

Lasernytt



1-2018

KALENDARIUM 1-2018

APRIL

13	LaserNytt 1-2018	Per Westerhult
19	Laserdag och LaserGruppens årsmöte Scania CV AB, Oskarshamn	Per Westerhult

MAJ

17	Seminarieum Additiv Tillverkning Elmia Svets, Jönköping	Per Westerhult
----	---	----------------

SEPTEMBER

28	LaserNytt 2-2018	Per Westerhult
----	------------------	----------------

OKTOBER

4	Laserdag "Laserbearbetning av avancerade material" GKN Aerospace AB och Produktionstekniskt Centrum, Trollhättan	Per Westerhult
23-28	Studieresa till EuroBLECH, Hannover med företagsbesök Preliminärt - under planering	Per Westerhult

DECEMBER

7	LaserNytt 3-2018	Per Westerhult
---	------------------	----------------

LASERNYTT NR 1-2018

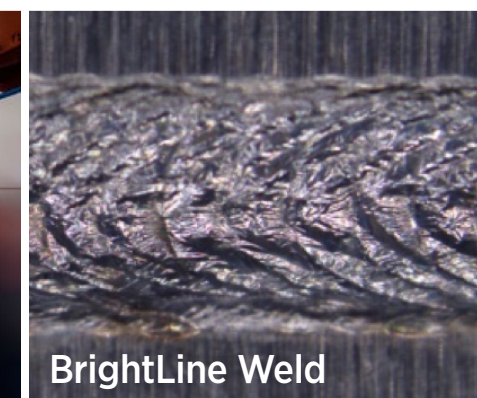


EBM-teknik

LASER
LASERGRUPPEN



NOLAMP 16



BrightLine Weld

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

Exempel på detaljer som tillverkats med Arcams EBM-teknik

Produktion: BrandFactory

Tryck: BrandFactory, Stockholm
www.brandfactory.se



INNEHÅLL

ADDITIV TILLVERKNING TEMA FÖR LASERDAGEN	2
FÅ NYHETER SÅG DAGENS LASERLJUS VID ICALEO 2017 -	10
NOLAMP 16 I AALBORG DEL 2 - 30 år i den nordiska forskningens tjänst.	18
LASERS IN MANUFACTURING 2017, DEL 2 - det tycks alltid finnas nya forskningsområden för de traditionella laserprocesserna.	21
BRIGHTLINE WELD - en revolution inom lasersvetning.	30
HOPE TECHNOLOGY SATSAR PÅ - fiberlaserteknik för precisionsskärning av cykeldetaljer.	33
INDUSTRI 4.0 - VISIONER, VERKLIGHET & FRAMGÅNG - Tulus® Power Processing – lite snack och mycket verkstad – Made in Finland!	35
LASERFOGNING AV METALL TILL PLAST - verklighet eller fiktion?	38
FRÅGA LASERDOKTORN	40
STORT INTRESSE FÖR LABBTESTER - inom laserbearbetning	43

40 år med lasertekniken

Jag har nu haft förmånen att följa laserteknikens utveckling under närmare 40 år. Allt från de första trevande stegen med laserskärning hos Focus Laserteknik i Sandviken och lasersvetning vid Permascand AB i Ljungaverk och inom forskningen vid Luleå tekniska universitet. Det har sannerligen varit en förmån att, nästan från början, få uppleva utvecklingen av ett helt nytt teknikområde som nu sätter så stor prägel på våra dagliga liv. Det har också varit en förmån att få träffa och lära känna så många trevliga och kunniga människor inom industri och forskning i Sverige, Norden och internationellt.

Jag har sedan en tid gjort bokslut från ett omväxlande och intressant yrkesliv vid LTU. Men jag fortsätter att arbeta med lasertekniken och ser fram emot att få uppleva hur utvecklingen fortsätter. Den kommer troligen att bjuda på en hel del överraskningar och sidospår – för teknikutveckling är sällan rätlinjig. Jag hoppas dock att de fina traditioner, t.ex. NOLAMP-konferensen, som finns inom den svenska och nordiska laserforskningen, kan leva vidare och fortsätta att utvecklas.

Men viktigt för utveckling är att man känner historien – så det kanske är dags att vi äldre "lasergubbar" och "lasergummor" sätter oss ner och minns och tecknar ner de stora händelserna inom svensk laserbearbetningsteknik!



TANKAR FRÅN STYRELSEN

AV HANS ENGSTRÖM, LEVITRONICS LASERSYSTEM AB

Additiv tillverkning tema för LaserDagen

Hans Engström
Levitronics Lasersystem AB



LaserGruppens sedvanliga Laserdag under hösten hade i år temat ”Additiv Tillverkning” – ett synnerligen aktuellt teknikområde som ökar starkt inom industrin. Dagen var förlagd till Permanova Lasersystem AB i Mölndal och lockade 25 deltagare med ett brett och innehållsrikt program. Särskilt bör uppmärksammas en presentation av Arcams EBM-teknologi, samt ett besök i deras utbildningscentrum.

Additiv tillverkning, som ibland också kallas 3D-printing, har gjort en stark inbrytning inom flera branscher. Metoden ger en stor frihet i design och konstruktion och ger samtidigt möjlighet

till integration av olika funktioner och att tillverka mycket komplexa detaljer. Hittills har tekniken begränsats av att tillverkningstiden per detalj i många fall är lång och den passar därför inte så bra i högvolymproduktion. Men utvecklingen går snabbt och förhållanden kan ändras.

Varför additiv tillverkning??

Varför ska man använda additiv tillverkning eller Additive Manufacturing (AM) som den också kallas?? Den frågan försökte Johnny K. Larsson, Autokropolis Engineering svara på under en lång, bred och faktaspäckad presentation, där han också gjorde en genomgång av de mest använda metoderna. Här följer ett urval från presentationen.

Fördelarna med AM är många menar

Johnny Larsson:

- Kortare ledtider
- Kostnadsbesparingar
- Mindre materialförluster
- Möjlighet att göra extremt komplexa geometrier
- Skräddarsydda egenskaper genom användning av olika material
- Metallurgisk bindning
- Möjlighet till lättviktskonstruktion
- Kostnadseffektiv reparation av komponenter med högt värde

Men det finns också begränsningar:

- Kräver (normalt) efterbearbetning
- Låg bygghastighet
- Stödstrukturer måste avlägsnas
- Begränsade överhäng
- Sprickbildning (material- och process-

beroende)

- Ny metod – tilltro hos användare måste skapas

Det finns många metoder för AM men två dominerar: "Laser Metal Deposition" (LMD) och Selective Laser Melting (SLM), **Fig. 1**. Karakteristika för respektive metod syns i **Fig. 2**.

Vid additiv tillverkning behöver man inte bygga hela detaljer utan man kan i många fall utgå från ett ämne där man sedan bygger på en önskad geometri. Ett exempel på detta är en matarskruv där man bygger skruven på en slät axel, **Fig. 3**. Ett annat exempel är reparation av turbin-



Figur 4. Turbinblad för flygplansmotor tillverkad med LMD.

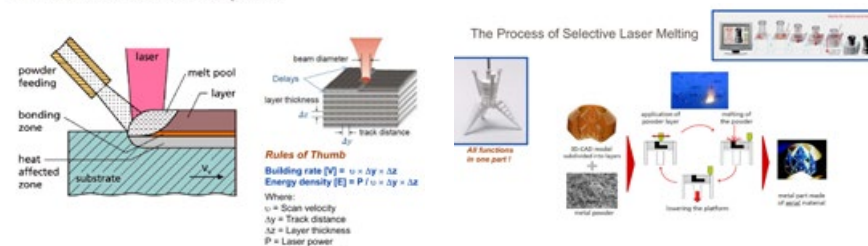
blad, **Fig. 4**.

SLM används normalt för mindre komponenter beroende på storleken på SLM-maskinerna men nu börjar det också komma maskiner som klarar större detaljer. Metoden gör det möjligt att tillverka extremt komplexa komponenter för många olika branscher, **Fig. 5**. Det är också möjligt att tillverka produkter med gitterstrukturer. Det ger mycket lätta komponenter som också kan användas i energiupptagande syfte, **Fig. 6**.

Johnny Larsson berättade också om maskiner och strategier för AM och att metoderna kan förse med processövervakning och visade exempel på detta. Det finns också många visioner för den

Figur 6. Komponenter tillverkade med gitterstrukturer kan göras lätta och starka. Det är också möjligt att tillverka komponenter där delar av denna består av en gitterstruktur.

The Process of Laser Metal Deposition



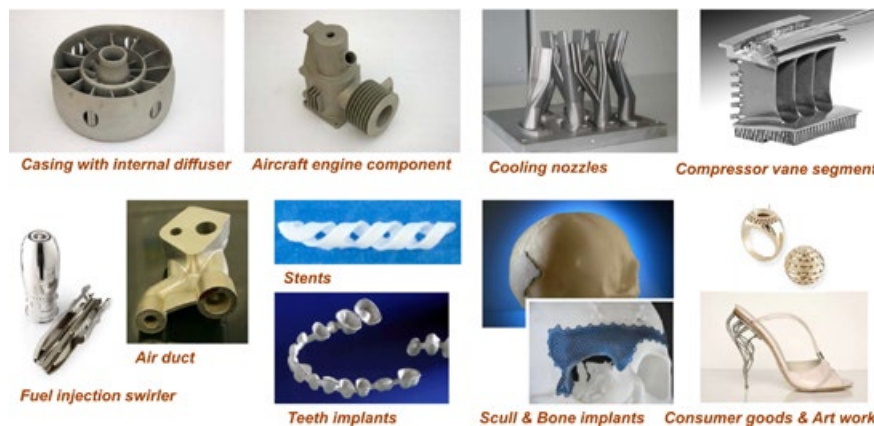
Figur 1. Principen för Laser Metal Deposition (LMD) och Selective Laser Melting (SLM).

characteristics	LMD	SLM
materials	large materials diversity	• limited and lower experience in comparison to LMD
part dimensions	limited by the handling system	limited by the process chamber (ø : 250 mm, height : 160 mm)
part complexity	limited	nearly unlimited
dimensional accuracy	≥ 0.1 mm	≥ 0.1 mm
deposition rate	3 – 10 mm³/s	1 – 3 mm³/s
build-up on	• 3D-surface • on existing parts	• flat surface • flat preforms
roughness R _z	60 – 100 µm	30 – 50 µm
layer thickness	≥ 0.03 - 1 mm	≥ 0.03 - 0.1 mm

Figur 2. Karakteristiska egenskaper för LMD och LSM.

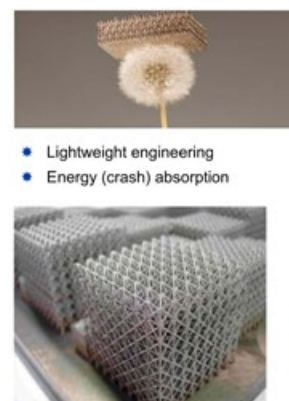


Figur 3. Matarskruv tillverkad av Inconel 625 på stålaxel med LMD.



Figur 5. Exempel på applikationer för SLM.

Lattice Structures



framtida utvecklingen av AM. En är att kunna tillverka implantat direkt under operationen; en annan att du ska kunna få en bil tillverkad medan du väntar, **Fig. 7**.

- Men för att nå största möjliga framgång med additiv tillverkning bör man använda en helhetssyn på hela tillverkningskedjan, avslutar Johnny K. Larsson.

Additiv tillverkning ökar starkt

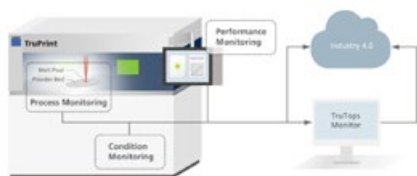
Den additiva tillverkningstekniken är inne i en stark expansionsfas. Detta berättar Mikael Ohlsson, Trumpf Maskin AB. Tekniken har vuxit med 40% per år de senaste tre åren, **Fig. 8**. Marknaden rör sig från tillverkning av prototyper mot begynnande serieproduktion.

- Det pågår en industrialisering av additiv tillverkning, säger Mikael Ohlsson, och där finns fyra nyckelområden för industrialiseringsprocessen; maskiner, automation, digitalisering och service.

Trumpf har flera maskiner för Selektive Laser Melting (SLM) eller som de kallar tekniken, Laser Metal Fusion (LSM). Trumpf TruPrint 3000 är en maskin med hög tillgänglighet genom ett koncept för flexibla cylindrar som snabbt kan bytas, **Fig. 9**. Maskinen integreras med fördel i ett produktionssystem med pulverhantering, printing samt uppackning. För maximal produktion finns Trumpf TruPrint 5000 som har tre lasrar som kan arbeta samtidigt inom hela arbetsområdet.

Men för serieproduktion krävs en omfattande övervakning fortsätter Mikael Olsson. Det gäller övervakning av processen, maskinen och utförandet, **Fig. 10**. Allt är tänkt att kopplas samman via styrsystem och "Industry 4 molnet".

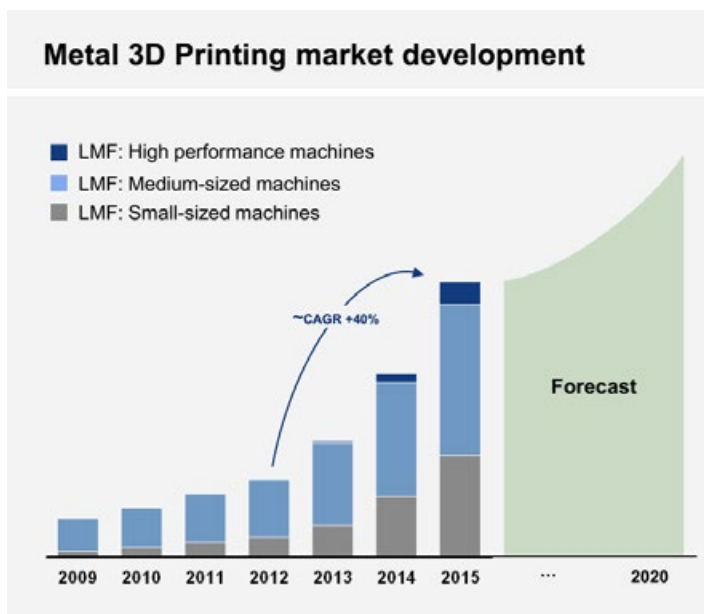
Det finns otaliga exempel på tillämpningar för additiv tillverkning. Mikael Ohlsson visar några översikter för LMD,



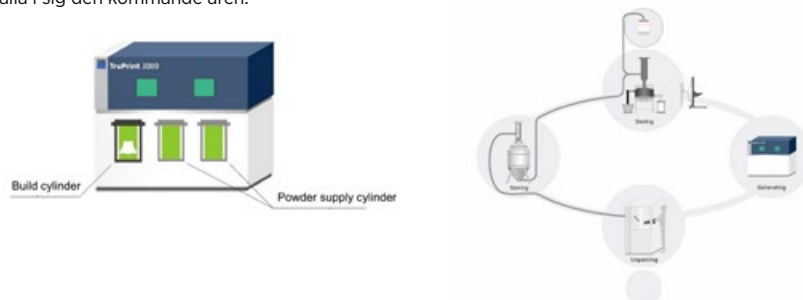
Figur 10. Framgångsrik additiv tillverkning kräver en omfattande övervakning över process, maskin och resultat enligt Trumpf. Hela processen från design till färdig produkt kan ske digitalt via TruTops Print Software Package Siemens NX.



Figur 7. En av flera visioner för additiv tillverkning – bilen byggs för dig medan du väntar. (Local Motors, Phoenix, AZ)



Figur 8. Utveckling av marknaden för 3D-printing (additiv tillverkning) visar på en stark tillväxt. Den förväntas hålla i sig den kommande åren.



Figur 9. Produktionssystem för additiv tillverkning (Trumpf). För automatisering av laddning och lossning av detaljer finns ett flertal varianter att välja på.

Fig. 11. och LMF, Fig. 12.

LMF ger fantastiska möjligheter att skapa och tillverka mycket komplexa produkter som tidigare har varit omöjliga (i princip) att tillverka. Det är egentligen bara fantasin som sätter gränserna, **Fig. 13**.

En avgörande faktor för den additiva tillverkningsteknikens framtid är naturligtvis tillverkningskostnaden. Idag så är

det vanligast att AM är mest ekonomisk för små tillverkningsvolymmer. Men nya maskinkoncept förväntas sänka tillverkningskostnaden i framtiden, **Fig. 14**.

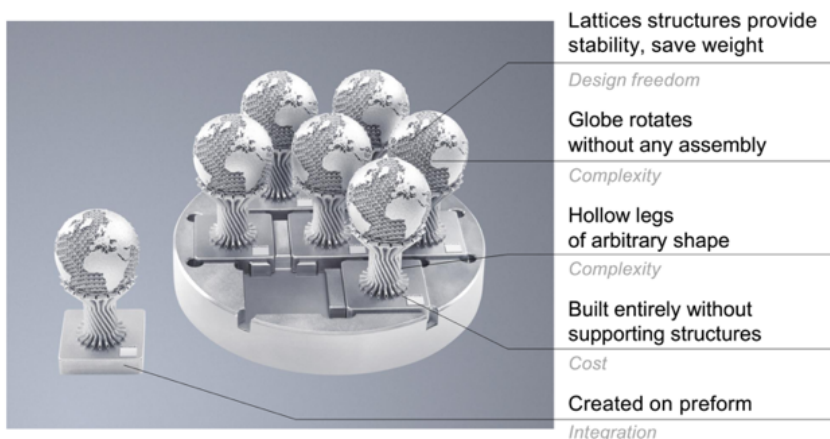
- Vägen till industriell serieproduktion har börjat men det kommer att krävas mer arbete för att uppnå detta, säger Mikael Ohlsson. Produktiviteten måste öka med en faktor 10, automationen måste utvecklas, tillgänglighet, tillförlitlighet och



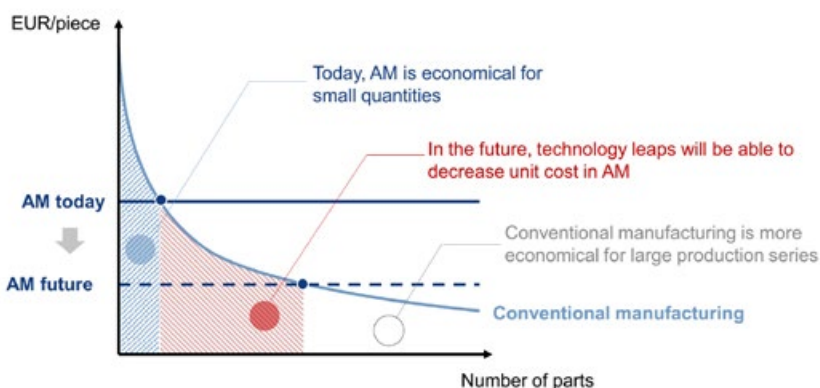
Figur 11. Översikt över områden där LMD (Laser Metal Deposition) kan användas. LMD ger hög produktivitet för additiv tillverkning. Generering av större 3D-strukturer på olika typer av ämnen ger stora möjligheter till komplexa komponenter i olika material.

LMF Focus Industries								Further Industries	
Aerospace	Energy / Turbine	Job Shops	Automotive / Industry	Medical	Dental	Tool Making	Research / Institutes	Fashion & Lifestyle	Jewelry
Potential LMF	★★★★	★★★★	★★★	★★★	★★	★★	★★	*	*
Potential Small Format	*	*	★★★	*	★★	★★★	★★★	★★	★★★
Applications	- Structure parts - Brackets	- Turbine blades - Nozzles	- Suppliers in all industries - Diverse applications / spare parts	- Prototyping - Tool making - Small batches e.g. Formula 1	- Implants - Medical devices	- Dental crowns - Dental bridges	- Moulds - Tools - Tool inserts - Material development - R&D	- Accessories - Furniture	- Rings - Brooches - Pendants
Examples									

Figur 12. Översikt över branscher där LMF (Laser Metal Fusion) används.



Figur 13. Det finns fantastiska möjligheter med additiv tillverkning. Här är ett exempel på LMF- teknikens möjligheter.



Figur 14. Förväntad kostnadsutveckling (EUR/detalj) som funktion av antal tillverkade detaljer.

kvalitet förväntas förbättras och tekniken måste integreras i "intelligent" produktion (Industry 4.0), avslutar Mikael Ohlsson, Trumpf Maskin AB.

Gasen betyder mycket vid AM

- Gaser spelar en viktig roll i hela AM-processen, berättar Bo Williamsson, AGA GAS AB, vilket man kanske inte alltid

tänker på. Från pulvertillverkning till efterbearbetning används gaser på olika sätt, **Fig. 15.** Det har Linde (ägare till AGA Gas AB) tagit fasta på och inrättat ett kompetenscentrum för AM i München.

Gasatomiserat pulver är bättre för AM än vattenatomiserat eftersom det ger runda pulverkorn med god flytbarhet, men dock till ett högre pris. Vanliga gaser vid AM är argon, helium och nitrogen, men även hydrogen och oxygen kan användas.

I kammaren vid SLM (eller LMF) finns normalt huvudkomponenterna argon eller nitrogen samt oxygen. I lägre halter kan finnas hydrogen, koloxid, koldioxid och vatten. När pulvret smälter frigörs syre och fukt som kan finnas mellan kornen i pulvret. Halten av syre och fukt varierar och beror på volymen mellan kornen. Dessutom påverkas atmosfären i kammaren av materialet som smälts och förångas. Vid vanlig svetsning tillåter man normalt en oxygenhalt på 0.005 % medan den tillåtna halten vid AM ligger i intervallet 0.5-1.5%.

- För att kontrollera atmosfären i kammaren vid SLM har Linde utvecklat ett system, Linde ADDvance™ O₂ precision, som kontinuerligt mäter och reglerar syrehalten för att säkerställa hög och konsistent kvalitet i tillverkningsprocessen, säger Bo Williamsson.

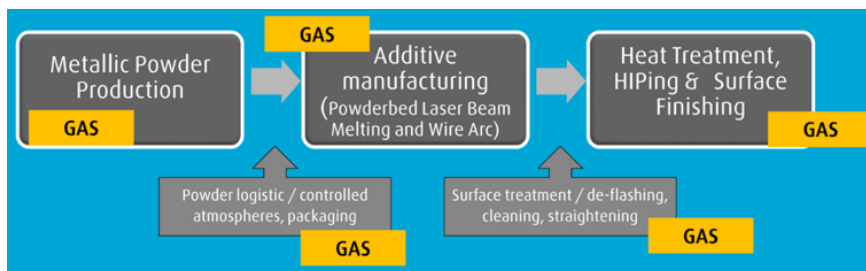
- Slangar och slangkopplingar är två (av flera) källor till att atmosfären i kammaren förorenas, säger Bo, för alla polymera material läcker. Frågan är bara hur mycket! Det beror på gasernas partialtryck, **Fig. 17**. Maskinens och kammarens konstruktion samt materialval i gasledningar och kopplingar är alltså av stor betydelse för att kunna kontrollera atmosfären i kammaren.

Gasförbrukningen vid LMD är i paritet med skyddsgasflöde vid svetsning. Vid SLM spolas och fylls kammaren med gas som sedan måste fyllas på under tillverkningsprocessen och där beror förbrukningen på kammarens storlek.

- AGA och Linde arbetar aktivt med att utveckla gasernas användning vid 3D-printingprocessen. Det gäller t.ex. att specificera kvalitetskrav på atmosfären i kammaren, analys och styrning av atmosfären, optimera gasblandningar för ökad kvalitet och produktivitet, avslutar Bo Williamsson. Vi deltar också i flera utvecklingsprojekt för AM i Sverige.

Additiv tillverkning med tråd - nytt koncept från Precitec

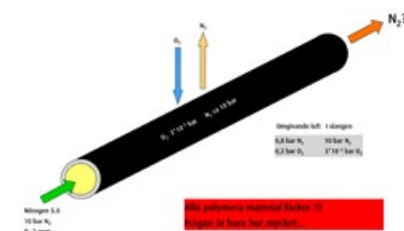
Precitec GmbH & Co KG, Gaggenau, är en världsledande tillverkare av skärhuvuden, svetshuvuden, processövervakningsutrustning men också påsvetshuvuden för laserbearbetning. I Sverige representeras Precitec av Levitronics Lasersystem AB,



Figur 15. Gaser används i hela tillverkningskedjan vid additiv tillverkning.



Figur 16. Linde ADDvance™ O₂ precision, är ett system som kontinuerligt mäter och reglerar syrehalten i kammaren vid SLM. Den bidrar till kvalitetssäkring av processen och ger spårbarhet av hur atmosfären i kammaren har varierat under tillverkningsprocessen.



Figur 17. Alla polymera material läcker på grund av gasernas partialtryck. I detta exempel är trycket av syre väsentligt lägre i slangen än i den omgivande atmosfären vilket leder till att syre läcker in i slangen. Omvänt så läcker nitrogen ut ur slangen.

vilken drivs av övertäcknad. Till påsvetshuvudet, YC 52, finns tre olika dysor för pulvertillförsel att tillgå, **Fig. 18**; 3-vägs dysa som tillför pulvret i tre strålar, ringformad dysa som tillför pulvret koaxiellt med laserstrålen samt sidomunstycke, där pulvret tillförs från sidan.

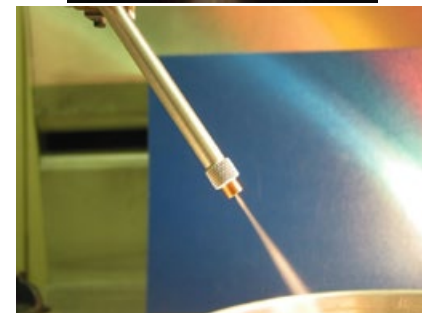
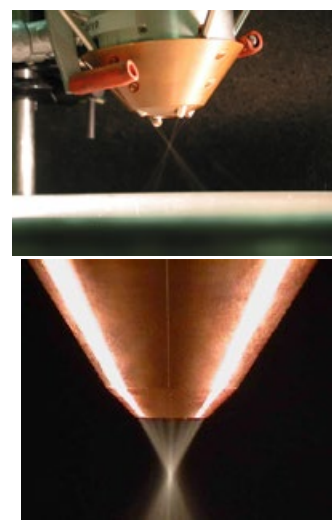
Men det nya från Precitec är ett huvud, CoaxPrinter, där tråd används, vilken tillförs koaxiellt med laserstrålen, **Fig. 19**. Processen blir därmed helt riktningsoberoende. CoaxPrinter kan användas för additiv tillverkning, påsvetsning, laserlödning och lasersvetsning med tråd. CoaxPrinter lanserades under våren 2017 och har rönt stort intresse i flera branscher.

Precitec CoaxCladder klarar 6 kW och använder tråd i diameter $\varnothing$ 1-1.6 mm.

I princip fungerar Precitec CoaxCladder på följande sätt:

Den runda homogena laserstrålen omformas med optik till en ringformad stråle. Strålen delas sedan i två delar med en spalt emellan halvorna och där förs tråden in i centrum av strålen. Den sluts sedan och fokuseras mot arbetsstycket. Strålen kommer sålunda att omsluta strålen och förvärma den under sista delen mot arbetsstycket.

CoaxPrinter är avsedd för fiber-base-



Figur 18. Tre olika pulverbmunstycken från Precitec till påsvetshuvudet YC 52 ger möjlighet till flexibel påsvetsning/additiv tillverkning av olika applikationer.

rade lasersystem som fiberlaser, disk-laser och diodlaser. De skyddas mot sprut genom en effektiv CrossJet och integreras smidigt mot robot eller annan typ av maskin. Även anslutning av trådmatare uppges gå smidigt. CoaxPrinter tillåter hastigheter på 5 m/min och ger en lugn och stabil process med ett stort process-fönster.

Fig. 20 visar på några exempel på strukturer som har tillverkats med Coax-Printer. Det går att skapa såväl homogena, rigida strukturer såväl som ihåliga, tunnväggiga.

Precitec CoaxPrinter finns i ett flertal varianter och kan förses med utrustning som kamera och pyrometer för processövervakning.

GKN - Lång erfarenhet av additiv tillverkning

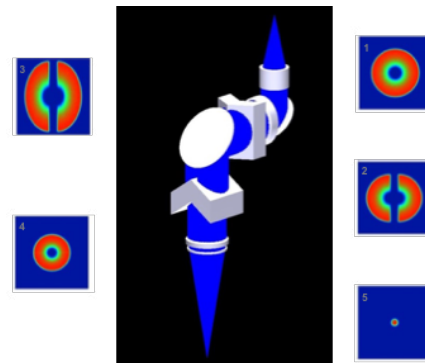
Volvo Aero i Trollhättan, heter numera GKN Aerospace Sweden AB, efter uppköpet 2012. GKN är en världsomspännande koncern, berättar Peter Jonsson, som har arbetat med materialteknik i snart 20 år vid företaget.

- Vi har ca 60 000 anställda i 30 länder och företaget är uppdelat i tre divisioner: Aerospace, Driveline och Powder Metallurgy. Aerospace, som bl.a. finns i Trollhättan, är i sin tur delad i Aerostructures och Engine Systems.

- Vi gillar AM säger Peter Jonsson, **Fig. 21**, och vi arbetar med alla metoder via våra tre Center of Excellence (CoE). Ett finns i USA och där utvecklar man teknik för laser och tråd i titan för Aerostructure. En tillämpning där är komponenter med förstärkning.

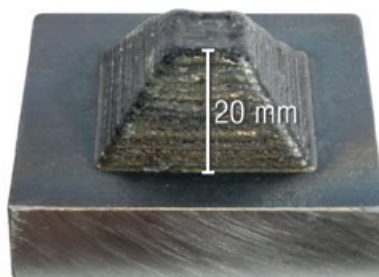
I Trollhättan finns det andra CoE och där arbetar man med "fine deposition" med både pulver och tråd. Man har två laserceller; två stycken med 8 kW disk-laser och en med en 4 kW laser. Man arbetar mest med stål och nickelbaslegeringar och det huvudsakliga tillämpningsområdet är att bygga strukturer på ämnen. Det tredje CoE finns i England och där koncentrerar man sig på AM med pulverbäddteknik (SLM).

- Vi startade med AM år 2000-2001 i samarbete med Rolls Royce, fortsätter Peter. År 2008 hade vi framme ett raketmunstycke som ska i produktion 2018 i Trollhättan, **Fig. 22**; 2011 var vi klara med s.k. bossar som sattes i produktion det året och 2012. År 2014 var vi klara med en "demobox" på 18 kg som är 50 cm lång. År 2015 så hade vi nått utvecklingssteg 6 för pulver och 2017 så tillämpas detta som



Figur 19.

Precitec CoaxPrinter är ett nytt verktyg för bl.a. additiv tillverkning. CoaxPrinter tillför tråd som tillsatsmaterial koaxiellt, med laserstrålen. Det ger en riktningsoberoende process med hög absorption av laserenergin i tråden samt i princip 100 % materialutnyttjande av tillsatsmaterialet.



$P = 1.25 \text{ kW}$
 $v = 1 \text{ m/min}$

Figur 20.

Exempel på strukturer tillverkade med Precitec CoaxPrinter.



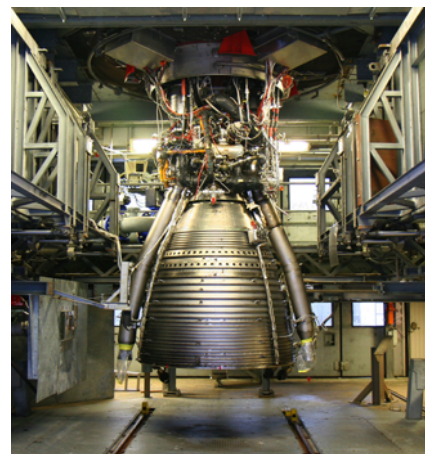
strukturer för förstärkningar i motorer.

- GKN arbetar mot höga kvalitetskrav och vad gäller materialegenskaper ligger vi på snittet vid dragprovning. Att notera är att vi alltid utför en efterföljande värmebehandling på de strukturer och komponenter vi tillverkar genom AM, avslutar



Figur 21.

Peter Jonsson, materialexpert vid GKN Aerospace i Trollhättan har arbetat med additiv tillverkning i snart 20 år. Här visar Peter en s.k. "boss" som är en struktur tillverkad på ett ämne.



Figur 22.

Munstycke till huvudmotorn Vulcain 2.1 för nästa generation europeiska bärraketer Ariane 6 har inneburit större ansvar för GKN i Trollhättan. Man har utvecklat fler delsystem och får större volymer i serieproduktion jämfört med tidigare raketprogram. Munstycket konstrueras med GKN's egen, världsunika sandwichteknologi. Det innebär att man tar flera viktiga utvecklingssteg, samtidigt som man levererar ett robustare system för nästa Vulcain-motor. Jämfört med äldre munstycken kommer sandwichteknologin (laser-svetsad) att förenkla tillverkningen och reducera både ledtider och kostnader. Exempelvis minskas antalet ingående detaljer till en tiondel och man räknar med att fördubbla tillverkningstakten. Effektiviseringarna ger GKN rätt förutsättningar för att behålla tätpositionen inom systemområdet och klara de växande leveransvolymer som planeras för Ariane 6.

Peter Jonsson.

Höganäs -världsledande pulvertillverkare

Höganäs AB är en stor tillverkare av pulver med ca 1500 produkter som tillverkas vid 14 produktionscentra. Bolaget omsatte 7590 MSEK år 2015 och hade då 1800 anställda. Man arbetar inom ett flertal affärsområden där också additiv tillverkning ingår.

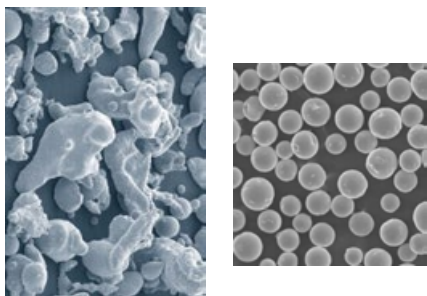
- Vi har utvecklat en egen metod kallad Digital Metal®, vilken är en blåstråle-metod på pulverbädd som inte involverar någon upphettning och skyddsgas behövs inte heller, berättar Sigurd Berg, Manager AM, R&D, **Fig. 23**. Metoden ger möjlighet att tillverka grönkroppar med hög detaljeringsgrad och snäva toleranser. Dessa sintras sedan och efterbearbetas till färdiga



Figur 23. Sigurd Berg, manager för AM, R&D vid Höganäs berättade om pulver och pulvertillverkning för additiv tillverkning.

komponenter,

- Metallpulver kan tillverkas genom vatten- eller gasatomisering, **Fig. 24**., berättar Sigurd Berg. Med vattenatomisering tillverkas mer än 1 000 000 ton per år vilket ger billiga pulver men syreinhållet är högt och pulverkornen har en oregelbunden form. Gasatomisering är en dyr process som ger runda pulverkorn med lågt syreinhåll, men tillverkas bara i ca



Figur 24. Vattenatomiserat pulver (t.v.) och gasatomiserat pulver (t.h.)

50 000 ton per år.

Pulver för additiv tillverkning tillverkas genom gasatomisering eller plasmassfäro-

disering, vilket ger lågt syreinhåll och sfäriska partiklar. Andra egenskaperna hos pulvret bestäms av legeringsämnen och fördelning av partikelstorlek.

Antalet sålda maskiner för AM med metall väntas öka från 800 st år 2015 till 5300 år 2020, berättar Sigurd Berg. Likaså förväntas pulveranvändningen öka från 600 ton/år till 5000 ton per år från 2015 till 2020. Komponentkostnaden är ca 1 USD/gr eller 1000 USD /kg komponent. Den globala marknaden för AM väntas öka från 50.6 MUSD till 310 MUSD mellan 2015 och 2021, tabell. 1.

Tabell 1. Förväntad global utveckling för additiv tillverkning för olika branscher och pulverkvaliteter (MUSD). Källa: BCC Research

Tabell 1.

Förväntad global utveckling för additiv tillverkning för olika branscher och pulverkvaliteter (MUSD). Källa: BCC Research

End Use	2015	2016	2021	CAGR% 2016-2021
Medical and dental	27.8	36.2	108.1	24.5
Aerospace	17.1	25.1	137.5	40.5
Automotive	*	*	25.1	--
Other (e.g., non-aerospace military and defense)	5.7	7.0	39.0	41.0
Total	50.6	68.3	309.7	35.3

Metal	2015	2016	2021	CAGR% 2016-2021
Titanium	29.6	39.6	143.5	29.4
Steel	16.6	24.0	159.2	46.0
Other	4.4	4.7	7.0	8.3
Total	50.6	68.3	309.7	35.3

En analys visar att tillverkningshastigheten och kommer att öka fram till år 2023. Likaså förväntas maskinkostnaden öka pga. mera komplicerade maskiner medan däremot pulverkostnaden kommer att minska. Tiden för efterbearbetning av komponenterna förväntas också minska, **tabell 2**.

Tabell 2.

Förväntad utveckling inom additiv tillverkning. Källa: Roland Berger

	2013	2018	2023
Build speed	10	40	80
Machine cost (kEUR)	500	700	800
Machine utilization (%)	86	84	81
Metal powder prize (EUR/kg)	89	70	30
Post processing (hr/kg)	1,52	1,05	0,96

- Utgångspunkten för arbetet på Höganäs inom AM är att försöka förstå och definiera specifikationen för pulvret som används, avslutar Sigurd Berg.

Permanova deltar i AM-forskning

Björn Lekander, Permanova Lasersystem AB, **Fig. 25**, berättade om ett projekt, "RMS - Robotised Laser Wire Deposition" med mål att automatisera hel processen från CAD-ritning till validerad komponent. Projektet avslutades 2009 och var ett samarbetsprojekt mellan Högskolan Väst och sju svenska företag med Volvo Aero

Corporation som koordinator. Projektet resulterade i åtta publikationer vid svenska och internationella konferenser.

Nu deltar man i projektet "SAMW - Utveckling av additiv tillverkning med laser och tråd för tillverkning av högpresterande komponenter", finansierat av KK-stiftelsen och deltagande av Högskolan Väst och fyra företag, GKN Aerospace Sweden AB, Alfa Laval AB, Elga AB samt Permanova Lasersystem AB. Målet är att göra AM tillverkning med tråd mera robust och tillförlitlig. Speciellt adresserar man två utmanande materialsystem, Ti-6Al-4V och duplex rostfritt stål DSS2205, vilket är helt nytt i ett AM-perspektiv. Projektet pågår mellan 2017 och 2021.



Figur 25. Björn Lekander, Permanova Lasersystem AB, var värd för LaserDagen.

AM med elektronstråle - stor svensk framgång

Arcam AB, är ett svenskt företag grundat 1977, som arbetar med additiv tillverkning, men numera ägt av General Electric Company till 90%. Arcam erbjuder AM-maskiner som arbetar med elektronstråle, tillhörande utrustning, metallpulver samt service och utbildning. Huvudkontoret finns i Mölndal. Arcam EBM är moderbolag i koncernen som dessutom innehåller en kontraktstillverkare för implantat i Boston, DTI, Arcam AB i Mölndal samt AP&C Advanced Powders & Coatings, Canada.

- Arcams "mission" är att "to disrupte the status quo in production by providing leading-edge metal additive solutions"

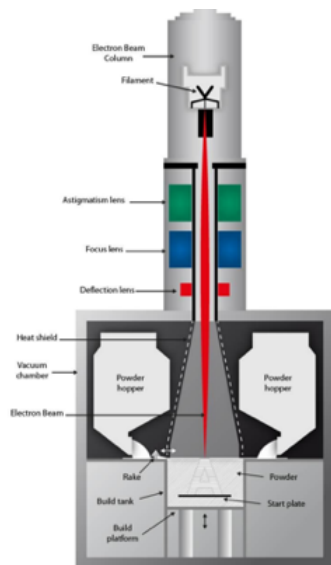
säger Ulf Ödesjö, vice vd för R&D vid Arcam. Och vi fokuserar på komponenter inom aerospace och ortopediska implantat, **Fig. 26**.



Figur 26.
Exempel på ortopediska implantat tillverkade med Arcams EBM-teknik.

Arcam bygger alltså maskiner som arbetar med elektronstråle (EBM- Electron Beam Melting) i stället för laser, **Fig. 27**. Mer än 100 maskiner från Arcam arbetar inom produktion.

Tekniken ger låg grad av förångning från pulverpartiklarnas yta. Processen är energieffektiv: mer än 75% av elektronernas energi överförs till materialet i Ti6Al4V. Penetrationsdjupet kan ändras genom att ändra på accelerationsspänningen i elektronkanonen.



Figur 27.
Arcam har utvecklat egna elektronkanoner för sin AM-teknik. Processen sker i högvakuum och komponenterna kyles med helium i kammaren efter tillverkning.

Processen äger rum i högvakuum, vilket ger hög renhet och tillåter höga processtemperaturer som kan ligga på 750 grader C eller mer på ytan av detaljen. Arcams egenutvecklade elektronkanoner är extremt snabba; förflyttningstiden är 8 m/s och det ger möjlighet att samtidigt hålla igång 20-30 smältpölar, som är av storleksordningen 0.1 mm. Den höga arbetstemperaturen i komponenten ger små temperaturgradienter och låga restspän-

ningar tillåter tillverkning av större detaljer. Dessutom blir det möjligt att tillverka komponenter i material som är känsliga för sprickbildning vid låga temperaturer.

Arcams metod ger hög produktivitet, berättar Ulf Ödesjö, genom att värmen i produkten semi-sintrar komponenten. Det ger full frihet i nestingen och möjlighet att stapla delar på varandra, **Fig. 28**. Därmed kan man nyttja den tillgängliga byggvolymen maximalt och ha högre ”byggthet”, vilket ökar produktiviteten. Detaljer kan också byggas friflytande, dvs man behöver inte långa stödstrukturer ned till byggplattan. Pulvret som används återanvänds till 85-90%.



Figur 28.
Arcams EBM-teknik ger möjlighet att stapla komponenter på varandra under byggnationen. Detta ger att man kan använda byggvolymen maximalt, vilket ger hög produktivitet.

I likhet med elektronstrålemikroskop så har Arcams EBM maskiner i princip möjligheter att utföra en hel rad analyser under processen. Därför kan EBM minska behovet av testning efter processen och varje tillverkad detalj kan uppvisa en komplett dokumentation. EBM ger också möjligheter att skräddarsy materialegenskaper och kontrollera mikrostrukturen genom kontrollerad kylning.

- Hittills har vi mest arbetat med etablerade legeringar som Ti-6Al-4V, Inco 718 och Co-Cr-Mo (ASTM F75) men nya legeringar kommer ytterligare att öka EBM teknikens möjligheter i framtiden, avslutar Ulf Ödesjö.

Laserdagen avslutades med ett besök i Arcams utbildningscenter där vi fick se några maskiner, bl. a Arcam Q10, **Fig. 29**, som används för tillverkning av implantat och Arcam Q20plus som används inom aerospace. Ett Q10-system kostar i storleksordningen 7.5 miljoner kronor. Här visade man också ett axplock av vad man

kan åstadkomma med EBM-tekniken, **Fig. 30**.



Figur 29
Besök hos Arcam. Daniel Wexell (t.h) berättar engagerat om Arcams maskiner.



Figur 30.
Exempel på detaljer som tillverkats med Arcams EBM-teknik.

LaserGruppen tackar för en mycket intressant och trevlig dag hos Permanova och Arcam. ■

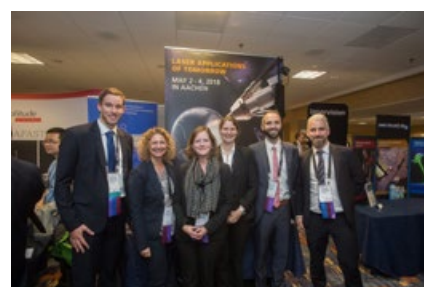
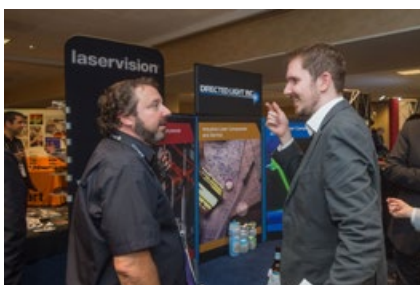
Få nyheter såg dagens laserljus vid ICALEO 2017

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering



Den traditionella ICALEO [International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics] –konferensen, som för övrigt var den 36:e i ordningen, gick liksom 2015 av stapeln på Sheraton Hotel i Atlanta, GA. Upplägget var det gamla välbekanta med "Welcome Reception" på söndagskvällen då vi underhölls av Beer's Law Band, d.v.s. Ron Schaeffer [Photomachining Inc., Mason, NH] och Henrikki Pantsar [Trumpf Inc. Laser Technology Center, Plymouth, MI, **Fig. 1**], denna gång förstärkta med en kvinnlig vokalist. Här gavs rika möjligheter att träffa såväl nya såväl som gamla laserkollegor över lite tilltugg ackompanjerat med lokala vin- och ölsorter.

Andra sociala träffpunkter var "President's Reception", den alltid lika populära "Vendor Reception & Tabletop Display" samt den av Klaus Löffler [Trumpf Laser and Systems GmbH] för några år sedan instiftade "LIA's Laser Runner Club" [**Fig. 1**], där den morgonpigge har möjlighet att motionera med likasinnade under gemytliga former. Som sagt så är mycket sig likt och frågan är om inte LIA [Laser Institute of America] behöver förnya



konceptet, eftersom årets deltagarantal, cirka 340 delegater från 20 länder, var ovanligt lågt, samtidigt som också antalet tekniksessioner låg klart under föregående

års upplagor av ICALEO.

Själva konferensen inleddes med att vi hälsades välkomna av 2017 års LIA-president Paul Denney [**Fig. 2**] från Lincoln



Figur 1.
Musikunderhållning i form av Beer's Law med en Ron Schaeffer i höghorm har blivit något av en tradition vid ICALEO:s "Welcome Reception", liksom den populära "LIA's Laser Runner Club" (t.h.).



Figur 2.
T.v. introducerar 2017 års LIA-president Paul Denney organisationens nye verkställande direktör Nathanael Quick, och t.h. överräcker föregående års president, professor Lin Li, det nyinstittade "Peter M Baker Leadership Award" till professor Reinhart Poprawe.



Electric Company. Hans första kungörelse var att presentera LIA's nya verkställande direktör Nathanael Quick [AppliedCote Associates LLC, Fig. 2] som har ett långvarigt förflutet inom organisationen. Han efterträder nu välkände profilen Peter Baker, som innehaft denna position i 28(!) år men tyvärr inte hade möjlighet att närvara vid årets evenemang. Dock lär sympatiske Peter inte helt försvinna ur bilden, inte minst med tanke på den nyinstittade utmärkelsen "Peter M. Baker Leadership Award" som delades ut till professor Reinhart Poprawe [Fraunhofer Institute for Laser Technology (ILT), Fig. 2] under den årliga "LIA Annual Meeting & Awards Luncheon". Därefter presenterade Mr. Denney konferensens sponsorer, vilka detta år utgjordes av företagen IPG Photonics, EdgeWave, SPI Lasers, Trumpf, Laserline, Light Conversion, Lumentum och Spectra-Physics. Den gode Paul avslutade med att nämna de problem som stormen "Irma" förorsakat i Florida vilka även medförde att LIA's huvudkontor i Orlando tvingades stänga i en hel vecka, något som gjorde att förberedelseiden inför årets ICALEO-konferens hamnade i ett kritiskt läge [Fig. 3].

Därefter gick ordet till årets huvudordförande Christoph Leyens från IWS [Institut für Werkstoff- und Strahltechnik] i Dresden. Han kunde konstatera att 150 tekniska presentationer låg framför oss under de närmaste fyra dagarna, och där 50 av dessa hade varit föremål för s.k. peer-review. Vidare passade han på att slå ett slag för den parallellt pågående posterutställningen innan han introducerade oss för sina ordförandekollegor. Precis som tidigare var konferensen indelad i tre underavdelningar: Laser Materials Processing Conference [LMP] med Klaus Kleine [Coherent Inc.] och Friedhelm Dorsch [Trumpf Laser and Systems GmbH, Fig. 4] som ordförande. Michelle Stock [mlstock consulting] och



Figur 3.
Orkanvarning på gång! Befolkningen flyr från Florida inför den annalkande orkanen "Irma", men LIA:s personal "stod pall", vilket garanterade ett friktionsfritt genomförande av ICALEO 2017.

Cather Simpson [University of Auckland, Fig. 4] hade motsvarande uppgifter i Laser Microprocessing Conference [LMF]. Och i Nanomanufacturing Conference [NANO] var det som vanligt Youngfeng Lu [University of Nebraska-Lincoln, Fig. 4] som höll i taktpinnen.

Årets plenar-session bjöd på tre spännande presentationer som visade på några, för oss industrirepresentanter, annorlunda användning av lasertekniken. Förste talare var Dr. Mark J Schnitzer från Howard Hughes Medical Institute vid Stanford University i Palo Alto, CA. Han berättade om hur man inom projektet "U.S. BRAIN

Initiative" använde tvåfotons-fluoresens för optisk bildanalys av förändringar i nervbanorna i hjärnan på djur. Bl.a. hade man försett möss med bärbara mikroskop som vägde 2 gram(!) och kunde på så sätt mäta förändringar i de neurala koderna samt avläsa oscillationer i nervspänningarna [Fig. 5]. Med dylik teknik menade Dr. Schnitzer att man kan skapa bättre förståelse kring såväl friska som sjuka hjärnor. Mer än 1.000 celler i mushjärnan kunde avbildas samtidigt och man kunde då se hur dessa aktiverades olika beroende på om mössen fick röra sig i en fyrkantig eller cylindrisk låda. Det gick även att

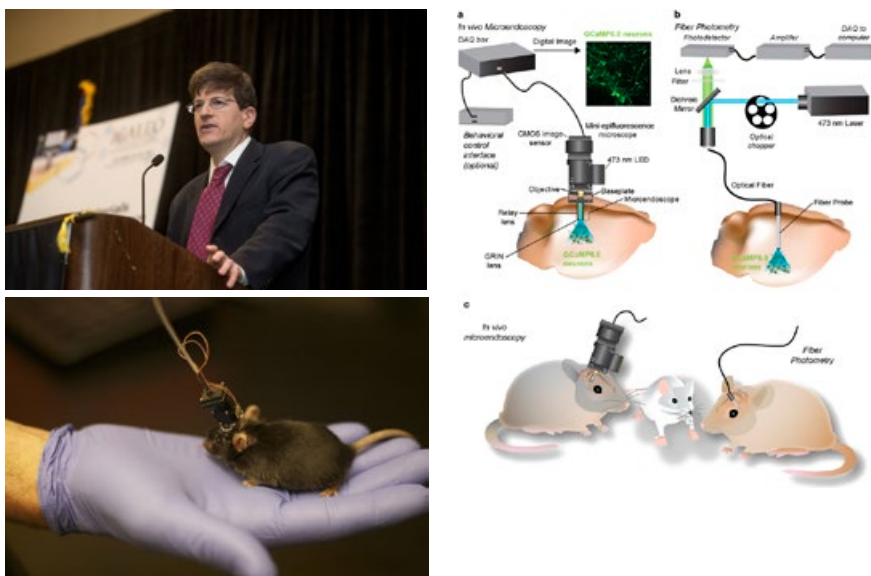


Figur 4. T.v. Christoph Leyens med LMP-konferensens båda ordföranden Klaus Kleine och Friedhelm Dorsch. I mitten samspråkar Michelle Stock och Cather Simpson, vilka höll ihop LMF-konferensen, och t.h. Leyens och Youngfeng Lu, som i vanlig ordning basade för NANO-delen av ICALEO.

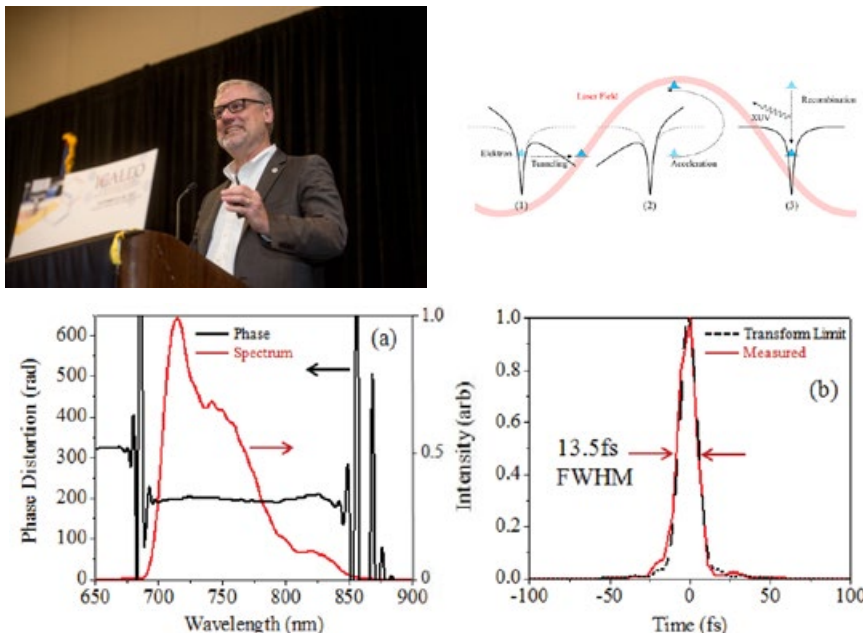
simultant visualisera två olika områden av hjärnan genom att använda flera laserstrålar med cirka 20 mW/mm^2 i energitäthet, vilka genererades av en Ti-safir-laser. Ett annat användningsområde för lasern i den här branschen är att med fiberfotometri avbilda djupt liggande vävnad med en upplösning kring $1 \mu\text{m}$. Slutligen visade Dr. Schnitzer hur man i hans laboratorium använde en speciellt utvecklad robot som på ett mjukt och försiktigt sätt kunde greppa flugor som skulle analyseras.

Näste talare var Dr. Henry C **Kapteyn** från KMLabs [Kapteyn-Murnane Laboratories Inc.] vid University of Colorado i Boulder, CO. Där har man specialiserat sig på att utveckla UKP [UltraKurzPuls] –lasrar inom våglängdsområdena EUV- [Extreme Ultra-Violet] och röntgenstrålning. Fördelen med dessa korta våglängder är att toppeffekten vid pulsning blir extremt hög, och han menade att om man med våglängder kring $1 \mu\text{m}$ kan nå pulstoppar på 1 MW är det teoretiskt möjligt att skapa effektpulser på 1 TW [$1 \text{ terawatt} = 10^{12} \text{ W}$] vid nm [$1 \text{ nanometer} = 10^{-9} \text{ m}$] långa pulser. Dessa korta våglängder skapas med hjälp av icke-linjära optiker och s.k. HHG [High-Harmonic Generation] –process [Fig. 6], och kan kommersiellt användas för materialkaraktärisering och bildanalys på nanonivå. Hos KMLabs hittar vi en annan UKP-laser med $750\text{--}840 \text{ nm}$ våglängd som man valt att kalla Stryde Blue™, och med vars hjälp man kan skapa pulser kring $13,5 \text{ fs}$ [femtosekund = 10^{-15} sekund] varaktighet. Pulsenergin ligger kring $8 \mu\text{J}$ vid frekvenser upp till 10 MHz , och denna laserkälla har bl.a. använts för att jonisera olika gaser. Den intresserade kan hitta mer information på jila.colorado.edu/KMgroup.

Plenar-sessionen avslutades av Dr. Jeffrey **Deems**, även han från University of Colorado där han arbetar inom National Snow and Ice Data Center, CIRES-NOAA Western Water Assessment. I västra USA utgör snön grunden för de vattenförråd



Figur 5. Huvudtalare vid årets plenar-session var Dr. Mark J Schnitzer som beskrev hur man kunde mäta förändringar i de neurala koderna i en mushjärna med hjälp av mikroendoskopi och ett mikroskop som endast vägde 2 gram .



Figur 6. Henry C Kapteyn beskrev hur man vid KMLabs har utvecklat UKP-lasrar genom att använda sig av en s.k. HHG-process. Med "spin-off" Stryde Blue™ går det att skapa $13,5 \text{ fs}$ långa laserpulser med extremt höga toppeffekter inom våglängdsområdet $750\text{--}840 \text{ nm}$.

som finns att tillgå under året, som exempelvis Hetch-Hetchy-reservoaren som försörjer hela San Francisco med färskvatten. För att bedöma mängden vatten som blir ett resultat av snöns avsmältning använder man sig av begreppet SWE [Snow Water Equivalent, **Fig. 7**], vars värde framräknas som produkten av snödjup och densitet. Bedömningarna är mestadels baserade på statistiskt underlag, varför prognosen vid extremt snörika eller –fattiga vintrar kan bli helt missvisande. För att råda bot på detta använder sig NASA [National Aeronautics and Space Act] av ett ”JPL [Jet Propulsion Laboratory] Airborne Snow Observatory” försett med två laser-”skannrar” från företaget Riegl som arbetar med 800 kHz frekvens. Med hjälp av LIDAR [Light Detection And Ranging, **Fig. 7**] och laservåglängder på 532, 905, 1.064 och 1.550 nm kan man bedöma snödjupet mycket exakt från över 5.000 meters höjd. Laserkällan, med beteckningen LMS-Q1560 sänder ut 3 ns långa Gaussiska laserpulser vid en medeleffekt på 400 mW och med en stråldivergens $\geq 0,25$ mrad. Dessa mätningar kan även vara till hjälp för att i tidigt skede observera tendenser till laviner. Dock finns fortfarande vissa osäkerheter i mätmetoden. Sålunda kan alltför branta sluttningar eller vegetation störa laserstrålen, liksom att man fortfarande måste förlita sig på statistik då det gäller snömassornas densitet.

Då det gällde ICALOE:s tekniksationer kan jag sammanfattningsvis säga att nyhetsvärdet av dessa var tämligen magert. Bearbetning av lättviktsmaterial är dock något som ligger i tiden, och därför börjar jag med att referera några av de presentationer som gavs under rubriken ”Lasersvetsning av aluminium”, en session som leddes av gamle bekantingen Dr. Tony **Hoult** från IPG Photonics i Santa Clara, CA.

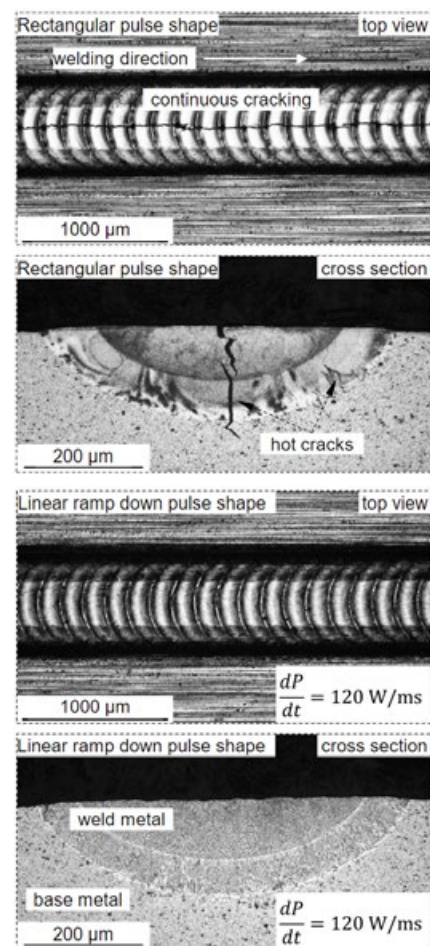
Först ut var diplomingenjören Martin **Bielenin** [Technische Universität Ilmenau], som hade studerat pulsad punktsvetsning av aluminiumlegeringen AA6082-T6 i tjockleken 0,5 mm med en LASAG SLS 200 CL och en 0,4 mm stor fokuspunkt. Pulserna, som var rektangulära till sin form, hade en varaktighet på 5 ms med pulseffekter kring 1,8 kW vid 4,5 Hz, och denna typ av svetsning hade valts för att begränsa uppkomsten av stelningsprickor. Som hjälp använde han en simuleringsmodell med vilken det gick att beskriva hur termiska spänningar utvecklades i smältan, varefter pulsformen kan anpassas för att påverka stelningsförloppet. Genom



Figur 7. I en intressant presentation beskrev Dr. Jeffrey Deems hur man med LIDAR-teknik från ett flygplan kan fastlägga de s.k. SWE-värdena hos snömassor, vilka sedan ligger till grund för bedömning av de vattenförråd som uppstår då snön smälter.

att framförallt använda sig av nerrampning av effekten i pulserna på 120 W/ms får man ett långsammare avsvalningsförlopp kring 0,6 sekunder hos smältan, vilket visade sig undertrycka uppkomsten av stelningsprickor [**Fig. 8**]. Detta beror på att den långsammare avsvalnigen ger mikrostrukturen i svetsen en annan form. Då punktsvetsarna överlappade varandra, vilket innebär att värmetillförseln ökar och därmed automatiskt förlänger avsvalningstiden, ställde Dr. Hoult den berättigade frågan om effektrampningen gav samma effekt som då punktsvetsarna inte överlappade varandra. Herrn Bielenin medgav att det förekom skillnader, men att man alltid fick en minskad sprickbenägenhet då man använde pulsad svetsning med s.k. down-slope av lasereffekten.

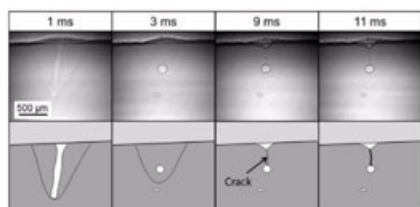
Näste talare var Masanori **Miyagi** från



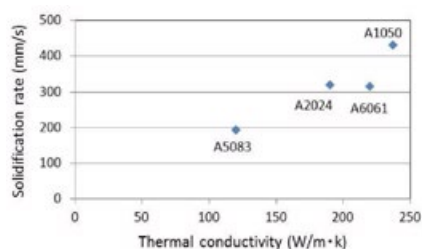
Figur 8. Toppvy och tvärsnitt genom en aluminiumlasersvets utförd med rektangulär pulsform överst och underst en där lasereffekten rampats ner med 120 W/ms.

Hitachi Ltd. i Japan. I motsats till Herrn Bielenins simuleringar hade denne herre studerat smältans beteende i realtid med hjälp av röntgen då man lasersvetsat legeringar av typerna AA1050, AA2024, AA5083 och AA6061 med 1,5 mm tjocklek. Det var huvudsakligen resultaten från svetsningen av AA5053 som han redogjorde för, vilken hade svetsats med en 500 W SM [Single Mode] –laser i stumfogskonfiguration med en framföringshastighet på 1 m/min och fokuspunkten placerad 1 mm ner i materialet. Svetsningen hade utförts med såväl kontinuerlig effekt [cw = continuous wave] som med 10 eller 50 ms långa pulser, och Argon hade använts som skyddsgas. Med röntgentekniken gick det att observera att det uppstod stelningsprickor direkt efter svetsningen [**Fig. 9**], vilka först propagerade längs svetsriktningen med en hastighet av 500 mm/sek, men som efter ett tag ändrade riktning till tvärs svetsen samtidigt som sprickhastigheten avtog till 250 mm/sek. I motsats till BOP [Bead-On-Plate] –svetsning får man ett oroligare svetsförlopp vid stumsvetsning vilket resulterar i en högre andel porer i svetsgodset, 24,8%

mot 6,4%. Detta menade Mr Miyagi beror på fluktuationer i värmeförloppet vilka går att härleda till varierande spalt i stumfogen och varierande positionering av laserstrålen i densamma. En intressant och tänkvärd slutkommentar från denna japanske gentleman var att ett snabbare stelningsförlopp hos svetsmältan innebär en ökad värmeledning under svetsprocessen [Fig. 10].



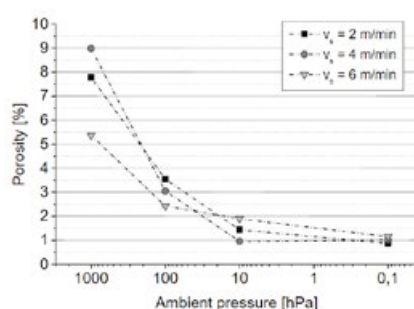
Figur 9.
Vid svetsning av legeringen AA5083 kan man med röntgenteknik konstatera att det uppstår stelningsprrickor direkt eftersvetsförloppet.



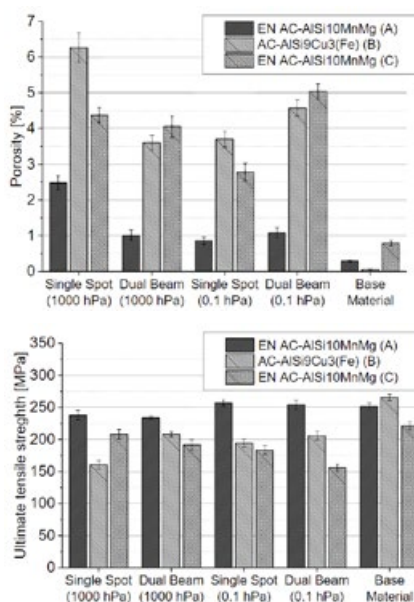
Figur 10.
Masanori Miyagi från Hitachi Ltd. visade på det näst intill linjära förhållandet mellan stelningsförlopp och värmeledningsförmåga vid lasersvetsning av olika aluminiumlegeringar.

Att förlänga svetsmältan genom att använda dubbla fokuspunkter är en klassisk åtgärd för att minimera svetsdefekter vid lasersvetsning av aluminium, och detta var något som Fabian **Teichmann** från Institut für Füge- und Schweißtechnik vid Technische Universität [TU] Braunschweig tagit fasta på. Här handlade det om lasersvetsning av pressgjutlegeringar såsom AlSi10MnMg och AlSi9Cu3 där gjutna plattor med måtten 260×150×4 mm svetsats med hjälp av en TruDisc6002 laser från Trumpf som levererar en strålkvalitet [BPP = Beam Parameter Product] på 8 mm*rad. Stråldistributionen skedde via en 200 μm grov optisk fiber fram till svetsverktyget, vilket var Trumpfs BEO D70 med 200 mm kollimering och 280 mm fokallängd. De två foki hade en diameter på 600 μm och var placerade på ett inbördes avstånd som mätte 0,58 mm. Skyddsgasen utgjordes av Helium med ett flöde på 20 l/min. Ett stort problem vid svetsning av pressgjutgods är att det p.g.a. sin tillverkningsprocess innehåller en stor mängd inlöst väte, vilket påverkar svetsningen negativt och oftast resulterar i en stor andel porer i svetsgodset. För att

motverka detta hade man vid svetsningen, där framföringshastigheten varierades mellan 2-6 m/min, använt sig av en annan specialitet från TU Braunschweig, nämligen att lasersvetsa i vakuum eller under reducerat lufttryck [Fig. 11]. Med denna försökssupställning kunde man konstatera att mängden svetssprut såväl som inneslutna porer i svetsgodset drastiskt kom att reduceras då lufttrycket i den använda vakuumkammaren sänktes från 1.000 hPa till 0,1 hPa. Sålunda innebar svetsning vid 6 m/min att svetsgodset innehöll mindre än 2% porer. Dock kunde Herrn Teichmann vid efterföljande dragprov konstatera att ett minskat porinnehåll i svetsgodset inte alltid leder till en förbättrad hållfasthet [Fig. 12].



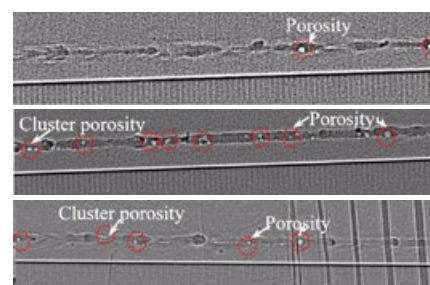
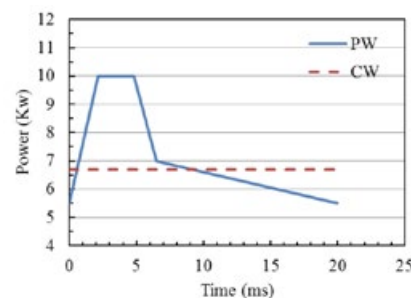
Figur 11.
Porositet som funktion av omgivande lufttryck samt svets hastighet vid lasersvetsning av 4 mm tjocka, pressgjutna plattor i legeringen AlSi10MnMg.



Figur 12.
Vid en jämförelse mellan ovanstående stapeldiagram, vilka visar olika metoder vid svetsning av press-gjutlegeringar, kan vi se att ett minskat porinnehåll i svetsgodset inte alltid betyder högre hållfasthet.

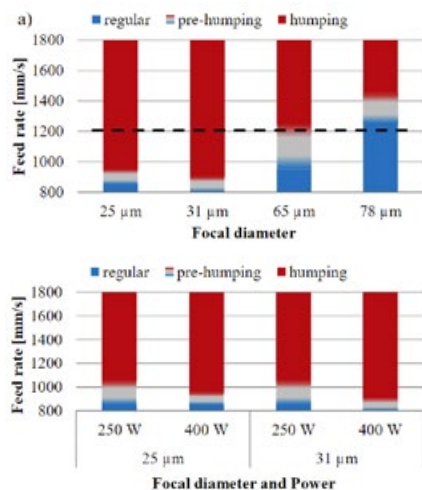
En intressant presentation, vilken kom att generera ett flertal efterföljande frågor, hölls av lilla Fatemeh **Mirakhorli** från National Research Council Canada –

Aluminium Technology Centre i Chicoutimi, QC i Kanada. Hon hade utfört lasersvetsning med kalltråd av 4,8 och 6,5 mm tjocka plattor i legeringen A6061-T6 med hjälp av en 10 kW TruDisc-laser från Trumpf. Fogtypen var stumfog utan någon speciell fogberedning och ansatsen var att endast behöva utföra en svetssträng. Såväl pulsad som kontinuerlig svetsning hade använts, den förstnämnda med en framföringshastighet på 3 m/min, medan cw-svetsningen gjorts med både 3 och 4,5 m/min och med en trådmätning på 5 respektive 6,7 m/min. Den pulshade svetsningen resulterade i ett porinnehåll i svetsgodset på 2,0%, medan den minsta andelen porer eller 1,4% fick man vid cw-svetsning vid den högre hastigheten. Däremot ökade pormängden till 5,6% då svets hastigheten sänktes till 3 m/min [Fig. 13]. Vidare kunde Ms. Mirakhorli konstatera att den pulshade svetsningen gav en bättre inlösning och uppblandning av tillsatsmaterial, samtidigt som man undvek att mjuka upp grundmaterial. För att klara den tjockare varianten på 6,5 mm med en svetssträng använde hon sig av oscillering av laserstrålen med en amplitud på 1,7 mm. Den 1,2 mm grova tillsatstråden matades med en hastighet av 14 m/min och tillfördes ”stickande”. Här var avsikten att ha så liten kontakt mellan tråd och laserstråle som möjligt, varför nedsmältningen av tillsatsmaterial skedde först då tråden träffade svetsmältan. Samtliga svetsar hade utvärderats med godkänd kvalitet enligt ISO 13919.



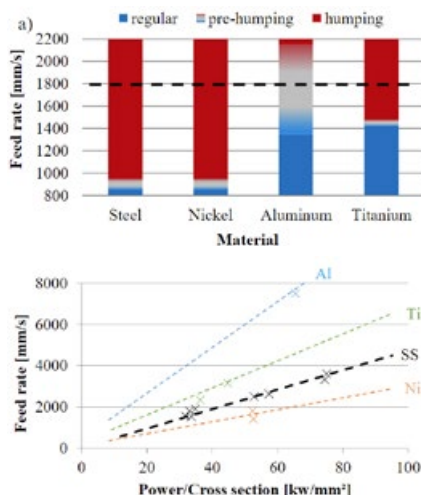
Figur 13.
Överst. de använda effekt nivåerna vid pulsad (PW) respektive kontinuerlig (CW) svetsning. Röntgenbilderna visar i tur och ordning resultaten vid CW-svetsning med 4,5 resp. 3 m/min, samt PW-dito utförd med 3 m/min i svets hastighet.

Michael Güptner från Ernst-Abbe-University of Applied Sciences i Jena hade studerat den s.k. humpingeffekten som uppstår vid höga svets hastigheter. Man får då ett oroligare svetsförlopp med risk för ett ökat antal svetsdefekter och därmed en sämre hållfasthet hos svetsen. Det är framförallt flödes hastigheten i smältan och ytspänningar i densamma som blir svåra att kontrollera vid ett alltför snabbt svetsförlopp. Vid försöken hade man använt en 500 W SM-laser från SPI [Southampton Photonics Industry] och svetsverktyget intelliscan20 från företaget Scanlab. Två olika effektnivåer, 250 respektive 400 W, hade undersökts och slutsatsen var att en högre lasereffekt sänker tröskelvärdet för den svets hastighet då "humping" uppstår. Även olika fokalpunktsstorlekar hade studerats och här visade det sig att med en större fokalfunkt och lägre energitäthet höjer man istället sagda tröskelvärdet [Fig. 14]. Förutom aluminium hade även rostfritt stål, Nickel och Titan ingått i studien. Aluminium och Titan var minst känsliga för "humping"-effekten, och allra bäst klarade sig aluminium materialet [Fig. 15]. Herrn Güptner menade att detta kan härledas till dess höga värmeledningsförmåga samt stora skillnad mellan smält- och förångningstemperatur.



Figur 14. En ökad lasereffekt sänker gränsen för den svets hastighet då "humping" uppstår, medan en större fokalfunkt innebär att tröskelvärdet höjs.

Martin Bienlenin [Technische Universität Ilmenau] som redan presenterat sig med sin redogörelse kring pulsad punktsvetsning av AA6082-T6 återkom nu med ytterligare en lösning, vilken även inkluderade legeringen AA5754-O, på hur man skulle kunna minska risken för att stelningssprickor uppstår vid svetsning. Lösningen innebar att man överlagrade en andra fokalfunkt genererad från en

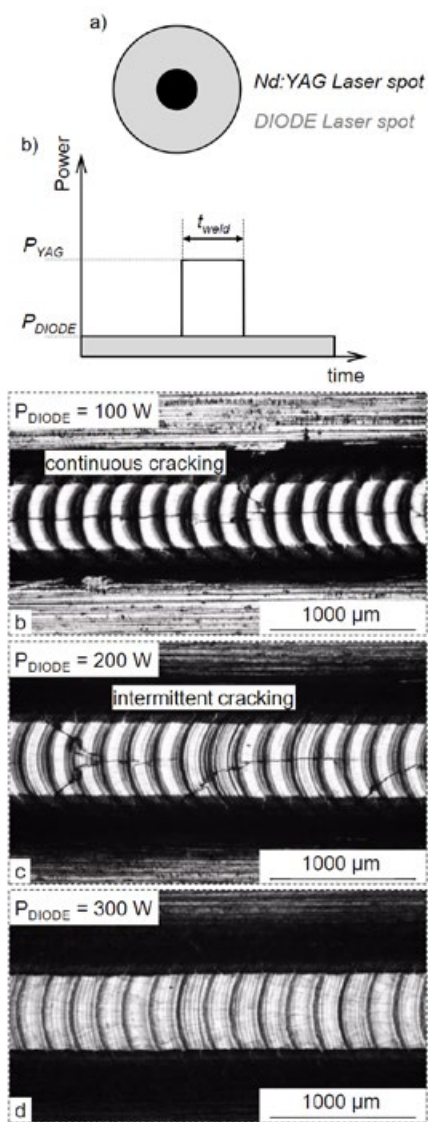


Figur 15. För de olika material som ingick i studien visade sig aluminium vara minst känsligt för "humping"-effekter, något som kan förklaras av materialets höga värmeledningsförmåga samt stora skillnad mellan smält- och förångningstemperatur.

cw diodlaser [Laserline LDM-1000] på den ursprungliga fokalfunkten från den pultrade Nd:YAG-lasern med en 0,4 mm stor fokalfunkt [LASAG SLS 200 CL], vilken står för själva svetsningen. Mellan 300-500 W lasereffekt från diodlasern, där den 2 mm stora fokalfunkten värmer substratmaterialet och svetsgodset under stelningssfasen, gör att avkylningss hastigheten minskar och kompenserar, i form av tryckspänningar, för de krympningar som uppstår under stelningssförloppet [Fig. 16]. Olika positionering av de båda fokalfunkternas inbördes lägen hade studerats och bäst resultat erhöles då den mindre fokalfunkten var placerad i bakkant av den större sett i framföringsriktningen.

Sessionen avslutades med två mer industriinriktade presentationer, vilka dock knappast tillförde området aluminiumsvetsning några nyheter. Först kunde vi lyssna till Jim Evangelista, från Shiloh Industries i Plymouth, MI, som sjöng ämnesskarvningens lov [Fig. 17]. Företaget är en stor leverantör av dylika halvfabrikat till bilindustrin, och här visade Jim på ett praktikfall med en ämnesskarvad sidodörrsstruktur i AA5182-0 tillverkad i tjocklekarna 1,0 och 2,0 mm. Med den här metoden kunde materialförbrukningen per dörr minskas med 4,3 kg samtidigt som själva dörrstrukturen blev 1,9 kg lättare. Vidare påpekade han nödvändigheten av att korntillväxten i svetsgodset begränsades för att bibehålla en god formbarhet över svetsfogen. I den aktuella applikationen påstods man klara ett dragdjup på 150 mm samtidigt som den lokala plåtförtunningen kunde begränsas till 2-3 %.

Slutligen uppdaterade oss Tracey Ryba



Figur 16. Överst principen för att superpositionera och använda två laserstrålar i rum och tid. I de här refererade försöken visade sig en diodlasereffekt på minst 300 W ge sprickfria lasersvetsar i såväl 5- som 6000-legeringar.



Figur 17. Interiörbild från en av Shilohs ämnesskarvningsanläggningar, och därjämte en ämnesskarvad sidodörrsstruktur i AA5182-0.

från Trumpf Inc. Laser Technology Center i Plymouth, MI om det senaste då det gäller fjärrlasersvetsning eller RLW [Remote Laser Welding]. Genom att kombinera en industrirobot med ett "scanner"-verktyg och svetsa "on-the-fly" når man nästan 100% i produktiv tid. Robotens relativt långsamma rörelser kompenseras av galvospeglarnas i "scannern" snabba omställning, samtidigt som roboten erbjuder ett större arbetsområde och högre flexibilitet jämfört med "scanner"-verktyget. Dock har programmeringen av hela 9 axlar (6 för roboten och 3 för "scannern") hittills varit ett hinder för en bredare användning av denna teknik, men med Trumpfs nya "scanner"-verktyg I-PFO [Intelligent Programmable Focusing Optics] menade den gode Tracey att såväl "teach in"- som "off-line"-programmering underlättas, [Fig. 18]. Det hela bygger på att robotens styrprogram är s.k. master även för "scanner"-verktyget vilket möjliggör en kontinuerlig uppdatering av TCP [Tool Center Point]. I-PFO är idag kompatibelt med robotmärkena ABB, Fanuc samt KUKA, och under 2018 kommer även Motoman att kunna räknas till. Avslutningsvis presenterade Mr Ryba ett exempel från bilindustrin där man kantsvetsade aluminiumsidodörrar i hög-volymproduktion och där man använde Trumpf-verktyget SeamLineRemote, som har en datainsamlingskapacitet på 500 Hz, för att kunna hitta och följa plåtkanten.

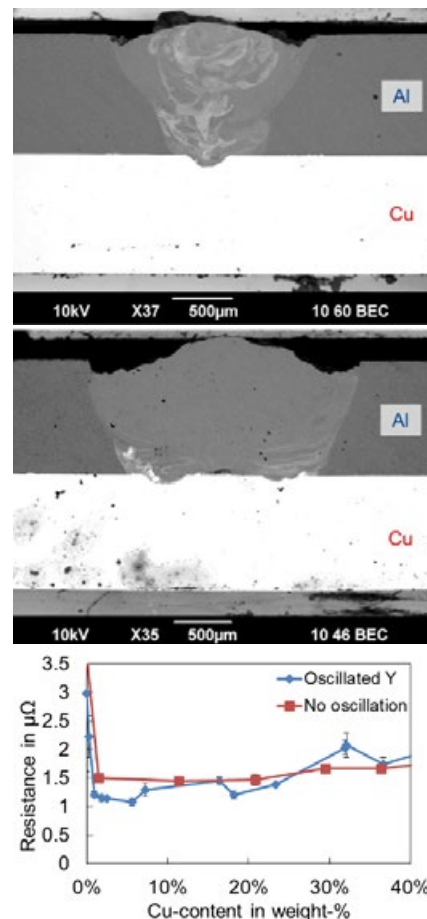
Förutom lasersvetsning av aluminium gavs det ett antal andra svetspresentationer kring sammanfogning av artotika lättviktsmaterial. Således berättade Michael Jarwitz från IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] vid Universität Stuttgart om lasersvetsning av aluminium- [Al 99,5] till kopparplåt [Cu-OF] där tjockleken för båda var 1 mm. Detta pekar mot att bli ett stort användningsområde då just en sådan materialkombination kommer att vara viktig vid tillverkning av bilbatterier för den växande trenden med s.k. e-mobility, d.v.s. elektriskt framdrivna bilar. Problemet vid svetsning av en dylik materialkombination är de båda materialens diametralt motsatta termo-fysikaliska egenskaper samt de spröda intermetalliska faser [IC = Intermetallic Compounds] som uppstår i fogen. Dessa har ett högt elektriskt motstånd vilket naturligtvis inte är önskvärt i applikationer som bilbatterier. För att minimera dessa fasers tillväxt hade man använt sig av en oscillerande laserstråle fokuserad till en brännfläck med 280 µm i diameter. Oscilleringen



Figur 18. Trumpf har ju förutom olika typer av laserkällor ett antal laserverktyg i sin produktportfölj. En ny variant är I-PFO med vars hjälp man kan utföra såväl överlapps- som kantsvetsar, det senare med hjälp av en innovativ fogföljningsprincip.

hade skett med en frekvens på 400 Hz och framföringshastigheten var satt till 6 m/min. Vid de överlappsfogar som utfördes hade aluminiumplåten placerats överst då man erfarenhetsmässigt vet att detta ger den bästa svetskvaliteten samtidigt som det kräver mindre lasereffekt i jämförelse med den omvända placeringen [Fig. 19]. Målet att minimera penetrationsdjupet och därmed tjockleken hos det intermetalliska skiktet uppnåddes genom att anpassa lasereffekten till 3,25 kW samt använda sig av en relativt stor amplitud på 0,75 mm vid oscilleringen. Därmed fick man även <10% inlöst koppar i svetsgodset och kunde på så sätt begränsa den elektriska resistensen i fogen.

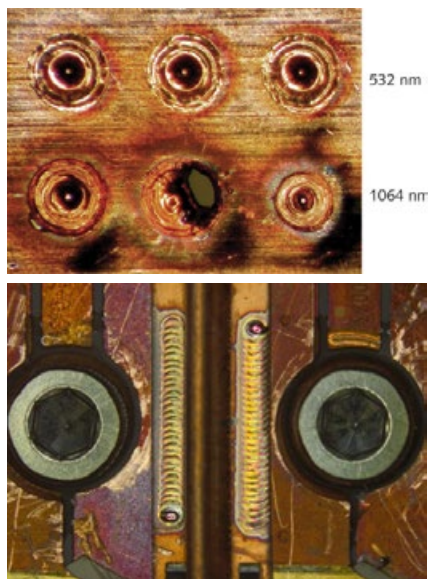
Just svetsning av koppar var något som Dr. Tim Hesse från Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH i Ditzingen hade studerat, och han inledde med en kortare historisk exposé i ämnet. Redan 1972 hade dåvarande Haas Strahltechnik använt fastkroppslasrar för att i industriell miljö punktsvetsa kopparfjädrar till armbandsklockor. Dr. Hesse menade emellertid att laserstrålar med 1 µm våglängd har dålig absorption i koppar varför han i inledande experiment använt en grön laser med 515 µm våglängd, vilket innebär en åttafaldig



Figur 19. Tvärsnitt genom aluminium/koppar-svetsar utförda utan (överst) respektive med (underst) oscillering med 400 Hz frekvens och en amplitud på 0,75 mm. På detta sätt kan man minimera mängden inlöst koppar i svetsgodset och därmed också den elektriska resistensen i fogen.

ökning av absorptionsförmågan. Denna lasertyp kan idag fås med medeleffekter upp till 2 kW, och i försöken hade man använt pulstoppar på 4 kW vilket gav ett energiinnehåll på 40 J/puls [Fig. 20]. Med en liten fokuspunkt på 57 µm hade man framgångsrikt kunnat svetsa små kopparpinnar med måtten 2x4 respektive 6x6 mm utan uppkomst av någon värmepåverkad zon. Dock innebär denna pulssade svetsning låg produktivitet, mellan 50-500 ms för att utföra en svetspunkt, varför ytterligare försök hade genomförts med den "vanligare" våglängden 1.030 nm och där laserstrålen distribuerades via Trumpfs Brightline®-fiber. Med detta strålomformningsverktyg hade det gått att svetsa ovannämnda kopparpinnar näst intill sprutfritt med 5,5 kW lasereffekt och en framföringshastighet på 1,0 m/min. Penetrationsdjupet låg >1,7 mm och mängden svetssprut var en tiopotens lägre jämfört med svetsning utan Brightline®. Dr. Hesse avslutade med att säga att nästa steg i utvecklingen då det gäller lasersvetsning av koppar blir att använda sig av värmeledningssvetsning med gröna lasrar

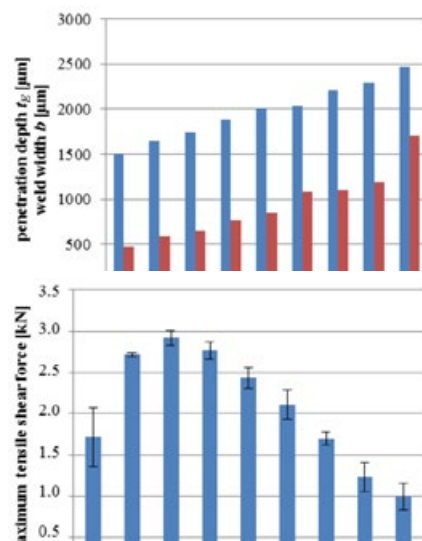
i kW-området. Vi ser med spänning fram mot dessa resultat.



Figur 20. Vid lasersvetsning av koppar använder man sig helst av en s.k. grön laser med 515 µm våglängd, där svetsningen av elektroniska komponenter med fördel utförs med pulser vars energiinnehåll ligger kring 40 Joule.

En flitig herre under sessionen som behandlade svetsning av artolika material var Oliver Seffer från LZH [LaserZentrum Hannover] som här höll två presentationer, där den första liksom Herrn Jarwitz redogörelse gick att hänföra till bilbatterier för e-mobility. Materialkombinationen, utgjord av det austenitiska kromnickel-materialet X5CrNi18-10 och den urskilningshårdade aluminiumlegeringen AA6082-T6, är en tänkbar kandidat då det gäller tillverkning av batterihöljen med låg vikt. Dessa material, som båda hade tjockleken 1,5 mm, hade fjärrlasersvetsats i överlappsconfiguration med den rostfria partnern överst. Laserkällan var en TruDisc16002 från Trumpf ur vilken man nyttjade 3,75 kW. Även ”scanner”-verktyget var en Trumpf-produkt i form av deras PFO 3D-2PO med 600 mm fokallängd och en kollimeringslins med 138 mm brännvidd. Stråldistributionen till verktyget skedde i en 200 µm grov optisk fiber och fokalpunktsdiametern uppgick till 870 µm. Experimenten visade att sträckenergin vid svetsning är en viktig parameter för att minimera de aluminiumrika hårda och spröda faser som uppstår i svetsgodset. Det gick i det aktuella fallet att fastlägga att det fanns en brytpunkt vid 37,5 kJ/m ovanför vilken uppblandningen mellan stål och aluminium blir så hög att hållfastheten sjunker även om den högre sträckenergin samtidigt innebär en djupare penetration i

det underliggande materialet [Fig. 21]. På en fråga från min sida, om inte oscillering av laserstrålen kunde ha positiva effekter, menade Herrn Seffer att detta kunde vara värt att undersöka men varnade samtidigt för att detta innebär en önskat hög sträckenergi.

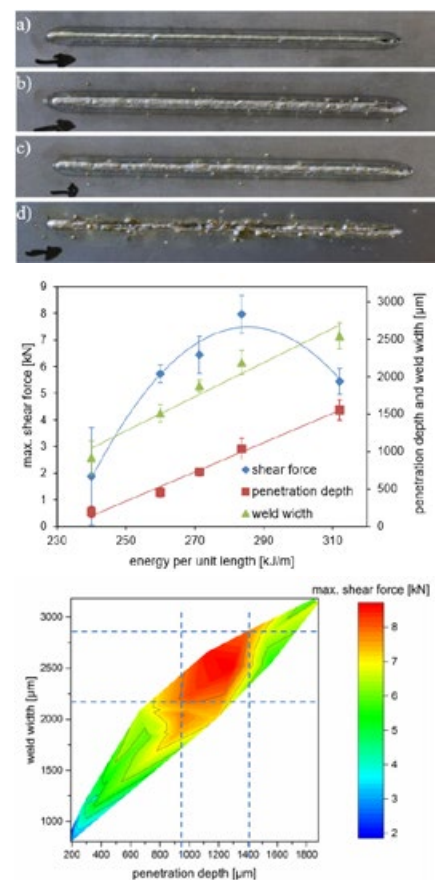


Figur 21. Även om en högre sträckenergi resulterar i djupare penetration tycks en brytpunkt för hållfastheten i en överlappsfog mellan austenitiskt rostfritt och aluminium ligga kring 37,5 kJ/m.

Hans andra presentation adresserade temat lättviktskonstruktion vid fartygstillverkning då bränsleförbrukning och prestanda börjar få allt större betydelse även inom denna bransch. Inte minst gäller detta vid yacht-tillverkning där en lättare konstruktion med låg tyngdpunkt innebär högre topphastigheter. Därför hade Herrn Seffer och hans kollegor vid LZH utfört överlappsvetsar mellan 8 mm tjockt AA6082 och 5 mm tjockt S355-stål. Laserkällan var Laserlines LDF 10.000-60, alltså en diodlaser med cirka 10 kW maximal effekt. Stråldistributionen skedde via en 600 µm-fiber, och liksom i det tidigare exemplet är det viktigt att kontrollera sträckenergin, vilket i det här fallet skedde genom att utföra svetsförsöken med olika fokalpunktsstorlekar. Visserligen ger en hög sträckenergi en bättre penetration i dessa relativt tjocka material, men samtidigt tillväxer de intermetalliska faserna vilket leder till uppkomsten av sprickor i svetsgodset och därmed en lägre hållfasthet. Rekommendationen blir således att använda sig av en relativt låg sträckenergi, något som visade sig ha andra fördelar som exempelvis mindre svets-sprut [Fig. 22]. En intressant iakttagelse var att om man svetsar långa svetsar med hög sträckenergi får man en bra hållfasthet i svetsens början p.g.a. djup penetration och stor

svetsbredd, men ju längre svetsförloppet pågår desto mer värme ackumuleras, och sträckenergin får ett ytterligare tillskott, vilket leder till sprickor och en sämre hållfasthet. ■

Fortsättning i nästa nummer.



Figur 22. Att lasersvetsa aluminium/stål-kombinationer med låg sträckenergi resulterar i mindre svets-sprut vilket framgår av försöken överst som är utförda med 240, 260, 280 och 310 kJ/m. Samtidigt visar diagrammen underst att det finns ett icke-linjärt samband mellan sträckenergi och hållfasthet!

NOLAMP 16 i Aalborg- 30 år i den nordiska forskningens tjänst

NOLAMP 16 firade konferensens 30-års jubileum i Aalborg i augusti 2017. I förra numret så skrev jag om några intressanta presentationer och här fortsätter jag min rapportering. Tyvärr finns bara de vetenskapliga artiklarna publicerade och inte de industriella, som innehöll mera ”jordnära” information.

Förbättrad skärkvalitet för 1 μ m-lasrar

Fiber- och disklasrarna har som bekant tagit en mycket stor del av marknaden för laserskärning, mycket tack vare en överlägsen skärhastighet i tunnare material. Men skärkvaliteten i tjockare material var ett stort bekymmer när dessa lasrar introducerades på marknaden. Därför har akademi och företag gjort ett stort utvecklingsarbete och nu kan man nog hävda att dessa lasrar idag uppvisar motsvarande skärkvalitet i tjockt material som trojkanaren CO₂-lasern.

Marcus Kogel-Hollacher, Precitec GmbH & Co KG, Fig.1, berättade i sin andra ”key-note” presentation om lösningar för att förbättra skärkvaliteten i tjockare material. Skillnaderna i skärkvalitet mellan 1 μ m-lasrar och CO₂-lasern startade en stark vetenskaplig diskussion om laserstrålens interaktion med materialet och många projekt drogs i gång för att förklara skillnaden och hitta lösningar. Det visade sig (efter mycket arbete) att en laserstråle med ringprofil i kombination med speciella gasdysor gav en lösning för att förbättra ytkvaliteten i skärnittet. Den första industriella lösningen med en förändrad strålform presenterades av Trumpf med ”BrightLine® Fiber”, och sedan följde

att flertal företag efter med andra, egna lösningar.



Figur 1.

Dr. Marcus-Kogel Hollacher, Precitec GmbH & Co KG, Gaggenau, berättade om olika möjligheter att förbättra skärkvaliteten för tjockt material när fiber- och disklasrar används.

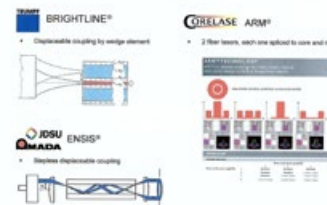
En viktig faktor för skillnader i skärkvaliteten är att våglängden för fiber-, disk och diodlasrar bara är en tiondel av våglängden för CO₂-lasern, och det ger upphov till andra förhållande för absorptionen i skärnittet. Den höga strålkvaliteten i dessa lasrar ger också en mindre fokuserad stråle än CO₂-lasern vilket ger ett smalare skärnitt och det blir svårare att blåsa bort smältan med skärgasen.

Marcus Kogel-Hollacher visade på olika lösningar från Trumpf, Corelase och Amada, Fig.2, som har utvecklats och lanserats på marknaden. De bygger på principen att variera positionen av laserstrålen vid inkopplingen i fibern.

Det finns också ett flertal optiska lösningar på väg som har potential att realiseras, Fig.3. Det är företag som II-VI High-Yag, Mitsubichi, Air Liquide, och Amada som står för dess lösningar.

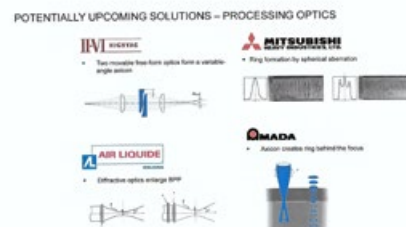
Det finns också andra lösningar från t.ex. TerraDiod. Fraunhofer IWS arbetar med en teknik som kallas ”Dynamic Beam Shaping”, DBS, vilket innebär att

Hans Engström,
Levitronics Lasersystem AB



Figur 2.

Olika lösningar för förbättrad skärkvalitet vid skärning i tjockt material med fiber-, disk- och diodlasrar.



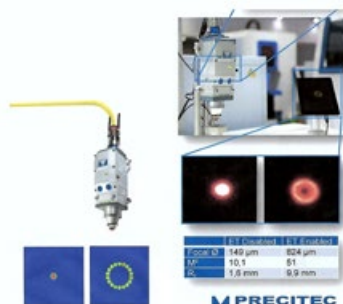
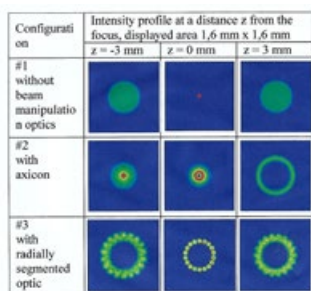
Figur 3.

Potentiella lösningar för förbättrade skäregenskaper i tjockt material med fiber-, disk- och diodlasrar.

man scannar laserstrålen i ett mönster på arbetsstycket och på så sätt åstadkommer en förändrad intensitetsprofil. Precitec har en lösning som kallas ”All-In -Light®” där man levererar hela kedjan med laser (Trumpf disklasrar), fiberkabel och skärhuvud. Där har man utvecklat en optisk teknik som kallas ”EdgeTech” som ger hög skärkvalitet upp till 40 mm materialtjocklek. Här har man en radiellt segmenterad optikmodul som skapar en ringformad stråle med ett antal fokuspunkter i ringen, Fig.4.

Precitec har också utvecklat en teknik för snabbare och bättre piercing som

kallas PierceTech och som ingår i All-In-Light®-systemet.



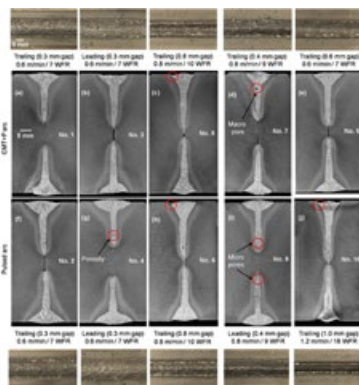
Figur 4. Precitec's lösning för förbättrad skärkvalitet i tjockt material kallas "EdgeTech" och innehåller optiska element som skapar en ringformad stråle med ett flertal fokuspunkter. Tekniken ger möjlighet att förändra strålkarakteristiken beroende på materialtjocklek.

Laserhybridsvetsning utvecklas vidare

Luleå tekniska universitet, LTU, har arbetat länge med laserhybridsvetsning och vid NOLAMP 16 så presenterade Ivan Bunaziv ett arbete om laserhybridsvetsning av 45 mm tjockt höghållfast stål. Ivan arbetar vid Norges Tekniska Högskola i Trondheim, men är knuten som doktorand till LTU, där Jan Frostevarg är hans handledare. Svetsningen gjordes dubbelsidig med IPG-fiberlaser, Fronius svetsaggregat och TruSTAR MX-A55T tråd. Processen studerades med höghastighetsvideo för att hitta relationer mellan processtabilitet och svetsimperfectioner. Bland andra resultat så visade det sig att bågeffekt och närvaro av spalt mellan plåtarna ökade penetrationen och att högre svets hastighet gav en instabil process och begränsar penetrationsdjupet, **Fig.5**. Svetsarna fanns innehålla en stor del accikular ferrit i de övre delarna, medan inblandningen av tråden var mindre i de nedre delarna och kylhastigheten högre, vilket skapade bainitisk struktur. Svetsarna visade acceptabel slagseghet ned till -50 grader C.

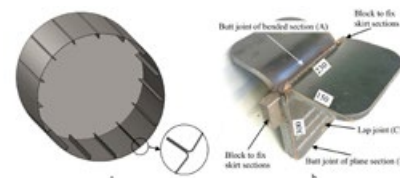
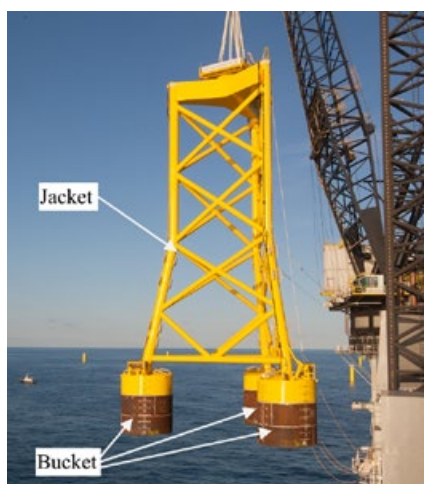
Laserhybridsvetsning i vindkraftsindustrin

Danmark har satsat stort på industriell laserhybridsvetsning av tjockt material



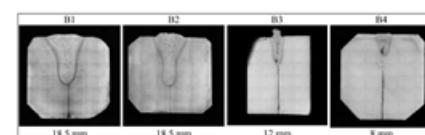
Figur 5. Ivan Bunaziv, doktorand vid Norges Tekniska Högskola och Luleå tekniska universitet visade resultat från laserhybridsvetsning av 45 mm tjockt höghållfast stål.

de senaste åren. Bakom denna satsning ligger intresset för off-shore vindkrafts-utrustning. Kostnaden för elektriciteten som produceras till havs måste minskas för att göra produktionen kostnadseffektiv, berättar Prof. Morten Kristensen, Aalborg University. Här spelar kostnaden för byggandet av fundamenten, **Fig. 6**, till vindkraftsverken stor roll, eftersom den motsvarar 20-30 % av hela kostnaden för en vindkraftspark. Det behövs nykonstruktion av fundamenten, vilket kan minska materialåtgången och minska produktionskostnaden, såväl som transporter och installation. Och här kan laserhybridsvetsning spela en roll i framtiden.



Figur 6. Off-shore vindkraftsfundament. Flera plåtar formas och sammanfogas till en cylinder (bucket). För experimenten med laserhybridsvetsning var materialtjockleken 16 mm och böckningsradien 40 mm. Experiment utfördes också som stum- och överlappssvetsar på plana plåtar i både horisontell och vertikal position.

Bland resultaten från undersökningen kan nämnas att svetsning i horisontell position genomgående gav bättre svetsar med större penetration, **Fig. 7**. Det behövdes en lägre lasereffekt och en högre svets hastighet för att undvika att smältan kollapsade i vertikal position.

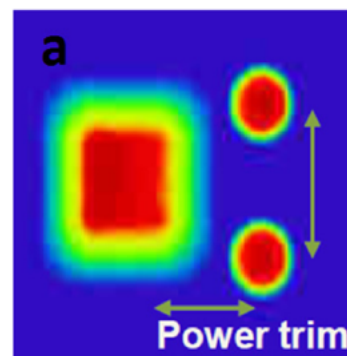


Figur 7. Makrosektioner av laserhybridsvetsade stumfogar med penetrationsdjupet angivet. Prov B1 och B2 var svetsade i horisontell position med 16 kW lasereffekt och 500 mm/min. Prov B3 och B4 svetsades i vertikal position med lasereffekt 8 kW och 1000 mm/min.

Prof. Mortensen vill göra flera studier för att undersöka olika kvalitetsfaktorer, som t.ex. sprickbildning.

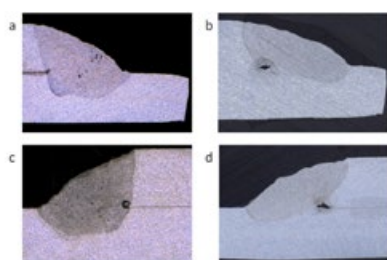
Svetsbarhet av aluminium

David Löveborn, Swerea Kimab AB, berättade om ett projekt där svetsbarheten i aluminium har undersökts med mål att uppnå sprickfria svetsar i tunt material. Inverkan av en oscillerande optik och en tre-spot optik har undersökts för svetsning av både smala (2 mm) och breda (20mm) flänsar med diodlaser. Tre-spot-optiken, **Fig. 8**, gav två mindre (0.7 mm dia.) strålar framför en större stråle på 1.5x0.7 mm.



Figur 8. Tre-spot optik använd vid lasersvetsning med diodlaser av aluminium. Fördelningen av lasereffekten kan varieras mellan de två främre och den bakre huvudstrålen. Även fördelningen mellan de två främre strålarna kan varieras.

Resultaten visar att det var möjligt att uppnå sprickfria svetsar med både oscillerande och tre-spot optik, som dock gav mindre mängd porer. Svetsar utförda med den oscillerande optiken uppvisade en djupare och mera likformig penetration jämfört med tre-spot optiken, **Fig. 9**, men en laserälla med högre effekt hade troligen förbättrat penetrationsprofilen för tre-spot optiken. Den oscillerande optiken gav också en högre brottgräns i svetsarna.



Figur 9. Svetstvärnsnitt i aluminium. a) och c) är utförda med oscillerande optik med 2 respektive 20 mm flänsbredd. b) och d) gjordes med tre-spot optik med 2 mm respektive 20 mm flänsbredd.

Varierande spaltbredd kan detekteras

Morgan Nilsen och kollegor från Högskolan Väst har undersökt hur man kan detektera varierande spaltbredder vid lasersvetsning av stumsvetsar med ett visionsystem och spektroskopsystem. Två-sensorsystemet bestod av en CMOS-kamera och en minatyrspektrometer, båda integrerade i svetshuvudet, **Fig. 10**. Kameran var en PhotonFocus DR1-D1312 (IE)-200 och spektrometern en Ocean



Figur 10. Fredrik Sikström (överst t.v.) och Morgan Nilsen med kollegor, Högskolan Väst har arbetat med ett system med CMOS-kamera och spektrometer för detektering av varierande spaltbredd vid lasersvetsning av stumfog. Resultatet från kamerasystemet (underst) visar på god överensstämmelse mellan verklig spalt och den uppmätta.

Optics (HR2000+).

Kamerasystemet, som triggnades av en LED-belysning med matchande optiskt filter, gav en bra information av området framför smältpölen där fogen är synlig. Med en algoritm och ett modellbaserat Kalman-filter så kunde en bra uppskattning av spaltbredden uppnås. Likaså har man funnit en korrelation mellan varierande spaltbredd och en förändring i intensiteten hos spektrometersignalen.

Strategier för AM i Finland

Från Finland kom två intressanta icke-tekniska inspel om additiv tillverkning. Ett beskrev en modell för att utveckla utbildningen inom AM och integrera den med utbildning inom traditionell konstruktionsteknik. Modellen är utvecklad av Ari Pikkarainen vid Lapland University of Applied Sciences, Kemi, tillsammans med Antti Salminen och Heidi Piili vid Lappeenranta University of Technology.

Den andra, som jag kort ska beskriva, utmynnar i en rekommendation för en förnyad innovationspolicy inom additiv tillverkning. Den är framtagen vid Aalto University och University of Lapland av Inigo Flores Ituarte med kollegor.

I studien har man bl.a. gjort en internationell studie av innovationsprogram inom AM och en studie av AM inom Finland. Arbetet resulterade i ett förslag till en innovations policy och förslag till



AM Clinics and professional education	Innovation and strategy actions	Research of materials and technology development
Budget: 1.2 – 1.6 M€/year Target group: Large companies and SMEs in product development Funding strategy: Incentives for professional education, local and regional funding instruments and Tekes support Type of actions: (1) Industry-defined, short application projects. (2) Professional training and AM continuous education. (3) Connection to technology advisory services (e.g. research institutions) Objectives: (1) Promotion of AM as a manufacturing solution. (2) Technical and economic feasibility studies of problem-oriented AM applications	Budget: 2.4 – 3.2 M€/year Target group: SMEs, research institutions, and industry at large Funding strategy: Tekes innovation instruments and EU instruments (H2020, EIT, etc.) Type of actions: (1) Research with industry consortiums for AM strategy definition. (2) Support and tax relief to purchase high-end AM equipment for industrial applications and research Objectives: (1) Systematic mapping of AM applications for industry participants and definition of technology roadmaps. (2) Strategic purchase of high-end industrial equipment and research equipment to process high-value materials (e.g. Metal alloys, PEEK, Ultem, Ceramics, Biomaterials, etc.).	Budget: 2.4 – 3.2 M€/year Target group: Research and technology development organization and universities Funding strategy: EU instruments (H2020, EIT, etc.), Academia of Finland (R&D actions) and Tekes support Type of actions: (1) Basic technology development and application research. (2) Promote joint applications to EU instruments. (3) Support for spin-off and technology scale-ups Objectives: (1) Research in AM and materials science for diversification of applications. (2) New technology developments and IP protection. (3) Digitalization of manufacturing and AM integration (industry 4.0)

Figur 11. Inigo Flores Ituarte vid Aalto University har utvecklat en innovationspolicy för additiv tillverkning i Finland.

åtgärder inom AM i Finland, **Fig. 11**.

Utmaningen för finska innovationsaktiviteter i AM är att koordinera den nationella innovationsstrategin för att hjälpa privata och offentliga organisationer att attrahera EU-finansiering för att utveckla ny teknik och applikationer. Man uppskattar att en ny innovationspolicy för AM kan generera 6-8 M€/år i nationell och EU finansiering för tekniköverföring, teknikutveckling och innovationsaktiviteter.

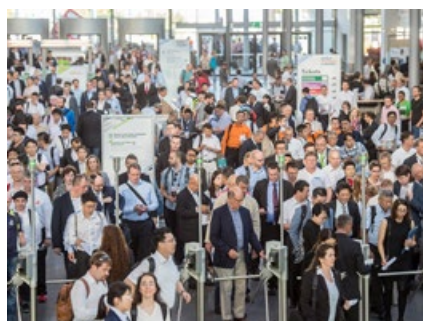
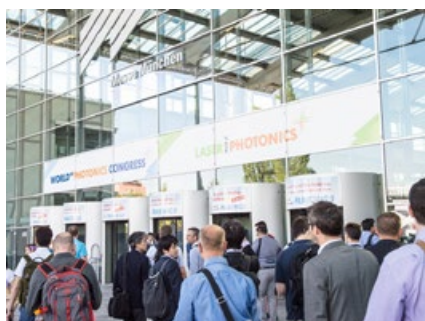
Jag tycker att arbetet inom AM i Finland som beskrivits ovan är intressant för att driva på utvecklingen så att man inte hamnar i bakkant när AM-teknologin slår igenom på allvar, och att man försöker hjälpa till att ge finsk industri förutsättningar till att utnyttja AM-tekniken till fullo.

Med detta avslutar jag rapporteringen från NOLAMP 16 i Aalborg. Slutintrycket är att den Nordiska laserforskningen fortfarande håller hög akademisk klass och att de industriella presentationerna lyfter konferensen genom att de visar på praktisk användning av nya laserteknik.

NOLAMP 17 kommer att äga rum den 27-29 augusti 2019 i Trondheim. Då startar den femte rundan för konferensen i de nordiska länderna. Välkomna med bidrag och att delta!! ■

Lasers in Manufacturing 2017: Det tycks alltid finnas nya forskningsområden för de traditionella laserprocesserna del 2

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering

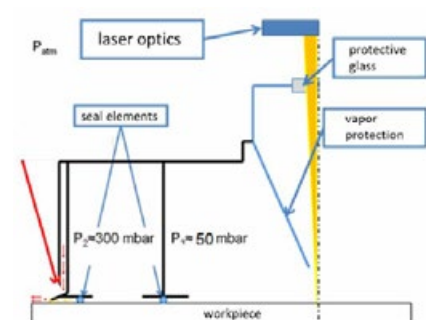
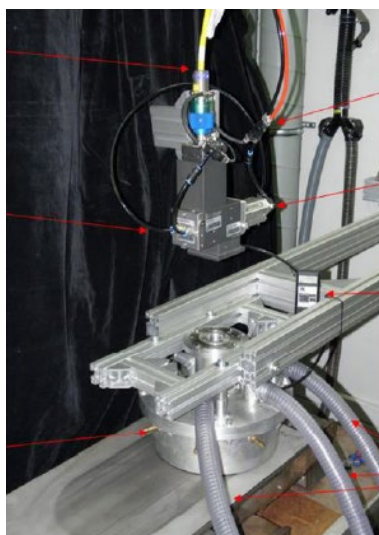


Ett tema under de tekniska sessionerna vid LiM [Lasers in Manufacturing] –konferensen, vilken arrangerades som en del av Laser World of Photonics i München förra året, var lasersvetsning i vakuum, eller rättare sagt under reducerat lufttryck.

Här berättade diplomingenjören Niklas **Holtum** från if [Institut für Schweiß- und Fügetechnik] i Aachen om några basala försök som utförts med 8-16 kW lasereffekt och en framföringshastighet på 0,4 m/min. Materialet var ett relativt tjockt S355-stål varför två olika fokalpunktslägen undersöktes, $z=0$ och $z=15$ mm. Med sagda parametrar klarades ett penetrationsdjup på 20 mm, men med ett reducerat lufttryck i vakuumkammaren på 0,1 mbar nådde man hela 50 mm i penetration. Vidare berättade han om den mobila vakuumkammare [MoVac, **Fig.1**] som utvecklats vid institutet. Här kan man arbeta ner till lufttryck på 30 mbar. Intressant att höra var att vid full penetration kollapsar nyckelhålsprocessen p.g.a. det låga omgivande trycket, varför man i ett sådant fall måste introducera en separat andra vakuumkammare på rotsidan. Om det föreligger en spalt mellan plåtarna vid



överlappssvetsning i vakuum fungerar inte heller lasersvetsprocessen. Ett motmedel för detta kan enligt Herrn Holtum vara att först göra en "avtätning" av rotsidan med hjälp av en oscillerande laserstråle.

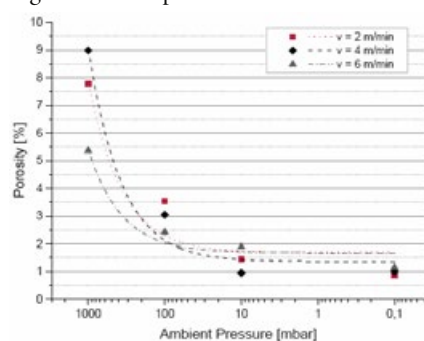


Figur 1.
Den mobila vakuumkammare som utvecklats vid if i Aachen. Överst visar skissen att kammaren är delad i två celler vilka båda har avtätningar mot arbetsstycket.

En andra presentation i ämnet hölls av en av professor Klaus **Dilgers** "lärlingar" vid Technische Universität Braunschweig, Fabian **Teichmann**. Denne hade studerat svetsning av aluminiumgjutgods under reducerat lufttryck. Vid lasersvetsning under atmosfärtryck av dylikt material uppstår

lätt porer och bindfel i svetsgodset.

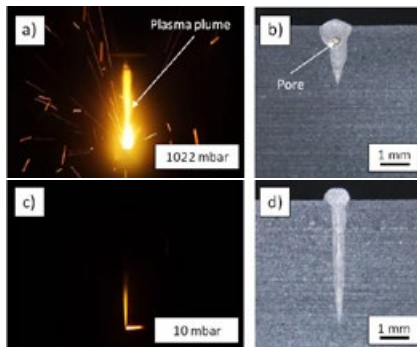
Två olika aluminiumlegeringar hade ingått i studien, AlSi10MgMn och AlSi9Cu3. En diskaser med 1.030 nm våglängd och 8 mm*mrad i BPP [Beam Parameter Product] hade använts vid försöken, där svets hastigheten varierades i steg om 2 m/min. Stråldistribution skedde via en 200 µm grov optisk fiber till en optik med 280 mm fokallängd vilket gav en 300 µm stor fokalpunkt. Lufttrycket i vakuumkammaren hade varierats och vid ett tryck på 0,1 hPa fick man en 30% djupare penetration jämfört med den som blev resultatet då svetsningen utfördes under 1.000 hPa tryck, samtidigt som por-mängden kunde radikalt reduceras [Fig. 2]. Däremot hade variationer i lufttrycket ingen inverkan på svetsbredden.



Figur 2. Vid svetsning av gjutlegeringen AlSi10MgMn ser man den positiva effekt som ett reducerat lufttryck har då det gäller att undertrycka uppkomsten av porer i svetsgodset.

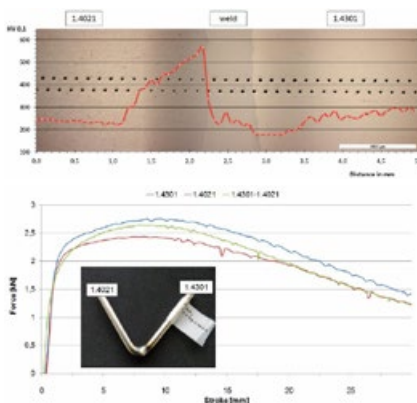
Dr. Christian **Otten** från företaget LaVax och med ett tidigare förflutet vid Aachen University of Applied Science berättade om hur man tillverkade kirurgiska instrument i bimetall med hjälp av lasersvetsning under 100 mbars tryck. Man hade här samarbetat med ett annat avknopningsföretag från ILT [Institut für Lasertechnik, Aachen], nämligen CleanLaser, och vid grundläggande försök hade en SM [Single Mode] fiberlaser på 2 kW från SPI [Southampton Photonics Industry, Fig. 3] använts.

Applikationen var en s.k. benfil där huvudet var tillverkat i martensitiskt X20Cr13-material, medan skaftet bestod av austenitiskt X5CrNi18-10. Lasereffekten var under försöken 420 W och svets hastigheten 20 mm/sek. Man kunde konstatera att hårdheten i svetsgodset inte helt överraskande ökade åt martensitsidan, vilket dock inte påverkade hållfastheten, utan svetsen klarade galant de efterföljande böjproven [Fig. 4]. I ett annat försök hade tre olika aluminiumlegeringar stumsvetsats under reducerat lufttryck och sedan genomgått ett läckagetest.



Figur 3. Svetsförsök utförda med en SM-laser och 500 W effekt, dels vid atmosfärtryck överst, dels under ett reducerat tryck på 10 mbar. Observera de avsevärda skillnaderna i sprutmängd och penetration.

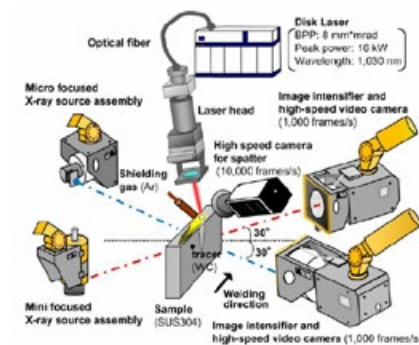
Legeringarna var AlCu4Mg1, AlSi12Mg0.4 och AlCu4PbMg och det största uppmätta läckaget uppgick till 10-9%! Dr. Otten kunde avslutningsvis konstatera att den vakuumnivå som krävs för ett bra svetsresultat är materialberoende, och där just aluminium kräver extremt reducerat lufttryck. Han trodde vidare att denna metod kan ha en stor framtid då det gäller bimetalliska applikationer inom bilindustrin, där exempelvis svetsning av koppar till aluminium är en omfattande verksamhet vid tillverkning av bilbatterier.



Figur 4. Trots den höga hårdheten i svetsgodset mot martensitsidan (X20Cr13) på nära 600 HVO.1 klarade den bimetalliska komponenten alla ställda hållfasthetskrav inklusive detta utmanande böjprov.

Yosuka **Kawahito** från Osaka University hade undersökt uppkomsten av svets sprut och reduktionen av sådant, vilket tycks vara något av en "paradgren" vid professor Seiji **Katayamas** institution JWRI [Japanese Welding and Research Institute]. Dock hade man inte använt sig av reducerat lufttryck för att minska detta fenomen, utan i stället varierat fokalpunktsposition och laserstrålens infallsvinkel, [Fig. 5]. Materialet var austenitiskt rostfritt SUS304-material och man hade använt 6 kW lasereffekt, vilket med en fokallängd på 280 mm gav en brännfläck med en diameter av 0,3 mm. Svets has-

tigheten hade varierats mellan 50-250 mm/sek, fokalpunktsläget mellan -4 och +2 mm, samt laserstrålens infallsvinkel mellan -20 och +10°. Med fokalpunkten placerad längre ner i materialet och med en "stickande" vinkel hos laserstrålen uppnådde man den största reduktionen av svetssprut, något som likaledes innebar ett ökat penetrationsdjup.



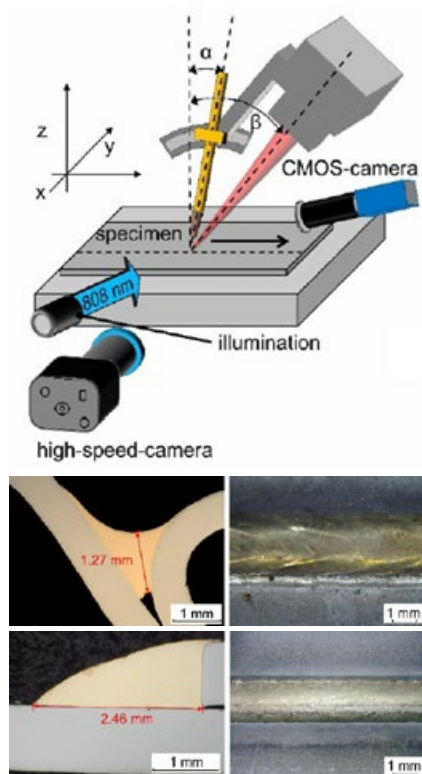
Figur 5. Schematisk illustration av försökssupställningen inkluderande höghastighetskamera samt tre-dimensionell röntgenobservation av svets-förloppet utfört med en diskaser med 16 kW effekt.

Förutom dessa övningar kring laser-svetsning i näst intill vakuum förekom en hel mängd andra intressanta presentationer, varför jag måste välja ut några som torde ha störst intresse för Lasergruppens medlemmar. Här följer ett sammandrag av dessa:

Det är alltid lika roligt att lyssna till sakkunnige Thomas **Seefeld** från BIAS [Bremer Institute für Angewandte Strahlentechnik], som denna gång gett sig i kast med ett nytt angreppssätt då det gäller laserlödning. Ett problem vid konventionell laserlödning är att förvärmningen av substratmaterialet begränsas genom att tillsatstråden skuggar smältan. Ett klassiskt sätt att komma till rätta med problemet är att använda sig av två separat laserstrålar där en förvärmer substratet och den andra smälter tillsatstråden, men nu har man vid BIAS kommit fram till ett annat angreppssätt där man medvetet låter laserstrålen reflekteras mot tråden för att på så sätt öka uppvärmningen av substratytan.

Laserkällan var en TruDisc8002 från Trumpf med 1.030 nm våglängd och en 200 µm grov distributionsfiber. Substratmaterialet var varmförzinkat DX54 [100 g/m²] med 0,75 mm tjocklek, och tillsatstråden var 1,2 mm grov CuSi3. Man hade mestadels använt 4 kW lasereffekt, en framföringshastighet på 5-8 m/min och en motsvarande trådmattning kring 7 m/min [Fig. 6]. Tråden matades in i 10° vinkel till vertikalanplanet och laserstrålen föll in i 30° mot detsamma. Man kunde

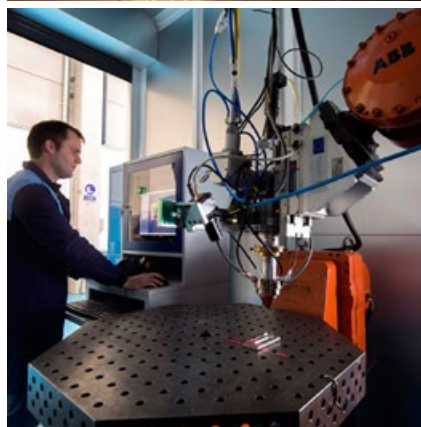
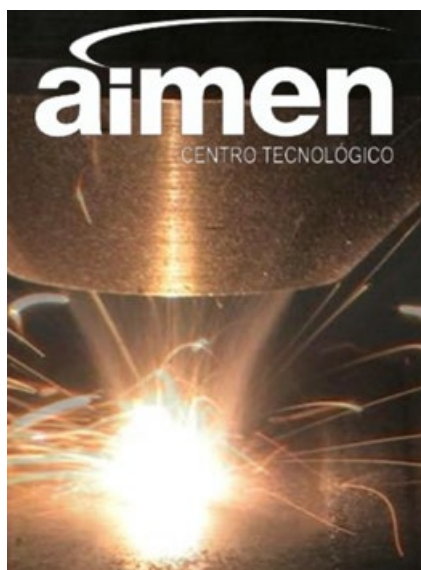
konstatera att mellan 0,84 och 1,29 kW av lasereffekten reflekterades mot tråden, och med endast 4 kW effekt nådde man en lödningshastighet som vid tvåstråletekniken kräver 7 kW. Den gode Thomas avslutade med rekommendationen att använda små tråddimensioner för denna teknik, och menade att storlekar över 1,5 mm i diameter är mindre lämpliga.



Figur 6.
Närmast en schematisk bild över försöksupställningen och därjämte tvärsnitt och topppyta på en laserlörd flänsad stumfog respektive kälfog. Processhastigheterna med 4 kW lasereffekt var imponerande 8 respektive 5 m/min.

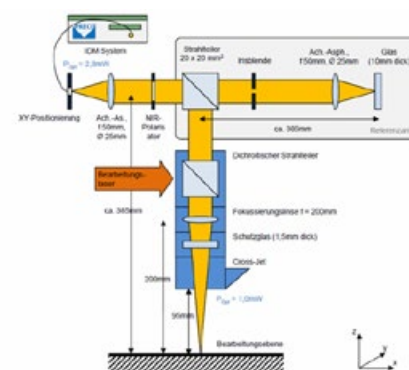
Processkontroll och –övervakning är viktiga ingredienser vid de flesta former av laserbearbetning. Min gamle samarbetskollega från AIMEN i Vigo, Spanien, Pablo **Romero**, gav i sitt anförande en bred bild kring kvalitetsövervakning vid LMD [Laser Metal Deposition]. Här är problemet oftast att man får distorsioner genom att värme ackumuleras i de uppbyggda pulverskikten, och traditionell ”off-line” programmering leder till defekter, varför den gode Pablo rekommenderade att man direkt använder sig av CAD [Computer Aided Design] –data som kopplas till robotens styrprogram. I sammanhanget nämnde han även ”buzz”-ordet Industri 4.0 och de framtida möjligheter till effektiviserad och kvalitetssäkrad produktion som erbjuds via självlärande system med autonom justering av processparametrar som kan anpassas i realtid, samt erfarenheter och nytta från s.k. big data. Därpå

beskrev han den utrustning för laserpåläggning som finns att tillgå i laboratoriet i Vigo, och som omfattar en portalrobotanläggning och två celler där påläggningsverktygen manipuleras av industrirobotar [Fig. 7]. För det senare har man utvecklat den unika ROS [Robot Operation System] –lösningen som innefattar en fiberlaser från RofinSinar och en industrirobot från ABB, och där processen simuleras i en dator samtidigt som påläggningen sker i verkligheten. Som verktyg för processövervakning använder man såväl MWIR [Mid-Wavelength InfraRed] som NIR [Near InfraRed] och CMOS [Complementary Metal Oxide Semiconductor] –kamera, och har även utvecklat en ”closed loop”-kontroll genom reglering av laserefekten i realtid. Detta reste från min sida frågan om olika adaptiva lösningar, och Dr. Romero att förutom den enklare effektregleringen skulle adaptiviteten kunna ske genom förändring av fokalpunktens form och kanske även energifördelningen i densamma.



Figur 7.
Vid forskningsinstitutet AIMEN i Porrino-Ponte-
verde strax utanför Vigo har man bl.a. tillgång
till två robotbaserade tillverkningsceller för
laserspålning.

Ett populärt sätt att kontrollera svetsdjupet vid lasersvetsning är att man mäter nyckelhålets djup med OCT [Optical Coherence Tomography]. Vi fick här en beskrivning av metoden genom att lyssna till Jan-Patrick **Hermanis** [Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH] presentation [Fig. 8]. Metoden går ut på att man sänder ut en pilotstråle med en våglängd kring 1,5 μm , varpå den från nyckelhålets botten återreflekterade strålens längd jämförs med en referensstrålens längd. Denna processövervakningsfunktion går nu att få integrerad i Trumpf-verktyget BEO D70, och man kan mäta penetrationsdjup i intervallet 0,5–8,0 mm med en noggrannhet $> 90\%$. OCT kan även detektera om det föreligger en spalt mellan plåtarna vid överlappssvetsning, men just p.g.a. detta blir det svårt att integrera någon form av adaptivitet i verktyget menade Dr. Hermani. Om en spalt förekommer finns risken att effekten sänks trots att man redan har en dålig inträngning i bottenplåten. Vid adaptiv styrning av svetsprocessen är det bättre att i så fall använda temperaturmätning med hjälp av pyrometer.



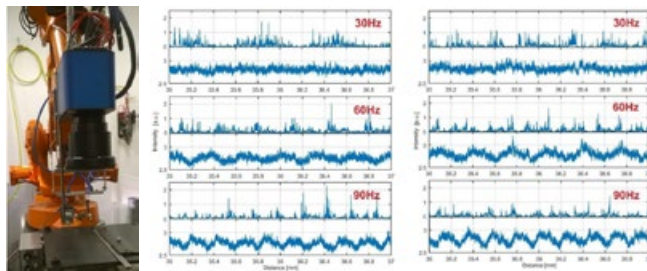
Figur 8.
Principen för Optical Coherence Tomography där vägen för en återreflektad laserstråle jämförs med referenslängden hos en avlänkad del av densamma.

Vår tjeckiske vän Dr. Libor **Mřňa** från Institute of Scientific Instruments of the CAS [The Czech Academy of Sciences] i Brno torgförde en ny idé för processövervakning i realtid vid lasersvetsning som kombinerade plasmastrålningen med laserstrålens reflexion. Han hade jämfört pulsad svetsning utförd med Precitecs YW30-verktyg med oscillerad dito med ”scanner”-verktyget Rhino 31 från Arges [Fig. 9]. Laserkällan var en fiberlaser från IPG [YLS-2000], och två material hade ingått i studien, nämligen kolstålet S235JR och det rostfria materialet X5CrNi18-10. Den pulsade svetsningen hade genomförts med 1,5 kW lasereffekt, framföringshastigheten 20 mm/sek och 60 Hz pulsfrek-

vens, medan tre olika frekvenser använts vid "scanner"-svetsningen (30, 60 och 90 Hz). För båda svetsförfarandena gick det att urskilja variationer i penetrationsdjup och nyckelhålsgeometri, och med ökande frekvens i oscilleringsfallet ökar dessa variationer, något som Dr. Mrňa menade kan begränsa denna svetstekniks användbarhet.

Skeppsbyggnadsindustrin i Ryssland hör vi sällan talas om och än mindre om lasertillämpningar inom densamma. Därför var det inspirerande att lyssna till Nikolay A **Nosyrev** från Shipbuilding & Shiprepair Technology Center [SSTC] i S:t Petersburg. Där har man tillgång till en mängd kraftfulla, företrädesvis fiberlaserbaserade källor med upp till 25 kW effekt. Man använder laserskärning för fogbehandling av upp till 20 mm grova plåtar, vilka sedan stumsvetsas till varandra. Då använder man laserhybridsvetsning för att göra rotsträngen medan utfyllnadssträngarna utförs med mer traditionell tandemsvetsning med GMAW [Gas Metal Arc Welding]. För däckspaneler används laserhybridsvetsning för att fästa 7 mm tjocka förstärkningsrillor till panelerna, [Fig. 10]. Svetsningen sker simultant från två håll, men här var det intressant att se att de två verktygen låg något förskjutna från varandra i svetsriktningen, och detta för att ytterligare minimera värmedistorsioner. Andra exempel som visades upp handlade om reparationssvetsning i form av laserpåläggning där en 4 kW laser hade använts.

Att borra mikrometerstora hål i flygplansvingar för att förbättra den laminära luftströmmen kring dessa har vi ju hört om vid tidigare laserkonferenser, och nu redogjorde Hermann **Uctmann** från Fraunhofer ILT [Institut für Lasertechnik] för de senaste försöken i ämnet. Han inledde med att visa en fascinerande video som illustrerade tätheten av trafikflygplan kring jorden och hur intensiteten varierade med olika tider på dygnet. Man räknar med att det finns cirka 12.000 passagerarflygplan uppe i luften samtidigt, dygnet runt, och om man beaktar att ovan nämnda håltagning medför en 20%-ig minskning av luftmotståndet och därmed cirka 10% lägre bränsleförbrukning inser man lätt det miljömässiga incitamentet för denna laserforskning. I nyligen utförda experiment hade en QCW-fiberlaser från IPG [YLR-150/1500] använts, som med kollimerings- och fokallängd på vardera 100 mm gav en fokuspunktsdiameter på 17 µm. Perforeringen sker med 0,25-0,30



Figur 9.

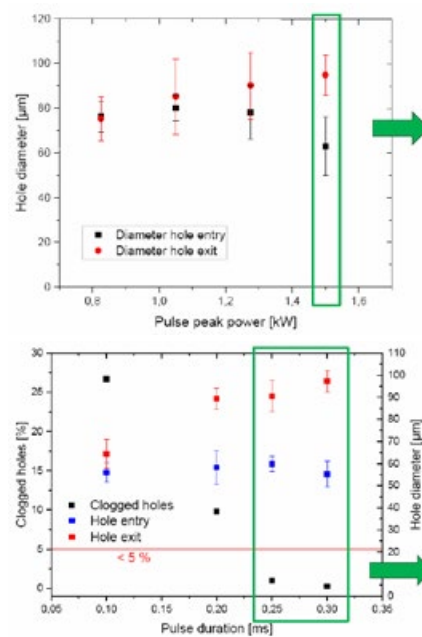
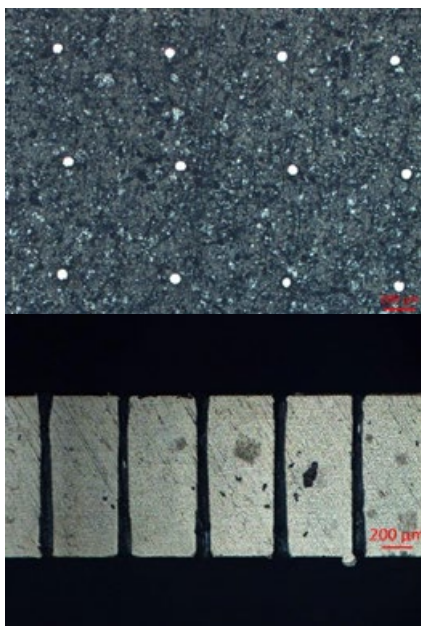
T.v. Försökupställningen med oscilleringsverktyg från Arges, och därjämte plasmaintensitet överst och återreflexion underst för tre olika "scanning"-frekvenser vid svetsning av kolstål (vå.) och rostfritt (hö.).



Figur 10.

Paneltillverkning hos skeppsvarvet SSTC, och ovan några av de fogutformningar som kan förekomma; dubbel V-fog av 48 mm grova paneler där "rotsvetsen" utförs med laserhybridteknik och T-fog i 7 mm tjockt material simultansvetsad med samma metod.

ns långa pulser för att undvika att hålen sätts igen av smält material [Fig. 11, 12], och med endast en puls penetreras materialet som utgörs av 1,0-1,5 mm tjockt Titan. Hålen positioneras "on-the-fly" med ett inbördes avstånd på 0,75 mm, och frekvensen ligger kring 200 Hz då man observerat att högre frekvenser ger oönskat avlångat hål. Vid lasereffekter över 1,5 kW tenderar hålen att bli koniska med ett större utgångshål, vilket är positivt ur laminär strömningssynpunkt. Vidare bör fokuspunkten placeras något ovanför Titanytan för att undvika de tidigare nämnda igensättningstendenserna. Därför hade man använt distanssensor från Precitec, vilken bygger på tekniken med



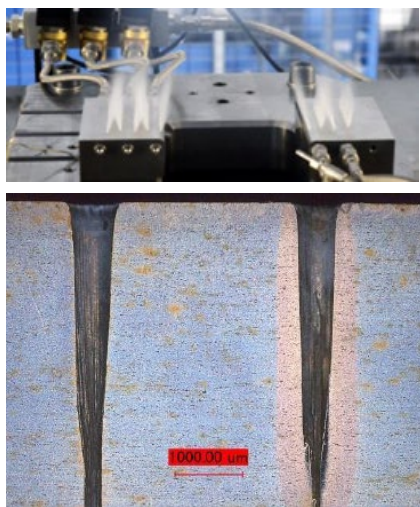
Figur 11, 12.

För att förbättra den laminära strömningen kring flygplansvingar t.v. perforeras dessa med pulslaser-borring. Puls-längder mellan 0,25-0,30 ms och en pulseffekt kring 1,5 kW ger bästa hålkvalitet.

interferometri. 200 Hz kan tyckas vara en hög bearbetningshastighet, men vid ILT undersöker man olika alternativ för att ytterligare öka produktiviteten med exempelvis stråldelning och maskteknologi. Däremot hade man konstaterat att ett ökat assistgstryck inte hade någon effekt på hålbörningshastigheten.

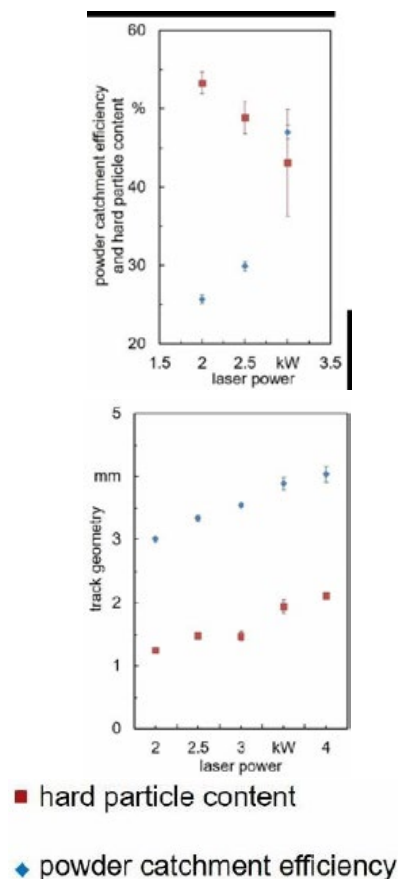
En intressant teknisk lösning för att undvika smörjmedel och minska presskraften vid plåtformning har utvecklats vid IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] i

Stuttgart. Den går ut på att borra små hål i verktygsstälsten med ps-långa laserpulser, och sedan blåsa in flytande koldioxid genom dessa vilket då får fungera som ett torrt smörjmedel och minska friktionen vid plåtformningsoperationen. Nu redogjorde Ehsan **Zahedi** för den nya ps-laser som byggts vid institutet och som har en medeleffekt på 900 W. Med 8 ps långa pulser och 300 kHz frekvens kan energinnehållet i varje puls bli så högt som 3 mJ, att jämföras med de 0,2 mJ vilket tidigare varit maximum. Fokallängden 300 mm ger en fokuspunkt med 86 µm diameter, men för att undvika att alltför mycket värme byggs upp i verktygsstället måste frekvensen ligga under 300 kHz, och om man helt skall undvika uppkomsten av en värmepåverkad zon kring hålet måste frekvensen minimeras till under 100 kHz [Fig. 13]. Med en optimerad process och 1,3 mJ kraftiga pulser hade man skapat cirka 0,5 mm stora hål till ett maximalt djup på 8 mm, men om de ställda kraven på rakhet och ytjämnhet i hålen skall innehållas ligger gränsen vid 5 mm penetrationsdjup.



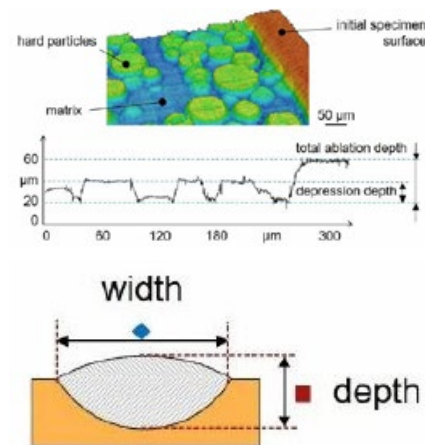
Figur 13. För att undvika smörjmedel vid formningsoperationer kan man blåsa in flytande koldioxid genom 0,5 mm stora, laserborrade hål. T. h. hål borrade med 2 mJ pulsenergi och 60 resp. 100 kHz frekvens, och om man helt vill undvika en värmepåverkad zon måste frekvensen understiga 100 kHz.

Plåtformning utan smörjmedel var bakgrunden också för Hannes **Freiße** BIAS [Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik] forskning, men denne hade använt lasertekniken för att ytbelägga formverktyget. Detta var tillverkat i aluminiumbrons [CuAl10Ni5Fe4] och belades med hårda pulverpartiklar av typen SFTC [Spherical Fused Tungsten Carbides]. 2 kW lasereffekt från en lappumpad Nd:YAG-laser(!) [Trumpf HL4006D]



hade använts vid försöken, liksom en pulvermatare från GTV [MF-PF-2/2] och Precitecs påläggningsverktyg YC50, där laserstrålen fokuserades till en brännfläck med 6 mm diameter. Processhastigheten var satt till 300 mm/min och pulvermatningen skedde med 25 g/min. Skyddsgasen utgjordes av Argon, och man hade kunnat konstatera att med ökande effekt "fångades" mer pulver in av laserstrålen, vilket gjorde att de pålagda strängarna blev såväl högre som bredare [Fig. 14]. I en sekundär operation använde man en UKP [UltraKurzPuls] -laser för att lokalt förånga matrismaterialet så att endast de hårda SFTC-partiklarna ligger an mot plåten som skall formas. Genom att på detta sätt minska anliggningsytan krävs mindre presskraft samtidigt som plåtformningen kan ske helt torr. UKP-lasern var i det här fallet en TruMicro5050 från Trumpf med 515 nm våglängd, 200 kHz frekvens och mindre än 10 ps långa laserpulser, och där fokuspunktsdiametern uppgick till 29 µm.

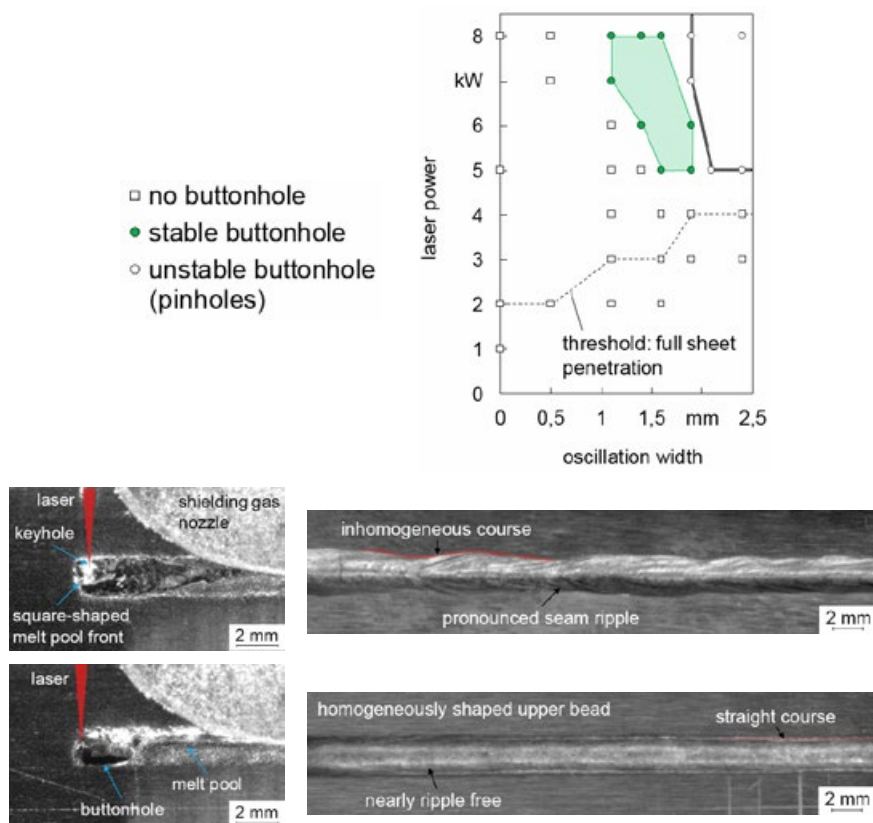
En BIAS-kollega till Herrn Freiße, Vilads **Schultz**, hade studerat möjligheterna för att erhålla en högkvalitativ toppyta vid nyckelhålssvetsning av aluminium. Liksom tidigare LTU [Luleå Tekniska Universitet] -doktoranden Ingemar **Eriksson** hade han upptäckt att det bildas en kavitet i smältan som Herrn Schultz här valde att kalla "bottenhål". Detta "bottenhål" kan



Figur 14. Med högre lasereffekt "fångas" fler pulverpartiklar (överst t.v.) och de pålagda strängarna blir både högre och bredare (t.v.). Övan idén med att frilägga SFTC-partiklarna genom att förånga matrismaterialet med en pulslas.

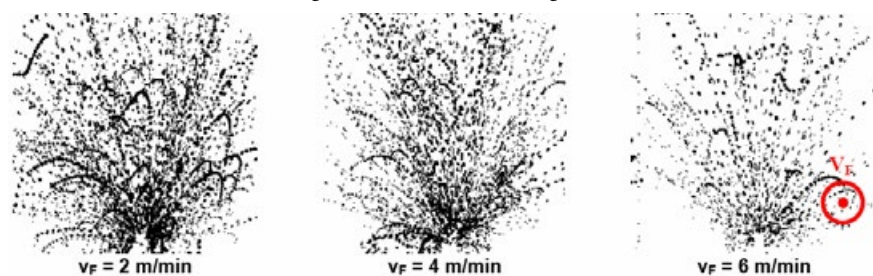
man ta hjälp av för att minimera insjunkningar i svetsens toppyta, men det kräver att man skapar en relativt bred svetssmälta på 1,5 gånger plåttjockleken. Därför hade experimenten vid BIAS utförts med oscillerande stråle med hjälp av ett "scanner"-verktyg från ILV där amplituden kunde varieras upp till 2,4 mm, och sålunda fastlagt ett processfönster med lasereffekten som funktion av oscilleringsamplituden [Fig. 15]. Laserkällan var en TruDisc12002 med fokuspunkten positionerad 0,5 mm ner i materialet som bestod av legeringen AA6082. Svetshastigheten låg på 6 m/min, och trådmattningen med Dinses DIX WD300 skedde med 9 m/min. Det tycks som om man får mindre rörelser i svetssmältan så länge man kan upprätthålla sagda "bottenhål", och i försöken hade man åstadkommit en ytjämnhet hos svetsgodset på Sa = 65, att jämföras med det värde på 88 som är typiskt vid konventionell lasersvetsning av detta material.

Aluminiumsvetsning var temat även för Martin **Sommer** från Audi AG, som hade studerat olika oscilleringsmönster för att minimera svets-sprut. Försöken hade utförts som nyckelhålssvetsning på 4 mm tjockt AlMgSi1-material där svetslängden var satt till 200 mm. Man hade använt sig av Laserlines strålkonverterade diodlaser med 4,4 kW uteffekt och ett "scanner"-verktyg från Scansonic. Fokuspunkten hade en diameter på 290 µm och oscilleringsfrekvensen sattes till 1 kHz. Man kunde generellt konstatera att högre svetshastigheter ledde till mindre svets-sprut men också mindre partikelstorlekar



Figur 15.
Det gröna fältet anger ett processfönster där man erhåller ett stabilt "botten-hål". T.h. ser man svetsprocessen utan (överst) och med (underst) bottenhål och korresponderande topppylor med Sa-värden på 88 respektive 65.

hos sprutet [Fig. 16]. Reduktionen av svets-sprut blev störst, eller 89%, då oscilleringsmönstret var cirkelformat, medan ett sinusformat mönster endast ledde till en 50%-ig minskning. Detta förklarade Dr. Sommer med att i det senare fallet träffar laserstrålen nyckelhålets framkant mer direkt, medan man får en tangentiell träff då det cirkelformade oscilleringsmönstret



Figur 16.
Vid lasersvetsning av aluminiumlegeringen AlMgSi1 med 2,5 kW effekt kan svets-sprutet reduceras med hela 88% bara genom att öka processhastigheten från 2 till 6 m/min.

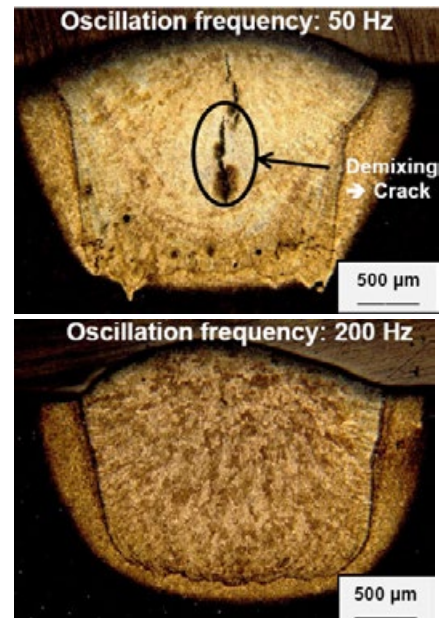
används.

Ett cirkelformat oscilleringsmönster kan vara fördelaktigt vid andra laserprocesser än svetsning, exempelvis vid upplegering av ytorna hos verktygsstål. Konstantin Hofmann från BLZ [Bayerisches LaserZentrum] i Erlangen hade studerat detta och då använt en 1 kW fiberlaser [IPG YLS-1000] med 1.070 nm våglängd och ett "scanner"-verktyg som förflyt-

tade den 40 µm stora fokuspunkten över verktygsytan. Tillsatstråden var av kvalitet 1.3348 och matningen skedde med ett verktyg från Dinse, FD 100 LS-WB. Materialet var det höghållfasta verktygsstål WP7W och processen hade övervakats genom termografi med hjälp av en IR-kamera. Olika oscilleringsmönster och "scanning"-frekvenser hade undersökts,

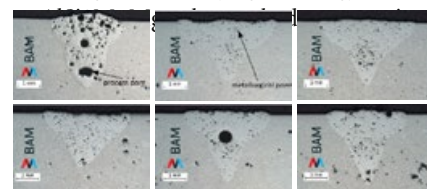
men det cirkelformade gav minst sprut från den tillförda legeringstråden. Vid 50 Hz frekvens fanns emellertid en tendens till mikrosprickor, vilka dock gick att undvika om frekvensen höjdes till 200 Hz [Fig. 17]. Detta förklaras av att man med högre frekvens får en bättre uppblandning av legeringsämnena i smältbadet.

Aluminium är som bekant ett material som generellt är svårt att lasersvetsa, och



Figur 17.
Upplegering av verktygsstål WP7W med tillsatstråd 1.3348 skedde med 800 W laserefekt, 2 mm "scanning"-amplitud och 6 mm/sek i processhastighet. Skyddsgasen var Argon 4.6 och genom att höja frekvensen i oscilleringen från 50 till 200 Hz gick det att undvika mikrosprickor.

detta faktum förenklas inte om aluminiummet förekommer i gjuten form. Därför har vi under årens lopp sett en mångfald idéer kring hur man skall kunna åstadkomma högkvalitativa svetsar i aluminium, och ett sätt är att lägga ett magnetfält kring nyckelhålet. Detta tillvägagångssätt hade studerats av André Fritzsche från BAM [Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung] i Berlin. Gjutgodset utgjordes

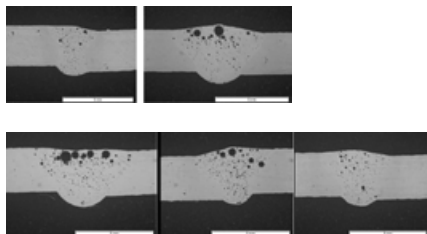


Figur 18.
Genom att omsluta nyckelhålet med ett magnetfält kan porförekomsten reduceras vid lasersvetsning av aluminiumgjutgods. Den magnetiska flödestätheten tycks i det fallet ha större inflytande än frekvensen.

av en 3 kW disk-laser och framförings-hastigheten 2 m/min med fokuspunkten placerad 5 mm ner i materialet [$z = -5$]. Frekvens och magnetisk flödestäthet hade varierats för att på så sätt se vilka parametrar som gav den bästa svetskvaliteten. Här visade det sig att pormängden i svetsgodset gick att reducera från 20,6 till 4,9% vid 3.090 Hz och 360 mT [Fig. 18]. Den senare parametern tycks vara den viktigaste medan frekvensen är att mindre betydelse. Man hade även undersökt andra legeringssammansättningar, och konklusionen var att oavsett legeringstyp

kan pormängden i svetsgodset reduceras med cirka 75% med denna teknik.

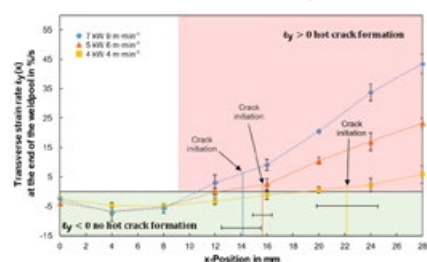
Ännu större blir utmaningen om komponenten som skall lasersvetsas är tillverkad genom SLM-tekniken eftersom objektet då har ett sju gånger högre väteinnehåll jämfört med gjuten aluminium. Ämnet hade studerats av diplomingenjören Frank **Beckmann** från Technische Universität Hamburg, som hade använt två olika laserkällor för ändamålet. Den ena var en 1 kW SM [Single Mode] fiberlaser från IPG med "scanner"-verktyget IPG D30 med



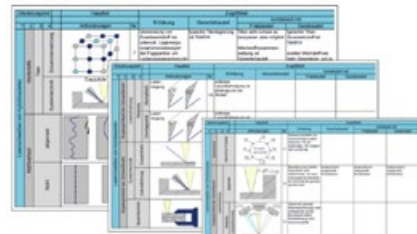
Figur 19. Överst syns inverkan av pendlingsamplitudens inverkan, 0,5 resp. 1,5 mm, på porformeringen vid laser-svetsning av en SLM-tillverkad komponent, och därunder sammaleddes för processhastighet, 1, 2 resp. 3 mm/min. Alltså rekommenderas måttlig pendlingsvidd och hög svetshastighet. T.h. några blad ur den designkatalog för lasersvetsade AM-komponenter som tagits fram vid iLAS.

200 mm fokallängd som gav en 28 μm stor fokuspunkt, medan den andra var en 5 kW multi-mode variant, även den från IPG, kombinerad med "scanner"-verktyget IPG ID50 med 300 mm fokallängd och en brännfläck på 400 μm . SM-varianten med sin lilla fokuspunkt var den som kanske inte överraskande uppvisade högst porositet i svetsgodset. Generellt hjälpte oscilleringen till att förbättra svetskvaliteten, och lägst porositet fick man då pendlingsamplituden var liten och processhastigheten hög [Fig. 19]. Däremot gick det inte att se någon inverkan av olika "scanning"-frekvenser. Intressant att höra var att man vid iLAS tagit fram en designkatalog för lasersvetsade AM-komponenter.

Centrumsprickor i svetsgodset vid lasersvetsning i aluminium är ett välkänt problem, särskilt om svetsen är förlagd närmare en plåtkant än 5 mm. Christian **Hagenlocher** och hans kollegor vid IFSW i Stuttgart hade undersökt detta med hjälp av en diskaser [TruDisc16002] med 1.030 nm våglängd och en 560 μm stor fokuspunkt. Materialet utgjordes av legeringen AA6451 och svetsförsök hade gjorts på



såväl 1,0 som 1,2 mm tjocka plåtar. Effekt och framföringshastighet hade varierats och konklusionen var att en hög sträckenergi tycks fördröja sprickuppkomsten [Fig. 20]. Sålunda initierades en centrum spricka först efter 22 mm då 4 kW och 4 m/min användes som parametrar. Detta att jämföra med 5 kW och 6 m/min då sprickan uppstod efter 16 mm och 7 kW och 9 m/min i svetshastighet vilket initierade en spricka redan efter 14 mm. Ett annat konstaterande var att tøjningshastigheten i svetsgodset tvärs svetsriktningen



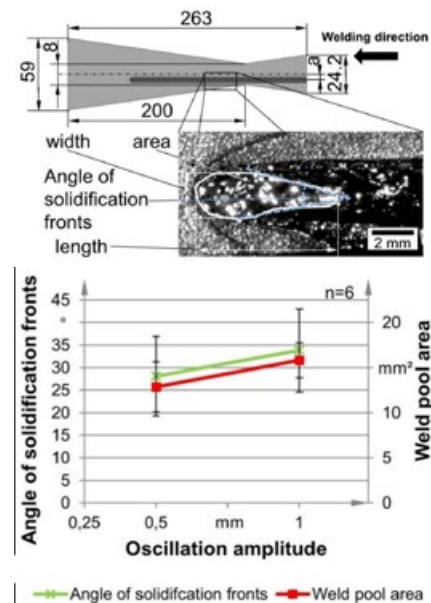
Figur 20. Vid lasersvetsning av aluminium är centrumsprickor en vanlig svetsdefekt, särskilt om svetsen är placerad nära en plåtkant. Uppkomsten går dock att fördröja genom att använda hög sträckenergi.

ökade ju längre svetsförloppet pågick [Fig. 21].

Men det är inte bara i aluminium som man kan få problem med varmsprickor i svetsgodset utan även i höghållfasta

Figur 21. Tøjningshastigheten i svetsgodset tvärs svetsriktningen, något som är avgörande för uppkomsten av centrumsprickor, ökar ju längre svetsförloppet pågår.

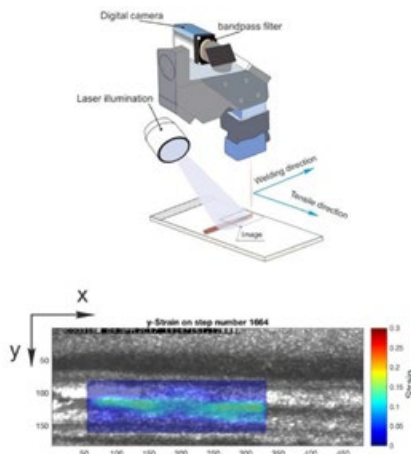
stål. Här tycks oscillering av laserstrålen vara en potentiell lösning påstod Vincent **Mann** från BLZ. Experiment hade utförts som BOP [Bead-on-Plate] -svetsar med



Figur 22. BOP-svetsning utfördes på ovanstående provkupper av typen "dubbel solfjäder" med 3 kW och 10 mm/sek i svetshastighet. Oscillering av laserstrålen hjälper till att öka svetssmältan och stelningsvinkel och därmed minimera risken för att varmsprickor uppstår.

en 6 kW diskaser med 1.030 nm våglängd och en BPP på 4 mm*mrad. Laserstrålen skickades via en 100 μm grov optisk fiber till ett tvådimensionellt "scanner"-verktyg från Trumpf som fokuserade strålen till en 170 μm stor fokuspunkt. Strålscilleringen hade varierats mellan 20-115 Hz och amplituden mellan 0,5-1,0 mm. Man kunde konstatera att strålpendlingen ökade såväl svetssmältan som stelningsvinkeln vid nyckelhålets bakkant, vilket är kända faktorer för att undvika varmsprickor [Fig. 22]. Den gode Vincent sammanfattade sina resultat sålunda, att minskad lasereffekt, ökad svetshastighet och större oscillationsamplitud alla kan bidra till att reducera risken för varmsprickor.

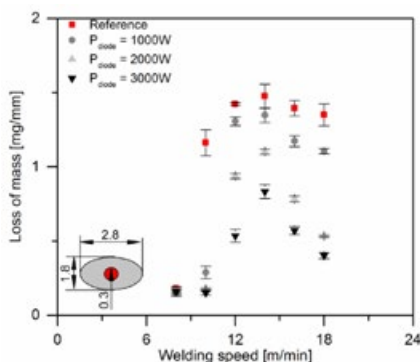
Nasim **Bakir** från BAM spann vidare på temat stelningsprickor, men nu med rostfritt 316L som material. Försöken hade utförts med 2,3 kW lasereffekt, en svetshastighet på 1,2 mm och med fokuspunkten placerad 5 mm ovanför plåtens toppyta. Svetslängden var 100 mm och man mätte tøjningshastigheten i svetsgodset tvärs framföringsriktningen under svetsprocessen, populärt benämnt "in-situ". På detta sätt gick det att fastlägga vilket som var den kritiska tøjningsnivån för initiering av varmsprickor. Denna uppmättes till 3,6% vid en tøjningshastig-



Figur 23. Med CMOS-kamera och ljusfiltrering går det att "in-situ" observera när töjningen i svetsgodset når ett kritiskt värde för sprickinitiering.

het på 6%/sek, 4,0% vid 6%/sek och 4,2% vid en töjningshastighet på 8%. Detta fenomen överensstämmer väl med vad som gäller för de flesta plåtmaterial, nämligen att en ökad töjningshastighet ökar materialens brottgräns, vilket i det här fallet medför att svetsgodset håller längre innan en centrumspricka uppstår [Fig. 23].

Tidigare har ju problemet med svets-sprut nämnts, och i detta sammanhang kan det vara värt att nämna något från Falk Nagels [Technische Universität

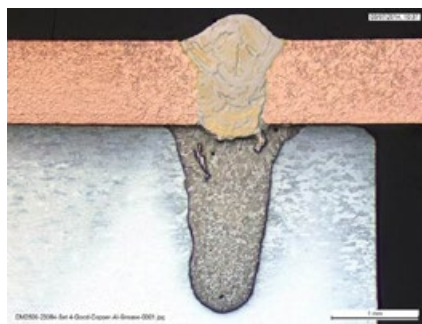


Figur 24. Vid högre svetsningshastighet tilltar mängden svets-sprut, men detta kan motverkas om man positionerar en ytterligare laserstråle från en diodlaser (med en relativt stor, avlång fokalpunkt) ovanpå den ursprungliga laserns mindre fokalpunkt. En ökad effekt hos sagda diodlaser bidrar ytterligare till undertyckandet av svets-sprut.

Ilmenau] presentation. Hans lösning bestod i att superpositionera två laserstrålar intill varandra. En av laserkällorna var en disk laser [TruDisc5000] medan den andra var en direktverkande diodlaser [LDM3000]. Materialet var rostfritt 1.4301 och svetsningshastigheten varierades mellan 8-20 m/min. Laserstrålarnas inbördes förhållande hade varierats, så att diodlasern placerades såväl ledande som släpande i förhållande till disk lasern. Man hade kunnat konstatera att med en svag lutning

på de infallande laserstrålarna krävdes mindre effekt för att nå en jämbördig inträngningsprofil, men att även svets-sprutet reducerades med en dylik uppställning [Fig. 24].

Dirk Ditttrich från IWS i Dresden har vi kunnat lyssna till vid ett flertal konferenstillfällen, men denna gång var temat nytt och handlade om svetsning av koppar och koppar/aluminiumkombinationer. Det senare är ju högaktuellt med tanke på den elektrifiering som sker inom personbilsbranschen just nu. Såväl aluminium, men i ännu högre grad koppar, har sina bästa absorptionsegenskaper vid korta våglängder, något som förklarar valet av en "grön" laserkälla. I det här fallet var det en disk laser från Trumpf [TruDisc1020] på 1 kW och med en våglängd på 515 nm, just det våglängdsområde där koppar uppvisar sin högsta absorptivitet. Fokal- och kollimeringslängd var 200 mm och stråldistributionen skedde via en 50 µm grov optisk fiber. Svetsresultaten från

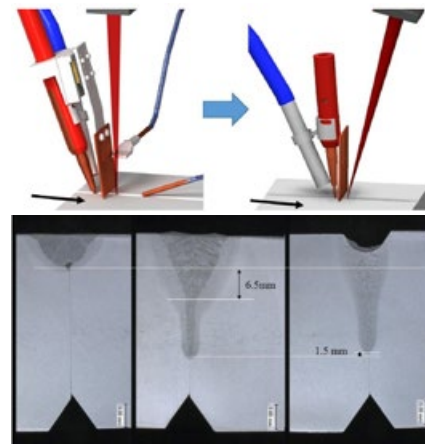


Figur 25. Vid överlappssvetsning av koppar/aluminium-kombinationer erhåller man den bästa svetskvaliteten då kopparpartiet utgör topplåt.

överlappsfogar i koppar/aluminium-kombinationer jämfördes med dem som åstadkommits vid svetsning med SM [SingleMode]- och MM [MultiMode]-laser från IPG med "vanliga våglängder" kring 1 µm. Den gröna laservåglängden 515 nm visade sig vara mindre känslig vad beträffar fokalpunktspositionering i vertikalled. Dessutom ger den ett större processfönster än 1µm-laserna så länge kopparplåten utgör topplåt [Fig. 25]. I det omvända förhållandet var skillnaden mellan de olika laservåglängderna inte lika stor. I det senare fallet, alltså med aluminium som topplåt, blev svetskvaliteten i samtliga försök undermålig p.g.a. att aluminiummaterialet överhettas.

En flitig herre under svets-sessionerna var Oliver Engels från isf [Institut für Schweiß- und Fügetechnik] i Aachen som hade två presentationer som handlade om lasersvetsning av tjockare plåtmateri-

Den första kände vi igen från LANE-konferensen föregående år då Herrn Engels kollega Dr. Simon Olschok berättade om kombinerad laser- och pulverbågs-svetsning. Denna process utförs med hjälp av en separationsplatta som hindrar laserstrålen från att nå pulvret. Med 16 kW lasereffekt och en svetsningshastighet på 0,5 m/

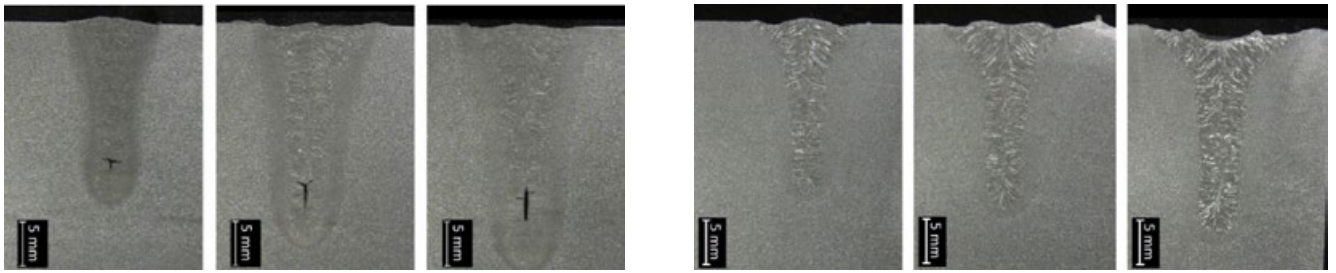


Figur 26. isf har vidareutvecklat kombinationsprocessen laser/pulverbågs-svetsning med en mer upprättstående SAW-pistol (4°) men fortfarande med den nödvändiga separationsplattan. Nedan de olika inträngningsprofilerna där kombinationsprocessen ger 1,5 mm djupare penetration jämfört med enbart lasersvetsning.

min har man numera lyckats uppnå full penetration i 50 mm tjockt material.

Det som var nytt sedan presentationen i Fürth var att man ytterligare förfinat uppställningen av de två metoderna. Tidigare inföll laserstrålen vinkelrätt mot arbetsstycket och SAW [Submerged Arc Welding] – pistolen lutades 20°. Nu hade man kommit fram till en optimal positionering genom att luta laserstrålen 14° och SAW-pistolen blott 4°, samtidigt som avståndet mellan de båda TCP:erna [Tool Center Point] minskats från 19 till 14 mm [Fig. 26]. Framtida forskning sades inriktas på att svetsa med TiB-tillsats i elektroden för att på så vis förfinas kornstrukturen i svetsgodset

Herrn Engels andra presentation rörde stumsvetsning av konstruktionsstål S355 och S690 med en 50 kW laserkälla från Laserline [LDF50000-200]. Vid svetsning med ren laser och 16 kW nådde man ett penetrationsdjup på 16 mm. Om lasern användes i en hybriduppställning blev motsvarande penetrationsdjup 32 mm, och om svetsningen utfördes under reducerat lufttryck till 0,1 mbar blev djupet 55 mm. Fokallängden var 400 mm vilket resulterade i en fokalpunkt med 2,7 mm diameter och stråldistributionen skedde via en 200 µm grov optisk fiber.



Figur 27.

Blindsvetsar utförda med 30, 40 respektive 50 kW lasereffekt. Med fokuspunkten placerad på toppytan (t.v.) uppstår sprickor i svetsroten, men med fokus 5 mm ner i materialet (t.h.) gick detta att undvika.

Argon användes som skyddsgas, och framföringshastigheten låg mellan 0,7-1,0 m/min. Dock kunde man detektera tendenser till sprickuppkomst i svetsroten, vilket dock gick att lösa genom att positionera fokuspunkten djupare ner i materialet med z-värdena -5 och -10 mm [Fig. 27]. Emellertid återkom dessa sprickor om spalten mellan plåtarna överskred 0,8 mm. Flitige Oliver hann också med att redo-

göra för några svetsförsök på T-fogar i 25 mm tjocka plåtar, men här återstod en del arbete då det gällde att undersöka olika infallsvinklar för laserstrålen i fogen.

Återstår då bara att informera om att nästa Laser World of Photonics med tillhörande LiM-konferens kommer att gå av stapeln på Messe München mellan 24-27 juni 2019. Välkomna! ■



BrightLine Weld – en revolution inom lasersvetning

Mikael Ohlsson,
Trumpf Maskin AB

Tack vare fastkroppslaserteknikens många fördelar, särskilt strålleverans med hjälp av fiberoptisk kabel, så har tekniken blivit en framgångsrik metod för svetsning. En begränsande faktor för tekniken som har väntat på en industriell lösning för att nå ännu högre produktivitet har varit fenomenet att det uppstått relativt mycket svetssprut under hög matningshastighet. Problematiken har nu fått en lösning med hjälp av BrightLine Weld.

Generellt förekommer svetssprut främst i ett distinkt svetsningsområde vid djupledningssvetsningsapplikationer, såsom t.ex. vid svetsning av komponenter till en drivlina. Fenomenet uppkommer vid svetsningshastigheter kring 5 - 6 m/min. En hastighet över 6 m/min medför generellt massaförlust på grund av sprut av en nivå som resulterar i spårbildning i svetsens ytterkanter och troligen även av inre porositet. Båda faktorerna reducerar detaljens mekaniska hållfasthetsegenskaper. Detaljer med svetspartiklar som kan lossna vid montering och därmed förstöra slutprodukten är heller inte önskvärt.

Nedan presenteras de senaste resultaten och metoden som till stora delar löser detta problem. Tekniken visar på signifikant minskat sprut vid svetsning med hög hastighet, vilket fram tills idag endast har kunnat uppnås med CO₂-lasersvetning. Den nya processmetoden är baserad på en speciell ny strålformningsmetod i kombination med en diskaser. Svetsningshastigheten kan ökas avsevärt och processens energieffektivitet kan minskas dramatiskt.

Laser svetsning

I jämförelse med konventionell svetsning möjliggör lasersvetning både värmeledningssvetsning och djupledningssvetsning dvs. två verktyg i ett. Tunna och djupa svetsfogar kan produceras kontaktfritt till höga processhastigheter. En liten värmepåverkad zon minimerar deformationen av detaljen. Svetsdjupet kan bli upp till tio gånger djupare än svetsbredden och kan nå svetsdjup på upp till ca 25 mm. Dock har matningshastigheterna varit en begränsande faktor. En viktig del är uppkomst av svetssprut och massaförlusten i svetsen. Generellt ökar båda dessa fenomen med matningshastigheten och lasereffekten som används. Svetsning av stål med fastkroppslaser resulterar normalt i en massaförlust vid en hastighet av ca 5 m/min. **Bild 1** illustrerar ett exempel på uppkomst av svetssprut vid svetsning av stål vid en matningshastighet på 10 m/min.



Bild 1.
Sprutkaraktär vid delvis penetrerad fog vid en matningshastighet på 10 m/min.

Omfattande svetssprut vid höga svetsningshastigheter leder till:

- Risk för massaförlust vid höga has-

tigheter kan leda till hålbildning vid sömmens framsida vilket resulterar i låg mekanisk hållfasthet och sämre kvalitet av svetsen.

- Fixtureringen blir kontaminerad och behöver rengöras kontinuerligt, vilket leder till försämrad produktivitet och stilleståndstider.
- Skyddsglas behöver bytas ut oftare vilket resulterar i ökade kostnader.

Hittills har en acceptabel sprutkaraktär endast kunna åstadkommas upp till 5 m/min vilket resulterar i en begränsad produktivitet. Detta står stick i stäv med ökade krav på reducerade cykeltider inom industrin.

Med den nya svetsteknologin "BrightLine Weld" från TRUMPF har förutsättningarna ändrats och numer finns det en lösning som möter kraven.

BrightLine Weld: svetsning med mindre andel svetssprut

BrightLine Weld är en ny teknologi som möjliggör en nästan sprutfri svetsprocess under djupledningssvetsning även vid höga svetsningshastigheter. Resultatet för svetsning av stål visas som ett exempel i **bild 2**. Trots samma svetsparametrar som i figur 1 (P=5kW, v=10m/min) så är svetssprutet kraftigt reducerat.

Smala och djupa svetsömmar kan produceras med hög kvalitet med hjälp av BrightLine Weld. Den reducerade svets-sprutkaraktärstiken utökar signifikant möjligheterna till högre matningshastigheter. **Figur 3** illustrerar svetsdjupet i relation tillsvetsningshastigheten vid en effekt av 5 kW i stål både för "state of the art" lasersvetning samt för BrightLine Weld. Färgen på datapunkterna i diagrammet

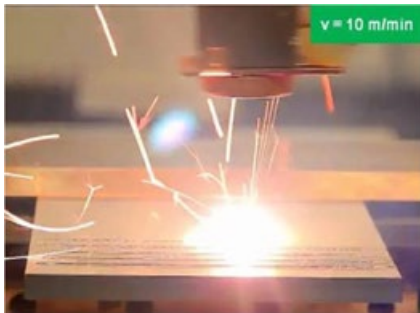
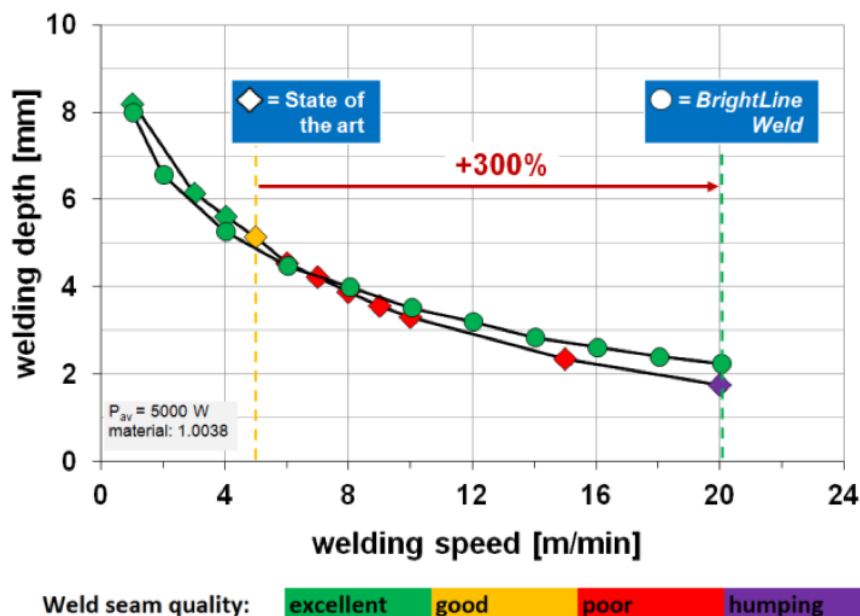


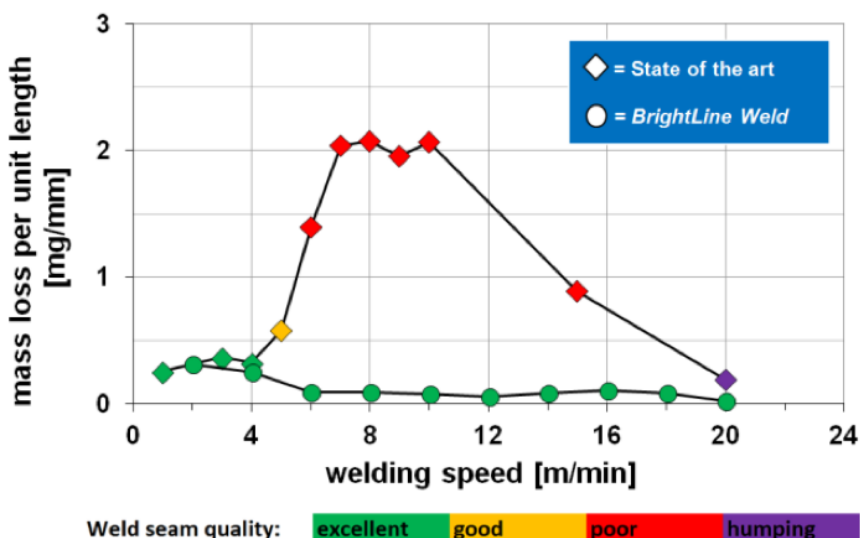
Bild 2:
Minimerat sprut vid svetsning av stål med BrightLine Weld vid en matningshastighet av 10 m/min.

indikerar erhållen svetskvalitet:

- Grönt: svets av hög kvalitet som möter gällande krav
- Gul: svets av medium kvalitet, som inte når alla krav men är acceptabel för en del applikationer



Figur 3.
Svetsdjup beroende av svets hastighet.



Figur 4.
Svetsens massaförlust beroende av svets hastighet för konventionell lasersvetsning med faskropps laser och BrightLine Weld i rostfritt stål.

- Röd: svets av dålig kvalitet
- Lila: Från denna svets hastighet erhålls "humping". Erhållen svets är otillräcklig.

Datapunkterna för BrightLine Weld kurvan är gröna upp till en hastighet av 20 m/min. Hela vägen till denna nivå är svets sömmen av hög kvalitet. För traditionell lasersvetsning börjar de gula punkterna redan vid 5 m/min och går sedan över till röd eller lila. Detta betyder att maximal matningshastighet i stål kan ökas med ca 300 % med hjälp av BrightLine Weld för motsvarande svetsdjup. I rostfritt stål visar testerna en ökning av processhastigheten med 100% upp till 10 m/min. Figur 4 visar massaförlusten av delvis penetrerade svetsar i rostfritt stål i detalj.

För att klassificera resultaten visas även massaförlusten för konventionell

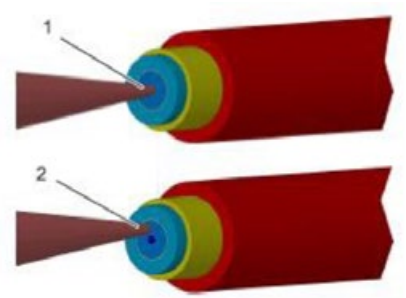
laser svetsning med fastkropps laser. Röd punkt indikerar på nytt en otillräcklig svetskvalitet av testsvetsarna. Återigen visas en tydlig skillnad redan vid 5 m/min. Massaförlusten av svetsarna som

producerats med BrightLine Weld och andra sidan uppvisar ett omfång som är i det närmaste svets sprutfri (<0.4 mg/mm). Samtidigt uppvisar svetsarna en hög kvalitet och ingen tendens till "humping" upp till minst 20 m/min.

Strålformning med BrightLine Weld

Processförbättringarna grundar sig i en applikationsspecifik strålformningsteknik som visas i figur 5. Laserstrålen av en disk-laser är kopplad in i en så kallad 2-1 fiber för ledning av strålen till verktyget. Med hjälp av denna teknik kopplas strålen in i den inre kärnan (1) och i den yttre kärnan (2) samtidigt. Beroende av applikationen, såsom vilket material som ska svetsas, lasereffekt, matningshastighet, etc. så kan effektdistributionen mellan ljusvägarna optimeras för just den applikationen. I vanlig ordning fokuseras sedan strålen mot arbetsstycket med hjälp av en svetsoptik.

Denna nya justerbara strålformningsteknik ger ytterligare en frihetsgrad för optimering av industriella laserprocesser. Med djupledningssvetsning ges stora fördelar tack vare en kontrollerad flödesdy-



Figur 5.
Strålformning med BrightLine Weld. (1) Koppling av strålen i fiberns inre kärna. (2) Koppling av strålen i en yttre coaxial fiberkärna.

namik i processen (svetszonen).

Fördelar med BrightLine Weld inom lasersvetsning.

Användning av BrightLine Weld resulterar i följande fördelar för användaren:

- Signifikant högre matningshastigheter och konstant svetskvalitet ökar produktiviteten. I stål kan den maximala matningshastigheten utan problem ökas med +300% och i rostfritt med +100%
- Minimalt sprut och mindre kontaminering reducerar totalkostnaden. Färre

stilleståndstimmar, mindre efterarbeting av detaljer, samt mindre förbrukning av skyddsglas.

- En lägre lasereffekt krävs för att uppnå samma svetsdjup. Den höga effektiviteten tillåter upptill 50 % energibesparing vid samma svetsdjup och svetskvalitet.
- BrightLine Weld producerar högkvalitativa svetssömmar. Svetsar utan uppkomst av spår och hålbildning. Tack vare den reducerade energitillförseln är deformationen väldigt låg.

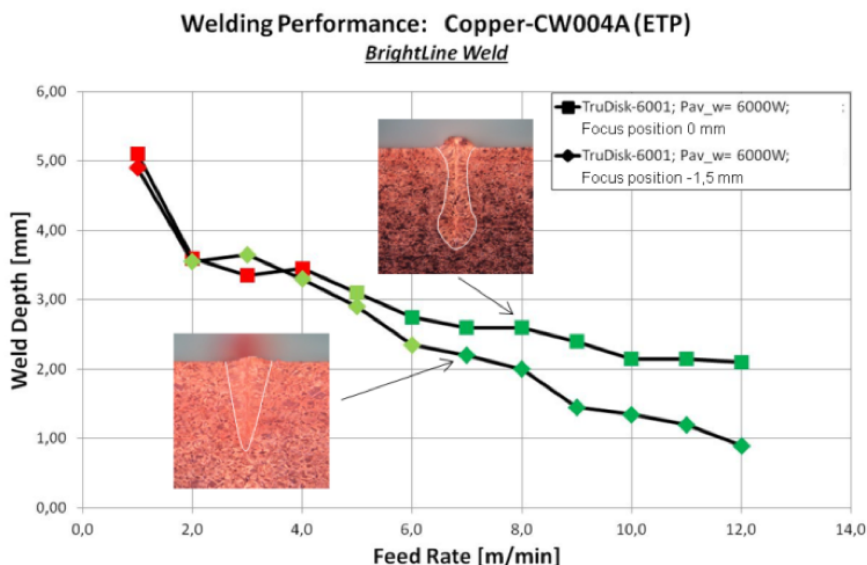
är processen sprutfri och producerar en reguljär och jämn yta utan spårbildning vid fogändarna.

Detta exempel visar ytterligare en fördel. Tack vare strålförning baserad på fibertekniken kan BrightLine Weld kombineras med nästan alla svetsoptiker såsom både fasta verktyg och scanner-optiker.

Framtidsutsikter

I framtiden kommer BrightLine Weld inte bara användas inom drivline-segmentet, koppar och aluminiumsvetsning utan även inom andra industrier såsom t.ex. rör och profilsvetsning. Rör och profiler bockas normalt ihop av en coil-matad plåt i en kontinuerlig process. I kontrast till applikationerna ovan är detta svetsar med full penetrering vid hastigheter upptill exempelvis 30m/min, vilket görs med CO₂-laser idag. Forskning pågår för att närma sig dessa hastigheter med fastkroppslaser.

Den nya teknologin BrightLine Weld har potentialen att öppna upp nya områden för svetsning med fastkroppslaser. BrightLine Weld möjliggör konstant hög svetskvalitet oberoende av hastigheten. Användaren har valet att optimera eller minimera installerad lasereffekt eller att med hög lasereffekt maximera produktiviteten i sitt system. Dessutom är inte länge matningshastigheten en dominant parameter som måste optimeras. På så sätt underlättas processutvecklingen och optimeringen av parametrar. Ett komplett system består av diskaser förberedd med BrightLine Weld, en fiberoptisk kabel, processoptik samt en mjukvara som förklar användandet av BrightLine Weld. ■



Figur 6:
Hastighetsfönster för djupledningssvetsning av koppar.

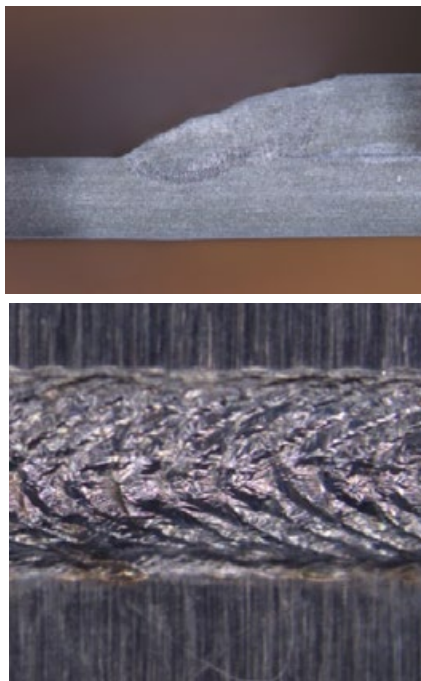
BrightLine Weld inom applikationer för elektromobilitet.

Vid produktion av elfordon finns ett ökande behov av svetsapplikationer och innovativa lösningar. En vanlig applikation är svetsning av koppar som kan nå tjocklekar från några tiondels millimetrar upptill flera millimetrar. När det gäller svetsning av koppar är det känt sedan tidigare att processen blir mer stabil vid högre svetshastigheter. Detta tack vare den höga värmeledningsförmågan och den höga flödesdynamiken under djupledningssvetsning av koppar.

Vid strålförning med BrightLine Weld kan inte bara höga svetshastigheter med lite sprut erhållas, utan nu även medel och låga hastigheter för att erhålla ett högre svetsdjup för koppar, **Figur 6**.

BrightLine Weld för fogning av fordonskomponenter

Figur 7 visar en svets med Aluminium 6082. Svetsen producerades med scanneroptik – och wobblingteknik med strålförning av BrightLine Weld. Fördelen är hög kontroll på svetsdjup i denna delvis penetrerande applikation. Vidare



Figur 7.
Aluminium 6082. Svetsning med stråloskillation och BrightLine Weld leder till ett väl kontrollerat svetsdjup och en jämn svetsyta.



Hope Technology satsar på fiberlaserteknik för precisionsskärning av cykeldetaljer

Johnny K Larsson,
Autokropolis Engineering

Hope Technology i Barnoldswick, Lancashire tillverkar reservdelar till cyklar, och exporterar hälften av sin snabbt växande produktion till mer än 40 länder. Företaget grundades 1989, har idag cirka 130 anställda, och det hela började då man sökte en lösning för att göra s.k. mountain bikes säkrare genom att utveckla ett alternativ till traditionella konsolbromsar.

Grundarna Ian Weatherill och Simon Sharp, båda med en bakgrund från Rolls Royce där de arbetade som ingenjörer och verktygsmakare, utvecklade en bromsskiva som till sin konstruktion inspirerats av dylika som används på motorcyklar. Numera tillverkar man tiotusentals av dessa varje år tillsammans med kedjkransar, kedjeringar och andra komponenter till "mountain bikes" [Fig 1].



Figur 1.
Kedjkransar och bromsskivor tillverkade av Hope Technology används idag på många "mountain bikes".

I mitten av 2015 började en av företagets sjuttio CNC-maskiner, en Bystronic By Sprint CO₂-laserskärmaskin få problem att innehålla de produktivitetskrav



som betingas av den 24/7-produktion som bedrivs hos Hope Technology. Dess produktionschef Lindley Pate [Fig. 2] kände



Figur 2.
Lindley Pate, produktionschef vid Hope Technology, visar här upp några av företagets produkter för Jo Tindley och Charlene Joiner i WNT:s damcyckellag – komponenter som är av vital betydelse för lagets framgångar.

till att skärning med fiberlasrar var på väg att mogna som teknologi, varför man installerade en 4 kW Bystronic BySprint Fiber 3015.

"Vi använder relativt tunt material som exempelvis 2 mm rostfritt för bromsskivor och upp till 6 mm tjockt aluminium till vissa varianter av kedjkransar" meddelar Mr. Pate. "Just för tunt material skär fiberlasern tre gånger så snabbt som en CO₂-laser med motsvarande effekt, och detta har inneburit en fantastisk skillnad som hjälpt oss att möta den tvärbrant ökande orderstocken."

Men den nya lasern kan även skära betydligt tjockare material, och används därför vid tillverkning av 12 mm tjocka verktygsplattor i aluminium vilka används då man bygger fixturer för andra maskiner på verkstadsgolvet.

En ytterligare fördel med fiberlaserskärning är enligt Mr. Pate den höga snittkantskvalitet man får då man endast använder kvävgas som skärgas i sin produktion. "De laserskurna kanterna på de rostfria detaljerna ser närmast ut att

vara polerade, varför de inte kräver någon vidare efterbearbetning. Utan de går direkt till den efterföljande värmebehandlingen” förklarar han. ”Detta i motsats till vad som var fallet då den tidigare CO₂-skärmaskinen användes, vilken efterlämnade ett visst mått av metallspån trots att vi använde kvävgas. Vi använder oss aldrig av syrgas vid laserskärningen då vi vill undvika problem i form av oxiderade skärytor.”

Lindley Pate tillägger att andra faktorer, som talar till fiberlaserns fördel i jämförelse med en gaslaser, är en mer konsistent precision, mindre maskinunderhåll och ekonomiskt fördelaktiga driftkostnader. Det senare i termer av såväl elförbrukning som lägre krav på skärgasen. Det finns nämligen ingen anledning att använda sig av den dyrare heliumgasen, vilken är mer eller mindre standard för CO₂-lasermaskiner.

De cykelkomponenter som skärs med företagets nya fiberlaser är främst bromsskivor i mjukt aluminium av kvalitén 410 [Fig. 3]. Bromsskivorna är antingen varianter som består av en enda del, eller så består de av två separata detaljer med en yttre ring i 410-material och en ”flytande” centrumdel i AA2014-kvalitet – den senare även den skuren i samma maskin. Företaget tillverkar också kedjegransar i legeringen AA7075, såväl som underhållsverktyg för cyklar och bruksvaror som flasköppnare och nyckelringar, samt utställnings- och prisskåp.



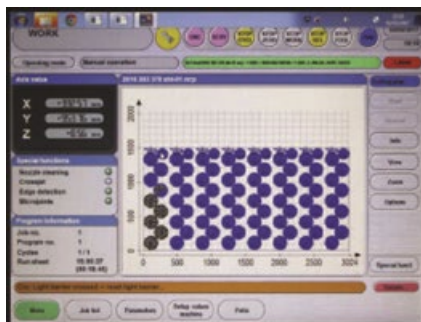
Figur 3. Ett antal laserskurna bromsskivor i väntan på avslutande finisharbete.

De maximala plåtdimensioner som den nya fiberlaserskärmaskinen kan hantera är 3,0 × 1,5 meter, vilket också är något av ett standardmått vid tillverkningen av aluminiumdetaljerna. I fallet med det rostfria specialstål som Hope Technology köper in levereras detta i bandbredder mellan 330-550 mm vilka klipps till ämnena med längder mellan 1.000 och 1.500 mm, vilka sedan placeras vinkelrätt mot växlingsbordets rörelseriktning.

Variationerna i lagerhållning var ett av skälen till att företaget valde att inte förse denna nya laserskärmaskin med

ett automatiserat system för laddning och plundring av densamma. Ett annat skäl som Lindley Pate framhåller är att produktionsanläggningen är att betrakta som en låg till medelstor volymtillverkare av specialkomponenter, vilka inte endast kräver CNC [Computer Numerical Control] -bearbetning utan också en viss grad av manuell hantverksskicklighet, varför de principer som används vid högvolymproduktion inte kan tillämpas här.

Baserat på konstruktionsdata beskrivna i företagets SolidWorks CAD [Computer Aided Design] -nätverk sker programmeringen av laserskärmaskinen ”offline” genom att använda Bystronics mjukvaruprogram BySoft 7. Enligt Mr. Pate har detta s.k. ”nesting”-förmåga, vilket gör att man kan maximera antalet detaljer som går att skära ut ur ett plåtmått [Fig. 4].



Figur 4. En kontinuerligt uppdaterat grafik av pågående arbete visar ”nestingen” av bromsskivor på kontrollpanelen, redan skurna komponenter i grått samt skärmunstyckets position. Den totala cykeltiden för att skära ut bromsskivor ur en formatplåt på cirka 0,75 m² tar 18 minuter, något som även inkluderar utskärning och gravering av en vevnyckel i slutet av varannan rad.

Lasermaskinens programmerare Mark Jolly gillar den minimala mängden plåtskrot som BySoft-programmet åstadkommer genom att lägga in mindre s.k. kannibaldetaljer inom områden hos andra detaljer vilka annars skulle resultera i överblivet material och lågt plåttutnyttjande. Härmed undviks också risken för att större bortklipp vrider sig uppåt och kan skada skärverktyget vilket rör sig blott 1 mm ovanför plåten. Vidare uppskattar han den gravyrfunktion som kan aktiveras via kontrollpanelen genom att lasereffekten minskas från 4 kW till 600 W.

”Vi har alltid trott på att tillverka allting ”in-house” utifrån högkvalitativa material i form av antingen solida göt eller aluminiumsmidesgods”, säger Mr. Pate. ”Vi inte bara maskinbearbetar allting själva i våra CNC-maskiner för att kunna kontrollera precision och kvalitet, utan vi utför även värmebehandling, anodisering,

polering och sammansättning. Vi utvidgar nu också verksamheten till ”in-house”-tillverkning av kolfibrer vilka kommer att ingå vid produktion av cykelkomponenter som styren och sadlar, och vi kan även tillhandahålla kompletta cykelramar i kolfiberförstärkt polymermaterial.

”Fiberlasern har blivit ett oundgängligt verktyg för oss i tillverkningskedjan av bromsskivor och kedjegransar”, fortsätter Lindley Pate. ”Stilleståndstiden sedan den nya fiberlaserbaserade skärmaskinen installerades har varit minimal, något som är nödvändigt då vi baserar vår produktion på en enda laserkälla. Denna måste vara absolut tillförlitlig annars kommer hela vår produktion att stå stilla. ■



Industri 4.0 – Visioner, verklighet & framgång

Tulus® Power Processing – lite snack och mycket verkstad – Made in Finland!

Av Thomas Hägglund
Din Maskin AB

Suomen Levyprofiili Oy grundades år 1998. Företaget flyttade till nya lokaler i Joensuu (Finland) under 2014 som ligger nära järnvägen, huvudvägen och hamnen, så att kunder runt om i världen nås med lämplig logistik. Den huvudsakliga marknaden är Finland men produkter exporteras också till flera länder i norra Europa. Företaget har 113 anställda.

SLP Oy: s kundbas inkluderar allt från lokala företag till stora internationella företag, som representerar toppen av deras respektive branscher, som exempelvis John Deere och Sandvik. Företagets mål för tillverkningen är att betjäna sina kunder på ett optimalt sätt, erbjuda helhetslösningar och bygga långsiktiga kundrelationer.

Högkvalitativa komplexa plåtstrukturer tillverkas i konstruktionsstål, rostfritt & syrafast material samt aluminium. Cirka 2000 ton råmaterial används i produktion årligen. Högeffektiva system med automatisk materialhantering och processer som laser, stansning, klippning och pressning används vid komponenttillverkningen.

I företagets omfattande service ingår långtgående partnerskap med kunder där man erbjuder teknisk expertis inom design och vidareutveckling av produkterna för optimala kostnadseffektiva kvalitativa lösningar. SolidWorks och Creo är exempel på miljöer man arbetar i.

Drivande digitalisering

Innovativ produktutveckling och professionell tillverkningsplanering är en stor del av företagets tillgångar och



Figur 1.
Soumen Levyprofiili Oy, Juensu

fokusområden.

Produktionen är organiserad i enlighet med Lean och digitala lösningar används. Företaget är en föregångare inom digitaliserad styrning av produktion och tillämpningen av industri 4.0 i Europa.

Prima Power maskinerna är utrustade med integrerade sensorer och kameror, som kontinuerligt samlar in information för att förbättra produktionseffektiviteten. Information om maskinen samlas in och analyseras i realtid, vilket möjliggör förebyggande underhåll och förbättrad effektivitet, prestanda och kvalitet.

Prima Powers center för fjärrdiagnostik samlar in och övervakar kontinuerligt olika maskinparametrar för att säkerställa att maskinerna fungerar effektivt. Maskinens sensorer och kameror ger centrat diagnostik med värdefull information. Med information i realtid om maskinen, kan Prima Power identifiera orsaker till uppkomna problem och omedelbart förbättra maskinens prestanda.

– Bolagets hela organisation är involverad i försäljningen och vi är en pålitlig partner och bedriver ett nära samarbete med våra kunder. Bra service och att hålla

sig till vad som har överenskommit är bland de viktigaste tillgångarna. Vi är pålitliga och vår egen proaktivitet ger kunder och partners nya lösningar vilket skapar ett betydande mervärde”, säger Joni Hassinen (SLP Oy), och hänvisar till bolagets operativa principer.

Utmaningar och kännetecken för produktionen:

- Mycket konkurrenskraftig underleverantör
- Småskalig produktion
- Korta leveranstider
- Korta projektledtider för att möta kundernas behov och överträffa förväntningar
- Produktion av ett brett utbud av olika produkter
- Kontinuerlig utveckling av verksamheten
- De mest konkurrenskraftiga produktionsteknikerna för att lyckas på en väl konkurrensutsatt internationell marknad

Samarbete med Prima Power

Den befintliga maskinparken från



Figur 2.
SLP Oy har en maskinpark från Prima Power

Prima Power inkluderar bl.a kantpress 2D laserskärmaskiner med automatiska lagertorn där även den ena av lasermaskinerna utrustats med Prima Powers unika staplings och sorteringsrobot LST

Laddnings- och staplingsroboten förvärvades eftersom laserskärning sker i tre skift drift som genererar en hög volym plåt. LST staplings och sorteringsrobot förenklar Laseroperatörernas arbetsbörda oerhört då den på ett säkert vis genom att redan på skärbordet separera detaljerna från restgittret i takt med att de skärs fram utan förflyttning av bordspaletten. Detaljerna staplas för omedelbar access till efterföljande processteg.

Användargränssnittet i båda laserskärmaskinerna är Tulus® Cell och programvaran Tulus® Power Processing används för automatisk programmering. CAM-system som används är Prima Power NC Express e3.

”När maskininvesteringarna diskuterades tog vi beslutet att i första steget inte inkludera Tulus® Power Processing, utan nöjde oss med möjligheten att kunna implementera det vid ett senare tillfälle.

Programmeringskapaciteten blev dock snabbt en utmaning, eftersom en person inte räckte för att upprätthålla tillräckliga arbetsköer i de båda laserskärmaskinerna. Detta kunde delvis lösas genom övertidsarbete och ibland hjälp från en annan programmerare. Vi lyfte frågan och Tulus® Power Processing installerades”, säger Joni Hassinen.

Tulus® Power Processing

Tulus® Power Processing är ett system för tillverkningskontroll som möjliggör att produktionsprocessen hanteras automatiskt från beställning, programmering och laddning hela vägen till färdig produkt och produktionsrapportering samt lagersaldohantering och beställningar.

I den första etappen ingick att implementera Power Processing av produktstrukturen samt obligatoriska delar och delkvantiteter. Efter det, kan order skickas till produktion för varje produktsammansättning, underlätta analys och påskynda förberedelse av order. Första ordern skickades till programmeraren på papper och produkterna som skulle programme-

ras valdes manuellt. Idag sker automatisk extrahering av information såsom produktstrukturen och beställningsinformation från affärssystemet. Detta minimerar mänskliga fel och behovet av dokumentation i pappersformat har försvunnit. Produktstruktur och beredningen av denna utförs endast i företagets ERP-system, som gör det möjligt att lämna strukturinformationen till Power Processing som skapar program, jobbköer och rapporter tillbaka till ERP-systemet. Detta arbetsätt eliminerar behovet av att uppdatera strukturer på olika platser.

Delar kan skalas upp från 3D-modellen, nestning sker automatiskt och tilldelas verktyg automatiskt (stansning), men det är ändå lätt att manuellt göra ändringar om behovet skulle uppstå. Den valda nestningen kan öppnas i CAM direkt från Power Processing och ändringarna i CAM sparas. Delar till olika kundorders men av samma material kan tillverkas parallellt. Detta för maximalt materialutnyttjande och optimerade ledtider genom produktionens olika processteg så att alla delar som behövs vid en viss tidpunkt och plats läggs fram i processkedjorna finns tillgängliga just-in-time.

Tulus® Power Processing gör produktionen mer transparent och lättare att hantera. Operativsystemet i de båda laserskärmaskinerna är Tulus Cell, som möjliggör sömlös integrering med Power Processing. Prima Powers äldre operativsystem kan också integreras med programvaran med minimala begränsningar. Eftersom Power Processing får information i realtid om produktionsstatus och vilket arbetssteg i varje del, förbättras produktionseffektivitet avsevärt och med mindre besvär.

Eftersom Tulus® Power Processing integreras fullt ut med anläggningens affärssystem och samtidigt hanterar produktion styr- och reglerfunktioner, kan användas för att styra hela produktionsprocessen från detaljbearbetning till färdig produkt och rapportering. Systemet hanterar så kallad ”Pull-Production” där modulen Tulus® e-Kanban är verktyget för detta.

Delar beställs automatiskt från avläsning av streckkoden direkt till Power Processing eller ERP-system, beroende på vilken del som beordras. Systemet övervakar också eventuella tidigare beställningar och förhindra dubletter, beställningspunkter och beställningskvantiteter styr planeringen. Med Tulus® e-Kanban, behöver delen inte vara en plåt detalj, utan det kan vara en komplex sammansatt



Figur 3.
Tulus Power Processing är ett system för tillverkningskontroll.

konstruktion som bryts ner till detaljnivå och auto-genererar beställningen.

Med Power Processing, dirigeras delar till olika arbetsmoment. Manuella ingrepp kan också utföras från Tulus® Terminal monitor, där information om de uppgifter som ingår i varje etapp finns tillgängliga. Programmet är webbaserat, så det kan användas på en smart phone eller surfplatta. Det ger också användaren möjlighet att rapportera slutförandet av delar och komponenter, eller om eventuella avvikelser skett under tillverkningen. Om en del är skadad, kan en ny beställning enkelt begäras såvida inte delen redan är tillgänglig i lager. Systemet erbjuder fördelen med information i realtid om produktionsstatus och arbetsmoment av delar.

Tulus® Power Processing erbjuder också omfattande verktyg för prestanda och produktionsrapporter. Tulus® produktionsrapporter ger realtid produktionsinformation på maskinerna och genererar rapporter på färdiga produkter. Dessa rapporter kan användas vid planering av budget och produktion, till exempel. Tulus® resultatrapportering genererar rapporter om effektivitet och utnyttjande av maskinen och ger korrekt information om maskinens prestanda. Rapporter kan ge en mer omfattande översikt över produktionen som helhet som till exempel analys av hur man kan förbättra produktionsplaneringen.

Fördelar:

- Effektivare detaljbeställning och nestning
- Tydligare beställningsprocess
- Transparent produktion
- Färre mänskliga fel
- Ökad hastighet och användarvänlighet: en person kan enkelt utföra nestning för alla maskiner, tre skift och även för buffertar.
- Möjlighet att integrera systemet med hela företagets affärssystem
- Korrekt tillbaka-rapportering av data för analys
- Ett stort kliv in i digitaliserad produktion, Industri 4.0, som ger ökad konkurrenskraft

”Samarbetet med Prima Power har varit öppet och flexibelt och gett oss full nytta av programvaran. Tulus® Power Processing fungerar riktigt bra, är användarvänligt och har även gett oss möjlighet till anpassningar för att möta våra behov, vilket är mycket viktigt för oss. Alla finjus-

tering och uppdateringar har utförts via remote connectivity och i problemsituationer, har vi fått hjälp under samma dag”, säger Joni Hassinen.

Kommentar från en expert

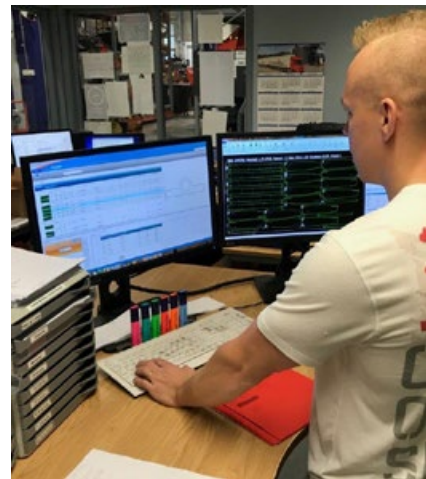
Pasi Kiviluoto

Manager, systemförsäljning, programvara och avancerad forskning

Folk tror ofta att mjukvarusystem som denna endast är avsedda för stora system med flera maskiner integrerade med lagret, automationsutrustning etc. I verkligheten är detta inte fallet, eftersom både små verkstäder och stora internationella företag kan stöta på problem med programmering och produktionsledning. Prima Powers digitala lösningar minimerar behovet av programmerare och tidsåtgången för detta så att tid kan användas på ett mer värdeskapande vis. Och när verksamheten växer och med den ytterligare maskinkapacitet, så, behöver programmeringskapaciteten nödvändigtvis inte ökas. Återbetalningstiden för denna typ av programvara kan vara mycket kort, eftersom programvaran hjälper till att minska kostnaderna på många sätt, såsom:

- Minskad tid för programmering, eftersom arbete är smidigare och det finns ingen anledning att söka efter delar i kataloger. Information erhålls digitalt, direkt från överordnade system, såsom ERP.
- Mänskliga misstag minimeras. Informationen överförs i digitalt format.
- Förbättrat material- och maskinutnyttjande. Ökad flexibilitet
- Korrekt maskiner åter-rapportering, effektiv FU planering
- Delar tillverkas för just-in-time behov.

”Projektet med utvecklingen av plattformen blev en generell framgång och jag är mycket nöjd med resultatet. Allt som Suomen Levyprofiili gör visar att de kontinuerligt utvecklas och förbättrar sin verksamhet. Detta är ett gott exempel där man framgångsrikt digitaliserat sin produktion och tillämpar industri 4.0 filosofin. Digitalisering är ett hett ämne i världen men Suomen Levyprofiili visar också vägen genom att sedan en tid nyttjat digitaliseringen i sin produktion. Detta projekt har också varit betydande för att öka digitaliseringen och Prima Power vill vara en föregångare inom detta också”, säger Kiviluoto. ■



Faktaruta

Suomen Levyprofiili Oy

<https://suomenlevyprofiili.fi/en>

Bransch: Legotillverkning av plåt strukturer

Grundades: 1998

Intäkter: Cirka 12 miljoner euro

Personal: Ca 100

Plats: Joensuu, Finland

De senaste investeringarna Prima Power: LST lastning och stapling robot för den Platino 1530 laser skärmaskinen och programvaran Tulus® Power Processing



Laserfogning av metall till plast – verklighet eller fiktion?

Johnny K. Larsson,
Autokropolis Engineering

Geert Verhaege visar på en beröringsfri metod med hög processflexibilitet

En synnerligen sympatisk laserkollega till mig är Geert Verhaege som har en bakgrund från TWI [The Welding Institute] och Warwick University där han tog sin doktorsexamen 2007 i ämnet lasersvetsning av aluminiumlegeringar använda inom rymdindustrin. Sedan 2011 arbetar han för koncernen Faurecia, inom vars bilsätesavdelning han varit en av pådrivarna till att införa lasertekniken i produktion.

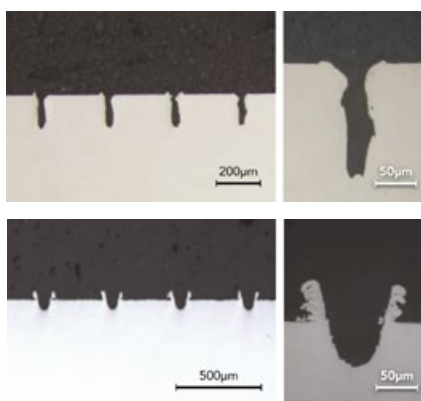
En av de största utmaningarna inom bilindustrin är hur man skall kunna tillverka lättare bilar utan att detta ökar produktkostnaden eller äventyrar prestanda, kvalitet och säkerhet. Då det gäller bilsätenas bärande struktur har lättviktskraven hittills uppfyllts genom att använda tunnare men mer höghållfast stålplåt, men på senare år har även s.k. hybridstrukturer börjat studeras. Dessa kan bestå av blandningar av olika metalliska material, men också lösningar där metaller kombineras med plaster eller plastkompositer.

Konstruktion och tillverkning av dylika hybridstrukturer innebär en mängd olika utmaningar, inte minst då det gäller att sammanfoga artolika material, med tanke på de skilda kemiska, mekaniska och termiska egenskaperna hos materialen. De vanligaste metoder som idag används vid sammanfogningen av hybridstrukturer är limning, mekanisk fogning och ingjutning, eller kombinationer av dessa, vilka samtliga kräver ett flertal sammanställningsoperationer och/eller begränsar designfriheten.

Nu tycks emellertid de industriella

applikationerna öka där lasertekniken används som ett alternativ vid sammanfogningen av plastkompositer och metaller. Metoden eliminerar behovet av limapplicering och ytterligare fästelement, samtidigt som lasertekniken erbjuder en hög flexibilitet i jämförelse med mekaniska fogmetoder och dyra gjutformer. För att analysera möjligheterna med sådan laserbaserad sammanfogning har Faurecia deltagit i ett EU-finansierat projekt kallat PMjoin.

Den beröringsfria laserprocessen kan indelas i två steg. Först skapas en räfflad mikrostruktur på metallytan genom att skanna laserstrålen över ytan och lokalt avlägsna material. Dessa räfflor kan göras så smala att de bara uppgår till några få mikrometer, medan djupet av dem regleras genom det antal repetitioner av skanningen som görs över ytan. **Figur 1**



Figur 1.
Räfflor i en metall skapade med en cw-laser (överst), respektive med en nanosekund-pulsad laser (nedan)

visar två olika geometrier på sagda räfflor: den t.v. tillverkades med hjälp av en cw [continuous wave] SM [single mode] –

laser vilken gav ett oregelbundet tvärsnitt på räfflorna men begränsat med slagg på ytan, medan den t.h. visar räfflor tillverkade med en nanosekund-pulsad laser som uppvisar en regelbunden form på tvärsnittet men med en större tillväxt av slagg.

I processens andra steg placeras plastdetaljen ovanpå den strukturerade metallen och uppvärms därpå till dess smälttemperatur. För en plast som är transparent för laservåglängden kan laserstrålen ansättas från plastsidan och laserenergin strålar då genom plasten till fogytan där energin absorberas i metallen. Metallen värms upp och p.g.a. plastens låga värmeledningsförmåga bildas en s.k. hot-spot som smälter plasten.

För en plast som däremot inte är transparent för laservåglängden, vilket är fallet när det gäller de flesta plaster och plastkompositer som används inom bilindustrin, måste uppvärmningen ske från metallsidan, varpå värmen leds genom metallen till fogytan. När tillräckligt mycket värme skapats där börjar plasten smälta. Vid båda tillvägagångssätten är en god kontroll av värmen väsentlig för att undvika överhettning av plasten, vilket vanligtvis resulterar i porer, eller att plasten börjar brinna. Även om den senare värmeledningslösningen inte är optimal då det gäller energiförbrukning, har den visat sig ge minst lika starka och stabila fogar som då laserstrålen ansätts mot plastmaterialet. I PMjoin-projektet använde vi därför värmeledningsalternativet och en cw direktverkande diodlaser, berättar Geert. Oavsett vilken av de båda metoderna som används är det nödvändigt att skapa ett tillräckligt stort tryck över fogytan för att säkerställa att värmen

överförs till plasten på ett effektivt sätt. Sedan plasten väl nått sin smälttemperatur tvingas den därefter flyta in i den på förhand skapade mikrostrukturen på metallytan, och när avkylning sedan sker sitter plastdetaljen väl förankrad i metallen genom en mekanisk bindning.

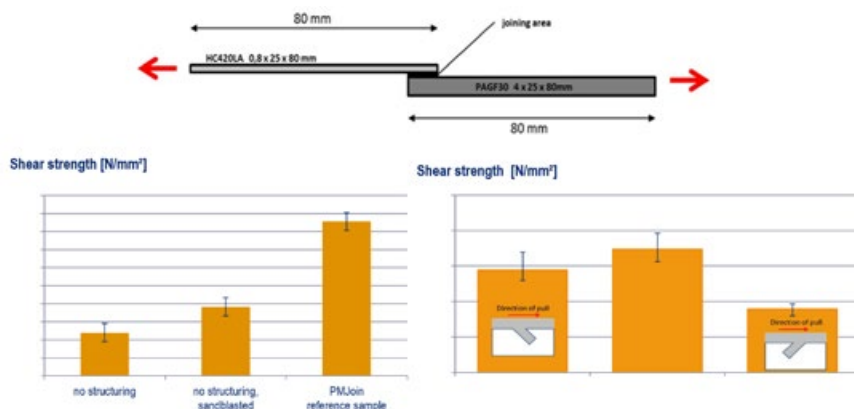
Som en del i det tidigare nämnda PMjoin-projektet konstruerade Faurecia ett koncept för en sätesrygg baserad på en generisk stålstruktur [Fig. 2], där de två höghållfasta stålsidorna ersattes med komponenter tillverkade i glasfiberförstärkt polyamid [PAGF30]. Resten av sätesstrukturen, inklusive övre och nedre tvärbalk och ryggreglage, liksom sittyta och glidskenor behölls intakta i stål.



Figur 2.
En typisk stålstruktur för ett personbilssäte.

I den första delen av undersökningen kartlades hur de olika parametrar som använts vid laserstruktureringen påverkade fogens mekaniska egenskaper. För det ändamålet genomfördes prov baserade på en DOE [Design OF Experiments] –plan där enkla provkupper med olika räffelmönster tillverkades, sammanfogades med polyamiden och därefter hållfasthetsprovades i skjuv-, drag- och fläklbelastning. De parametrar som varierades omfattade antal repetitioner, tätheten/avståndet mellan räfflorna, räfflornas vinkel i förhållande till metallytan, räfflornas orientering vis-a-vis belastningsriktning, typen av laserkälla samt använd lasereffekt. Således kunde vi uppnå en skjuvhållfasthet på 17 N/mm² med ett tämligen enkelt räffelmönster, vilket är mer än det dubbla som erhöles då metallytan blästrades och fyra gånger högre i jämförelse med en helt obehandlad yta [Fig. 3].

Som tidigare nämnts gav de olika laserkällor som vi använde olika geometri hos de skapade räfflorna. Både det oregelbundna tvärsnittsutseende som den slagg



Figur 3.
Resultat från skjuvdragprov av metall/plast-hybridfogar, där inverkan av förbehandling och mönster vid laserstruktureringen av metallytan har en avgörande inverkan på hållfastheten i fogen.

som trängde ut på metallytan bidrog till en bättre förankring av plasten i metallen.

I den andra delen av undersökningen fördes resultaten från den initiala provningen över till konceptlösningen av sätesryggen. Den mekaniska belastningen i varje fogområde, d.v.s. mellan övre och nedre ståltvärbalk och kompositgavlarna, samt mellan dessa och ryggreglaget i stål, fastlades via FE [Finite Element] –analys av en motsvarande representativ stålstruktur. Baserat på värdena från den inledande hållfasthetsprovningen kunde man bestämma den bindningsarea som krävdes för att överföra lasterna i varje fogområde.

Då vi använde kompositgavlar från ett tidigare forskningsprojekt var det nödvändigt att utföra mindre formförändringar så att vi fick tillräckligt stora fogområden för den nya laserbaserade sammansättningstekniken [Fig. 4]. Även några nya



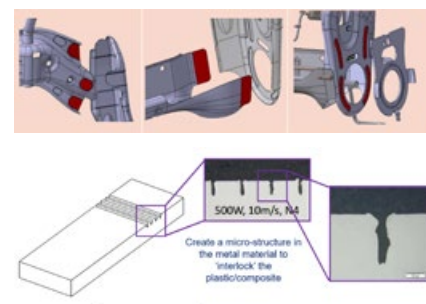
Figur 4.
De med rött markerade områdena på sätets metalldelar strukturerades med 500 W lasereffekt enligt principen nedan t.h. innan dessa fogades till sätesgavlarna i glasfiberförstärkt polyamid.

stålkonsoler togs fram för att sammanbinda den befintliga reglagelösningen med kompositdetaljerna. Dessutom utvecklades och tillverkades anpassade positionerings- och inspänningsfixturer.

En mindre serie av den nya konceptlösningen för sätesryggen tillverkades, med de parametrar som fastlagts under de inledande försöken, vilka sedan provades med kvasi-statisk och dynamisk krockbelastning såväl frontalt som från baksidan.

Båda provmetoderna hjälpte till att förstå deformationsförloppet i strukturen, och där det dynamiska provet visade hur sätesryggen beter sig i en verklig krocksituation. Medan det senare provet bara talar om att hållfasthetskraven uppfylls eller inte, så ger den kvasi-statiska provningen kvantitativa resultat i bemärkelsen att de talar om vid vilka värden för vridmoment och axialkraft som strukturen kollapsar.

Sålunda fallerade hybridlösningen redan vid en bakifrånbelastning som uppgick till 60% av motsvarande värde för den existerande stålstrukturen, medan frontalbelastningen visade på bättre resultat eller 90% jämfört med kollapslasten för en struktur helt i stål. Även om de basala dragproven visade positiva resultat, visade kollapsbeteendet vid provning av den kompletta sätesstrukturen att denna var alltför styv. P.g.a. en begränsad budget



hade vi tvingats använda befintliga stål- och kompositkomponenter, där endast de senare kunde göras om med mindre modifieringar för att passa den nya laserprocessen. Därför återstår det för oss att undersöka potentialen i en mer avancerad design där både stål- och kompositdetaljerna omkonstrueras för att maximera deras bidrag till den kompletta sätesryggens strukturella prestanda. Oavsett detta visade sig hybridkonceptet uppfylla de

dynamiska krockkraven.

Konceptet visar på ett tydligt sätt potentialen i att använda en laser för att foga plaster till metaller som ett alternativ till limning, mekanisk fogning eller ingjutning. Redan nu, baserat på hittills uppnådda resultat, kan tekniken användas vid sammanfogning av mindre belastade, s.k. semi-strukturella, komponenter.

Däremot återstår fortfarande en del utvecklingsarbete innan tekniken kan införas i serieproduktion av strukturella hybridlösningar. Detta kräver fortsatta studier kring den geometriska utformningen av strukturen för att kunna dra nytta av såväl de olika materialens som fogningsmetodens påverkan på hybridstrukturens mekaniska hållfasthet. Dess-

utom måste långtidsegenskaper analyseras där hybridvarianter av sätesstrukturen utsätts för varierande luftfuktighet och temperatur för att kartlägga materialens degradering över tiden samt inverkan av deras olika termiska utvidgningskoefficienter. ■

Fråga laserdoktorn

Fråga

Hur kommer det sig att man en glaslins inte fungerar vid skärning med CO₂-laser, den används ju för skärning med fiberlaser?

Svar

Anledningen till att man använder olika linsmaterial för olika lasertyper är att man vill undvika absorption av laserljuset i själva linsen. Absorption av energin hos laserljuset gör att linsen värms upp och deformeras vilket medför att man riskerar att fokuspunkten ändras med tiden. En följd av detta är att man tappar skärhastighet och snittkvalitet. I värsta fall kan linsen förstöras helt.

Absorptionen påverkas av ljusets våglängd och vilket material man väljer i linsen. Om man använder en glaslins i en CO₂-laser absorberas ljuset i linsen som i sin tur riskerar att förstöras. Glas är inte transparent för ljus med våglängden 10,6 µm som ju är karakteristisk för CO₂-laserljus. I detta fall använder man som jag nämnt i ett tidigare inlägg ett pressat salt, zinkselenid (**bild 1**) eller möjligen gal-

liumarsenid, och får på så sätt ett material som är transparent för laserljuset (**Bild 2**).

Fiber-/disklasern avger ett ljus med en våglängd runt 1 µm vilket gör att glas kan användas (**Bild 3**). Materialet liknar det glas som används i kameraoptik (kvalitet BK7 eller kvartsglas FS). Linsen är transparent för laserljuset (**Bild 4**), vilket också gör att själva materialkostnaden för linsen blir lägre.

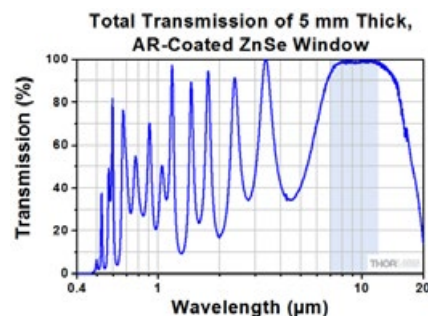


Bild 2.
Transparens hos zinkselenid vid olika våglängder.

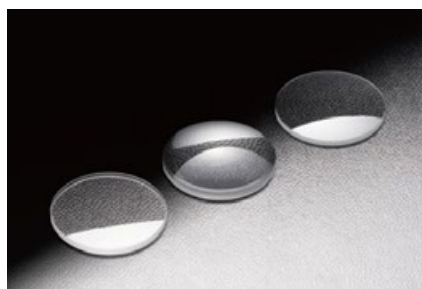


Bild 3.
Glaslinser till fiberlaser.

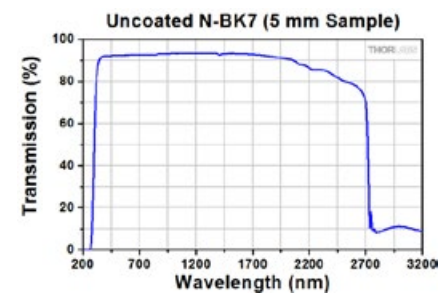


Bild 4.
Transparens hos BK7-glas vid olika våglängder.



Bild 1.
Linser till CO₂-laser tillverkade i zinkselenid.

MOUNTPAC I HILLERSTORP INVESTERAR I KOMBILASER

På Mountpac vet man att kedjans styrka bestäms av hur stark den svagaste länken är ...

Har du behov av en obehandlad plåtbit, en komplett produkt eller någonting däremellan? Mountpac har en lång historia inom komponentinköp, ytbehandling, montering samt packning. Sedan ett antal år tillbaka har man även satsat på egen plåtbearbetning i sina lokaler i Hillerstorp. Med den senaste investeringen står man nu starkare än någonsin för att kunna täcka kundens behov.

Samuel Wärnelöv, en av tre delägare i Mountpac, säger så här om investeringen;

- Investeringen är en del av Mountpacs framtidsplaner vilken tillför ny teknik och möjligheter i huset. Företa-

get har de senaste åren haft en positiv tillväxt vilket gör att vi hela tiden ser ett behov av investeringar i nya maskiner samt att anställa mer personal. Vi ser ljus på framtiden och kan i och med denna investering serva såväl befintliga som nya kunder på ett bättre sätt. En kombilaser innanför väggarna gör Mountpac till en ännu mer komplett leverantör.

Combi Genius 1530 från Prima Power – en servoelektrisk kombilaser med fiber

Combi Genius kombinerar stanslasermaskinens fördelar där man kan stansa, laserskära, forma, gänga samt utföra mindre bocktempo med fiberlaserns energieffektivitet och låga underhållskostnader. Den levereras med

Tulus användargränssnitt med effektiv verktygshantering och överblick på sortering, stans och laserprocess. Maskinen hanterar plåtformat upp till 1500x3000 mm.

På Mountpac hittar vi flera olika maskiner som säljs av Din Maskin. Bland annat fyra stycken SafanDarley servoelektriska kantpressar samt två stansmaskiner, E6 Compact Express samt E5 från Prima Power.

För ytterligare information om kombilaser, kontakta en säljare på Din Maskin 0370-693400 eller besök www.dinmaskin.se.

www.mountpac.se



Bildtext: Andreas Wärnelöv, en av tre delägare, vid den nya kombilasern från Prima Power och Din Maskin.

WEXIÖDISK INVESTERAR I KOMBILASER MED FIBER FRÅN PRIMAPOWER OCH DIN MASKIN

Din Maskin ser fram emot att installera den servoelektriska stans- laser-kombin med fiber, Combi Genius 1530 från Prima Power, hos Wexiödisk. Med en Combi Genius får man både stans- lasermaskinens fördelar (stans, laserskärning, formning, gängning samt mindre bocktempo) och energieffektivitet samt låga underhållskostnader tack vare fibern. Maskinen levereras med Tulus användargränssnitt med effektiv verktygshantering och överblick på sortering, stans och laserprocess och hanterar plåtformat upp till 3000x1500mm.

Wexiödisk är en ledande producent av diskmaskiner för storkök och deras storsäljare är huvudmaskinerna som närmar sig 4 000 exemplar om året varav många levereras till restauranger. Klassiska WD-6:an med huv, som hängt med sedan företagets start 1972, passerade nyligen 50 000 stycken! En stark tillväxt och ökad efterfrågan har nu lett till att Wexiödisk behöver investera igen.

Magnus Titusson, VD på Wexiödisk, berättar;

- Nu under vintern har vi flyttat en del av monteringen till en tusen kvadratmeter stor lokal. Samtidigt ska ytterligare en maskin som skär och stansar ut plåt detaljer till diskmaskinerna få plats i de befintliga lokalerna. Det är en kombilaser med fiber från Prima Power och Din Maskin. En investering på närmare 15 miljoner kronor. Det här är drivet av att vi har ökat vår volym. På tre år har vi ökat med ungefär 30 procent. Det är upp på varenda maskinserie, avslutar Magnus Titusson.

Sedan tidigare har Din Maskin fått leverera en Prima Power Laser Brilliance, stans- lasermaskin samt en robotiserad kantpresscell från Starmatik och Safan-Darley.

För ytterligare information om kombilaser kontakta en säljare på Din Maskin, eller gå in på dinmaskin.se www.wexiodisk.com



Bildtext: Kombinerad stans- laser, Combi Genius från Prima Power

Stort intresse för labbtester inom laserbearbetning

Björn Lekander,
Permanova Lasersystem AB



Många företag ser att man kan höja värdet på sina produkter och bli mer unika genom att införa laserbearbetning. Innan man tar ett investeringsbeslut vill man vara säker på att produktionen ska fungera och vill ta fram processparametrar så att man kan köra igång direkt efter installation.

Om man gör sin första investering i laserbearbetning kan man behöva ta fram prototyper för att se hur produkten kommer se ut efter införande av laser och det är också vanligt att man utvärderar olika konstruktionsförslag i en förstudie innan produktbeslut tas. Resultaten från labbttest används också ofta för att verifiera att det business case som man tagit fram håller.

Mindre företag har inte möjlighet att ha egna utvecklingslab för laserbearbetning men det är också vanligare idag att även stora företag lägger ut den typen av applikationstestning i utvecklingsfasen till någon som är specialist på laserbearbetning.

Allt detta görs bäst i ett applikationslabb med erfaren personal som kan hjälpa till att korta tiden till införande och minska risken för produktionsstörningar när man kör igång skarp produktion. Permanova Lasersystem som är den enda aktören i Sverige med ett större applikationslabb ser en tydlig ökning av intresset för den typen av tester de senaste åren.

Applikationslabb

Ett laser-/robotlabb behöver vara välutrustat och flexibelt uppbyggt för att kunna köra många olika processer. Den viktigaste

framgångsfaktorn är att alltid ha mycket erfaren personal på plats som hjälper kunderna att lyckas med sina försök.

Typiska tjänster som Permanova ser att kunderna vill genomföra är:

Innan beslut om investering

- Förstudier: testa process och ta fram processparametrar innan ett investeringsbeslut, dels för att minimera risk dels för att kunna förkorta tiden för införande när installation och igångkörning ska ske av produktionscell.
- Prototypstillverkning: ta fram prototyper exvis för interna tester eller för att kunna erbjuda och testa hos slutkund innan egen laserproduktionsutrustning finns på plats
- Marknadstester: producera en begränsad volym för att göra marknadstest innan beslut om investering i laserutrustning

Efter investeringsbeslut men innan inköpt utrustning är installerad

- Begränsad serietillverkning: producera mindre volymer för att kunna erbjuda kunder produkter innan egen produktionsutrustning är installerad och driftsatt

Utrustning installerad och i produktion

- Produkt-/processutveckling: tester av nya produkter, processer och material
- Parameterframtagning: Vid införande av ny produkt kan framtagning/optimering av processparametrar göras i labbmiljö för att inte störa serieproduktion

Idag är det flera olika processer som kunderna är intresserade av att testa:

- Lasersvetsning utan tråd samt med eller utan fogföljning
- Lasersvetsning med tråd
- Skannersvetsning
- Additiv tillverkning med tråd (LMD - Laser Metal Deposition)
- Laserhårdning
- Laserhybridsvetsning
- Laserlödning
- Laserskärning

Vid många kundförsök krävs också materialanalys av varierande omfattning beroende på behov.

Permanovas applikationslabb är bland annat utrustat med

- Laser 10 kW
- 2 robotar
- Fronius MIG/MAG svetsaggregat
- Positionerare: upp till 2 ton
- Demmelerbord med flexibel fixturering
- Induktionsvärmare
- Pyrometer

Ett test i applikationslabb tar normalt 3-5 dagar och då hinner man ofta utvärdera ett antal olika kombinationer av material (typ och tjocklek) samt ta fram processparametrar. Strävan är alltid att kundföretaget är med för att försöken ska vara så effektiva som möjligt samt att kunden då också får en första känsla för och utbildning vad gäller laserbearbetning. ■

Additive Manufacturing: by TRUMPF

LMD: Laser Metal Deposition &

LMF: Laser Metal Fusion: only by TRUMPF

svenssonmalm.se



Laser Metal Deposition

TruLaser Cell 3000

Laser Metal Fusion

TruPrint 1000



Vi förser tillverkande industri med
nyckelfärdiga robotceller för lasersvetsning

PERMAFLEX
samlad kunskap i en robotcell



Kvalitet. Produktivitet. Lönsamhet.
www.permanova.se

www.se.trumpf.com
info@se.trumpf.com

