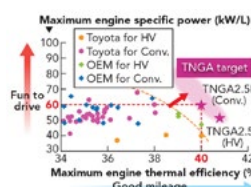


Min erfarenhet då det gäller laseranvändning inom japansk bilindustri är att man varit tämligen återhållsam med att införa dylika tekniker i en kvalitetssäkrad volymproduktion. Intresset för laserprocesser fanns emellertid tidigt, och under min Volvo-karriär hade jag ett givande informationsutbyte med flera japanska kollegor, inte minst legendaren Dr. Kimihiro **Shibata** vid *Nissan Motor Company*. Dock lät laserapplikationerna vänta på sig, och när de väl introducerades begränsades omfattningen till ämnesskarvning där vi fick se branschens första karossida producerad enligt ett sådant koncept hos *Toyota Motor Company*. Däremot har det varit svårt att hitta andra karossrelaterade användningsområden för lasertekniken i Japan, utan man tycks ha valt att applicera laserprocesser på andra komponentområden vid sin personbiltillverkning.

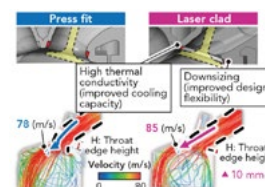
En sådan teknologi är en form av laserpåläggning, utvecklad av *Toyota Motor Company*, där en slitålig legering kan deponeras direkt på ytan av ett ventilsäte. I jämförelse med ett konventionellt, med presspassning sintrat ventilsäte, förbättras slagåliggheten p.g.a. att den termiska ledningsförmågan ökar tack vare den direkta laser-deponeringsprocessen. Samtidigt kan förbränningsgraden ökas genom att tillverkningsmetoden medför en



Figur 1. Hög förbränningshastighet har varit vägledande vid utvecklingen av Toyotas nya globala motorprogram.



Figur 2. Målet för balansering mellan termisk verkningsgrad och effektuttag hos den nya motorfamiljen.



Figur 3. Jämförelse mellan flödes hastigheten i den gamla respektive nya geometriska utformningen av luftinloppet.

större designflexibilitet kring ventilernas portar. Tekniken har nu implementerats i Toyotas nya, globala motorarkitektur, och möjliggör en innovativ utformning av cylindertoppen som hjälper till att maximera balansen mellan termisk verkningsgrad och effektuttag vid högsta möjliga förbränningshastighet [Fig. 1].

För att möjliggöra användningen av denna teknologi, såsom en global standard för Toyotas nya motorserie, har man utvecklat en ny och energieffektiv tillverkningsprocess som innefattar utrustningar med hög tillförlitlighet. Detta för att underlätta ett införande av tekniken i *Toyota*-fabriker utanför Japan.

TNGA [*Toyota New Global Architecture*] är en konstruktionsfilosofi för att nå världsledande nivåer då det gäller termisk

verkningsgrad och specifik effekt hos företagets nya motorgeneration [Fig. 2]. Dessa mål når man med en snabbare förbränning genom att skapa en turbulent luftström samt minimera motståndet i portinloppet. Därför var en innovativ utformning av porten nödvändig för att skapa såväl en intensiv turbulens som en hög flödes hastighet. Ett konventionellt sintrat ventilsäte kräver en viss materialtjocklek för att hålla sätet på plats, vilket medför vissa begränsningar på inloppsportens geometriska utformning något som medför tryckförluster. Det laserpålagda ventilsätet däremot gör att inloppet kan konstrueras för en rak flödesbana, något som möjliggör att luften dras in i förbränningskammaren samtidigt som man upprätthåller en hög flödes hastighet [Fig. 3].

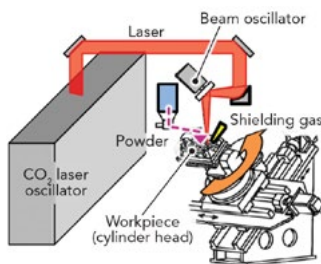
De sålunda tillverkade ventilsåtana bidrar till en ökad förbränningshastighet med en hög termisk verkningsgrad på minst 40% och en specifik effekt kring 60 kW/l.

Laserbelagda ventilsåtana godkändes för volymproduktion i Toyotas produktionslinjer i Japan redan 1997. I de första processuppläggen nådde man en stabil påläggningskvalitet med bestämda värden för pulver- och skyddsgasflöde samt en stationär optik, medan arbetsstycket i form av cylinderlocket roterades [Fig. 4]. Detta resulterade i att anläggningen blev förhållandevis skrymmande samt att den förbrukade en avsevärd mängd energi genom att man använde en CO₂-laser som värmekälla. Driftkostnaderna för en sådan lasertyp är höga p.g.a. dess låga verkningsgrad samt behovet av att med jämna mellanrum ersätta den lasrande gasblandningen. Dessutom visade sig fokuspunktsläget samt positionering av utloppen för pulvermatning och skyddsgas sammantaget leda till en relativt komplex process med en alltför låg tillgänglighet för volymproduktion.

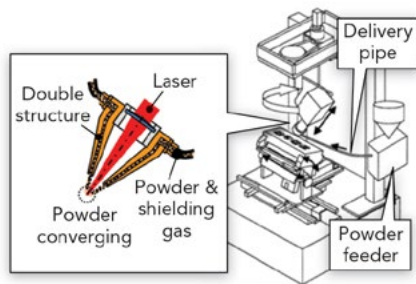
För en global produktion av TNGA-motorserien blev det därför nödvändigt att minimera storleken på produktionscellen, minska energiförbrukningen och förenkla underhåll och processkontroll. För att lösa dessa frågor har Toyota utvecklat en innovativ påläggningsprocess som ersätter den tidigare lösningen där cylinderlocket roterades, vilket kräver simultant kontroll av ett antal verktygsspindlar, med ett koncept där laserverktyget/påläggningsmunstycket roteras. Samtidigt använder man som laserkälla, istället för den tidigare gaslasern, en kompakt och kostnadseffektiv diodlaser med hög verkningsgrad.

För att få en korrekt rotationsrörelse studerade Toyotas processutvecklare de ingående huvudkomponenterna i påläggningsutrustningen såsom laserkällan, pulvertillförseln och positioneringsmekaniken i påläggningsverktyget.

Först och främst byttes laserkällan ut från en konventionell högeffekts CO₂-laser till en motsvarande diodlaser med mycket högre verkningsgrad. Genom att dra fördel av diodlaserns karaktäristiska våglängd, där laserstrålen uppvisar en hög absorptionsgrad i den här aktuella aluminiumlegeringen, kunde lasereffekten utnyttjas bättre samtidigt som storleken hos maskinutrustningen reducerades. Som framgår av figur 5 innefattade den tidigare processen en optik för att kunna oscillera laserstrålen. Den nya processen använder sig däremot av en strålför-



Figur 4. Principskiss över det tidigare processupplägget för laserpåläggning av cylinderlock med stationär optik och roterande lock.

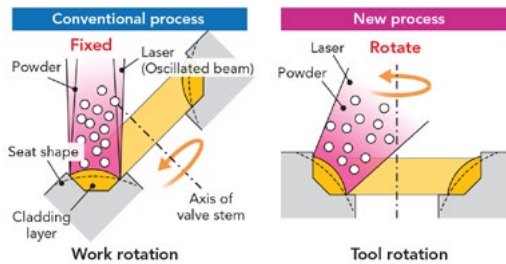


Figur 6. Schematisk skiss av systemet för pulvermatning med tillhörande påläggningsmunstycke.

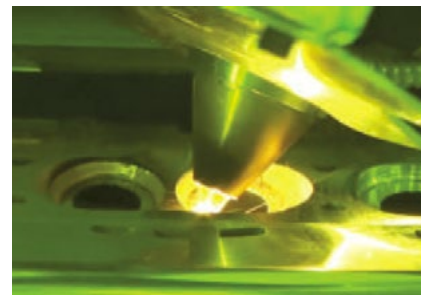
som är anpassad och skräddarsydd för just laserpåläggning, och därmed kan man undvara komplexa optiklösningar. Sammantaget blir resultatet att energitätheten från värmekällan blir låg, och man därmed åstadkommer en lugn och sprutfri process.

Nästa steg i utvecklingen var att fokusera på en lösning för pulvertillförseln. I den tidigare konventionella lösningen var fokuspunkt och optik fast, och därmed matades pulvret också mot en och samma koordinatpunkt, samtidigt som gravitationen utnyttjades för att få pulvret att hamna i laserstrålens fokuspunkt. Med den nya metoden med ett rörligt påläggningsverktyg blir det svårare att åstadkomma ett stabilt pulverflöde.

Eftersom pulvermataren är en extremt känslig apparat skulle en rotation av denna, som synkroniserades med påläggningsmunstyckets rörelser, med största sannolikhet resultera i produktionsstörningar. Därför måste pulvermatningen separeras från laserverktyget. Detta krävde en matarlösning som kunde leverera en konstant mängd pulver per tidsenhet till fokuspunkten på arbetsstycket. Toyotas ingenjörer löste detta med en matarenhet som tillför pulvret genom att använda en bärgas med konstant flöde. Detta åstadkom man genom att innesluta den konventionella pulvermataren i en gastät behållare samt att skapa ett "closed loop"-system från pulvermataren fram till arbetspunkten [Fig. 6]. En sådan



Figur 5. Schematisk jämförelse av arbetsområdet för den gamla respektive nya påläggningsmetodiken.



Figur 7. Detaljbild över hur laserprocessen fungerar vid påläggning av ventilsåtana i motorlocket.

utformning hjälper också till att förhindra kontaminering av pulvret, något som var ett problem med den konventionella processen.

Slutligen omfattade utvecklingen positioneringsmekanismer för de olika processdelarna såsom laserparametrar, pulver och skyddsgas. I den tidigare processen hade varje del haft sin separata mediaförsörjning och utlopp, samtidigt som justeringar av utloppspositionen vis-a-vis fokuspunkten skedde individuellt. I motsats till detta krävde den nya processen med roterande påläggningsverktyg en stabilare positioneringsmekanik. Därför utvecklades ett dubbelpipigt processmunstycke som sammanför de ingående elementen mot arbetspunkten via en koaxiell lösning. Därmed upplinjerades laserstrålens fokuspunkt, pulverfokus samt skyddsgasförsörjning automatiskt med varandra [Fig. 7].

Med dessa åtgärder kunde man införa en laserpåläggningsmetod med roterande verktyg vilken innebar att energiförbrukningen minskade till en femtedel och utrustningens storlek till mindre än en tredjedel i jämförelse med det tidigare processupplägget. Samtidigt möjliggjorde det nyutvecklade påläggningsmunstycket att de tre processelementen (laserstråle, pulver och skyddsgas) automatiskt kunde positioneras mot arbetspunkten, något som har resulterat i ett förenklat underhåll och bättre processkontroll i Toyotas motorfabriker. ■



E-mobility erbjuder nya möjligheter för fiberlasrar Minskar kostnader och ökar kvalitén hos tillverkare av elektriskt drivna fordon

Johnny K. Larsson,
Autokropolis Engineering

En av de som verkat länge i laserbranschen är min gode vän Jack **Gabzdyl**, som redan i slutet av 1980-talet blev involverad. Han representerade då BOC [*Brin's Oxygen Company*] Industrial Gases som är en global aktör som gasleverantör, varför Jack kom att utveckla sin expertis inom området skyddsgaser för olika laserprocesser. Efter ett kortare gästspel vid TWI [*The Welding Institute*] i Abington, UK, arbetar han sedan 2008 som utvecklings- och marknadsansvarig vid SPI [*Southampton Photonics Industries*] Lasers. Företaget har specialiserat sig på SM [Single Mode] –fiberlasrar med effekter under 1 kW. Idag ser han ökade användningsområden för denna lasertyp inom vad vi kallar e-mobility, så vi låter den gode Jack beskriva den framtida potentialen för fiberlasrar med medelhög effekt.

E-mobility utgör en av de förväntade megatrenderna under nästa decennium. Motiveringen är självklar; världen behöver bryta sitt beroende av fossila bränslen, varför elektriska fordon blir en uppenbar dellösning

Under senaste 10 åren är det mest miljökampanjer och –organisationer som kämpat för elektriskt drivna fordon s.k. EVs [Electric Vehicles], men detta har snabbt förändrats under de senaste åren genom lanseringen av smarta fordon, där exempelvis produkter som marknadsförs av Tesla visar vägen framåt. Beräkningar pekar på att vi i mitten av 2030-talet kom-



Figur 1.
En allt vanligare syn i våra större städer. E-mobility på två hjul - här i Paris.

mer att se försäljningen av EVs överstiga siffrorna för bensin- och dieseldrivna fordon.

Ur ett tillverkarperspektiv kommer detta att bli ett paradigmsbyte från förbränningsmotorer till elektriska dito. Personbilarna kommer att vara antingen s.k. plug-in hybrider [PHEV = Plug-in Hybrid Electric Vehicle] eller rena elbilar [BEV = Battery Electric Vehicles], där båda typerna kommer att behöva batterier och elektriska motorer, vilket betyder att en ny komponentflora måste konstrueras för att kunna tillverkas i höga volymer. Huvudsakligen sammankopplas e-mobility med fyrhjulingar fordon, men även tvåhjulingar erbjuder betydande möjligheter. I vissa större städer håller sådana cyklar och skotrar på att revolutionera den urbana mobiliteten [Fig. 1]

Skärning av batterikomponenter med fiberlaser

Lyckligtvis är industriella lasersystem ideala verktyg för tillverkning av nyckel-

komponenter so ingår i batterier, motorer och tillhörande elektronik, vilket stimulerar en ökad efterfrågan, inte minst av fiberlaserkällor.

Om vi bryter ner behovet i form av möjligheter för lasertekniken, låt oss då ta de enskilda Litium-Ion battericellerna som ett exempel. Dessa består av flera skikt av belagda anoder/katoder tillverkade av tunna folier av aluminium/koppar och används i såväl cylindriska som prisma-tiska battericeller. Den första operationen där lasertekniken kan bli aktuell handlar om skärning av elektroderna. Detta har traditionellt gjorts mekanisk klippning eller stansning, men det råder en markant omställning att använda laser för detta ändamål p.g.a. en effektivare produktivitet, lägre kostnader och högre kvalitet.

Just kvalitetskraven är mycket stringenta då det gäller aspekter som förekomsten av grader, delaminering, föroreningspartiklar och värmepåverkad zon [HAZ = Heat Affected Zone]. Dessa folier är

mycket tunna med typiska tjocklekar på 10 µm för kopparanoder och 15 µm för aluminiumkatorer. Kontinuerliga [cw = continuous wave] single mode-fiberlasrar kan användas för att effektivt skära till dessa folier, där man uppnår extremt höga skärhastigheter med en exceptionell skärkantkvalitet, men detta förutsätter att folierna inte är belagda med någon form av skyddande ytskikt.

I Litium-Ion-celler är elektroderna dubbelsidigt belagda med skyddande blandningar bestående av litiumoxider och grafit, vars tjocklek i vissa fall kan mäta upp till 100 µm, vilket gör att elektrodfolierna får en totaltjocklek på över 0,2 mm. Då tycks ns [nanosekund = 10⁻⁹ sekund] –pulsade lasrar vara ett bättre alternativ då de korta pulserna med höga topp effekter kan skära med hög processhastighet. Vår 200 W EP-Z-modell med hög strålkvalitet, $M^2 < 1,6$, kan nå skärhastigheter som överstiger 1 m/sek men ändå uppvisar en god skärkantkvalitet [Fig. 2].

Parallellt pågår utveckling där man tittar på alternativa laserkällor såsom ns-källor i det gröna våglängdsområdet och även ultrasnabba ps [picosekund = 10⁻¹² sekund] – lasrar för ytterligare förbättra snittkvalitén. Dessa alternativ innebär emellertid en förhöjd investeringskostnad, vilket är i direkt konflikt med den primära drivkraften hos tillverkarna, nämligen att öka produktiviteten men samtidigt minska totalkostnaderna.

Andra fiberlaserbaserade processer vid batteritillverkning

Vid tillverkning av battericeller finns det ett antal andra användningsområden där lasertekniker kan övervägas, såsom svetsning, rengöring och borrar. En aktuell applikation som drar till sig stor uppmärksamhet är sammanfogningen av multipla foliestaplar där så många som 60 tunna folier kan vara aktuella. En sådan design möjliggör sammanfogning med ultraljudssvetsning, vilket annars har varit den traditionella metoden. Här betraktar man lasersvetsning som en potentiell lösning med källor i det gröna eller blå våglängdsområdet, men också infraröd [IR = Infra-Red] våglängd kan vara ett alternativ.

Rengöring av koppar- och aluminiumfolier, där ytbelagningen avlägsnas selektivt för att frilägga metallytan, är ett annat växande applikationsområde [Fig. 3]. Även här kan den ns-pulsade laser som tidigare omnämnts i samband med skärning användas. Genom optimering av pulsparametrarna kan laser-



Figur 2. Ytbelagda katod- och anodfolier skurna med en EP-Z fiberlaser på 200 W från SPI Lasers med nanosekund-långa pulser.



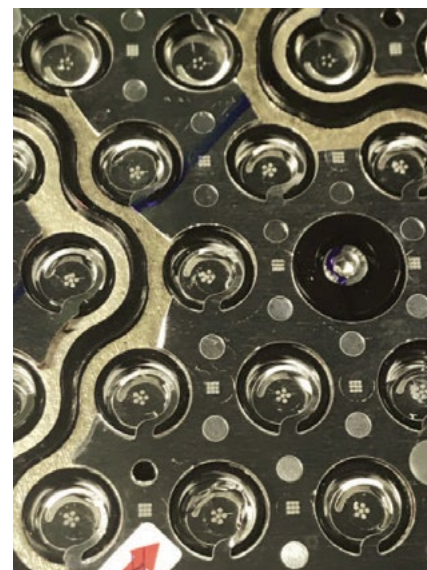
Figur 3. En selektivt avverkad ytbeläggning för att frilägga den metalliska kopparytan har gjorts med den ns-pulsade fiberlasern EP-Z med 200 W medeleffekt.

källan konfigureras så att den uppfyller rengöringskraven genom att avverka allt skyddsbeläggning utan att i övrigt skada metallfolierna.

Oavsett om det gäller cylindriska eller prismatiska battericeller måste dess enskilda moduler byggas samman till batteripack där kontaktdon i koppar och aluminium svetsas till cellerna. Tjocklekar och materialtyper varierar högst väsentligt, vilket innebär att svetsningen i sig är ganska utmanande. Här är man beroende av att svetsa högreflektiva och elektrisk ledande material som koppar och aluminium, antingen i form av artlika men också i artolika materialkombinationer, där det senare är en process som blir allt vanligare.

Med tanke på att det finns hundratals, om inte tusentals, enskilda celler som behöver sammanfogas i ett batteripack till en EV måste dessa fogar utföras med hög kvalitet, tillförlitlighet och repeterbarhet. Förutom krav på hög statisk och utmattningsbelastning måste fogarna sörja för en god elektrisk kontakt eftersom fogarnas sammanlagda effektförluster påverkar batteripackens totala verkningsgrad. Traditionella mekanisk fogning med bultar och muttrar adderar oönskad vikt, varför lasersvetsning utgör en möjlighet för att övervinna dessa begränsningar.

Tidiga installationer för dessa svetsoperationer fokuserade på att använda multimode [MM]-laserkällor med hög effekt, dock med begränsad framgång. Fogarnas utformning är sådan att de kräver överlappssvetsar, och i vissa fall kan det röra sig om multipla plåtkombinationer. Detta borde ju vara perfekt för lasersvetsning, men svetsningen resulterade oftast i hög



Figur 4. Ett exempel på nanosekund-pulsad lasersvetsning av s.k. batteriterminaler.

och okontrollerad värmepåverkan, varierande svetsprofil och penetrationsdjup, samt värst av allt omfattande svets sprut.

Därför har förbättrade lösningar utvecklats baserade på de speciella utmaningar som de enskilda tillverkarnas konstruktioner innebär. I de fall då materialen är mycket tunna och därför kräver en bra kontroll av värmepåverkan har vi med framgång kunnat använda en svetsprocess baserad på vår ns-pulsade laser på 100 W för att skapa högkvalitativa svetsar i 300 µm tjocka kopparanslutningar [Fig. 4]. Tekniken möjliggör flerpunktssvetsning där bindningsarean optimeras genom att laserstrålen oscilleras i ett ”spiralformat” mönster. Samtidigt kontrolleras värmepåverkan och penetrationsdjup, men däremot blir svets hastigheten låg p.g.a. den låga medeleffekten jämfört med en högeffekt laser cw-laser. Ett sådant pro-

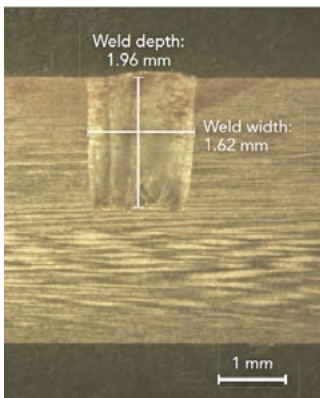
duktivtetsproblem kan lösas genom att använda flera laserkällor.

För applikationer som kräver hög produktivitet och förmåga att penetrera tjockare material har de nyligen introducerade SM-fiberlasarna med hög cw-effekt möjliggjort sådan svetsning genom att oscillera eller pendla laserstrålen. Här använder man en mycket liten fokuspunkt som med hög frekvens oscilleras över arbetsstycket. På så sätt utsträcks smältan och svetsbredden kan kontrolleras oberoende av fokuspunktens storlek, och gör att svetsgeometrin kan skräddarsys för den aktuella applikationen. Den snabba förflyttningen av fokuspunkten gör det lättare att kontrollera värmepåverkan samtidigt som den stabiliserar nyckelhålet. Det hela resulterar i ett stabilare svetsutfall i form av tvärsnittprofil, toppyta och låg sprutbenägenhet. En 2 kW SM-fiberlaser kan numera skapa upp till 2 mm djupa svetsar med exceptionellt hög svetskvalitet i såväl koppar som aluminium [Fig. 5].

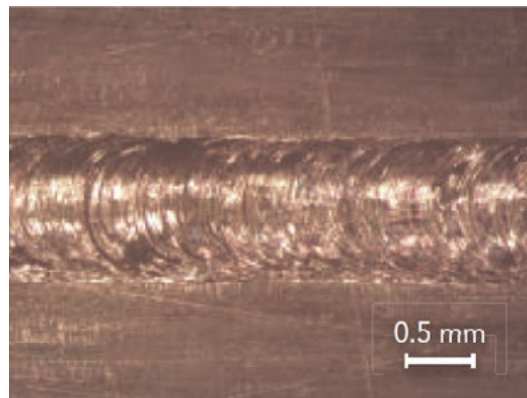
Svetsning av elektriska motorer

En annan möjlighet för laseranvändning hittar vi vid tillverkningen av elektriska motorer, och då i synnerhet när det gäller svetsning av de "hårnålar" i koppar som ingår i en stator. Dessa hårnålar är försedda med en isolerande skyddsfilm, vilken måste avverkas lokalt före svetsoperationen. Konventionellt har detta gjorts med mekaniska tekniker som metalltrådsborstning, men detta är en metod som är svår att kontrollera och kräver ett omfattande underhåll. Dessa beläggningar kan avlägsnas med ns-pulsade fiberlasrar, utan att kvarlämna något restmaterial samtidigt som man selektivt frilägger den rena metallytan så att denna är förberedd inför svetsningen [Fig. 6].

Dessa "hårnålar" förekommer i olika former och storlekar, men är oftast rektangulära med cirka 6 mm långa sidor. Att svetsa med högeffekt cw-lasrar om 4-6 kW har hittills använts, men detta har visat sig vara en utmanande applikation ur flera synpunkter. Exakta passningar, minimalt svetsrut och minsta möjliga värmepåverkan för att inte bränna bort isolerfilmen utanför svetsområdet har varit några av problemen vid kontinuerlig svetsning med höga effekter. Även här har användningen av en 2 kW SM-fiberlaser med stråloscillering visat sig vara ett utmärkt alternativ då det erbjuder bra kontroll av värmeförseln och begränsar mängden svetsrut [Fig. 7].



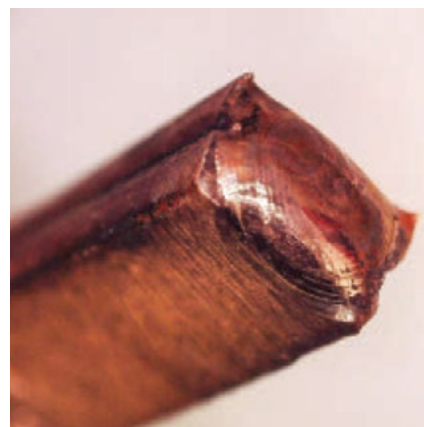
Figur 5. Svetsning med oscillerande laserstråle utförd med en 2 kW SM-fiberlaser.



Figur 6. Lokalt rengöring med ns-korta laserpulser av en s.k. hårnål i koppar.

Prognoser om framtiden

De redovisade exemplen är på inget sätt fullständiga, men återspeglar förhoppningsvis det beroende och den förtröstan som e-mobility-industrin ställer på olika bearbetningsprocesser med laser för att kunna leverera tillverkningslösningar i industriell miljö. De ständiga strävandena efter att öka kapabiliteten hos morgondagens batterilösningar är en nyckelfråga för den industribranschens fortsatta framgång, och lasertekniken är väl positionerad för att medverka längs hela värdekedjan. Den snabba tillväxten inom e-mobility och det nödvändiga behovet av en ökad tillverkningskapacitet kommer otvivelaktigt att resultera i en avsevärd efterfrågan på nya och innovativa industriella lasersystem under kommande decennier.



Figur 7. Exempel på lasersvetsning av s.k. hårnålar där en 2 kW single mode fiberlaser från SPI Lasers har använts.

A Member of
The Linde Group

AGA



AGA blir Linde.

Två innovativa verksamheter
samlas under ett namn.

Efter över hundra innovativa år är vi världsledande inom gasindustrin, med ett brett utbud av högspecialiserade produkter, teknologi och lösningar. Vi har varit en del av Linde i 20 år. Och nu går vi framåt under gemensamt namn – AGA blir Linde.

För att se filmen, besök linde-gas.se/linde

www.linde-gas.se

KALENDARIUM 1-2020

2020

APRIL

6 LaserNytt 1-2020

16 Laserdag 1, Höganäs AB, Höganäs

Per Westerhult

OKTOBER

5 LaserNytt 2-2020

15 Laserdag 2, LaserTech LSH AB, Karlskoga

Per Westerhult

DECEMBER

7 LaserNytt 3-2020

LASER

LASERGRUPPEN