



LASERPÅSVETSNING MED NI/ WC PULVER PÅ BROMSSKIVOR



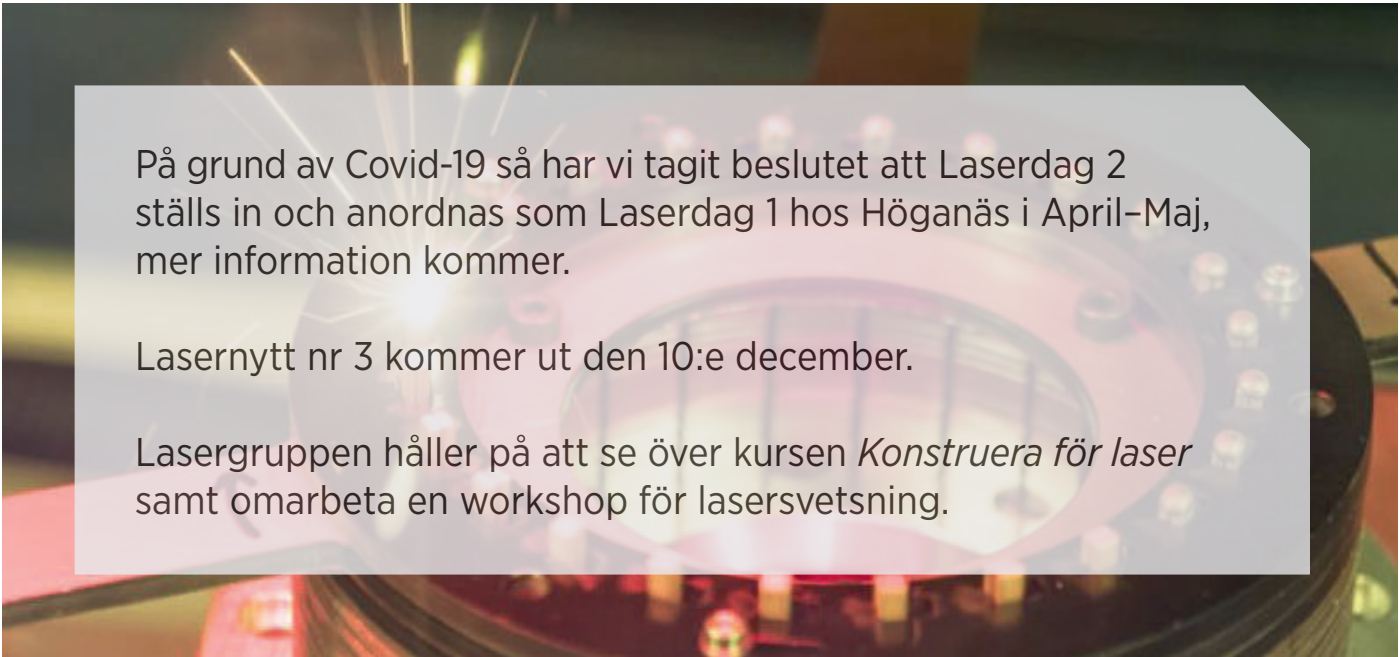
Nya laserdoktorer vid LTU



Rapport från 21st European
Automotive Laser Applications



Lasers in Action



På grund av Covid-19 så har vi tagit beslutet att Laserdag 2 ställs in och anordnas som Laserdag 1 hos Höganäs i April-Maj, mer information kommer.

Lasernytt nr 3 kommer ut den 10:e december.

Lasergruppen håller på att se över kursen *Konstruera för laser* samt omarbета en workshop för lasersvetsning.

EWF – SPECIALKURS

LASERSVETSNING / LASERHYBRIDSVETSNING

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

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

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

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

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

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

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

Lasernytt utkommer med 3 nummer/år och ges ut av

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

Redaktör

Peter Norman

Redaktionellt arbete och kansli

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

Ansvarig utgivare

Per Westerhult

Lasernytt på Internet

www.lasergruppen.eu

Omslagsbild

Mingel under LaserDagen hos
Permanova Lasersystem AB

Produktion: BrandFactory

Tryck: BrandFactory, Stockholm
www.brandfactory.se



INNEHÅLL

PLASMA VID LASERBEARBETNING OCH ADDITIV TILLVERKNING	2
– En genomgång av processgasens inverkan	
LAWA –	4
– Produktionsvänliga lösningar för lasersvetsning av aluminium	
ICALEO I NYTT FORMAT	5
Om den 38:e ICALEO-konferensen i Orlando, Florida	
TVÅ NYA LASERDOKTORER VID LTU	6
LASERPÅSVETSNING MED NI/WC PULVER PÅ BROMSSKIVOR	7
– friktion, nötning och partikelemission	
FRÅGA LASERDOKTORN	10
IIW ANNUAL ASSEMBLY 2020	11
– ett speciellt möte	
OPTIKLÖSNINGAR OCH KVALITETSKONTROLL VAR NÅGRA AV ÄMNENA PÅ EALA2020:S AGENDA	14
Rapport från 21st European Automotive Laser Applications, 11-12 februari i Bad Nauheim, Frankfurt a.M.	
LASERS IN ACTION	24
Intressanta "Laser Webinars" lanserades under Corona-krisen	
INDUSTRIELLA LASRAR OCH LASERSYSTEM I JAPAN	33
– ett land där arbetskraften minskar för varje år	
LASERSVETSNING MED EN JOYSTICK	36
Vi besöker ett företag som lasersvetsar utan att använda robot	
MINNESORD FÖR HANS ENGSTRÖM	40

Tankar från styrelsen



TANKAR FRÅN STYRELSEN

DR CONNY LAMPA HÖGANÄS AB

För snart ett halvår sedan nåddes jag av det chockartade beskedet att en god vän och före detta kollega, Hans Engström, hastigt och alldeles för tidigt gått bort. Hans var en av pionjärerna i Sverige inom laserbearbetning och var efter omkring 40 år i branschen ett välkänt och aktat namn.

Mellan december 1992 tom januari 1998 var vi kollegor vid Högskolan i Luleå, sedermera Luleå tekniska universitet. Hans var den som lyckades hålla ordning och reda på avdelningens doktorander och forskare, vilket inte alltid kan ha varit så lätt. Han gjorde alltid det med ett stort lugn och ett otroligt stort tålamod. Förutom för den rent tekniska kompetensen inom laserområdet är det just för lugnet, tålamodet och inte minst Hans empatiska förmåga som jag och många andra kommer att minnas vår vän. Vila i Frid Hans.

Resten av året har till stor del präglats av Covid-19 och virusets påverkan på både stort och smått. Höganäs AB skulle i april stått som arrangör till Laserdag 1 vilket på grund av Covid-19 ställdes in och nytt datum blev satt till oktober. Även om vi och vår omvärld sakta håller på att öppnas upp igen är det i skrivandets stund dock högst osäkert om laserdagen kommer att kunna genomföras på Höganäs AB överhuvudtaget detta år. När detta publiceras vet vi svaret.

För ett år sedan var viruset Covid-19 helt okänt. Människor reste jord och rike runt som aldrig förr och alla kurvor pekade uppåt. Idag finns det knappast någon människa på jordklotet som inte drabbats av viruset, antingen direkt och/eller av dess samhällseffekter. Resandet och det sammankomster mellan människor har i princip helt kollapsat. Många branscher har upplevt dystopiska effekter där framgångsrika företag på bara ett par månader blivit konkursmässiga. Trots alla medicinska och teknologiska landvinningar som gjorts under de senaste 100 åren, så har vi under 2020 blivit brutalt påmind om vår mänsklighets sårbarhet.

Covid-19 har inte bara haft negativa konsekvenser. De positiva effekterna ses framförallt på vår miljö där många platser på vår jord fått renare luft och vatten på grund av att industrin gått på sparlåga och resandet nästan upphört. Åtgärder som vi tidigare trodde var omöjliga att genomföra har bevisligen genomförts. Förhoppningsvis har vi det dystopiska tillståndet till trots, ur denna kris lärt oss något som för mänskligheten framåt.

Conny Lampa
conny.lampa@hoganäs.com

Plasma vid laserbearbetning och additiv tillverkning

– En genomgång av processgasens inverkan

Bo Williamsson,
Application Manager – Laser and AM,
Region Europe North, Linde Gas AB

Dr. Bartek Kaplan,
Application Engineer – Powder and AM,
Region Europe North, Linde Gas AB

Inledning

Ett plasma kan enkelt beskrivas som materiens fjärde aggregationstillstånd och består till stor del av joniserad gas. Bildandet av plasma vid laserbearbetning med högeffektlasrar är ett välkänt fenomen, framför allt vid lasersvetsning. Ett visst mått av plasma underlättar energiöverföringen mellan laserstrålen och arbetsstycket men vid överdriven mängd plasma kan laserstrålen absorberas i plasmamolnet och hindras från att upprätthålla svets- eller skärprocessen, se Figur 1.

I samband med fiberlaserns genombrott har fenomenet minskat i betydelse eftersom den kortare våglängden ger minskad jonisation av den använda processgasen. Däremot påverkas fortfarande metallångan som bildas vid processen (se avsnittet om L-PBF). Ett annat användningsområde för fiberlasrar är som energikälla vid pulverbaserad 3d-printning. I denna artikel beskrivs fenomenet och i vilken mån den påverkar respektive process.

Plasma vid laserbearbetning

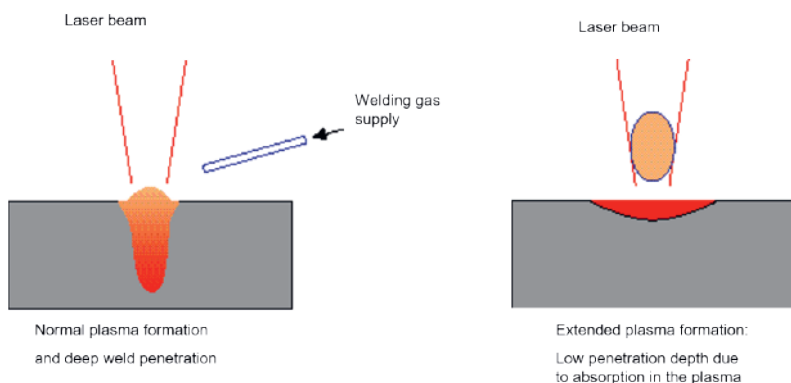
Laserinducerat plasma skapas vid interaktion mellan energirikt laserljus och någon typ av materia, i laserbearbetnings-sammanhang vanligen processgas och metallånga. Ett plasma består av joniserad gas och fria elektroner. Bildandet sker via energitillförsel till en nivå där jonisationsprocessen startar. Ju högre energitillförsel desto högre grad av jonisation, och därmed ökad elektrisk ledningsförmåga.

Faktorer som påverkar bildandet av plasma är också mediets jonisationsenergi, molekylvikt och våglängden hos laserstrålen. Kortare våglängd, högre jonisationsenergi och låg densitet hos processgasen motverkar bildande av en överdriven mängd plasma. Arrangemanget av processgastillförseln spelar också en viktig roll. Ju kortare tid laserstrålen har att interagera med gasen, desto mindre plasma. Som exempel kan nämnas att gastillförsel från sidan, som oftast är fallet även vid additiv tillverkning av metall ba-

serad på pulverbäddsteknik, är att föredra i jämförelse med ett koaxiellt gasflöde vid lasersvetsning.

Ett sätt att kontrollera bildandet av plasma vid svetsning med CO₂-laser är att blanda in en lämplig volym gas med högre jonisationsenergi i den ursprungliga processgasen. Som exempel kan nämnas att mängden plasma minskar i omfattning då helium blandas in i argon. I fiberlasarfallet är argon i många fall att betrakta som standardgas vid lasersvetsning. En tumregel är att använda ett större mått av helium i argon ju högre lasereffekt som används; vid lasereffekter överstigande 6-8 kW används ofta ren helium som processgas. Detta gäller dock för svetsning med CO₂-laser, vid användning av fiberlaser minskar som sagt mängden plasma som bildas, vilket medför att ren argon kan användas i de allra flesta fall.

Något som är mindre känt är att det bildas plasma även vid laserskärning. I små mängder gynnar det även här energiöverföringen till materialet. Precis som i lasersvetsfallet minskar mängden gasplasma avsevärt vid en jämförelse mellan CO₂-lasern och fiberlasern. Skärhastigheterna är i båda fallen i regel så höga att plasma sällan utgör ett problem. Vid skärning med CO₂-laser i tjockt rostfritt material med nitrogen utnyttjar man plasmat genom att kombinera hög lasereffekt med extremt hög energidensitet i fokuspunkten. Det plasma som då bildas ökar verkningsgraden hos skärprocessen. Detta sätt att öka kapaciteten vid skärningen kallas ofta för plasmainducerad laserskärning, det skall dock sägas att den ökade kapaciteten till viss del nås på bekostnad av snittkvaliteten. Vid fiberlaserskärning



Figur 1.
Plasmabildning vid lasersvetsning. Bildkälla Linde Gas AB

kan inte plasmat utnyttjas i samma utsträckning, här utnyttjar man istället den ökade absorptionen i materialet i kombination med den höga energitätheten i fokalpunkten till att öka kapaciteten.

För att återkoppla till den andra delen av denna artikels titel kan nämnas att intåget av additiva tillverkningsprocesser knappast har undgått någon inom tillverkande industri. En del av framgången byggs på utvecklingen av pulverbäddsteknik, den idag i särklass mest populära additiva tillverkningstekniken. Lasertekniken har i sin tur varit helt central för pulverbäddsmaskinernas framgång, och då särskilt fiberlasern och till viss del diodlasern. Även om andra konsolideringstekniker för pulverbädd av metall finns inom det additiva området, så som elektronstrålesmältning eller bindemedelsprintning med efterföljande sintring, är laserns dominans i antal sålda maskiner i det närmaste total och har varit så de senaste åren.

Detta starka fokus på lasertekniken i den additiva sfären har skapat en fördelaktig miljö på forskningsfronten, där flertalet högskolor, institut och företag har undersökt, vridit och vänt på laserpulverbäddprocessen (på engelska känt som Laser-Powder Bed Fusion, eller L-PBF) i syfte att öka kvaliteten på sina printade komponenter med avseende på materialets yta och inre egenskaper.

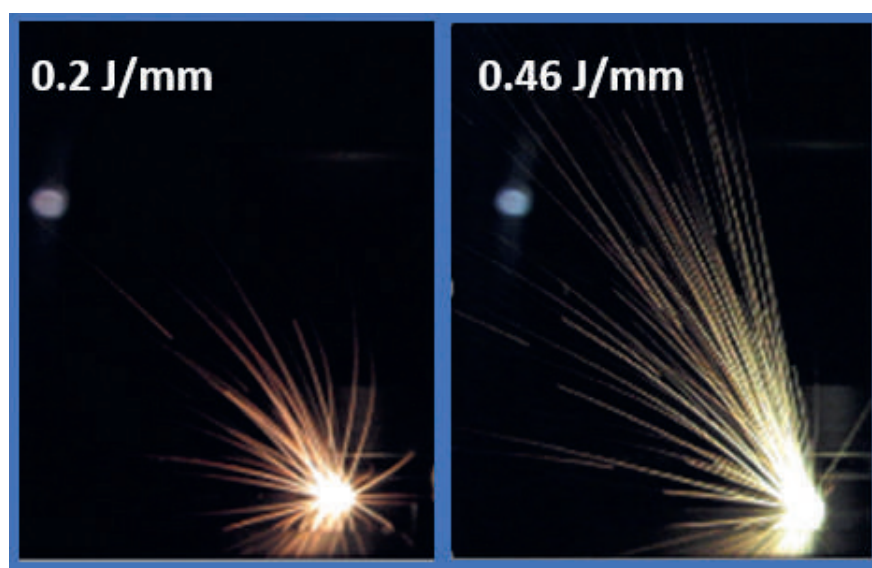
Trots de starka kopplingarna till det numera väl kända och utforskade området lasersvetsning har man dock ännu inte landat i konsensus i frågan om plasmats

vara eller icke vara. Det som är intressant i sammanhanget är att man kan uppleva liknande fördelar av heliumtillsatser i L-PBF som redan omnämnts i samband med lasersvetsning, laserns våglängd till trots. Fördelarna inkluderar en stark reduktion av den glödande plymen med tillhörande stänk av glödande pulverpartiklar som uppstår då lasern kommer i kontakt med pulverbädden och processgasen i fokalpunkten (tänk tomtebluss). Den inkommande energin per längd, area eller volymenhet är helt avgörande för plymens utseende, se Figur 2, atmosfärens inverkan på densamma är då en viktig parameter att ta hänsyn till.

Man har i den vetenskapliga litteraturen försökt undersöka och beskriva vad denna plym består av och vad som står klart är att det inte på ett dominerande sätt rör sig om ett plasma där processgasen är en av huvudkomponenterna. Däremot har det teoretiserats kring huruvida förångning av metallen som pulvret består av kan ske lokalt ovanför smältan som lasern bildar, och att det i så fall är denna ånga som kan bilda ett plasma. Detta kan i dag anses vara den gängse synen, stöttat av fysikens lagar, och man kan då tillskriva processgasens inverkan till de andra egenskaperna som helium har relativt argon, exempelvis den mycket höga värmeledningsförmågan eller de signifikant skilda flödesegenskaperna (helium är en mycket lätt och flyktig atom). Den exakta mekanismen är dock fortfarande okänd.

Parallellt med praktiska försök i labb-

eller produktionsmiljö utförs arbeten med syfte att kunna simulera de olika skedena i den additiva tillverkningsprocessen. Värt att nämna i sammanhanget är då att det första arbetet av denna typ som inkluderat plymen behandlade plasmadelen som om den bestod av både argon och metalliska joner. Med andra ord är sista ordet med största sannolikhet ännu inte sagt i frågan om bildandet av plasma och omgivningens inverkan. Fortsättning följer. ■



Figur 2. Jämförelse mellan hög och låg linjär energi (J/mm) vid L-PBF additiv tillverkning av Inconel-material i argon-atmosfär. Både den glödande delen av plymen och omfattningen av gnistbildningen är klart större ju mer energi materialet kommer i kontakt med. Även en lätt färgskiftning mot vitare toner kan ses vid högre energi. Bildkälla: Hochtemperaturanwendungen 2.0 - Public founded project by the state of Berlin/Germany and its member out of industry Siemens Gas and Power GmbH & Co. KG

LAWA

– Produktionsvänliga lösningar för lasersvetsning av aluminium

Peter Norman,
Svetskommissionen

En del aluminiumlegeringar har ökad känslighet för varmsprickor vid svetsning. Projektet LAWA vill öka förståelsen, om och på vilket sätt, olika svetsparametrar och även oscillerande laserstråle kan minska risken för varmsprickor vid lasersvetsning av aluminiumlegeringar i 6xxx-serien.

Lasersvetsning är idag en väletablerad process i många branscher och är, tack vare hög svetshastighet, produktivitet, kvalitet och flexibilitet, förstahandsvalet i högvolymtillverkning jämfört med andra sammanfogningsprocesser (t.ex. TIG-svetsning (TIG), Metal Inert Gas svetsning (MIG), motståndssvetsning (RSW), friktionssvetsning, eller mekaniska fogningsprocesser såsom nitning (SPR) eller limning).

Det finns däremot en del svårigheter att överkomma vid lasersvetsning i aluminium: förhållandevis svårt och associerat med hög risk för svetsdefekter, såsom nyckelhålsinstabilitet, deformationer, porbildning, sprickbildning (se figur 1) i smältzonen och i den delvis smälta zonen, som också är mycket svåra att upptäcka. Dessutom kan förändringar i mikrostrukturen leda till låg styrka. Framförallt sprickbildning och deformationer anses utgöra största hindret för lasersvetsning av aluminiumlegeringar.

Typiska åtgärder (state-of-the-art) som finns i litteraturen för att minimera dessa problem kan sammanfattas:

- Adderande av lämpligt tillsatsmaterial, såsom Al-Si för aluminium 6xxx.
- Användning av laserhybridprocesser och tillsatsmaterial
- Användande av s.k. "fusion"-material (sandwich) som är speciellt designat för svetsning utan tillsatsmaterial, dock kostsamt.
- Minska risken för stelningsprickbildning i delvis smälta zonen genom användandet av "grain refiners" så som Ti.
- Avancerad förbehandling (oxidborttagning, rengöring och skyddsgas).
- "Dual beam"-tekniker.

Utifrån Stat-of-art och satta begränsningar så har projektets syfte varit att visa huruvida olika inställningar av svetsparametrar (som lasereffekt, svetshastighet, mm.) och möjligheter med nya avancerade optiker för lasersvetsning kan minska risken för varmsprickor vid lasersvetsning av aluminium (6xxx-legeringar).

Metoder har varit:

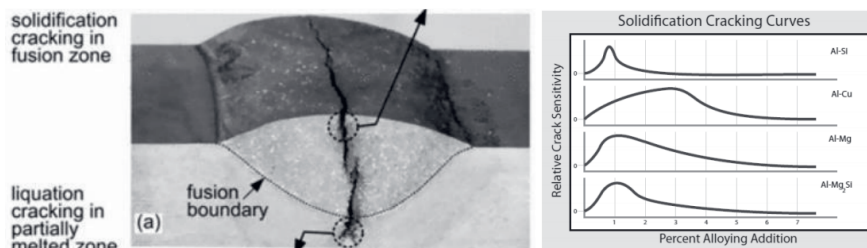
- Utveckla en simuleringsmodell för sprickbildning
- Provocerande spricktest vid lasersvets-

ning (Varestraint och modifierad SEP 1220-3 test)

- Tester med avancerad laseroptik (oscillerande laserstråle)
- Använda utvecklad deformations test och simulering för stål med hatt-profil (anpassad till aluminium)

Efter utfört arbete i projektetgruppen som bestått av deltagare från GKN Aerospace, Gestamp HardTech, Permanova, Volvo Cars, Hydro Extruded Solutions, Linde, Högskolan Väst och Swerim så framkom följande slutsatser:

- Inställningar av svetsparametrar, speciellt med oscillerande laserstråle, påverkar möjligheten att minska risken för varmsprickor vid lasersvetsning av aluminium (6xxxlegeringar)
- Design of experiments är en intressant teknik för att optimera parametrar och hitta robusta inställningar
- Optik för att förändra laserstrålens rörelse eller antal spottar verkar kunna ge stora fördelar både i form av mindre svetsdefekter men även bättre svetsutseende. ■



Figur 1.
Varmsprickning i smältzonen och stelningsprickning i den delvis smälta zonen (Kou et al).
Känslighet för stelningsprickor för olika aluminium legeringar (Maxal Guide)

ICALEO i nytt format

Om den 38:e ICALEO-konferensen i Orlando, Florida

”The 38th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics”

Alexander Kaplan och
Jesper Sundqvist,
Luleå tekniska universitet



Den stora årliga amerikanska konferensen om laserbearbetning, ICALEO, har förnyats efter att nya organisatörer tagit över, som följd av att Peter Baker, VD hos organisatören Laser Institute of America, gått i pension efter många år. Den tidigare tematiska uppdelningen i makrobearbetning (den här gången 17 sessioner), mikrobearbetning (14) och nanobearbetning (9) utökades med två nya teman: additiv tillverkning (AM) (16 sessioner) och ”Battery systems and energy conversion” med bara två sessioner men kan tänkas växa i framtiden. Sedan tydliggjorde organisatörerna de viktigaste industriella branscherna genom en tvärstruktur (Business conference) indelad i aerospace, medical devices, biotech och microelectronics. Utöver de många publicerade presentationerna och 25 posters fanns det ett antal ytterligare nätverks- och kunskapsaktiviteter.

Som man ser redan i strukturen speglas det starkt växande industriella och akademiska intresset för additiv tillverkning i många bidrag, särskilt för AM av metall.

Intressanta föredrag som sticker ut är till exempel AM av tribologiska självsmörjande ytor. Laserspåsvetsning demonstrerades med en 50 kW laserstråle. Sedan visades att strålprofilen hos en flexibel ring-mode laserstråle kan justeras enligt behov, t ex för laserspåsvetsning. På Osaka universitet i Japan satsas mycket på blå diodlaserstrålning för laserspåsvetsning av koppar. Stuttgart universitet, Tyskland, undersökte laserskärning med höghastighetsröntgenfilmning. I mikro- och nanobearbetning studerades många laser-kortpulsapplikationer och olika varianter av yttexturering (surface patterning) men även 3D-strukturering, mestadels för icke-metalliska material, t ex glas.

Konferensen 2019 genomfördes förresten som oftast i Orlando, Florida, där organisatören LIA har sitt huvudkontor. Däremot hålls 2020 konferensen inte i Chicago men virtuellt, per distans, på Corona-spöket. ■

Två nya laserdoktorer vid LTU

Jesper Sundqvist,
Luleå tekniska universitet

LTU har producerat två nya doktorer inom laserbearbetning. Rickard Olsson, försvarade sin avhandling "Analysis and Monitoring of Laser Welding and Surface Texturing". Opponent var Professor Michael Zäh, Technische Universität Munich, Germany.

Avhandlingen behandlar avancerad on-line monitorering av lasersvetsning via till exempel fotodioder och höghastighetsfilmning. Olika signalbehandlingsmetoder har sedan applicerats på datan för att undersöka processtörningar. Vidare behandlar avhandlingen lasertexturering av titanytor för medicinska implantat så att de lättare förbinder sig med levande ben, så kallad osseointegration. Här har fokus legat på en speciell typ av yta för tandimplantat, BioHelix™. Vissa typer av ytojämnheter som är svårt att skapa med annat än laser har visat sig fördelaktigt. Rickard är till vardags CTO på Laser Nova AB i Östersund och är den första industridoktoranden som disputerar inom laserbearbetning på LTU.

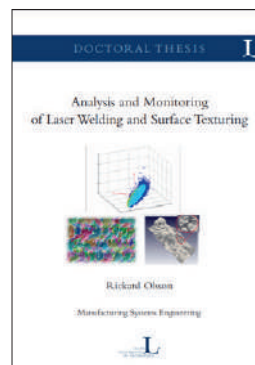
Nästa nya doktor är Jonas Näsström som försvarade sin avhandling "Phenomena

in wire based multi-layer laser welding and hybrid deposition". Opponent var Professor Sven Bengtsson, Chalmers tekniska högskola och Höganäs AB.

Jonas avhandling fokuserar på Narrow Gap Multi-Layer Welding (NGMLW) och hybridpåsvetsning. NGMLW där man sammanfogar material genom att bygga upp flera svetssskikt i en smal fog. Processen blir väldigt lik additiv tillverkning men man har grundmaterialets väggar som stöd. Med denna metod blir det möjligt att foga samman väldigt tjocka plåtar.

Jonas studerade även trådbaserad additiv tillverkning där ljusbågssvetsning kompletterades med en laserstråle. Genom höghastighetsfilmning gick det att se att fluktuationer i smältan kunde minskas med 35 % och ojämnheter på ytan minskade med mer än 50 %. Jonas jobbar nu på företaget Ditwin AB som Produktions och CAM-specialist och erbjuder bland annat verktyg för avancerad NC- och robotprogrammering samt rådgivning inom additiv tillverkning.

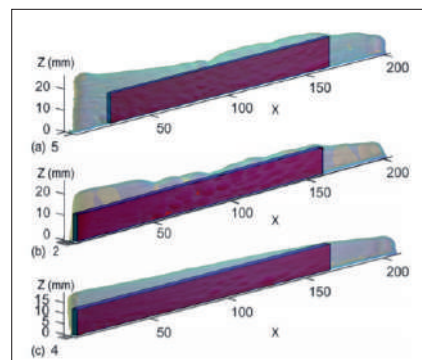
Båda avhandlingarna går att finna på LTUs hemsida. ■



Rickards avhandling



Jonas med sin avhandling efter den lyckade disputationen



3D-scannade bilder över additiv tillverkade väggar där det lila området visar det största kuboida området som blir kvar efter bearbetning vilket ger en bra bild över metodens effektivitet. a) endast bågsvetsning b) bågsvetsning plus ledande laser c) bågsvetsning plus följande laser. Det visades att bågsvetsning plus följande laser gav 56 % större volym än endast bågsvetsning



Rickard tar emot sitt diplom som visar att han nu är doktor

Laserpåsvetsning med Ni/WC pulver på bromsskivor

– friktion, nötning och partikelemission.

Dr Conny Lampa, Höganäs AB
conny.lampa@hoganas.com



Laserbeläggning av bromsskiva. Foto: Fraunhofer ILT, Aachen, Tyskland/Volker Lannert

Denna artikel är en fri översättning och sammanfattning av artikeln "Grey Cast Iron Brake Discs Laser Cladded with Nickel-Tungsten Carbide - Friction, Wear and Airborne Wear Particle Emission" publicerad i tidskriften Atmosphere 11(6) 2020.

Halten av luftburna partiklar vid nötning av gjutjärnsbromsskivor har studerats genom pin-on-disc tester och partikelanalysutrustning. Stiften är tillverkade av kommersiella bromsbelägg och diskarna är tillverkade av gjutjärnsbromsskivor samt laserbelagda gjutjärnsbromsskivor. Laserbeläggningen är gjord med

ett Nickelbaserat pulver innehållande 60% sfärodiserade wolframkarbider.

Nötningstester är utförda med kontakttryck på 0,6 MPa, hastighet 2 m/s under 14 400 m. Resultaten visar en klar förbättring av både nötningsegenskaper och klart mindre partikelutsläpp vid nötning av de belagda bromsskivorna jämfört med nötning av standardskivor. Halten luftburna partiklar minskade dessutom med 30% från ca 100/cm³ till ca 70/cm³ och andelen partiklar mindre än 7 µm halverades.

Inledning

God prestanda till lågt pris har gjort att bromsskivor tillverkade i gjutjärn sedan länge varit standard i fordonsindustrin. Nackdelen har främst varit gjutjärnets dåliga korrosionsegenskaper vilket påverkar både skivans livslängd samt prestanda. Under senare år har även bromsskivornas miljöpåverkan fått en allt större betydelse då man upptäckt att luftburna och potentiellt hälsovådliga partiklar genereras när fordonen använder sina bromsar. Partiklar mindre än $2,5\text{ }\mu\text{m}$ är de mest hälsofarliga då de mycket lätt tar sig genom andningsorganen in i kroppen. Undersökningar har visat att partiklar från fordonsbromsar kan stå för upp till 50 % av alla fordonsgenererade luftföroreningspartiklar i storleksordningen $0,9 - 11,5\text{ }\mu\text{m}$. Ur detta har intresset för att belägga bromsskivor med något material som kan erbjuda goda korrosions- och nötningsegenskaper samt minimera genereringen av hälsovådliga partiklar.

Laserpåsvetsning med pulver, figur 1, är en metod som rönt stort intresse hos fordonsindustrin för att belägga bromsskivor. Metoden erbjuder metallurgisk bindning mellan beläggning och substrat, mycket liten uppblandning mellan beläggningsmaterial och substrat, låg värmepåverkan på bromsskivan och stora möjligheter till att modifiera och skräddarsy beläggningsmaterialet till de egenskaper som erfordras.

Experimentella studier

Till pin-on-disc testerna tillverkades stiften ur kommersiella bromsbelägg, både med och utan kopparinnehåll. Substraten skars ut ur kommersiella gjutjärnsskivor och laserbelagda gjutjärnsskivor. Laserbeläggningen utfördes med en fiberkopplad diodlaser (Laserline LDF 7000-40) där laserljuset transporterats via en $400\text{ }\mu\text{m}$ optisk fiber till beläggningsverktyget där en fokuspunkt på 2 mm diameter genererats. Vidare har pulvret distribuerats från en GTV pulvermatare till ett koaxiellt pulvermunstycke COAX 3-jet SO 16 tillverkat av Fraunhofer ILT, Aachen. De svetsparametrar som använts är:

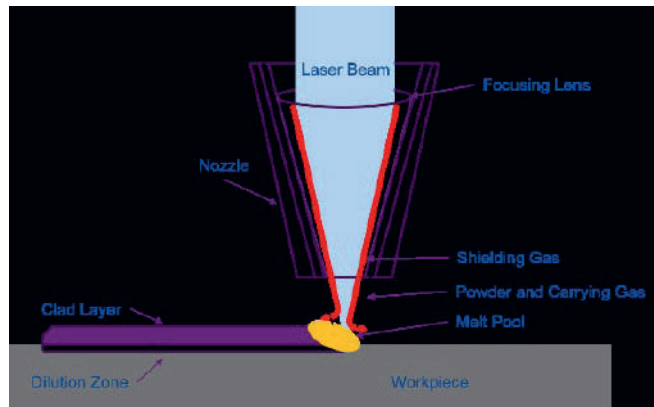
- Lasereffekt: 950 W
- Svets hastighet: 8 mm/s
- Pulvermatningshastighet: 7 g/min
- Strängbredd: 2 mm
- Överlapp: 50%

Parameterkombinationen valdes för att ge låg värmepåverkan på substratet samtidigt som god metallurgisk bindning erhålls. Efter beläggning och svalning blev beläggning slipad. Därefter registrerades beläggningens hårdhet till 58 HRC och uppblandningen med substratet till förväntade 5% .

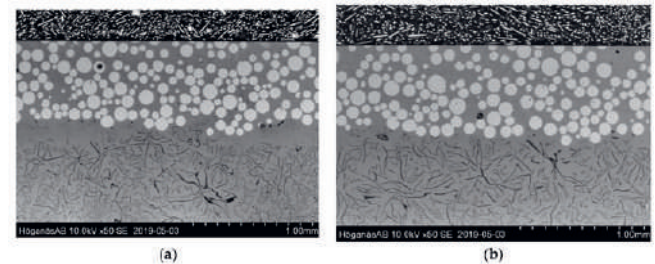
Pulver som användes vid beläggning var ett nickelbaserat pulver uppblandat med 60% wolframkarbid ($1535-30 + 60\%$ 4590 enligt Höganäs AB's beteckning). Både nickelmatriken och wolframkarbiderna levererades med en kornstorlek på $53-150\text{ }\mu\text{m}$.

Figur 2 visar tvärsnitt av laserbelagda och slipade skivor efter pin-on-disc tester. Karbiderna är jämnt fördelade och stabila. Grafiten från substratet har inte påverkat beläggningen negativt eller generat någon märkbar porositet.

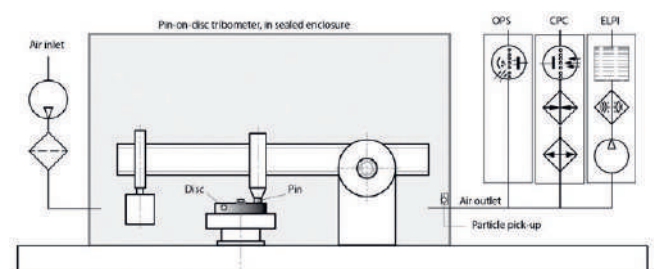
För att kunna mäta partikelemissioner utfördes pin-on-disc testerna i en förseglad testcell, se figur 3.



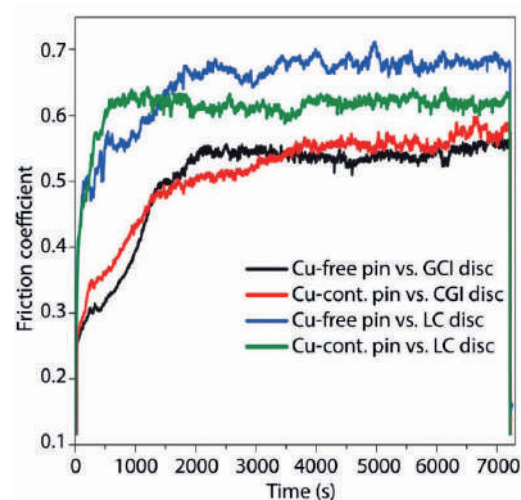
Figur 1. Schematisk bild av laserpåsvetsning



Figur 2. Tvärsnitt av laserbelagda, slipade och pin-on-disc testade skivor. Här användes teststift med kopparinnehåll (a) och utan kopparinnehåll (b).



Figur 3. Cell för pin-on-disc tester. Luft in i cellen filtreras via HEPA-filtrer. Tre partikelanalytatorer är kopplade till cellen, en som optiskt mäter partikelstorlek (OPS), en kondenspartikelräknare (CPC) och en som mäter koncentration och storleksfördelning av luftburna partiklar (ELPI).



Figur 4. Friktionskoefficienter för olika kombinationer. CGI = Gjutjärn. LC = Laserbelagd.

Resultat

Erhållna friktionskoefficienter samt nötningsresultat visas i figur 4 och 5.

Stift utan koppar hade lägre slitage än de stift som innehöll koppar, oavsett om skivan var belagd eller ej. Slitaget på stift var lägre då de testades på icke belagda skivor. Nötning uttryckt i viktörlust blev 44 mg respektive 79 mg för stift utan koppar respektive stift med koppartestade på icke belagda skivor. Vid test på laserbelagda skivor blev resultatet 64 mg respektive 88 mg. Slitageökningen kan härledas till två orsaker. Dels förekomsten av hårda woframkarbider i det belagda skiktet och dels frånvaron av smörjande grafit.

För skivor däremot blev nötningsbilden en helt annan. De laserbelagda skivornas viktörlust blev ungefär halverade (32 mg respektive 43 mg) i jämförelse med de icke belagda skivornas viktörlust (69 mg respektive 88 mg) för båda typerna av stift (utan koppar respektive med koppar).

Resultatet av partikelemissionsmätningen visar att antalet luftburna partiklar (PNC) i stort sett halverades för de laserbelagda skivorna jämfört med de icke belagda, se figur 6.

Figur 7 visar partikelstorleksfördelningen när steady state friktion uppnåtts. Kurvorna är likartade för alla materialkombinationer testade förutom då partiklarnas storlek är under 0,7 µm. Här påvisade de laserbelagda skivorna en klart lägre koncentration av luftburna partiklar än de icke belagda och för partiklar mindre än 0,5 µm blev koncentrationen halverad. Ju mindre storlek på partiklar desto längre in i kroppen kan de transporteras.

Slutsatser

De laserbelagda bromsskivorna i den här studien visade på mindre slitage och lägre halt av luftburna partiklar jämfört med icke belagda bromsskivor.

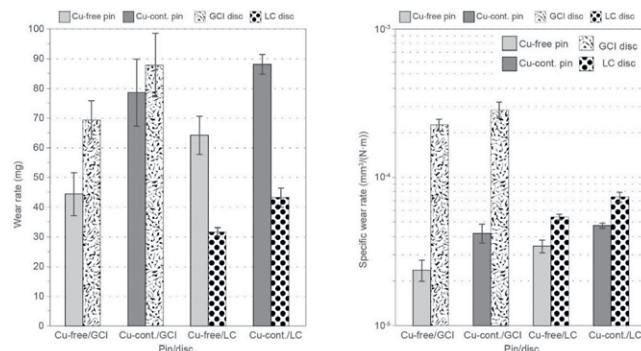
- Slitage uttryckt som viktörlust halverades
- Koncentrationen av luftburna partiklar minskade med ca 30%
- Antalet partiklar mindre än 7 µm halverades

Fakta: Höganäs AB

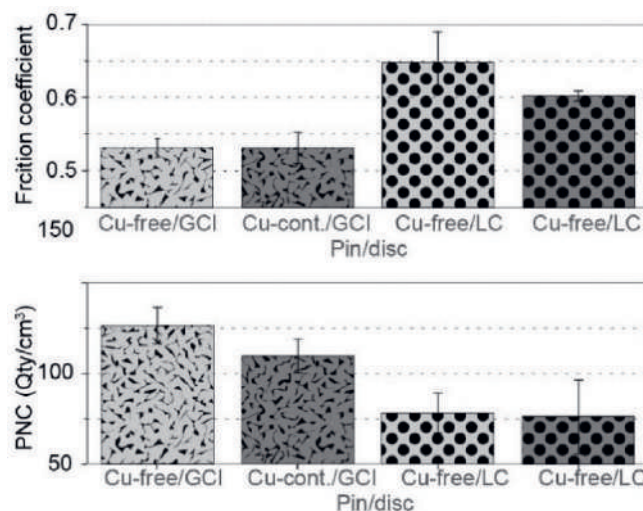
Höganäs koncernen är världens största tillverkare av metallpulver med en samlad kapacitet på cirka 500 000 ton. Höganäs leder utvecklingen inom metallpulverbranschen genom att utveckla nya pulver och produkter, liksom nya användningsområden, applikationer, för metallpulver.

Höganäs verksamhet i korthet:

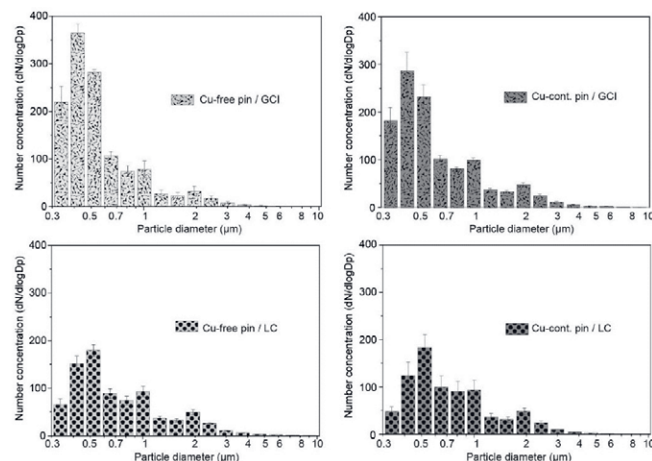
- Cirka 2200 anställda, varav 700 i Sverige
- 3 000 kunder i 75 länder
- Erbjuder mer än 1 500 produkter, övervägande kundspecifika
- Internationell koncern med 13 produktionscentra och ett flertal försäljningsbolag runt om i världen
- Cirka 700 godkända patent i olika länder
- Omsättning: 7 100 MSEK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



Figur 5. Nötningsresultat för stift och skivor för hela testet, 14400 m.



Figur 6. Friktionskoefficient och partikelhalt vid steady state friktion.



Figur 7. Partikelstorleksfördelning vid steady state (OPS)

Fråga Laserdoktorn

Bo Williamsson,
Linde Gas AB

Fråga:

Vid skärning med vår 6 kW CO₂-laser upplevde vi nyligen att skärhastighet och snittkvalitet minskar. Efter felsökning visade det sig att både maskinen och resonatorn fungerade som de skulle. Vi kollade upp gaskvaliteten och gasförsörjningssystemet också utan att hitta något fel. Däremot upptäckte vi att linsen var alldeles prickig. Vad beror detta på, och hur påverkar det skärningen?

Svar:

Den här frågan får jag ganska ofta. ”Prickar” och beläggningar på linser kan bero på flera saker. För att ge ett korrekt svar bör man egentligen analysera vad defekterna består av. Jag hade exempelvis ett fall nyligen där man fick oförklarliga små kratrar i optiken. Efter en omfattande felsökning utan resultat gjordes en kemisk analys där vi hittade fluor på optiken. Fluor är ett ämne som

är extremt destruktivt i de här sammanhangen, och var med största sannolikhet orsaken till problemen. Det visade sig att felkällan låg i själva rörsystemet som hade installerats på ett felaktigt sätt. Gängtejp i kopplingarna hade kommit i kontakt med gasströmmen. Tejpen (som innehåller fluor) fragmenterades och sköts in i lasern vilket orsakade en mekanisk påverkan, men i efterföljande steg också en kemisk påverkan där fluorföreningarna frätte små kratrar i optiken. Lösningen här var att byta ut gasförsörjningssystemet.

Det finns andra möjliga orsaker till era problem. I bild 1 ser man att det finns ett antal ”prickar” som varierar i storlek. Bild 2 visar en förstoring av defekterna. I bild 2 ser man att det handlar om metallfragment, men också sammanhängande fläckar. Metallfragmenten kommer från själva skärningen där partiklar letar sig upp i skärhuvudet. En annan felkälla kan också vara defekter i gasförsörjningssyste-

met. Fläckarna orsakas av förångad metall som har kondenserat på linsen. Beroende på förångningstemperaturen kan problemen variera med olika material.

Defekterna påverkar skärningen i högsta grad eftersom de absorberar en del av laserljuset och orsakar värmeutveckling i linsen. Den ökade temperaturen kan orsaka deformation av optiken vilket gör att fokuspunkten påverkas. En ändrad fokuspunkt påverkar både prestanda och snittkvalitet negativt. Vid tillräckligt stora defekter kan t.o.m strålmoden påverkas. I detta fall upplever man med största sannolikhet att skärningen inte fungerar alls.

Fenomenet med beläggningar på linser är svårt att eliminera helt. Optimering av skärparametrarna, undvikande (om möjligt) av att skära t.ex förzinkat material kan vara några åtgärder. Zink kan skapa en hel del problem genom den låga förångningstemperaturen. Givetvis ska linsen bytas om defekterna är synbara. ■

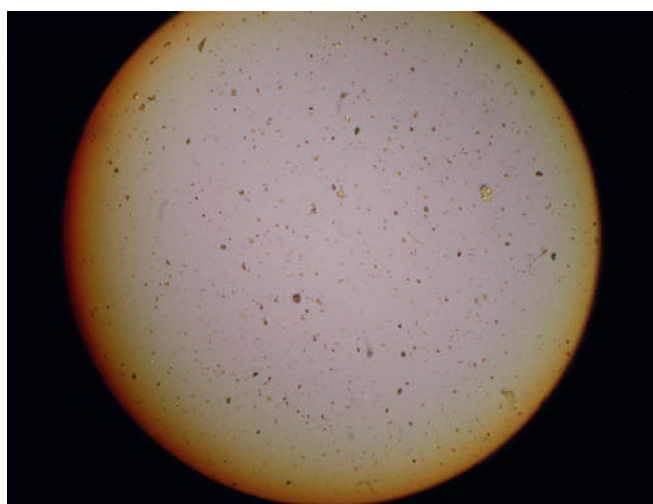


Bild 1. Defekt lins

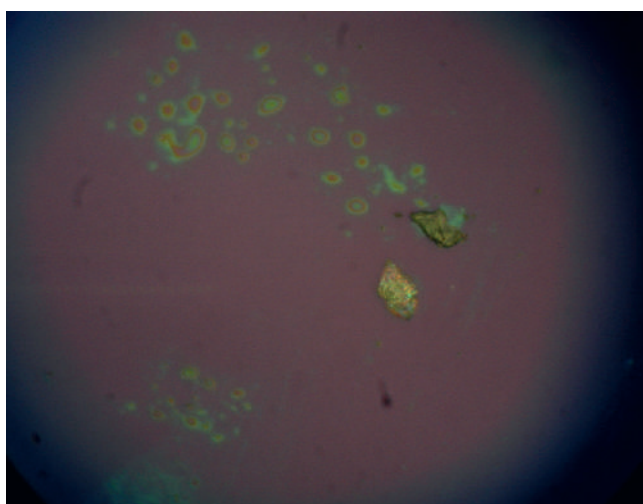


Bild 2. Förstoring av defekter

IIW Annual Assembly 2020

– ett speciellt möte

Jörn Volpp, Jesper Sundqvist,
Luleå tekniska universitet

Varje sommar samlas delegater från hela världen på International Institute of Weldings (IIW) Annual Assembly. Tyvärr tvingades IIW att ställa in årsmötet i Singapore. Istället organiserades årsmötet som en online-sammankomst 15–29 juli 2020. Konferensen var helt inställd, men arbetsgrupper och kommissioner möttes under tretimmarssessioner utspridda över ca 2 veckor. Inga gemensamma sessioner kunde planeras och alla presentationer hölls i kommissionerna istället. Trots allt kom det mer än 600 deltagare till onlinemötena för att diskutera, besluta och rapportera om betydelsefulla svetsrelaterade frågor.

Kommission IV 'Power Beam Processes' sammanträdde på måndag från klockan 13 till 16, så att personer från hela världen kunde delta. Herbert Staufer omvaldes som ordförande. Som vanligt rapporterade forskare från olika länder om elektronstråle-, laser- och laserhybridprocesser. Alla presentatörer deltog men flera presentationer var förinspelade så att deltagare kunde titta på videoklippen och ställa frågor efteråt.

Elektronstrålesvetsning

Forskningsresultat för elektronstrålesvetsning presenterades under sessionen. Tom Pinto et al. (Doc.IV-1457-20) presenterade resultat om gasinneslutningars påverkan under elektronstrålesvetsning av het-isostatiskt pressat (HIP) höghållfast läglegerat stål. Beroende på gasinnehållet hittades olika mönster på ytan (**figur 1**, vänster). En processkamera kunde visa stabila och instabila förhållanden som indikerar förekomsten av smälta som blåses ut (**figur 1**, mitten och höger). Det visades att elektronstrålebearbetning av kritiska tryckkomponenter tillverkade

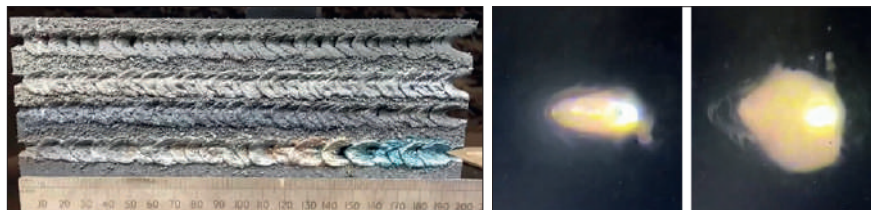


Figure 1. Svetsyta som visar frekventa utbrott (vänster); stabil svetsprocess (mitten) och instabil bearbetning under ett utbrott (höger)

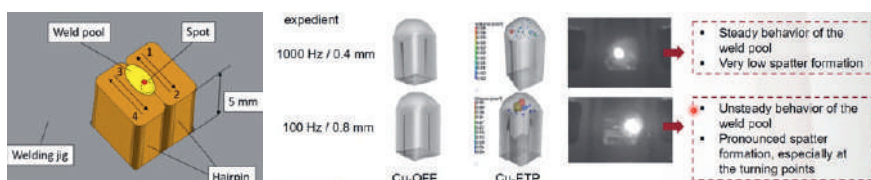


Figure 2. (a) Elektronstrålens pendlingsmönster över den rektangulära kopparkontakten och (b) processresultat vid olika pendlingsfrekvenser

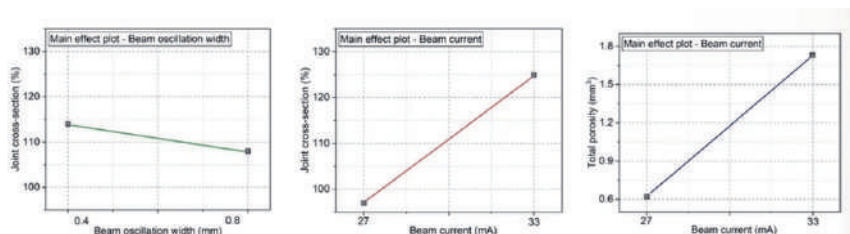


Figure 3. Påverkan av (a) strålpendlingsbredd och (b) strålström på fogens tvärsnitt; (c) strålströmmen för porositet

av HIPat höghållfast läglegerat stål är genomförbart.

När material har låg laserstrålabsorption kan elektronstrålesvetsning visa fördelar. På grund av detta använde Tamás Tóth et al. (Doc.IV-1459-20) elektronstrålesvetsning för att sammanfoga rektangulära koppartrådar för elektriska enheter. Strålen pendlades i mönstret som visas i **figur 2a**. Två kopparlegeringar med olika syrenehåll undersöktes. I datortomografimätningar kan man se att Cu-OFE (låg syrenehåll) uppvisar en lägre porositet jämfört med Cu-ETP (hög syrenehåll) (**figur 2b**).

Det visade sig att en ökad pendlingsbredd minskar svetsens tvärsnittsarea, medan en högre strålström leder till ett ökat fogtvärsnitt vid högre penetreringsdjup (**figur 3**). Den ökade porositeten vid högre strålström härleds från den förstörade smältbassängen och den ökade mängden upplöst syre i smältbassängen på grund av den ökade volymen smält grundmaterial.

Dessutom visade Raghawendra (Doc. IV-1460-20) att elektronstrålesvetsning av höghållfast S960QL-stål kan utföras utan imperfektioner eller minskning av mekaniska hållfasthetsegenskaper. Mikrostrukturen bestod av martensit och bainit, vilket ledde

till sprött sprickutseende efter dragprovning och hög draghållfasthet (**figur 4**, vänster). Fraktionsstor efter Charpy-V-notch slagseghetstester visade att brottet var i den värmepåverkade zonen (**figur 4**, höger).

Hochanadel et al. (Doc.IV-1455-20) presenterade en omfattande översikt över det aktuella tillståndet för processkontroll för elektronstråle- och lasersvetsning. Dessutom har Hochanadel et al. (Doc.IV-1463-20) gjort en jämförelse av elektronstråle och lasersvetsning beträffande fokusposition och avböjning av strålarna på 304SS. Exempel på strålmätningar av elektron- och laserstrålar visar olika beteenden (**figur 5**, vänster). Medan laserstrålen förblir en Gauss-liknande profil över ett brett intervall, så visar elektronstrålsprofiler avvikande former. Avböjda elektronstrålar med skarp fokus skapade djupare, smalare svetsfogar jämfört med fokuserade strålar. Lasersvetsfogar är grundare jämfört med svetsfogar från elektronstrålar.

Lasersvetsning

Assuncao et al. (Doc.IV-1461-20) presenterade det aktuella läget i EU-Horizon2020-projektet Prometheus, som behandlar lasertextureringsprocesser för mikro- och nanostrukturerade ytor (**figur 6**, vänster). Överlappning av flera laserstrålar möjliggör tillverkning av periodiska ytmönster (**figur 6**, höger). Det visades att varje topografi visar ett unikt diffraktometriskt svar under scatterometrimätningar. Metoden valideras i flera industriella fallstudier för t.ex. förpackningar, diskmaskiner och fordonscyklindrar.

Bidraget från Sverige gavs av Volpp et al. (Doc.IV-1453-20) från LTU som presenterade resultat från EU-RFCS-projektet OptoSteel. Det visades att genom modifiering av den kemiska sammansättningen i svetsstråden (**figur 7**, vänster) och den termiska cykeln med vertikalt och horisontellt Narrow-Gap Multi Layer Welding (NGMLW) (**figur 7** höger), kan segheten ökas för höghållfast S1100QL utan att styrka förloras.

Höghastighetsfilming och simuleringresultat indikerar en homogen fördelning av trådmaterialet i smältan (**figur 8**, vänster). De simulerade temperaturfälten visar att NGMLW-processen leder till flera termiska cykler i strukturen (**figur 8**, höger).

De resulterande mikrostrukturerna visar fördelaktiga sammankopplingsstrukturer med martensit- och ferritöar inom en bainitisk struktur, vilket indikerar en hög seghet (**figur 9**).

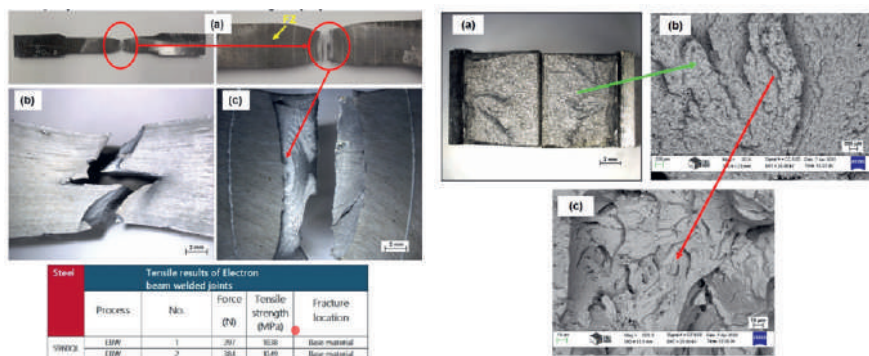


Figure 4. (a) Dragprovning och (b) Charpy-V-notch-testresultat

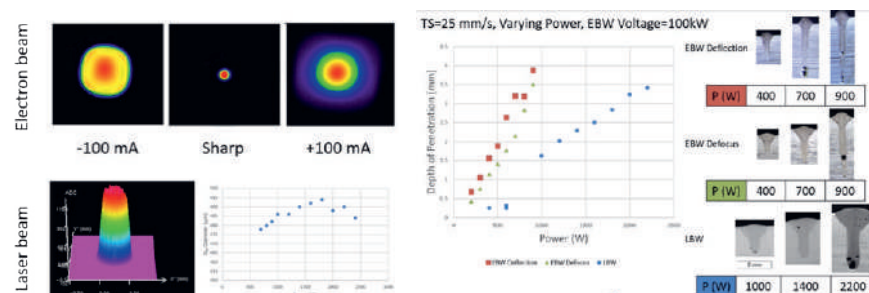


Figure 5. Strålmätningar vid olika axiella positioner för en elektron- och laserstråle (vänster) och penetrationsdjupmätningar vid varierande lasereffekt jämförande elektron- och laserstråle (höger)

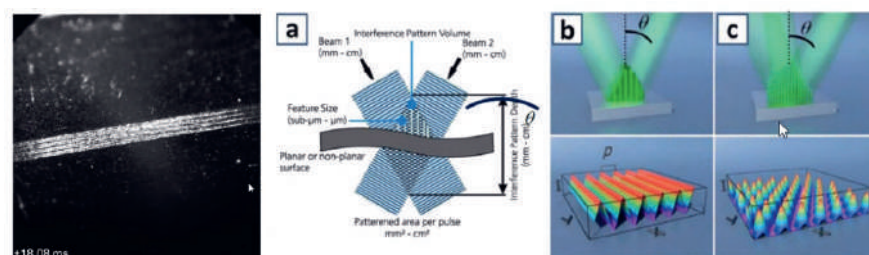


Figure 6. Höghastighetsfilming av ett textureringsexperiment (vänster); princip om överlappande laserstrålar för ytmönsterprocesser (höger)

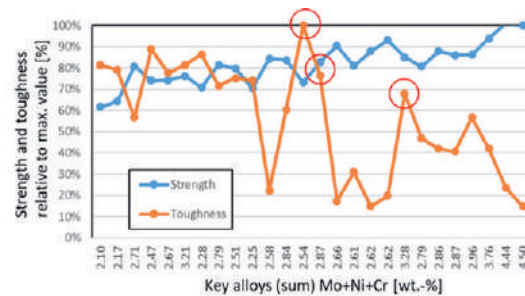


Figure 7. Svets hållfasthets- och seghetsvärden vid varierad trådkomposition (vänster) och skiss av NGMLW-setup (höger)

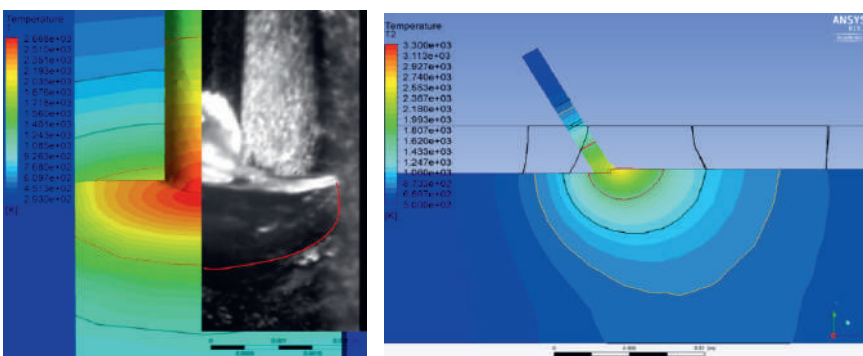
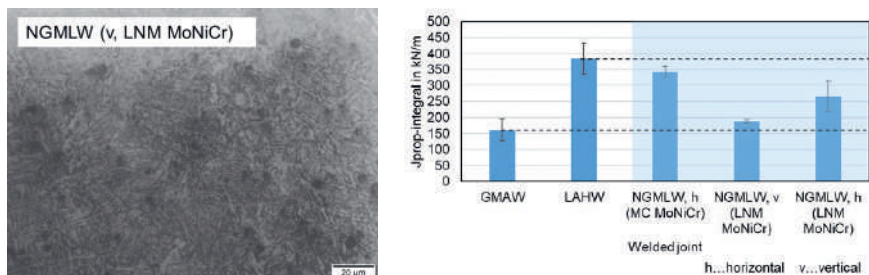
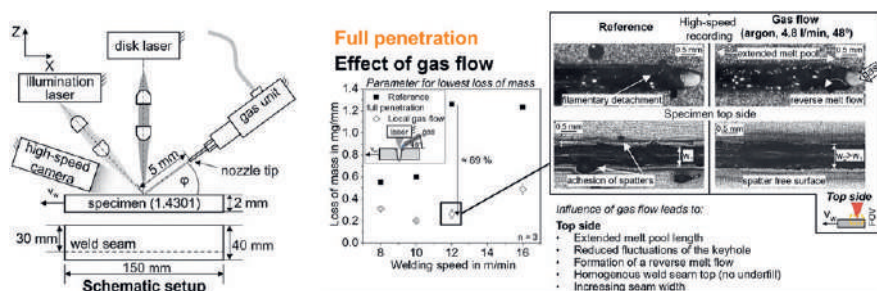


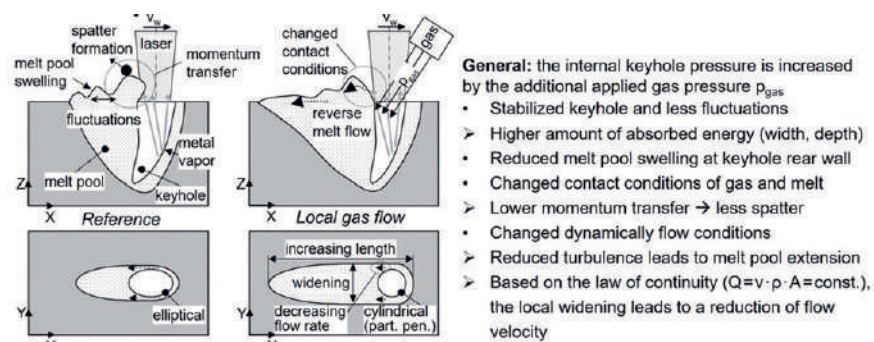
Figure 8. Simuleringsresultat för horisontell NGMLW jämfört med höghastighetsbilder (vänster) och simulerat temperaturfält (höger)



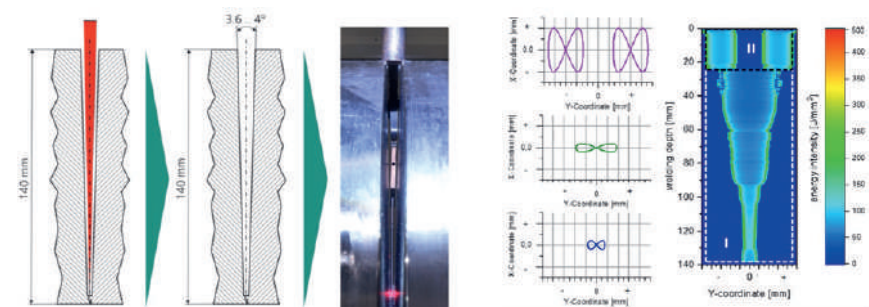
Figur 9. Mikrostruktur av en vertikal NGMLW-svetsmetall (vänster) och CTOD mätning (höger)



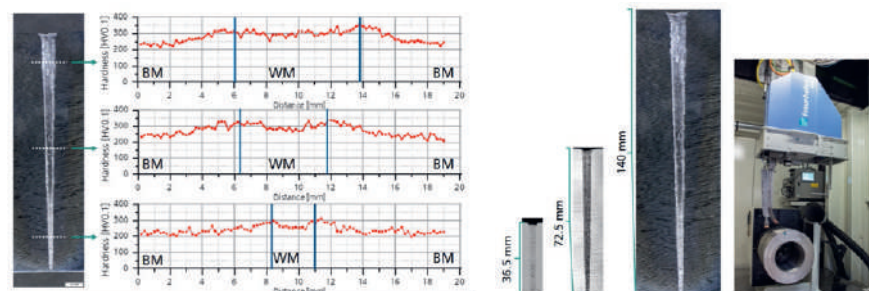
Figur 10. Skiss över behandlingsinställningen (vänster) och effekten av gasflödet på massförlust under lasersvetsning med full penetration (höger)



Figur 11. Sammanfattning av de identifierade mekanismerna för gasassisterad laserstrålsvetsning



Figur 12. Förfarande för MPNG-svetsning med olika pendlingsmönster



Figur 13. Hårdhetsmätning i tvärsnitt av ett MPNG-svetsat prov (vänster) och ett exempel på svetsfog (höger)

Schmidt et al. (Doc.IV-1458-20) undersökte effekterna av lokal gasförsörjning under lasersvetsning vid höga bearbetningshastigheter (figur 10, vänster). Ytterligare gasapplikation visade sig minska massförlusten under svetsning (figur 10, höger). De identifierade effekterna sammanfattas i figur 11.

Kessler et al. (Doc.IV-1464-20) undersökte gränserna för lasersvetsning av tjockväggiga komponenter och föreslog Multi-Pass Narrow-Gap Welding (MPNG) med olika strålpendlingsmönster för svetsning av rörellement med upp till 140 mm väggdjocklek (figur 12).

Sprickfria svetsfogar med hög hårdhet framställdes (figur 13). Låg porositet och ingen diskontinuitet i svetsfogen hittades.

Nyheter

Tidskriften 'Welding in the World' har ökat sin impact factor till 1.589 (2019). Avvisningsgraden är mellan 50%-60% och den genomsnittliga tiden till första beslutet är något över 100 dagar. Det slutgiltiga beslutet fattas efter drygt 200 dagar (om artikeln accepteras).

Vidare har IIW flyttat in i sitt nya huvudkontor (figur 14). Kommande evenemang inom strålprocesser är den sjätte IEBW International Electron Beam Welding Conference i Aachen, Tyskland den 9 och 10 mars 2021 och Nordic Laser Material Processing-konferensen i Luleå, Sverige den 24 och 25 augusti 2021. IIW: s nästa årsmöte kommer att hållas i Genua den 19-26 juni 2021. ■



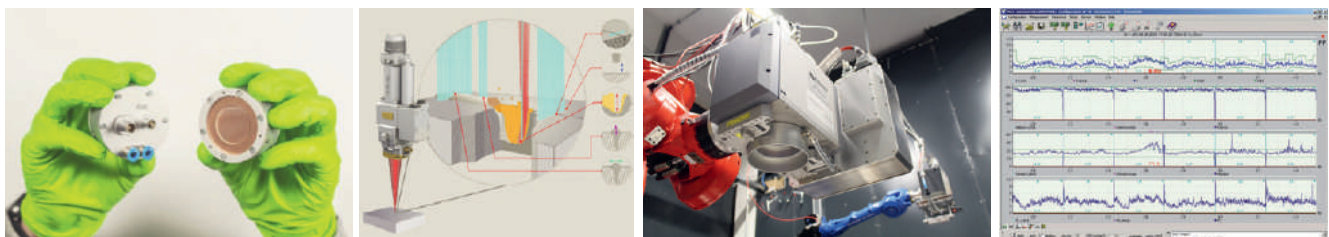
Figur 14. IIW: s nya huvudkontor i Genua, Italien



Optiklösningar och kvalitetskontroll var några av ämnena på EALA2020:s agenda

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

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering



I den här delen av min rapportering från 2020 års EALA [*European Automotive Laser Applications*] -konferens kommer jag att sammanfatta den information som gavs inom områdena optiklösningar, svetsning av olika material samt kvalitetskontroll och smarta produktionslösningar.

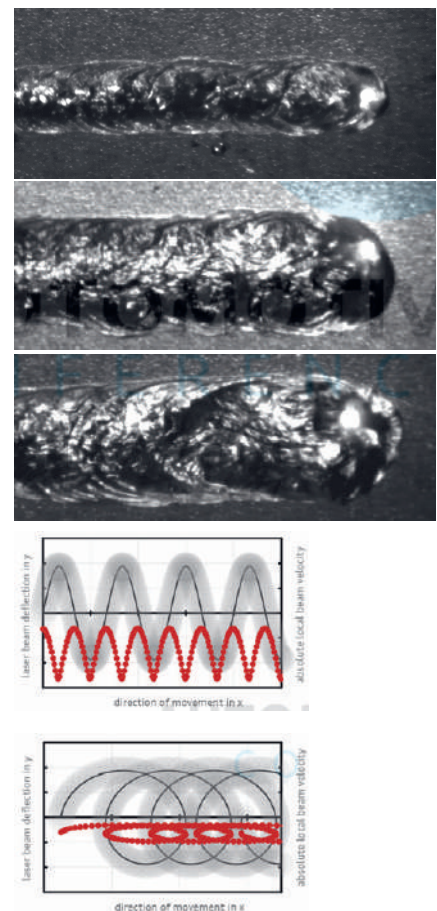
Sessionen kring laserverktyg och optiksystem inleddes av ordföranden i EALA:s programkommitté Dr. Jan-Philipp **Weberpals** från Audi AG. Tillsammans med Timur **Demirbas** från *Precitec GmbH* adresserade han de ekonomiska aspekterna kring fjärrlasersvetsning, ett område som Audi sedan länge fokuserat sin utveckling på. Drivkraften vid RLW [Remote Laser Welding] –användning för nya A8-modellens aluminiumsidodörrar har varit den flänsbreddsreduktion på 27%, som tekniken möjliggör i och med dess stora arbetsavstånd. Vid fjolårets konferens beskrev ju Dr. Weberpals applikationens tekniska lösningar i form av fogföljning med hjälp av triangulering samt själva svetsoperationen där såväl rumslig- som effektmodulering används. Då det gäller den rumsliga oscilleringen visar ett cirkelmönster ge ett stabilare nyckelhål jämfört med en sinusformad oscillering [Fig. 1].

I jämförelse med en taktill svetsprocess redovisades följande vinster:

- 53% reducerad processtid
- 47% lägre värmetillförsel

- 24% lägre miljöpåverkan i form av mindre energiförbrukning och koldioxidutsläpp
- 95% lägre driftskostnader!

Processupplägget används idag vid tillverkning av sidodörrarna till modellerna A6, A7, A8 samt E-Tron. För fogföljning och processövervakning har man förlitat sig på *Precitecs* WeldMaster ScanTrack® med dess standardiserade analysid per bild på 5 ms [Fig. 2]. Detta innebär att man vid en svets hastighet på 4 m/min kan ta en bild per 0,33 mm svetslängd, något som innebär att defektstorlekar ner till 0,6 mm kan detekteras. I och med önskemålen om en reducerad processtid, och därmed en så pass hög svets hastighet som 10 m/min, medför den standardiserade analysiden att man endast får en bild per 0,83 mm svetslängd och därmed blir den minsta defekt som kan upptäckas 1,7 mm! Detta var naturligtvis inte acceptabelt enligt Audis kvalitetskrav varför *Precitec* tvingades utveckla en WeldMaster® version 2.0 med en analysid per bild av blott 2 ms. Därmed blir det på nytt möjligt att



Figur 1. Hög hastighetsfilmning av förloppet vid laser-svetsning av aluminium med frv. stationär, sinusoscillerad och cirkeloscillerad stråle, där den sistnämnda visar sig ge en stabilare process.

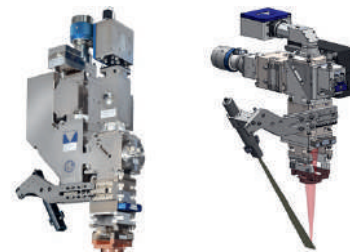
upptäcka 0,6 mm stora defekter även vid en svets hastighet på 10 m/min.

Gränssnittet mot operatören har förbättrats genom införandet av en "touch screen", och ny PC [Personal Computer] och kamera har medfört en investeringskostnad som ligger 30% lägre i jämförelse med den tidigare utrustningen.

De följande tre presentationerna handlade om olika former av strålomformning, och här inledde professor Morten **Kristiansen** från *Aalborg University*, som beskrev den metodik som utvecklades i LaserCut-projektet, vilket leddes av legendariske professor Flemming O. **Olsen** vid DTU [Denmark Technical University] i Lyngby. Konceptet bygger på en uppdelning av laserstrålen i flera sådana med hjälp av diffraktiva optiker [DOE = Diffractive Optic Element]. Dessa kan indelas i huvudtyperna "shaper", "diffuser" och "splitter" [Fig. 3]. Tekniken kräver att man har tillgång till en laserkälla med mycket bra strålkvalitet, varför man i universitetets laserlaboratorium installerat en 3 kW single mode [SM] laser från IPG [YLS-3000-SM]. Optiken har integrerats i ett skanner-verktyg från företaget Arges, och professor Kristiansen visade på ett antal experiment där man varierat antalet fokuspunkter, avstånden mellan dessa samt lasereffekten [Fig. 4]. Därpå redogjorde han för några praktikfall där jag med glädje kände igen Volvo Cars' bidrag i LaserCut-projektet som gick ut på att skära monteringshål i de lackerade karosserna utan att skada lackskiktet. Här lyckades vi inte fullt ut att göra detta med den diffraktiva optiken i ett processteg, utan fick nöja oss med att först frilägga skärbanan från färgen med en viss energifördelning och därpå utföra själva laserskärningen med en annan i kombination med högre effekt.

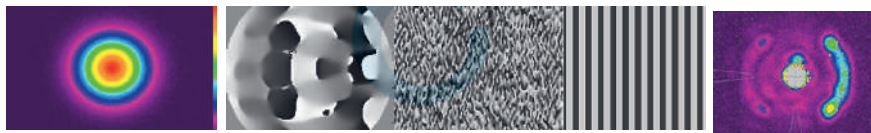
Ett annat praktikfall handlade om svetsning av pumphuskammare hos Grundfoss, som också deltog i LaserCut-projektet. Här var idén att ersätta den nuvarande svetsningen, som görs med plasmaljusbåge, med tre simultant utförda parallella svetsar uppdelade i 9 stycken fokuspunkter med hjälp av den diffraktiva optiken [Fig. 5]. Detta resulterade i en tre gånger så snabb svets hastighet, lägre energiförbrukning, färre svetsdefekter och ett jämnare penetrationsdjup. Även vid överlappssvetsning av zinkbelagd stålplåt gav metodiken en god svetskvalitet då laserstrålen delades upp i 2 + 2 fokuspunkter.

Framtida användningsområden kan vara:



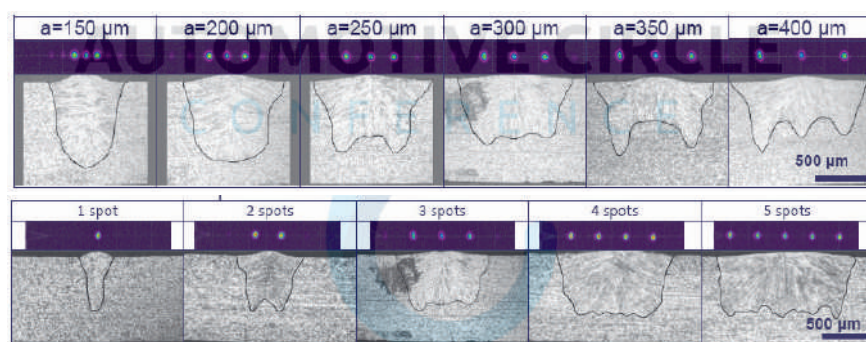
Figur 2.

För följning och processövervakning vid lasersvetsning av aluminiumsidodörrarna till nya Audi E-Tron använder sig kollegorna i Neckarsulm Precitec-verktyget WeldMaster ScanTrack®.



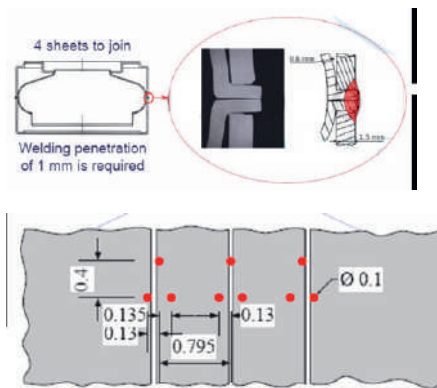
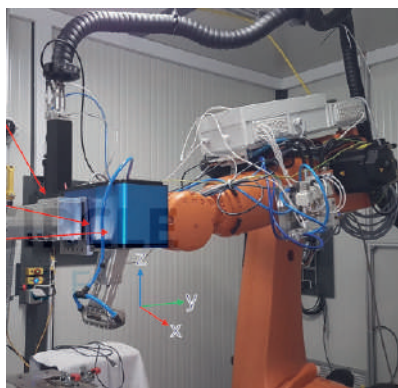
Figur 3.

Med olika design av de diffraktiva optiska elementen (mitten frv. "shaper", "diffuser", "splitter") kan den ursprungliga energifördelningen i laserstrålen skräddarsys. T.h. ser vi resultatet då en "shaper"-design använts



Figur 4.

Tvårsnitt genom lasersvetsar utförda med diffraktiv optik där antalet foki (överst) och avstånden mellan dessa (underst) har varierats.



Figur 5.

T.v. svetscellen vid Aalborg University och t.h. layouten för att utföra tre svetsar simultant vid tillverkning av pumphuskammare för företaget Grundfoss räknig.

- Svetsning av artolika materialkombinationer som koppar/aluminium
- Svetsning av polymera material med hög hastighet och kvalitet
- Borrning med fördelade energimönster
- Parallella processer med flera fokuspunkter för exempelvis skärning, märkning och ablation

På några frågor från auditoriet svarade professor Kristiansen att det för varje applikation tar cirka en månad att fastlägga det optimala mönstret för antalet strålar och dess inbördes avstånd, och att tillverk-

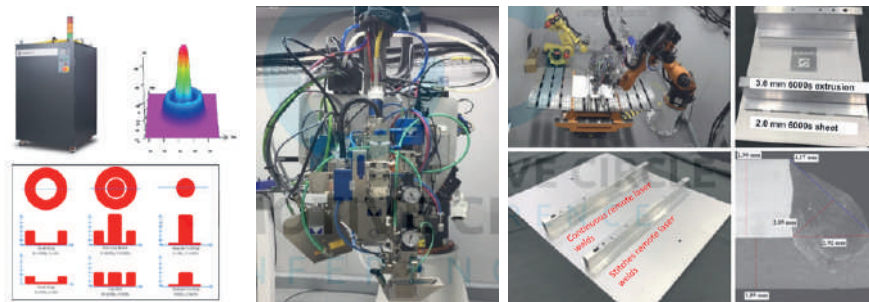
ningstiden för ett DOE ligger mellan 3–5 månader.

Sebastian **Moser** [Precitec GmbH] och WeiJie **Zhang** [Gestamp R&D North America Inc.] delade på den följande presentationen som handlade om lasersvetsning av batterilådor i aluminium med hjälp av såväl aktiv strålomformning som effektmödeling. Den senare hade kombinerats med stråloscillering med hjälp av skanner-verktyget Precitec WeldMaster Scantrack® och innebar att spalter upp till 50% av topplåtens tjocklek kunde överbryggas.

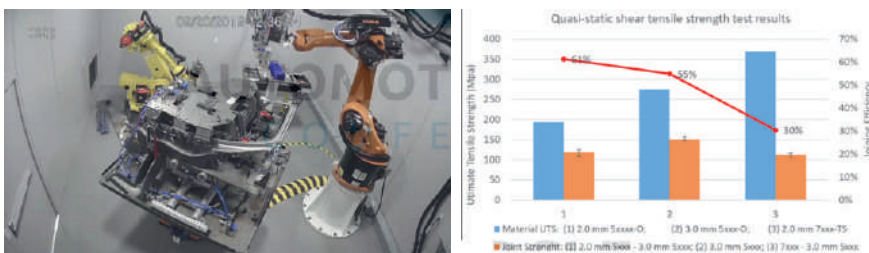
Laserkällan var en 10 kW ARM [Adaptive Ring Mode, **Fig. 6**] -laser från *Coherent* där energifördelningen mellan laserstrålens kärna och ring anpassades för att öka absorptionen i aluminiummaterialet, samt att minska avsvalningshastigheten i toppen av svetsen som annars tenderar att stelna snabbare än övrigt svetsgods och därmed ge upphov till spänningar och sprickbildning. Såväl korta svetsstyg som långa kontinuerliga lasersvetsar användes för att i kälfogsgometri sammanbinda 3 mm tjocka extruderprofiler med 2 mm tjocka, formade plåtlock, allt i AA6000-material.

En annan applikation där samma metodik användes var fjärrlasersvetsning av sidodörrar i aluminium där ytterpanelen består av 6000-material medan de invändiga förstärkningarna är tillverkade i 5000-dito. Tillförlitlig svetsning kunde genomföras med en processhastighet på 6 m/min, och som processövervakning använde man sig av *Precitecs LWM* [Laser Welding Monitoring] -system. Basala svetsförsök som utförts på 5- och 7000-legeringar indikerade en god svets hållfasthet hos de förstnämnda men en avsevärt sämre sådan för de senare, vilket gör det svårare att tillgodoräkna sig denna legerings högre hållfasthet [**Fig. 7**]. För att möta framtida krav på volymtillverkning av batterikomponenter och öka produktiviteten genom en ytterligare höjning av automatiseringsgraden i produktionsprocessen har man nyligen lanserat innovationsföretaget *Precitec Incubator*. Här kommer fjärrlasersvetsningen att effektiviseras genom att använda AI [Artificiell Intelligence], "Cloud"-teknologi och IoT [Internet of Things]: Låter spännande eller hur?

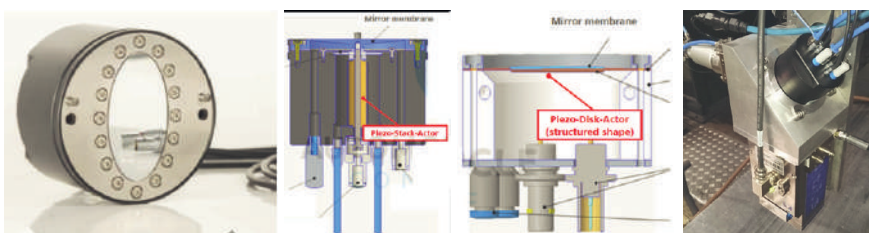
Dr. Jens **Standfuß** från *Fraunhofer IWS* [Institut für Werkstoff und Strahltechnik], som hade gett en uppskattad s.k. Technology Briefing i ämnet "Laseranvändning för e-mobility" dagen före konferensen, beskrev nu ett annat sätt att manipulera laserstrålen. Här använde man sig av piezo-elektrisk manipulering av optiken för att på så sätt variera fokuspunktens läge i z-led utan att behöva röra själva processverktyget [**Fig. 8**]. Detta är en metodik som utvecklats inom ramen för det *BMBF* [Bundesministerium für Bildung und Forschung] -finansierade projektet "PISTOL", och innebär en fullständigt tredimensionell fjärrbearbetning då den integreras i ett klassiskt skanner-verktyg vars galvospeglar endast kan manipulera laserstrålen i x- och y-led. Den här optiktillsatsen har man valt att kalla "HiDyn" och den kan röra fokuseringslinsen över en sträcka



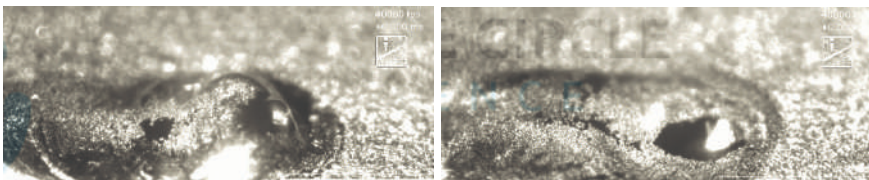
Figur 6. Aktiv strålformning med Coherents ARM-teknologi används av Gestamp för lasersvetsning av aluminiumbatterilådor vid produktionsanläggningarna i Nordamerika.



Figur 7. T.v. Lasersvetsning av sidodörrar i aluminium där *Precitecs LWM*-system används för processövervakning, och t.h. framgår att man inte kan tillgodoräkna sig den högre materialhållfastheten hos aluminium i 7000-serien då svetsgodset endast motsvarar 30% av grundmaterialets hållfasthet.



Figur 8. T.v. Spegelmembranet som kan manipuleras på piezo-elektrisk väg antingen med stav- eller skivformat ställdon, och längst t.h. ser man en sådan optik integrerad i svetsverktyget.



Figur 9. Förutom vid laserskärning av tjockare plåtar ger "HiDyn" fördelar vid svetsning av aluminium. Övan höghastighetsfilmad svetsning av AlMg3-legering utan resp. med "HiDyn", där skillnader i svetskvaliteten framgår t.h.

på 28 μm med upp till 2,5 kHz frekvens, och kontrolleras med en spänning mellan 0 och 10 V.

Bland praktikfall visade Dr. Standfuß på laserskärning av 10 mm rostfritt stål där skärhastigheten genom en dylik z-oscillering kunde ökas med 60%, eller från 0,5 till 0,8 m/min vid 3 kW lasereffekt. Fokuspunkten flyttades över en amplitud på 12 mm med 100 Hz frekvens.

Ett annat välkänt problemområde är lasersvetsning av Magnesium-legerat aluminium och aluminiumgjutgods som oftast resulterar i såväl inre som ytbrytande porer. Att oscillera laserstrålen i ho-

risontalplanet har visat sig fördelaktigt då smältan blir större och därför tar längre tid på sig att stelna, vilket gör att luftbubblor hinner diffundera mot ytan. Med en extra z-oscillering på 1 kHz med "HiDyn" undviker man även porer som genereras från aluminiummaterialets ytoxidier [**Fig. 9**].

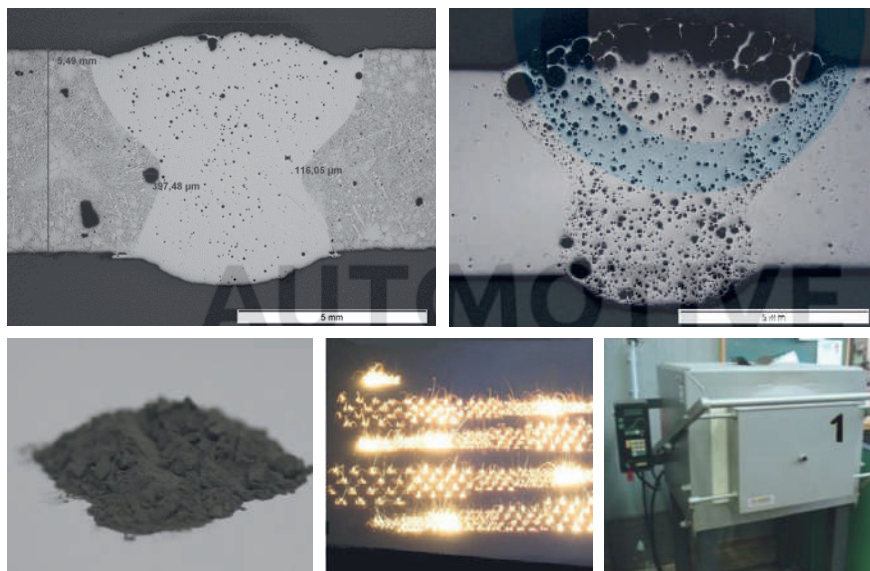
Slutligen nämndes att med piezo-elektrisk manipulering av optiken får man en jämnare kvalitet vid fjärrlaserprocesser över stora arbetsfält vid RLW, men framförallt vid yttexturering, genom att man kan säkerställa att fokuspunkten alltid ligger på materialets yta oavsett var man befinner sig i skanningsfältet!

Föredragsblocket som handlade om material och deras svetsbarhet inleddes av Frank **Beckmann** från *Fraunhofer IAPT [Institut für Additive ProduktionsTechnologien]*, som tillsammans med kollegor hade genomfört en studie kring lasersvetsning av additivt tillverkade objekt. Olika rostfria material, Inconel718, Ti6Al4V och aluminiumlegeringar hade ingått i studien, och i ett försök rörande AlSi12 hade AM [Additive Manufacturing] -tillverkade provobjekt jämförts med gjutna. Resultatet gav vid handen att de förstnämnda uppvisade en större andel porer, vilket förklarades med att AM-detaljerna har en högre koncentration av väte p.g.a. att pulverpartiklarna ackumulerar fukt. Det finns tre olika sätt att komma till rätta med detta. Man kan torka pulvret i en ugn innan det används, eller låta laserstrålen i SLM [Selective Laser Melting] -maskinen överfara och torka varje nyttillförd pulverlager, eller utföra en värmebehandling i ugn av det AM-tillverkade objektet [Fig. 10]. Genom att förvärma byggplattan till 200 °C kan även detta bidra till att reducera pormängden.

De huvudsakliga faktorer som påverkar svetskvaliteten är processhastighet, fokalpunktsstorlek, strålmanipulering (oscillering, bi-fokal etc.) samt typ av skyddsgas och dess flöde. Vidare är AM-detaljens geometriska utformning viktigt med tanke på efterföljande svetsning. Således bör man minimera behovet av s.k. stödstrukturer, undvika geometrier som ökar risken för distorsioner samt att ha mer förlåtande toleranser [Fig. 11].

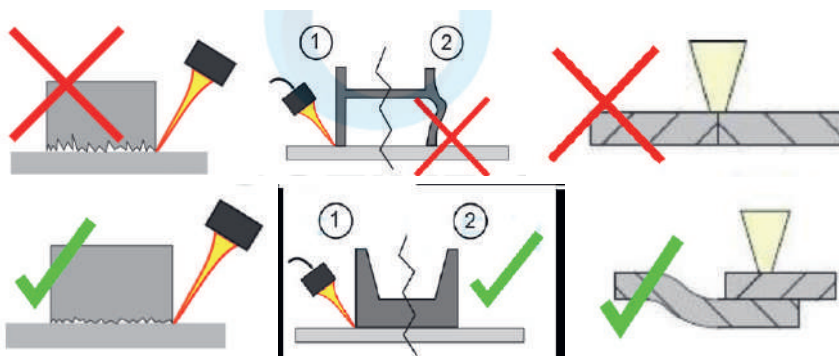
Framtida användningsområden för additivt tillverkade komponenter i bilindustrin kan exempelvis vara knutpunkter i "spaceframe"-strukturer, elektronikhus för "e-mobility" samt som lokala förstärkningar på karossartiklar [Fig. 12]. Det senare har studerats inom projektet "StaVari" [Stahl-Varianz] med målsättning att kunna tillverka mer komplexa former men ändå med hållfasthetsnivåer i paritet med DP [DualPhase] 800-stål.

En gammal bekant från fjolårets EALA-konferens, Joshua **Solomon** från *General Motors Company*, dök även i år upp och redogjorde nu liksom då för en sofistikerad simuleringsmodell för lasersvetsning här applicerad på zinkbelagd stålplåt. Bakgrunden är den att GM avser att ha 20 nya varianter av eldrivna fordon år 2023 [Fig. 13] där batterilådorna antas vara tillverkade i detta material. Därför är det viktigt att ha tillgång till tillförlitliga simuleringsverktyg för svetsprocessen, och



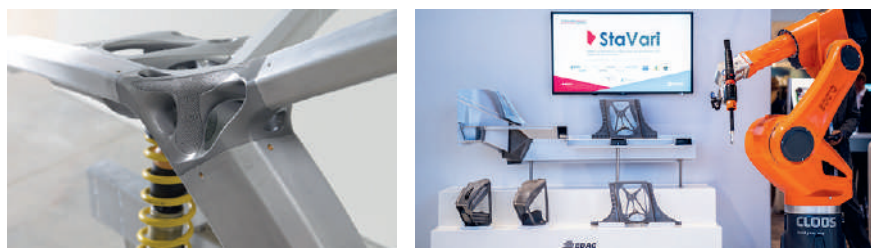
Figur 10.

AM-tillverkade aluminiumobjekt (uppe t.h.) får en högre koncentration av väte jämfört med gjutna (uppe t.v.), vilket återspeglar sig i en större pormängd i svetsgodset. Motåtgärder kan vara att fr.v. nedan torka pulvret innan användning, under själva SLM-processen eller med en efterföljande värmebehandling.



Figur 11.

Några enkla konstruktionstips vid den geometriska utformningen av AM-detalljer; fr.v. minimera behovet av stödstrukturer, minska risken för distorsioner samt skapa flytande toleranser.



Figur 12.

I projektet "StaVari" har lokala förstärkningar med hållfasthet motsvarande DP800-stål tillverkats. Andra framtida AM-tillverkade komponenter kan vara knutpunkter till "spaceframe"-strukturer eller elektronikhus för "e-mobility".



den nuvarande modellen har validerats mot tusentals genomförda experiment med olika parameteruppsättningar. Försöken har höghastighetsfilmats så att man i efterhand kunnat analysera nyckelhållsvariationer, zinksprut och dynamiken

i svetssmältan [Fig. 14]. Eftersom det föreligger täthetskrav för dessa batterilådor utförs svetsningen med nollspalt, varför all avgasning av zinken måste ske på ett kontrollerat sätt genom nyckelhålet.

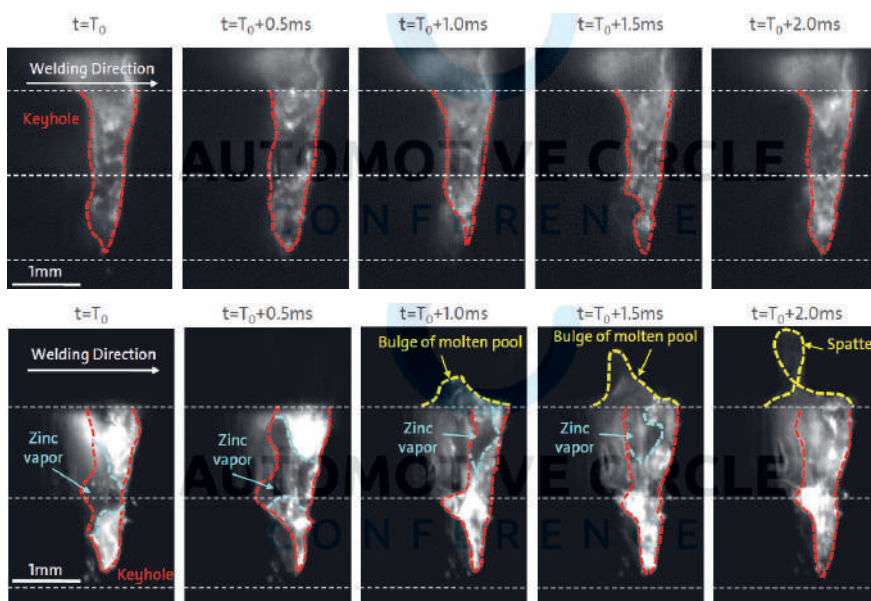


Figur 13.

General Motors CEO Mary Barra har utlovat att företaget kommer att kunna erbjuda 20 varianter av eldrivna fordon år 2023, såsom Chevrolet Bolt och den självkörande Cruise LLC t.h., vilken kommer att tillverkas i klassiska Detroit-Hamtramck-fabriken.

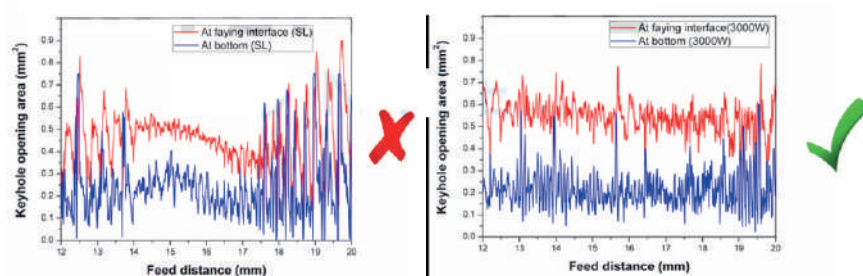
Man hade jämfört konventionell, rak framföring av laserstrålen med oscillerad sådan och den senare metoden innebär inte helt överraskande en större nyckelhålsöppning [Fig. 15]. Denna ökade med tilltagande lasereffekt, medan mängden förångad zink hölls konstant. Om man istället tittade på effekten av svetsstid innebar en ökad sådan marginell inverkan på nyckelhålsöppningen, medan däremot zinksprutet tilltog vid längre svetsstider. Den gode Joshua menade att zinksprutet kunde delas in i två typer, där den första gick att härleda till instabiliteten då nyckelhålsbotten växelsvis öppnas och sluts, något som går att motverka med högre lasereffekt och längre svetsstider. Det tråkiga är emellertid att dessa åtgärder lätt leder till att den andra typen av zinksprut uppstår. Detta händer när nyckelhålets bakkant får hög temperatur och låg ytspänning och därmed har svårt att motstå det förångningsstryck som uppstår i nyckelhålet. Genom att plotta tillförd energi för respektive typ och ångtryck kan man hitta de parametrar som balanserat ger den minsta förekomsten av zinksprut [Fig. 15]! Den oscilleringsfrekvens som använts vid experimenten var hög, men exakt hur mycket ville Mr. Solomon inte avslöja.

I en sista materialrelaterad presentation beskrev Christian Hagenlocher från IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] vid Stuttgart Universität hur man kan undvika problemet med varmsprickor i lasersvetsar genom att optimera kornstrukturen i svetsgodset. Problemet med varmsprickor gör sig främst gällande då svetsen är placerad nära en plåtkant, en erfarenhet som vi tidigt lärde oss på Volvo Cars vid lasersvetsning på smala dörröppningsflänsar. I det fallet rörde det sig om svetsning i presshårdade karossdetaljer i Bor-stål, men likartade problem finns vid svetsning i sprickbenägna aluminiumlegeringar så-



Figur 14.

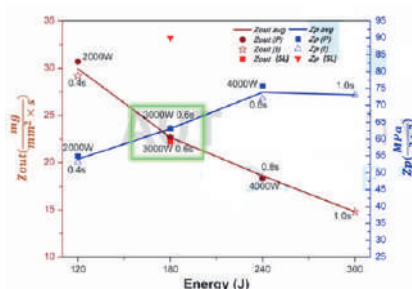
Höghastighetsfilmning av lasersvetsning med nollspalt av obelagd (överst) och zinkbelagd (underst) stålplåt, vilket tydligt visar på det instabila beteendet hos nyckelhålet i det senare fallet.



Figur 15.

Ovan nyckelhålsöppningens fluktuation vid svetsning utan (t.v.) respektive med (t.h.) strål-oscillering.

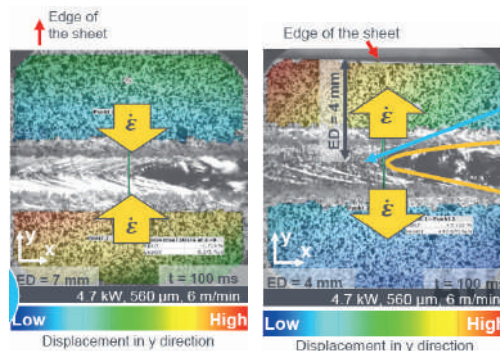
Diagrammet t.h. illustrerar de båda typerna av zinksprut genererade antingen från nyckelhålets botten (Zout) eller dess bakkant (Zp) som funktion av tillförd energi. Skärningspunkten mellan kurvorna ger en hänvisning om vilka laserparametrar som ger minst zinksprut.



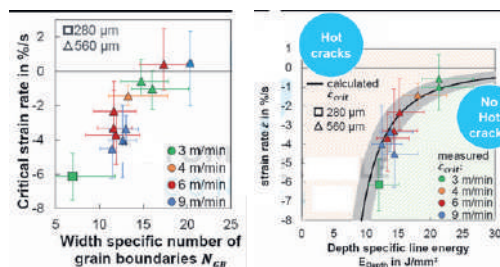
som den här undersökta AA6014. Att det uppstår sprickor i svetsgodset kan härledas till den snabbare avkylning av detsamma som sker ju närmare plåtkanten svetsen appliceras, vilket introducerar dragspänningar tvärs svetsen, och om töjningshastigheten överskrider ett visst värde uppstår en varmspricka som oftast är centralt positionerad i svetsgodset [Fig. 16].

Forskningen vid IFSW har eftersträvat att finna denna kritiska töjningshastighet och då vidtagna åtgärder som kan hindra att man uppnår densamma. Vad man upptäckt är att en bredare svets blir mindre sprickbenägen, vilket enligt Herrn Hagenlocher menade beror, ur metallurgisk synpunkt, på att antalet korngränser ökar och dragspänningarna fördelas på dessa, vilket resulterar i en lägre töjningshastighet [Fig. 17]. Samma gäller om svetsgodset får en mycket finkornig struktur, helst i form av equiaxliga, dentritiska korn, vilka bromsar töjningshastigheten. Normalt uppstår en dylik kornstruktur inte vid höga sträckenergier, men genom att oscillera laserstrålen kunde man trots långsam framföringshastighet skapa den eftersträvalda equiaxliga och dendritiska strukturen. Baserat på sådana teoretiska antaganden hade man formulerat beräkningsalgoritmer och genomfört experimentella svetsförsök där, inte helt överraskande, parameterinställningar som gav hög sträckenergi också resulterade i sprickfria svetsar [Fig. 17]. Just i fallet med AA6014 kunde man räkna fram att den kritiska töjningshastigheten låg på 677 W/mm med en spridning på +65/-50 W/mm. Metodiken för att räkna sig fram till dylika kritiska töjningshastigheter har utvecklats i de båda forskningsprojekten "LEinA" och "HeRiNEsp", och skall vara tillämpbar också på andra aluminiumlegeringar än den här undersökta.

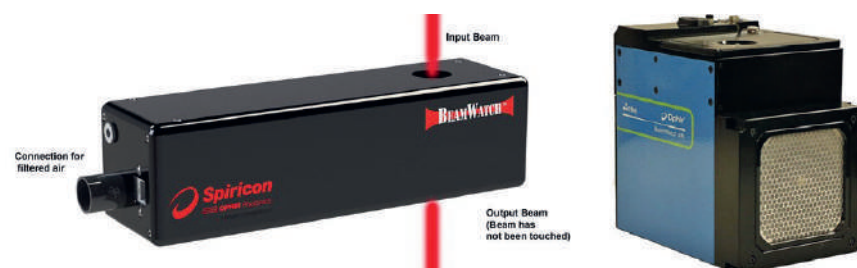
Kvalitetskontroll och smarta processupplägg var det avslutande temat som avhandlades vid EALA2020. Först ut var Alexander Franz [Volkswagen AG] och Nicolas Meunier [MKS Ophir] där den sistnämnde inledde med att beskriva deras stråldiagnostikverktyg BeamWatch®. Detta har ju presenterats tidigare vid åtskilliga konferenser och möjliggör en kontaktlös analys av laserstrålens kaustik där denna betraktas från sidan. Nyheten nu var att man kan mäta både två och tre strålar simultant [Fig. 18]. Nytt var också en variant att användas vid additiv tillverkning, BeamWatch AM® [Fig. 18], vilket till sin funktion i mångt och mycket påminner om den lösning som Primes



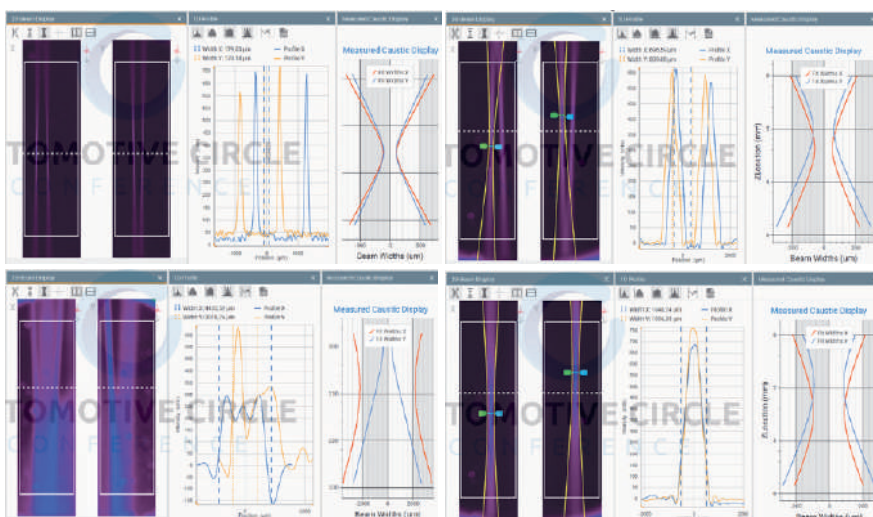
Figur 16. Lasersvetsning nära en plåtkant (4 mm t.v.) leder ofta till varmsprickor i material som AA6014, och detta beror på att dragspänningar introduceras tvärs svetsen. Dessa kan omvandlas till gynnsammare tryckspänningar om svetsen placeras längre in från kanten (7 mm t.h.)



Figur 17. Om antalet korngränser i svetsgodset ökar fördelas dragspänningarna över dessa och resulterar i en lägre töjningshastighet. Med en beräkningsalgoritm utvecklad vid IFSW kan den kritiska töjningshastigheten för uppkomsten av varmsprickor beräknas utifrån tillförd sträckenergi.



Figur 18. Stråldiagnostikverktyg från företaget MKS Ophir (tidigare Spiricon); t.v. BeamWatch® som kan analysera såväl två som tre laserstrålar simultant, och t.h. BeamWatch AM® speciellt utvecklat för att användas vid additiv tillverkning.



Figur 19. Exempel på visualiseringen av strålanalys av (medsols); två strålar med 1,5 mm avstånd och 180 µm fokuspunkter, två strålar med 4 mm mellanrum och 600 µm fokuspunkter, två strålar med 1mm avstånd och 600 µm fokuspunkter samt slutligen tre(!) strålar, varav en tophat 2x2 mm plus två stycken med Gaussisk energifördelning.

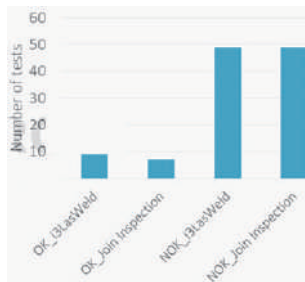
GmbH presenterade redan 2018. Herrn Franz visade därefter på några exempel där BeamWatch® används vid produktionen av VW Golf [generation 7] både vid lasersvetsning och -lödning, och där man i det senare fallet har att hantera

en flerkokus-stråle. Uppmätningen av stråлкаustiken tar mindre än en sekund(!), och förutom råstrålens dimensioner, divergens, Rayleigh-längd och strållkvalitet kan nu även en eventuell fokalpunktsförskjutning analyseras [Fig. 19].

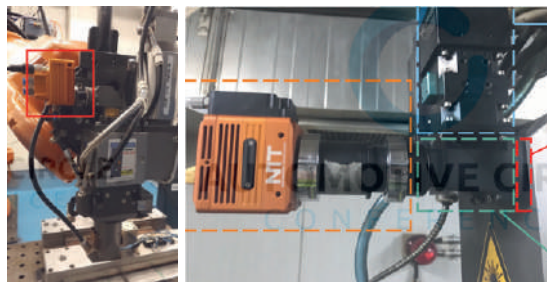
Att analysera den infraröda strålningen från en svetsprocess kan vara en form av kvalitetssäkring i realtid. Under mina sista år vid *Volvo Cars* kom jag i kontakt med företaget *NIR [New Infrared Technologies]* som erbjuder sitt *I3LASWELD*-koncept för detta, och jag lärde då känna dess sympatiske medarbetare **Rodrigo Linares**. Tillsammans utvärderade vi tekniken applicerad på lasersvetsningen vid Torslandaverken, och vi kunde konstatera en näst intill korrekt bedömning av acceptanskriteriet för svetsdiken [Fig. 20]. Förutom denna typ av svetsfel kan *I3LASWELD* även detektera defekter som bindfel, otillräcklig penetration samt inneslutningar och porer, och utrustningen kan användas för såväl stationära optiker som för skanner-system. Huvudkomponenten utgörs av en kamera känslig för IR-strålning i våglängdsområdet 1–5 μm , och nu lät senor Linares meddela att man har utvecklat ett nytt, förfinat verktyg baserat på en ny kameravariant. Den tidigare *TACHYON 1024 microCAMERA* har ersatts med *TACHYON 16K CAMERA PLUS* [Fig. 21], vilket medfört att upplösningen blivit bättre med en pixel-storlek på 50 μm mot den tidigare 135 μm , samt att bildinsamlingsfrekvensen ökat från 1 till 4 kHz [= 4.000 bilder per sekund].

Den nya kameran hade integrerats i ett skanner-verktyg [*Blackbirds* intelliWELD 30 FC] hos ett underleverantörsföretag för stumsvetsning av zinkbelagda rostfria plåtar i tjocklekarna 1,6 och 2,0 mm. Initialt krävs en inlärningsprocess så att programmet kan känna igen olika typer av svetsdefekter. Varje komponent innehöll 22 stycken korta svetsar vilka utfördes med 6 kW från en *TruDisc*-laser från *Trumpf* med processhastigheter mellan 6–12 mm/sek. Analysen av svetsresultaten visualiseras, och lagras, i ett synnerligen användarvänligt gränssnitt [GUI = Graphical User Interface, Fig. 22]. Av de sammanlagt 379 utförda svetsarna bedömdes 355 stycken korrekt vilket betyder en tillförlitlighet på 94%. Bland de 24 felaktigt bedömda var 10 stycken s.k. false negative, medan det mer allvarliga ”false positive” noterades för 14 svetsar.

Näste talare var **Jens Schwerdtner** från *II-VI HIGHYAG* som beskrev den nya, riktningsoberoende fogföljningslösning som företaget erbjuder integrerat i sina skanner-verktyg [RLSK-serien]. Dessa är anpassade för fiber- och disk-lasrar i våglängdsområdet 1.020–1.100 μm , och kontinuerliga effekter upp till 8 kW för MM [MultiMode] och 2 kW för



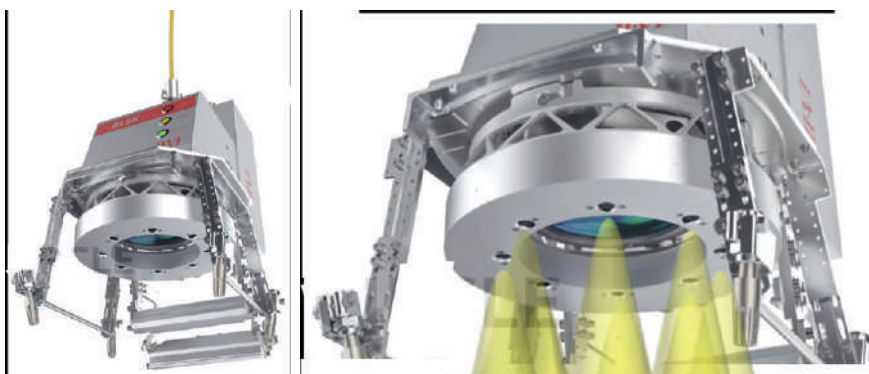
Figur 20. 100%-igt korrekt bedömning av acceptanskriteriet för svetsdiken vid utvärdering av *I3LASWELD* på Volvo Torslandaverken.



Figur 21. De båda IR-kamerorna *TACHYON 1024 microCAMERA* (t.v.) och *TACHYON 16K CAMERA PLUS* monterade på olika verktyg för lasersvetsning.



Figur 22. Några exempel på det mycket användarvänliga gränssnittet hos *I3LASWELD*.



Figur 23. *II-VI HIGHYAG*:s skanner-verktyg *RLSK* erbjuder numera med en riktningsoberoende fogföljning baserad på illuminering av arbetsområdet med 8 stycken lysdioder.

SM [SingleMode]. Arbetsområdet är 200×300×200 mm och maximalt arbetsavstånd uppgår till 0,64 meter. Förflyttningen av laserstrålen från ett svetsläge till ett annat i horisontalplanet, s.k. jump time, ligger under 15 ms! Nyheten är den riktningsoberoende fogföljningen baserad på en illuminering av arbetsområdet med 8 stycken lysdioder integrerade i skanner-verktyget [Fig. 23]. Detta är också försett med 4 utlopp för skyddsgas, vilken i första hand är avsedd att undertrycka uppkomsten av ett plasma. Fogföljningen bygger inte på traditionell triangulering utan kräver en inprogrammering av fogens läge, varpå en kamera avläser fokuspunktens verkliga läge och en justering av positionen sker i realtid.

Praktikfallet handlade om fjärrlasersvetsning av sidodörrar i aluminium och zinkbelagd stålplåt för *BMW*:s räkning. Här hade ovannämnda skanner-verktyg

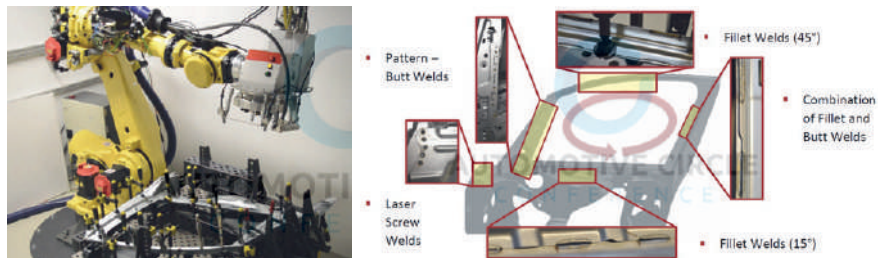
med dess optiska fogföljning kopplats via en 200 μm grov optisk fiber till en 8 kW MM fiberlaser. Verktyget manipulerades med hjälp av en *R2000iC* *Fanuc*-robot. Positioneringsnoggrannheten låg på $\pm 0,1$ mm och laserstrålens infallsvinkel mot källogen varierade mellan 10–45° så att spalter upp till 0,3 mm mellan plåtarna kunde överbryggas. Även svetsning av stumfogar och s.k. skruvsvetsar utfördes i lasercellen [Fig. 24]. Avslutningsvis påpekade **Herrn Schwerdtner** att p.g.a. fogföljningskonceptet är oscillering av laserstrålen begränsad till förhållandevis små amplituder.

Vid olika laserkonferenser på senare tid har vi kunnat ta del av verktyget *SFM [ScanFieldMonitor]* från *Primes GmbH*, så också vid *EALA2020* där **Herrn Thomas Umschlag** förde företagets talan. Just stråldiagnostik är *Primes'* specialitet och man har fram till idag levererat

över 20.000 system "world-wide". Det här presenterade verktyget är främst avsett för användning vid RLW och AM, där man kan mäta laserstrålens diameter, divergens, energifördelning och effekt i varje position i arbetsområdet! Metodiken bygger på en i verktyget integrerad glasplatta försedd med ett antal tunna metalltrådar. När laserstrålen passerar över dessa kan man fastlägga strålens hastighet, rörelsevektorer (riktning, längd och absolut position) samt bredd i x- och y-koordinat [Fig. 25]. Uppmätta värden jämförs därpå med programmerade, varpå nämnda vektorer kan korrigeras. Om två skanner-verktyg med överlappande arbetsområden förekommer går det alldeles utmärkt att använda motsvarande två stycken SFM-verktyg. Några svar gavs på frågor från auditoriet, såsom att tiden för varje mätpunkt ligger kring 0,5 sekund samt att skadetröskeln för den i verktyget ingående glasplattan är så hög som 100 MW/cm².

Avslutningsvis kunde vi lyssna till tre föredrag kring OCT [Optical Coherence Tomography] som ett instrument för processövervakning och -kontroll. Först ut var Jens **Reiser** från *Precitec GmbH* som tillsammans med Pasquale **Francosia** från *Warwick University*, inledningsvis nämnde några exempel på laserverktyg lämpliga för "e-mobility"-applikationer. Här finns Probe CLS0.2 som med interferometri kan mäta tjockleken på tunna aluminium- och kopparfolier samt ytbeläggningens tjocklek på koppartrådar. Vidare verktyget LWM [Laser Welding Monitoring, Fig. 26] med en sensor baserad på dioder med vars hjälp svetsssprut, spalter, porer och s.k. false friends kan upptäckas.

Därefter beskrevs en "closed loop"-lösning för fjärrlasersvetsning av batterimoduler, vilka bestod av aluminium-extruderar i 6000-legeringar med en väggdjocklek på 1,5 mm. Här användes OCT integrerat i *Precitecs* verktyg Weld-master Scan Track & Inspect®. Lasersvetsarna utförs i kälfgsgeometri med en processhastighet strax över 6 m/min, och medelst effektmodulering kan spalter upp till 0,7 mm överbryggas. Penetrationsdjupet kontrolleras med OCT [70 kHz] och här hade man gjort observationen att med tilltagande spalt mellan plåtarna förändras nyckelhålets form, varför den återreflekterade OCT-signalen kan bli missvisande. Detta kan motverkas om avståndet mellan process- och OCT-stråle kontinuerligt och adaptivt regleras [Fig. 27]. Därför hade man lagt mycket arbete på att med AI ta fram en modell för detta baserad på rådata från tidigare utförda svetsförsök [Fig. 28].



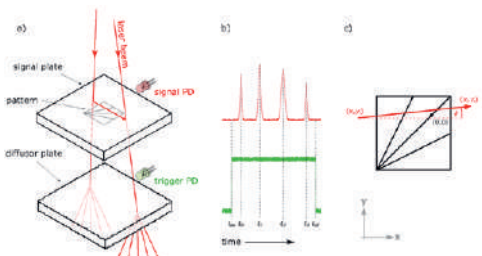
Figur 24.

Fjärrlasersvetsning av sidodörrar hos *BMW* med skanner-verktyg från *II-VI HIGHYAG*. Såväl käl- som stumfogar svetsas, men optiken gör det även möjligt att utföra s.k. skruvsvetsar



Figur 25.

Stråldiagnostikverktyget ScanFieldMonitor har en integrerad glasplatta med ett antal tunna metall-trådar. När laserstrålen förs över dessa kan man fastlägga dess hastighet, rörelsevektorer samt tvärsnittsmått.

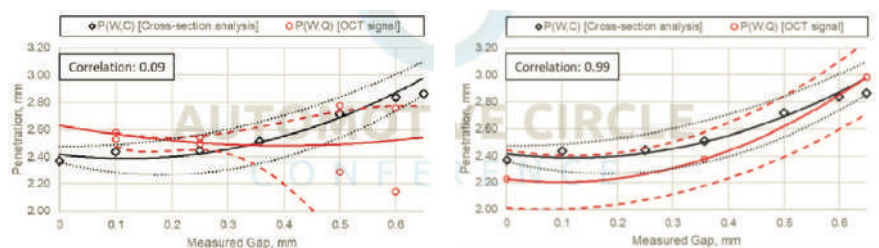


Figur 26.

Med *Precitecs* verktyg för processövervakning LWM, som har en sensor baserad på dioder, kan man upptäcka svetsssprut och spalter, liksom svetsdefekter som porer och "false friends".

Figur 27.

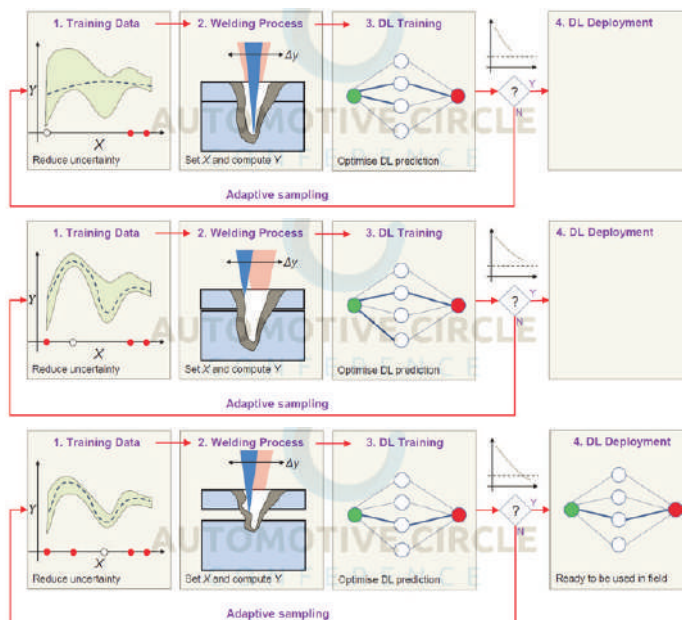
Om spalten mellan plåtarna ökar förändras nyckelhålets form och därmed reflexionen av OCT-strålen om denna statistiskt följer med processstrålen. Problemet kan lösas genom en adaptiv reglering av avståndet mellan de båda strålarna, något som framgår av nedanstående kurvor; utan reglering t.v. och med en sådan t.h. som gör att OCT-signalen följer det verkliga penetrationsdjupet.



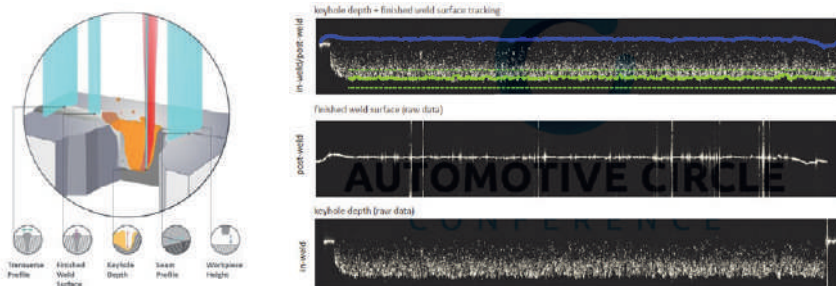
En annan "team-presentation" var den som gjordes av Ralf **Strohmeyer** [Brose North America] och Dr. Paul **Webster** [IPG Photonics]. Den senare deltog för sex år sedan vid EALA, men då som representant för *Laser Depth Dynamics*, ett avknopningsföretag från MIT [Massachusetts Institute of Technology] och sedermera uppköpt av IPG. Hos Brose har man hittills använt processövervakning baserad på fotodioder vid lasersvetsning av diverse sättesdetaljer till personbilar. Enbart för sätesskenor har man 50 produktionsceller i Nordamerika som producerar mer än 25 miljoner skenor årligen. Då OCT ger betydligt mer information är avsikten att innan årets slut introducera övervaknings-verktyget LDD-700 för fjärrlasersvetsning, gärna då med "closed loop"-kontroll av såväl robotbana som lasereffekt. Med OCT kan man kartlägga vågigheten på ytan framför laserstrålen, under svetsningen mäta penetrationsdjupet, och efteråt kontrollera geometrin på svetsens toppyta [Fig. 29]. Fogtypen är olika varianter av flänsad stumfog (symmetrisk eller offset) där positioneringen av fokuspunkten kan störas av geometrivarationer hos de pressade plåtdetaljerna och formförändringar som kan härledas till uppvärmning respektive avkylning under svetsprocessen.

Siste talare var Richard **Steinbrecht** från *Lessmüller GmbH* som berättade om hur deras OCT-lösning, som man döpt till Weldeye®, används vid svetsning av rotationssymmetriska drivlinekomponenter. Även för dessa komponenter förekommer olika fogtyper, såsom käl-, stum- och T-fog. Man hade integrerat övervakningsmodulen i *Lessmüllers* svetsverktyg LSO [Lens Shifting Optics, Fig. 30], där laserstrålens fokuspunktsposition ligger inom 0,01 mm och kan manipuleras $\pm 2,5$ mm i horisontalplanet och ± 15 mm i laserstrålens utbredningsriktning. Optiken kan fås med två olika brännvidder [200 och 280 mm], klarar kontinuerliga lasereffekter upp till 6 kW, och LSO-verktyget väger totalt 12 kg.

En av de stora finesserna med OCT menade Herrn Steinbrecht är att tekniken kan användas för både fogföljning och kontroll av penetrationsdjupet. Det senare kan emellertid vara begränsat vid högre svets hastigheter då nyckelhålet tenderar att luta i svetsriktningen och OCT-strålen därmed inte når ner till nyckelhålets botten [Fig. 31]. Därför kan det vara fördelaktigt att reglera avståndet mellan process- och OCT-stråle, liksom fallet var vid en ökande spalt mellan plåtarna i ett överlappsförband, genom att pendla den

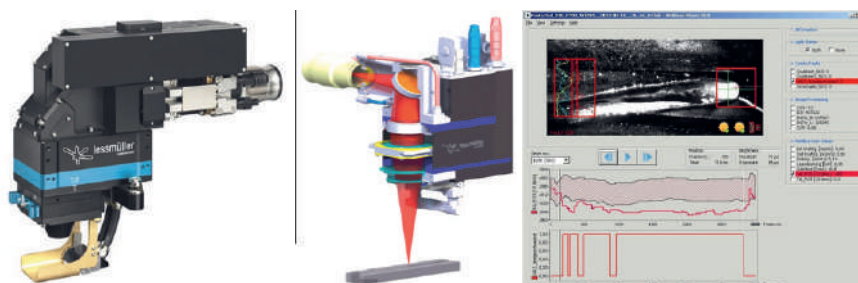


Figur 28. Med så kallad artificiell intelligens har man vid Warwick University, U.K., kunnat lära en OCT-baserad processövervakning av lasersvetsning, att på ett korrekt sätt bedöma respons-signalen även då stora variationer förekommer i fogen.



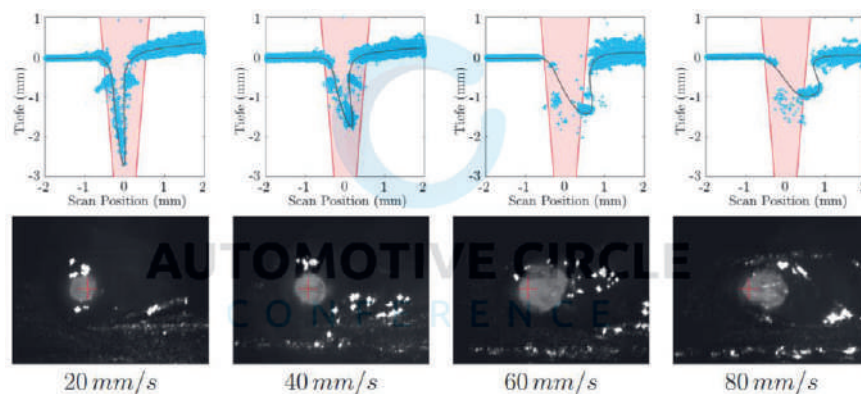
Figur 29.

IPG-verktyget LDD-700 kan med OCT-teknik mäta ytan framför laserstrålen, penetrationsdjupet under själva svetsningen samt avläsa geometrin på den färdiga svetsens toppyta. De båda sist-nämnda funktionerna kan visualiseras i en sammanfattande bild (överst t.h.).



Figur 30.

Svetsverktyget LSO från *Lessmüller GmbH* som har en optik med vars hjälp det går att manipulera laserstrålen i såväl horisontalplanet som i dess utbredningsriktning. Företagets OCT-lösning Weldeye® kan bl.a. användas för fogföljning där resultatet visualiseras enligt bilden t.h.



Figur 31.

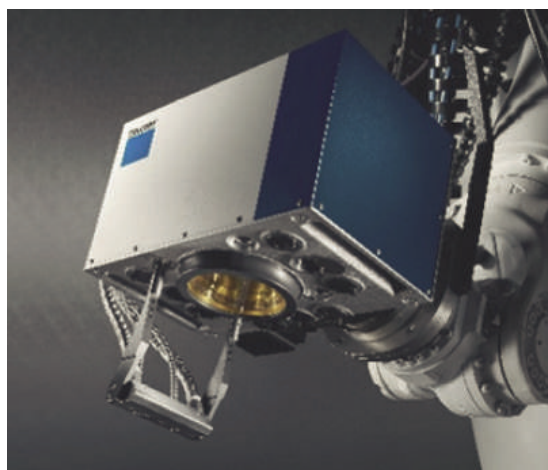
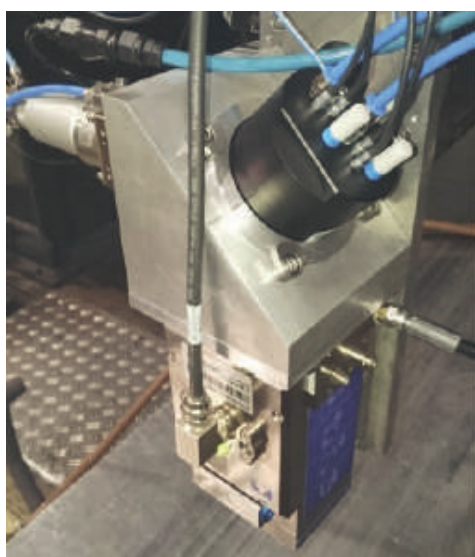
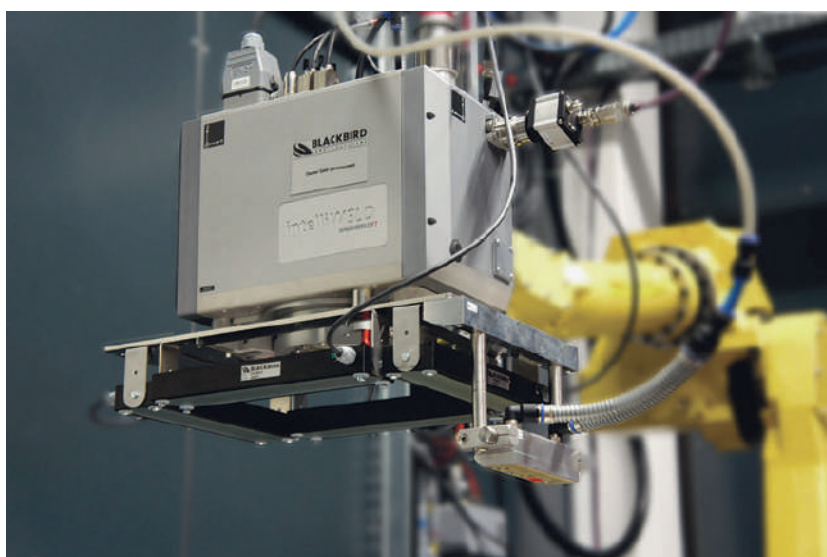
Använda OCT för processövervakning vid höga hastigheter begränsas av att nyckelhålet får en alltmer lutande form vilket gör att OCT-strålen inte når dess botten. Ett sätt att motverka en sådan effekt är att rumsligt och adaptivt skilja process- och OCT-stråle åt genom en pendling i svetsriktningen av den senare.

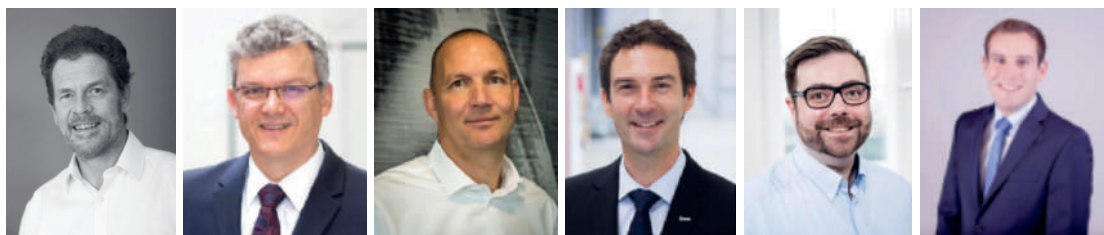
senare i svetsriktningen. En omfattande studie hade gjorts vid överlappssvetsning av två zinkbelagda stålplåtar [DX56] i tjocklekarna 0,65 och 2,0 mm med 0,1 mm spalt. 1,6 kW från en IPG fiberlaser hade använts, och svets hastigheten låg på 4,0 m/min med fokuspunkten placerad 5 mm under toppytan på den övre plåten. Tvärsnitt togs på tre ställen för varje svets, 15, 30 och 45 mm från startpunkten, vilket i tid motsvarar 225, 450 respektive 675 ms. På så sätt fick man en korrekt jämförelse mellan OCT-signal och verkligt penetrationsdjup. För totalt 60 fysiska tvärsnitt låg penetrationens medelvärde på 1,058 mm, medan motsvarande värde för OCT-signalerna var 1,044 mm, alltså en skillnad på blott 0,014mm! Med nuvarande

mätfrekvens kan man dessutom upptäcka svetsdefekter ner till en storlek av 250 µm.

Traditionellt avslutas EALA-konferensen alltid med att representanter från de olika biltillverkarna ger sin syn på framtida användningsområden och koncept för lasertekniken. Denna gång var det Christian **Elsner** [Mercedes Benz AG], Joshua **Solomon** [General Motors Company], Christian **Brémont** [Renault S.A.S.], Jan-Philipp **Weberpals** [Audi AG] och Oscar **Andersson** [Volvo Cars] som gav sina synpunkter beträffande framtiden. Inte helt överraskande var ett gemensamt tema ”e-mobility”, där Dr. Weberpals menade att kvalitetssäkring av svetsar kommer att bli ännu viktigare jämfört med vad som gällt för karosseriapplikationer. Ett annat ge-

mensamt område där biltillverkarna alltid uttryckt ett behov är kostnadsreduktion, inte minst för olika laserverktyg som tycks bli alltmer komplexa och sofistikerade och då också tenderar att bli dyra. Övergången till elektrisk framdrivning med tillhörande batteripaket tror Dr. Weberpals kommer att påverka karosstrukturens design, vilket kan leda till nya utmaningar för lasersvetsprocesser. Slutligen uttryckte Dr. Andersson behovet av robusta användargränssnitt som skall fungera i Volvo Cars’ globala fabriker under 24/7-operation, samt att mer fokus måste läggas på fysikalisk förståelse för lasersvetsningen, inte minst då det gäller svetsning av lättviktslegeringar i aluminium. ■





**LASER
SYSTEMS
EUROPE**

LASYS
International trade fair
for laser material processing

Lasers in Action

Intressanta "Laser Webinars" lanserades under Corona-krisen

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering



För att råda bot på den informationsbrist som uppstått genom att ett flertal laserkonferenser, som exempelvis AKL'20 [*Aachener Kolloquium für Lasertechnik*], tvingats ställas in p.g.a. Corona-pandemin, tog englands-baserade magasinet *Laser Systems Europe* [LSE] det lovvärda initiativet, tillsammans med Messe Stuttgart och LASYS, till några s.k. webinars som gav oss möjlighet att ta del av den senaste utvecklingen i branschen. LSE:s Matthew Dale [Fig. 1] var den som fungerade som moderator vid båda tillfällena och via en chat-funktion, vilken utnyttjades flitigt, hade delta-garna möjlighet att ställa frågor och diskutera med föredragshållarna.

Ett antal välkända laserprofiler passerade revy som föreläsare, och vid det första till-fället låg fokus främst på laserkällor inom det blå våglängdsområdet. En tillverkare av dylika produkter är *Nuburu Inc.* som kanske inte är så känd här i Europa, varför den presentation som gavs av företagets marknadsansvarige i Europa, Richard Gleeson, blev extra intressant. Han inledde med att beskriva den potential som finns för denna kortare våglängd då det gäller svetsning av batteri- och andra e-mobility-komponenter, som till stor del utgörs av kopparmaterial där den "blå" våglängden har en överlägsen absorptionsförmåga, cirka 13 gånger högre jämfört med den som en IR-laser presenterar [Fig. 2]. Svetsförsök utförda med den sist-nämnda resulterar i omfattande svets-sprut och därmed en undermålig svetskvalitet vilket i sin tur medför sämre mekaniska och elektriska egenskaper. Dessutom är svetshastigheten, och därmed produktiviteten, låg i jämförelse med resultaten



Figur 1.

Matthew Dale från magasinet *Laser Systems Europe* var den som höll i trådarna vid de webinar som genomfördes, och där han blandade egna frågor till föredragshållarna med sådana som kom in via den tillgängliga "chatten".

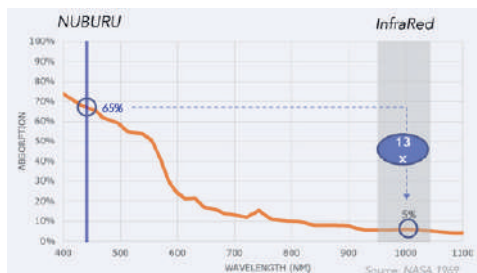
från försök utförda med Nuburus "blå" lasrar. Tack vare den höga svets hastigheten blir värmeförseln låg, vilket minimerar såväl den värmepåverkade zonen kring svetsen som distorsioner hos de svetsade artiklarna.

Det som är unikt med Nuburus diodlasrar är att varje enskild diod eller halvledarelement är försedd med en fokuseringslins, varpå de separata laserstrålarna kollimeras till en enda som då får en utsökt briljans och en mycket hög strålkvalitet [BPP = Beam Parameter Product] kring 11 mm*mrad! Hos andra tillverkare av diodlasrar med hög effekt byggs ju halvledarelementen samman till s.k. diodstavar vilket medför en betydligt sämre strålkvalitet [~100 mm*mrad]. Detta faktum störde uppenbart Markus Rütering från *Laserline GmbH* med tanke på dennes senare presentation. Han menade att strålkvaliteten var av underordnad betydelse eftersom den blå våglängdens huvudsakliga fördel är dess goda absorptionsförmåga i en mängd material, såsom koppar, aluminium, nickel, titan och rostfritt stål. Det kanske mest anmärkningsvärt var informationen att vid laserbearbetning av guld är absorptionen 66 gånger (!) högre jämfört med infrarött laserljus. Nuburus produktportfölj innehåller idag tre olika laserkällor inom det blå våglängdsområdet [Fig. 3];

- AO-200 med 200 W effekt, 200 µm distributionsfiber och en strålkvalitet på 15 mm*mrad, vilket gör att laserstrålen kan fokuseras till en brännfläck mellan 100-200 µm i diameter
- AO-650 med 650 W effekt, 400 µm distributionsfiber och en strålkvalitet på 30 mm*mrad, vilket gör att laserstrålen kan fokuseras till en brännfläck mellan 200-400 µm i diameter. Produkten kan även erhållas med 1 kW, men då med en fokuspunktsstorlek på 430 µm
- Slutligen AI-1500 med 1,5 kW effekt, 100 µm distributionsfiber och en strålkvalitet på 11 mm*mrad, vilket gör att laserstrålen kan fokuseras till en brännfläck med en diameter <100 µm. Denna produkt möjliggör också fjärrlasersvetsning vilket inte tillhör vanligheterna då det gäller bearbetning med diodlasrar [Fig. 4].

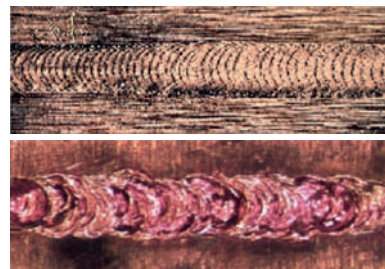
Även i det senare påståendet gick Herrn Rütering i svaromål och menade att även *Laserlines* motsvarande produkter fungerar vid fjärrlaserbearbetning.

Mr. Gleeson visade vidare på några praktikfall där ett utgjordes av det välbekanta ämnesområdet att svetsa s.k.



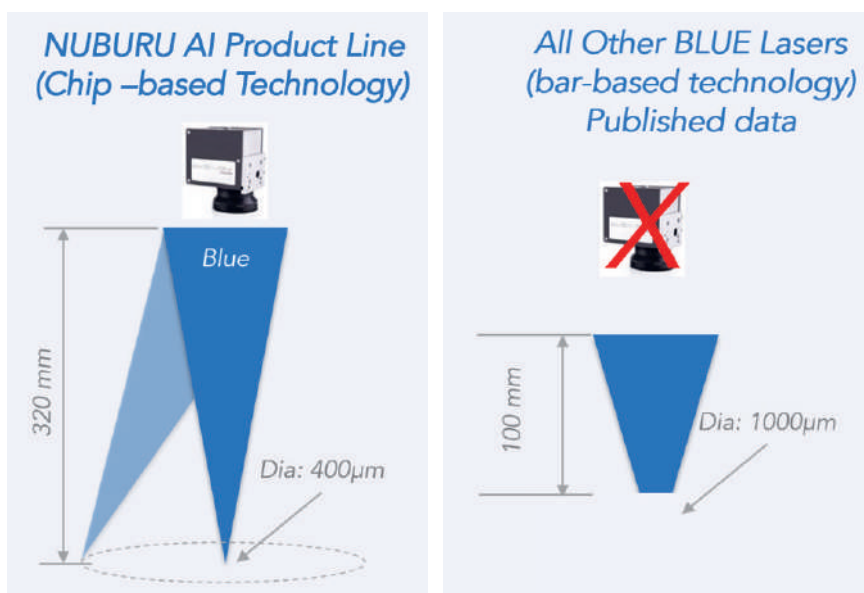
Figur 2.

Vid lasersvetsning av koppar har en blå våglängd kring 450 nm cirka 13 gånger högre absorption jämfört med infraröd våglängd, vilket visualiseras t.h. i form av kvalitén på svetsens toppyta för "blå" (överst) respektive IR-laser (underst).



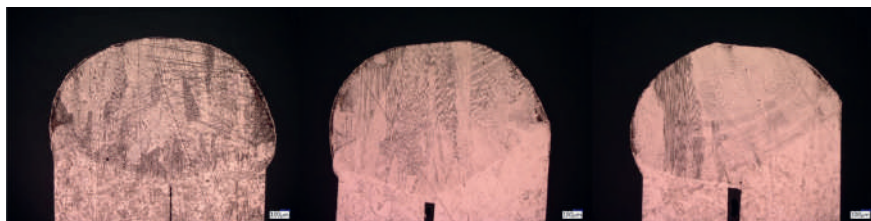
Figur 3.

Nuburus utbud av laserkällor i det blå våglängdsområdet; frv. AO-200, AO-650 och AI-1500, med strålkvaliteter på 15, 30 respektive 11 mm*mrad.



Figur 4.

Nuburus koncept med individuella fokuserlinser för varje enskild halvledarelement (chip-based) medför en överlägsen strålkvalitet jämfört med andra "blå" laserkällor som byggs upp med diodstavar (bar-based). Detta begränsar de senares användning beträffande fjärrlaserbearbetning.



Figur 5.

Resultat från svetsning av "hårnålar" visar att processen visar upp en hög svetskvalitet även vid större och varierande spalter mellan dessa.

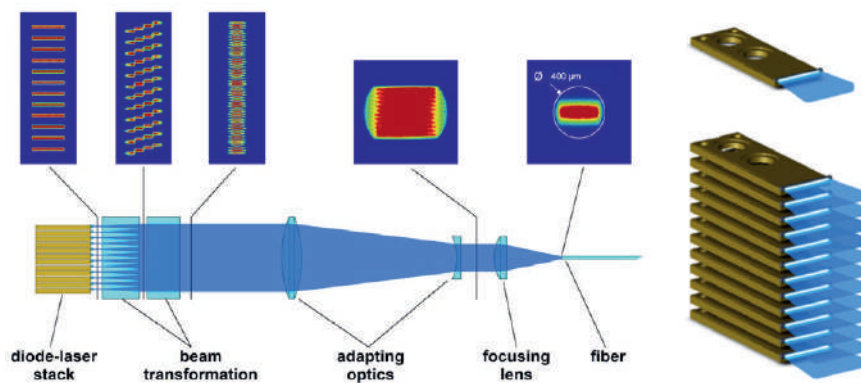
hårnålar av koppar till statorer i elektriska motorer med skanning-teknik. Hårnålarna som svetsas parvis har en ändyta på 1,5x3,0 mm och man hade studerat inverkan av spaltens storlek mellan de

båda hårnålarna [Fig. 5]. Svetsprocessen var synnerligen förlåtande, även vid stora spalter, vilket innebär en sprutfri svetsprocess med minimal förekomst av porer.

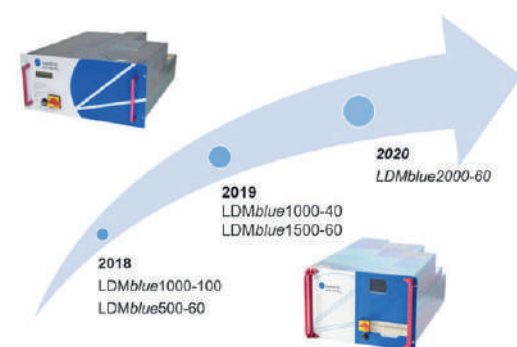
Avslutningsvis menade Mr. Gleeson att verkningsgraden vid kopparsvetsning ligger 20% högre för "blått" laserljus i jämförelse med då den något längre, gröna våglängden används. Verkningsgraden eller WPE [Wall Plug Efficiency] för "blå" lasrar är cirka 35% högre jämfört med "gröna" laserkällor, och förväntas kunna ökas ytterligare, samtidigt som källor med flera kW i effektuttag kommer att finnas tillgängliga som kommersiella produkter. På en fråga rörande underhåll, svarade han att man bör räkna med cirka 20.000-25.000 timmars drifttid för *Nuburus* "blå" lasrar innan några underhållsåtgärder behöver sättas in.

Markus **Rütering** från *Laserline GmbH* fortsatte att sjunga de blå laserkällornas lov i sin presentation. Företaget, med huvudsäte i Mülheim-Kärlich nära Koblenz, har ju under många år varit marknadsledande vad gäller diodlasrar med hög effekt, men då i det infraröda våglängdsområdet där man till dags dato levererat mer än 6.000 system world-wide. Deras teknik bygger på att enskilda halvledarelement fogas samman till stavar och dessa därefter sammanbyggs till diodstaplar som kan ge upp till 200 W lasereffekt [Fig. 6]. I och med att laserljuset inte fokuseras från varje enskild diod utan först sedan dessa sammankopplats till stavar blir strålkvaliteten sämre jämfört med det koncept som *Nuburu* använder, och man hamnar vanligtvis på en BPP på 60 mm*mrad eller högre. Man erbjuder idag fem kommersiella produkter i det blå våglängdsområdet; LDM_{blue} 500-60, LDM_{blue} 1000-40, LDM_{blue} 1000-100, LDM_{blue} 1500-60, samt den i år lanserade LDM_{blue} 2000-60 [Fig. 7].

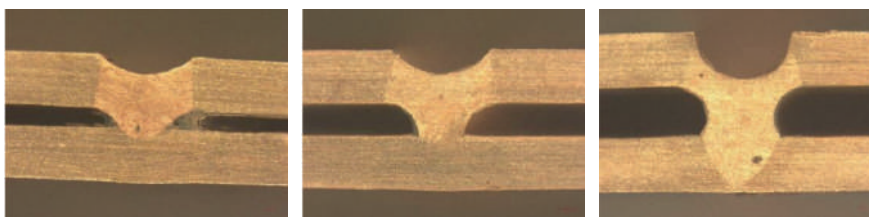
Även den gode Markus visade upp en mängd kopparrelaterade applikationer och svetsförsök, där den kanske mest imponerande var en sprutfri värmeledningssvetsning av två stycken 0,3 mm tjocka kopparmembran med 1 kW lasereffekt, en fokuspunktsdiameter på 1 mm och svindlande 15 m/min i svetshastighet. Ett annat exempel var svetsning av 10 stycken 25 µm tunna kopparfolier till en 0,5 mm tjock kopparplåt där man använt 1,1 kW effekt från en LDM_{blue} 1500-60. Framföringshastigheten var här 25 mm/sek, och för dylika applikationer pekade Herrn Rütering på nödvändigheten av en god fixering mellan folier och plåt. Samma typ av laserkälla hade använts vid sammanfogning av aluminium och koppar. Med kopparpartnern som topplåt gick det att svetsa helt sprutfritt, och genom att kontrollera tillförd energi kunde såväl



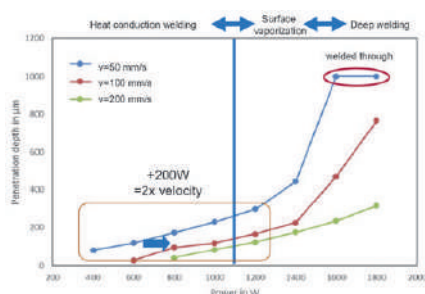
Figur 6. Laserlines koncept för hur man skapar laserljus i det blå våglängdsområdet utifrån s.k. diodstaplar. Dessa byggs upp av enskilda diodstavar som vardera producerar cirka 75 W lasereffekt.



Figur 7. I Laserlines sortiment av "blå" laserkällor finns idag fem olika produkter, varav den senast lanserade är LDM_{blue} 2000-60 med 2 kW cw-effekt och en strålkvalitet på 11 mm*mrad.



Figur 8. Överlappssvetsning av två 0,5 mm tjocka kopparmembran med "blått" laserljus ger vid handen att förhållandevis stora spalter kan överbryggas; fr. v. 0,2 mm, 0,3 mm och 0,5 mm. I det senare fallet kunde emellertid endast 70% av svetslängden uppfylla ställda kvalitetskrav.



Figur 9. Vid lasersvetsning med en "blå" laserkälla ser man samma fenomen som förekommer vid IR-svetsning, nämligen en distinkt övergång beträffande penetrationsdjup när processen övergår från värmelednings- till nyckelhålssvetsning. För att motverka detta, och därigenom erhålla en sprutfri process, bör svetshastigheten ökas.

penetrationsdjup som uppblandning av de båda materialen hållas på en stabil nivå. Spaltöverbryggnadsförmågan hade undersökts vid överlappssvetsning av två 0,5 mm tjocka kopparmembran [Cu-ETP, Fig. 8]. Med 1,5 kW lasereffekt och en fokuspunktsstorlek på 0,6 mm kunde man, utan behov av skyddsgas, momentan överbrygga spalter som var lika stora som den individuella plåttjockleken. Dock uppfyllde endast 70% av svetslängden

ställda krav vid så stora spalter, men vid spalter mellan 0,2-0,3 mm fick man en 100%-ig kravuppfyllnad.

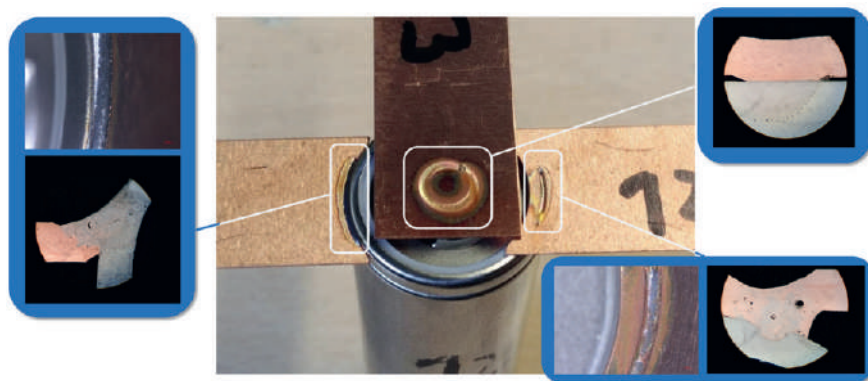
Därefter visade Markus, genom experiment på 1 mm tjocka plåtar av Cu-ETP [Electrolytic Tough Pitch], på det välkända fenomenet med ett tröskelvärde för en snabbt tilltagande penetrationsförmåga då svetsprocessen övergår från värmelednings- till nyckelhålssvetsning [Fig. 9]. Detta är signifikant för "blå" och infraröda

våglängder, men saknar samma distinktion då man använder laserljus i det gröna våglängdsområdet. Ett jämnare beteende i penetration kan man emellertid också uppnå med "blå" lasrar vid snabba svetsförlopp! Redan vid en svets hastighet på 6 m/min uppnådde man en helt sprutfri svetsning vid övergången från värmelednings- till nyckelhålssvetsning när man använde laserkällan LDM_{blue} 1000-40 och en 40 µm stor fokalpunktsdiameter på kopparytan.

Ett applikationsexempel handlade om kontaktering av cylindriska battericeller där koppartabbarna för plus-polen svetsades enligt värmeledningsprincipen, medan de för minus-polen svetsades med såväl penetrerande nyckelhålssvetsning som värmeledningssvetsning beroende på fogens utformning [Fig. 10]. De korta svetsstygnen utfördes på mellan 50-100 ms.

Med tanke på att kostnadsbilden för "blå" lasrar fortfarande är hög och att det är fullt möjligt att svetsa koppar med IR-våglängder, dock med sämre kvalitet, har *Laserline* under senare tid presenterat en hybridlösning där de båda våglängderna kombineras i ett bearbetningsverktyg med vattenkylda fiberanslutningar [Fig. 11]. Den blå våglängden stabiliserar svetsprocessen samtidigt som en hög effekt från IR-lasern förbättrar penetrationsförmågan. Jämförande svetsförsök i koppar mellan en 3 kW IR-laser och en kombination med 1,5 kW blå och 1,5 kW infraröd våglängd, alltså samma totala lasereffekt, illustrerade på ett utmärkt sätt den överlägsna svetskvalitet man erhöll då hybridlösningen användes [Fig. 12].

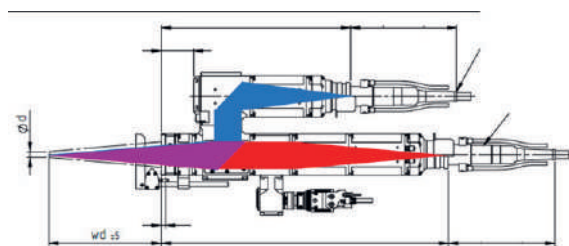
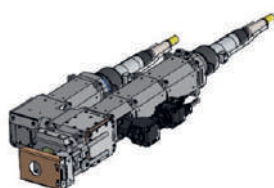
Vi det andra seminarietillfället fick även andra laserkällor komma till tals, och här berättade Thorsten Föcking från *Luxinar Ltd* om möjligheter med deras CO₂-lasrar. Företaget hette fram till i fjol *Rofin-Sinar U.K.*, men återtog då sitt gamla namn *Luxinar* som man hade vid starten 1998. Man har sin bas i Bridgehead Business Park i utkanten av staden Hull i nordöstra England där man håller till i splittriga lokaler. *Luxinar* har riktat in sig på tillverkning av CO₂-lasrar med låga effekter upp till 1 kW, men i den här presentationen begränsade sig Herrn Föcking till att beskriva lasrarna i den s.k. SR-serien som består av fyra produkter SR 08s, SR 10i, SR 15i och SR 25i med respektive 80, 100, 150 och 250 W effekt [Fig. 13]. Dock skall nämnas att företaget har en OEM-serie med effekter mellan 450-1.000 W, samt LXR100 som är en femtosekund-laser med medeleffekt-



Figur 10.

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

HYBRID Welding



Figur 11.

Laserline har utvecklat ett verktyg där en "blå" och en infraröd laserstråle superpositioneras för att få såväl bra inkoppling som djup penetration i reflektiva material som koppar.



Figur 12.

Tvårsnitt och toppvy av svetsen i det övre exemplet är resultatet från svetsning med en 3 kW IR-laser, medan de nedre bilderna härstammar från svetsförsök med ett hybridverktyg som kombinerat 1,5 kW IR med 1,5 kW "blått" laserljus. Den visuella kvalitetskillnaden är uppenbar, men även penetrationen ökar då hybridmetoden används



Figur 13.

T.v. två produkter ur Luxinars SR-serie (SR 08s respektive SR 25i). Finns behov av högre lasereffekter finns OEM-serien att tillgå med max. 1 kW, och längst t.h. ses företagets femtosekund-laser LXR100 med 100 W i medeleffekt.



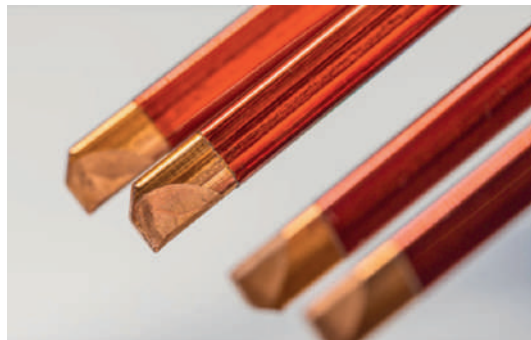
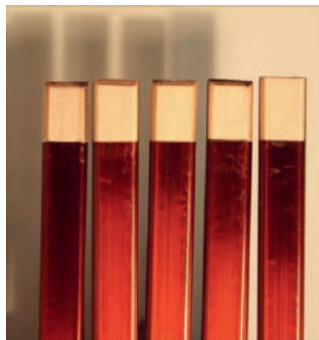
Figur 14.

I sitt sortiment har Luxinar även två egenutvecklade skanner-verktyg, HE (t.v.) och VS (t.h.), vilka främst är tänkta att användas vid lasermärkning.

ten 100 W. Förutom rena laserkällor har man två skanner-verktyg i produktsortimentet; modellerna MULTISCAN HE och MULTISCAN VS, båda avsedda för märkning med 125 W lasereffekt [Fig. 14]. Presentationen handlade om hur dessa laserkällor används i bilindustrin, och då rör det sig framförallt om bearbetning av polymera material, vilka har en god absorption av den för CO₂-lasrar typiska våglängden 10,6 µm. Vanliga applikationer är skärning/borring i luftkanaler, instrumentbrädor, stötfångarfly och spoilers, men laserkällorna kan också användas för märkning, yttexturering, rengöring och lokal borttagning av lackskikt.

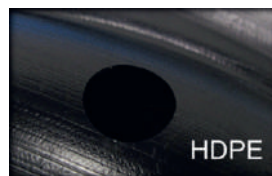
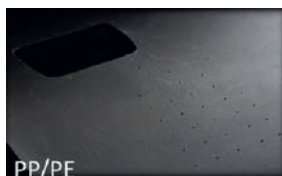
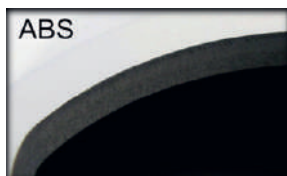
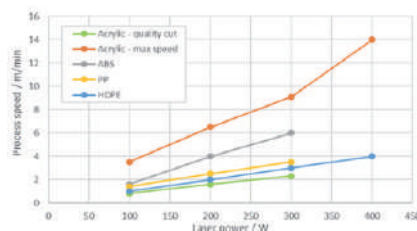
Tre användningsområdena beskrevs mer i detalj, och det första gällde avverkning av den polymera skyddsfilm på s.k. hairpins innan svetsning – ett ämne som behandlats i flera tidigare artiklar i *Laser-Nytt*. Olika polymera material används som korrosionsskydd på dessa ”hårnålar” tillverkade i koppar, men de vanligaste varianterna är PEEK [PolyEterEterKeton], PFS-PI [PolyFluoro Alkoxy-PolyImid] och PA [PolyAmid]. Polymerskiktet måste avverkas ända ner till kopparmaterialet, inte bara för att säkerställa en tillförlitlig svetsprocess, men också för att få en fullgod elektrisk ledningsförmåga mellan ”hårnålarna”, vilka utgör en vital del i en elektrisk motors stator [Fig. 15]. Lasern är ett idealiskt verktyg för denna process, och i kombination med ett skanner-verktyg förångas polymeren snabbt utan att den underliggande kopparn skadas, vilket kan var fallet om mekanisk avverkning sker. I ett praktikfall visades hur man i två processteg försäkrat sig om att allt isolerande material hade avverkats. Den frilagda ytan var 4,5×7,0 mm, och den första loopen gjordes med en hastighet på 1,5 m/sek och den avslutande med 2,0 m/sek. Herrn Föcking framhöll dock att det är svårt att ange specifika processparametrar då dessa är beroende av typen av polymert material, processen med vilken det har applicerats samt dess skiktjocklek.

Som tidigare nämnts är skärning i polymera material ett vanligt användningsområde inom bilindustrin för CO₂-lasrar, men beroende på typen av plastmaterial och dess pigmentering kan det skilja avsevärt i skärdata. Här redovisades sådana för 3 mm tjockt material av varianterna PMMA [PolyMetylMetAkrylat = akryl], ABS [AkrylnitrilButadienStyren], PP [PolyPropylen] och HDPE [High-Density PolyEthylene, Fig. 16]. Fördelarna vid skärning med laser är att metoden är



Figur 15.

Att använda en laser för att lokalt avlägsna den korrosionsskyddande polymeren på s.k. hårnålar till elektriska motorer har visat sig vara ett vinnande koncept. Den frilagda ytan på hårnålarna t.h. mäter 4,5×7,0 mm och utfördes i två steg vilka tog 1,26 respektive 1,35 sekund per objekt.



Figur 16.

Diagrammet visar processhastigheten vid laserskärning i 3 mm tjockt material av några inom bilindustrin vanliga polymera material. Som synes finns ett starkt materialberoende, men snittkvaliteten blir alltid näst intill perfekt med denna beröringsfria skärprocess.



Figur 17.

T.v. en innovativ lösning med laserkällan monterad direkt på robotarmen erbjuder stor flexibilitet, men kräver en stabil robot med hög lastkapacitet. En vanligare lösning t.h. är den där arbetsstycket manipuleras under ett fast skanner-verktyg.

beröringsfri, varför snittytorna blir jämna och uppvisar hög kvalitet. Vidare är den inte typbunden, vilket gör att omställningen för olika hålformer är snabb, och slutligen krävs ingen ytterligare efterbearbetning.

Det sista temat som adresserades handlade om olika koncept för automatisering av laserskärprocessen. Här kan man urskilja tre olika angreppssätt. Vid det första som kanske är det mest ovanliga, är laserkällan monterad direkt på robotarmen [Fig. 17]. Fördelen är att man har god åtkomst till de artiklar som skall skäras och att detta kan ske i tämligen

komplexa mönster. Det förutsätter dock att laserkällan är kompakt och kan motstå de G-krafter som genereras då robotarmen rör sig. Dessutom måste roboten vara kraftig nog för att bära laserkällan. Ett vanligare koncept är att hantera artikeln under en stationär laser försedd med ett skanner-verktyg [Fig. 17], och slutligen gavs ett exempel där såväl laser som artikel hålls fixerad och roboten manipulerar en optisk arm, typ teleskopiskt rör, inuti vilken laserstrålen distribueras.

En kollega till Markus Rüttinger, Dr. Andre Eltze [Laserline GmbH], höll ett intressant föredrag om laserpåläggning, även

benämnt LMD [Laser Metal Deposition], en metod som lämpar sig särskilt väl för diodlasrar, vilka utgör *Laserlines* huvudprodukter. Förutom vid laserpåläggning används denna lasertyp för värmebehandling typ hårdning, värmeledningssvetsning och polymera processer som tejppläggning och plastsvetsning. Principen är att tillföra material i form av pulver eller tråd till en av laserstrålen uppsmält punkt på arbetsstycket. Genom att kontrollera den tillförda laserenergin minimerar man inblandningen i substratmaterialet, men skapar en god vidhäftning till detta genom en såväl mekanisk som metallurgisk bindning. Samtidigt är processen snabb och utnyttjandegraden av det pålagda materialet hög. Några exempel på användningsområden är återtillverkning och reparation, förbättrat nötnings- och korrosionsskydd samt att skapa icke-magnetiska ytor för att undvika signalstörningar. Metoden kan även användas för s.k. 3D-printning även om man inte kan uppnå lika fina strukturer som vid SLM [Selective Laser Melting, Fig. 18].

Därpå följde en revy av olika applikationer där laserpåläggning använts med framgång, såsom:

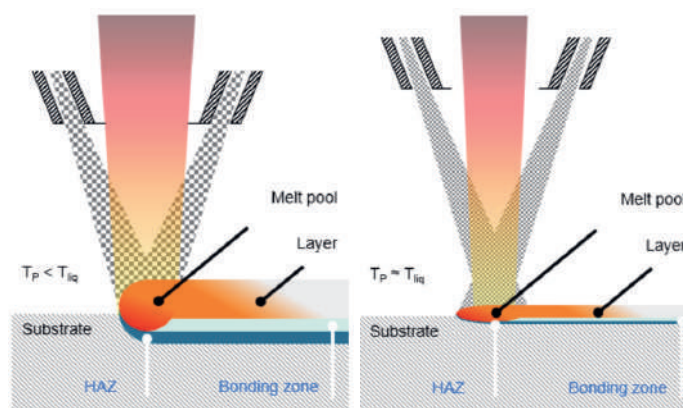
- Beläggning av rör till värmepannor med nickellegeringen Inconel 625
- Ytbeläggning av komponenter för olje- och gasindustri som exempelvis slitringar, antennkåpor, borrarar och stabilisatorer. Påläggningsmaterialen är oftast Kobolt- [Stellite] eller Nickelbaserade [Inconel] legeringar.
- Reparation av rotoraxlar till den petrokemiska industrin
- 3D-printning av en demo-artikel i Inconel 625, där man använt en LDF 6000-100 diodlaser med en brännfläck på 4,5 mm. Deponeringshastigheten av pulvret låg på 5,3 kg/tim med en materialutnyttjandegrad på 80%. Den uppmätta porositeten i den tillverkade artikeln låg under 0,2% och den totala tillverknings-tiden något under 50 timmar.

Sedan gick Dr. Eltze vidare med att beskriva den påläggningsprocess som utvecklades vid *ILT [Institut für Lasertechnik, Aachen]* för något år sedan, och som går under benämningen EHLA [Extremes Hochgeschwindigkeits Laserauftrags-schweißen]. Enkelt förklarar kan man säga att man lyckats höja produktiviteten genom att fokuspunkten flyttas till några millimeter ovanför arbetsstycket vilket gör att det tillförda pulvret redan befinner sig i smält form då det träffar substratytans



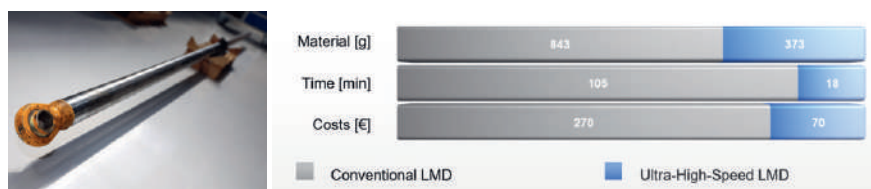
Figur 18.

Några exempel på användningsområden för laserpåläggning (LMD); fr.v. reparation, förbättring av slit-tålighet och korrosionsmotstånd, skapande av funktionella ytor såsom icke-magnetiska samt 3D-printning.



Figur 19.

Principskisser för hur laserpåläggning fungerar. T.v. en konventionell LMD-process och t.h. EHLA-processen där fokuspunkten lyfts från substratyten vilket medför att tillfördt pulver träffar detsamma i smält tillstånd, något som möjliggör en avsevärd ökning av processhastighet och produktivitet.



Figur 20.

Som framgår av grafen t.h. var EHLA-metoden överlägsen konventionell LMD beträffande såväl pulverförbrukning som hastighet och totalkostnad vid beläggning av denna en meter långa hydraulcylinder.



Figur 21.

Genom beläggning med tunna skikt kring 25 µm på roterande cylindrar har man vid ILT i Aachen uppnått hastigheter kring 200 m/min genom att använda EHLA-metoden. Dessutom understiger inlåsningen i substratmaterialet 1 %.

smälta. Sålunda används endast 20% av laserenergin på substratyten medan 80% smälter pulvret. Vid konventionell laserpåläggning har energifördelningen det omvända förhållandet [Fig. 19].

Metoden hade använts för att belägga en 1 m lång hydraulcylinder med 50 mm diameter, och i jämförelse med en vanlig LMD-process var EHLA-metoden överlägsen både vad det gällde pulverförbrukning, processhastighet och totalkostnad [Fig. 20]. Det var främst processhastigheten som utgjorde den största skillnaden mellan metoderna, 25 m/min mot 1,5 m/min, men även beträffande deponeringseffektivitet och skiktjocklek var EHLA-me-

toden överlägsen. Vid ILT har man kunnat påvisa processhastigheter upp till 200 m/min motsvarande en yta på 500 cm²/min [Fig. 21]. Man får en fullständig metallurgisk bindning mellan pålagt pulver och substratmaterial med en inblandning som understiger 1%, och skiktjockleken kan varieras mellan 25-250 µm. Dessutom kräver EHLA-metoden lägre laserefekt, något som gör den fördelaktig ur energibesparingssynpunkt och hållbar produktion.

En ny applikation för metoden kan vara beläggning av bromsskivor. Dessa har idag en slit- och korrosionsskyddande beläggning som anbringas medelst

termisk sprutning. Metoden ger emellertid enbart en mekanisk bindning mellan det pålagda pulvret och bromsskivan, och inte en metallisk sådan som är fallet vid LMD. Vidare är pulverutnyttjandegraden låg och medför att totalkostnaden för termisk sprutning blir hög. Dessutom har man konstaterat att finkornigt pulvermaterial frigörs vid varje inbromsning, något som kan innebära miljöproblem [Fig. 22]. Därför har Laserline undersökt möjligheten att använda EHLA-metoden för beläggning av bromsskivor tillverkade av gjutjärn. Först läggs ett karbidfritt s.k. buffertlager med en tjocklek på mellan 100-200 µm för att säkerställa korrosionsskyddet, men också för att undvika uppkomsten av sprickor i det karbidbaserade ytskiktet. Detta har en tjocklek mellan 200-400 µm, och alternativ till wolframkarbider kan vara niob-, vanadin- eller kromkarbider.

Processhastigheten för buffertlagret är 3,5 m²/tim och för det tjockare ytskiktet 2,5 m²/tim. Bromsskivorna är vågrätt placerade och varje sida tar mellan 2 och 3 minuter att belägga [Fig. 23]. Beroende på valet av pulvermaterial har det i vissa fall varit nödvändigt att förvärma skivan, och påläggningsexperimenten hade gjorts med lasereffekter mellan 8-22 kW. Påläggningsverktyget var det egenutvecklade OTS-5, och processövervakning skedde i form av registrering av smältans storlek med hjälp av en kamera, samt kontroll av pulverflödet. Energifördelningen i laserstrålen var av s.k. tophat-typ, vilket ger en inlösning under 1% i substratmaterialet, och inga sprickor eller porer gick att upptäcka i de pålagda skikten.

Dr. Eltze redogjorde också för alternativet att använda tråd i stället för pulver vid laserpåläggning. I det fallet har man ett näst intill 100%-igt materialutnyttjande. Här hade verktyget COAXwire, utvecklat vid Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff- und Strahltechnik] i Dresden, med en brännvidd på 25 mm använts [Fig. 24]. Laserkällan var en 4 kW diodlaser med en strålkvalitet på cirka 30 mm*mrad och med en N.A. [Numerisk Apertur] på 0,1, vilket gav en fokuspunkt med 1,8 mm diameter. Nickel-, kobolt- och järnbaserade trådar hade använts med diametrar mellan 0,8-1,6 mm. Deponeringseffektiviteten låg kring 0,5 m²/tim respektive 250 cm³/tim.

För att möjliggöra ännu högre deponeringstal vid beläggning med pulver hade Laserline även utfört försök där 50 kW lasereffekt användes [Fig. 25]. Pulvret matades då med 580 g/min eller 35 kg/tim,



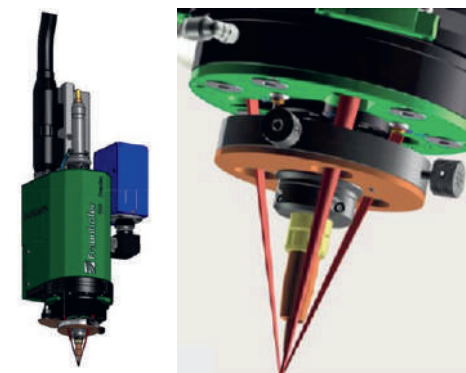
Figur 22.

De pulverpartiklar som frigörs från bromsskivorna vid varje inbromsning kan vara lika hälsovådliga som avgaspartiklarna från en förbränningsmotor. Därför krävs att pålagda nötnings- och korrosionsskydd har god vidhäftning till bromsskivan, något som laserpåläggning kan garantera genom sin metalliska bindning mellan pulver och substrat.



Figur 23.

Bromsskivorna är horisontellt placerade då de beläggs med wolframkarbider för att ge ökat slit- och korrosionsskydd. Pulvret applicerades med ett för EHLA-metoden speciellt utvecklat verktyg från Laserline med beteckningen OTS-5.



Figur 24.

Påläggningsförsök med trådbaserat material gjordes med ett specialutvecklat verktyg från IWS där tråden matas koaxiellt in i fokuspunkten från tre konvergerande laserstrålar.



Figur 25.

Laserpåläggning med 50 kW lasereffekt (t.v.) är ett sätt att avsevärt öka deponeringseffektiviteten. T.h. ser man tre påläggningsspår som representerar en sammanlagd yta på 120x130 mm. Med en skiktjocklek på 1 mm klarade lasern att utföra dessa på 15 sekunder.



vilket för en skiktjocklek kring 1 mm gav en deponeringseffektivitet på 3,5 m²/tim. framföringshastigheten för påläggningsverktyget låg på 1,42 m/min, och även i detta fall var de pålagda skikten fria från sprickor, porer eller inneslutningar.

Till sist visades på ett LMD-exempel med kopparpulver på ett kopparsubstrat. I enlighet med kollegan Herrn Rütigers

tidigare presentation hade man använt Laserlines hybridlösning för en bättre absorption av laserenergi i kopparmaterialet [Fig. 26]. En "blå" laser med 1 kW effekt hade kombinerats med en IR-laser på 2,5 kW. Resultaten visade på full bindning mellan de olika påförda lagren och en densitet som överskred 95%.

Processövervakning vid lasersvetsning

är ett vanligt förekommande tema vid olika konferenser och för att täcka detta ämnesområde hade man bjudit in välkände Christoph **Franz** med mångårig erfarenhet från sin tid hos *Scansonic GmbH*, men numera CEO vid *4D Lasersystem* som har sitt högkvarter i Isernhagen nära Hannovers flygplats. I sin unika lösning för processövervakning, baserad på fotodioder, kombineras tre typer av sensorer. Dessa registrerar strålningen från själva svetsprocessen, återreflekterat laserljus samt värmeutstrålning [Fig. 27]. Sensorerna integreras i själva laserkällan och signalerna transferas till och visualiseras i verktyget WeldWatcher®, vilket är kompatibelt med såväl ProfiNet som EtherCAT. Via inledande svetsförsök kan man skapa en referenskurva som motsvarar en defektfri svets, och kring denna lägger man in gränskurvor baserade på referenssignalen för att möjliggöra en acceptans för mindre variationer i sensorsignalen. Så fort denna ligger utanför någon av de båda gränskurvorna larmar WeldWatcher® om att någon form av svetsdefekt har uppstått.

Därefter gick Herrn Franz vidare med att presentera hur systemet använts vid svetsning av "hårnålar". Utrustningen bestod av en diskaser [TruDisc8001] från *Trumpf* kopplat till deras skanning-verktyg PFO33. Lasereffekten var 5 kW och framföringshastigheten 12 m/min. Kopparhårnålarnas ändtytor mätte 2×4 mm och svetsningen skedde i ett cirkulärt mönster med en radie på 1 mm och i 3 överlagrade rotationer. Processövervakningen skedde med version 5.323 av Weld-Watcher® som har en insamlingsfrekvens på 20 kHz. Här fick man starka avvikelser i sensorsignalen vid s.k. blow-outs [Fig. 28], vilka gick att hänföra till att den korrosionsskyddande polymeren på "hårnålarna" endast delvis hade tagits bort, och restmaterialet därigenom störde svetsprocessen.

Ett annat prov, där man medvetet hade fellinjerat de båda "hårnålarna" i vertikalled, visade att detta också gick att upptäcka genom avvikelser från referenssignalen [Fig. 29]. Den ovannämnda processen för borttagning av "hårnålarnas" polymerskikt sker genom förångning av detta med hjälp av korta laserpulser, och därför använde man vid dessa försök en TruMicro 7070-laser från *Trumpf*. Denna kopplades med en 460×460 µm grov fiber till skanner-verktyget PFO33. Processövervakningen skedde med WeldWatcher® version 5.434, även denna med 20 kHz insamlingsfrekvens av sensordata [Fig. 29].

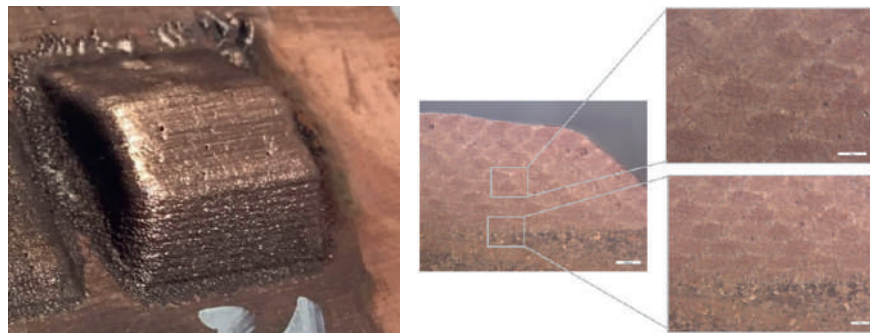


Figure 26.

Ett exempel på LMD med kopparpulver där en hybridlösning använts, vilken utgörs av två överlagrade laserstrålar från en "blå" och en IR-laser. Processhastigheten var 300 mm/min och kopparsubstratet var förvämt till 250 °C.

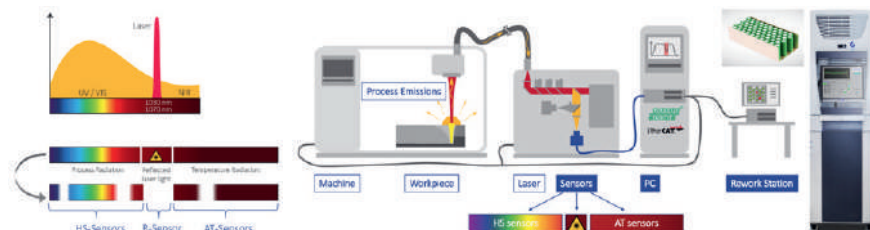


Figure 27.

4D Lasersystems unika lösning för processövervakning grundar sig på tre olika sensortyper vilka är baserade på fotodiodteknik.

Signalerna visualiseras i verktyget WeldWatcher® (t.h.) vilket är kompatibelt med såväl ProfiNet som EtherCAT. förvämt till 250 °C.

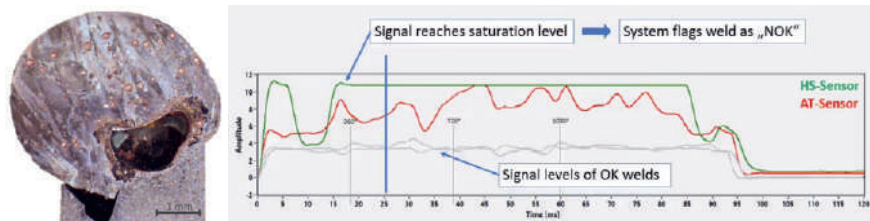


Figure 28.

Kraftiga s.k. blow-outs, och därmed en undermålig svetskvalitet, får man om den korrosionsskyddande polymeren på hårnålarna inte avlägsnats tillräckligt, något som avslöjas av WeldWatcher®.

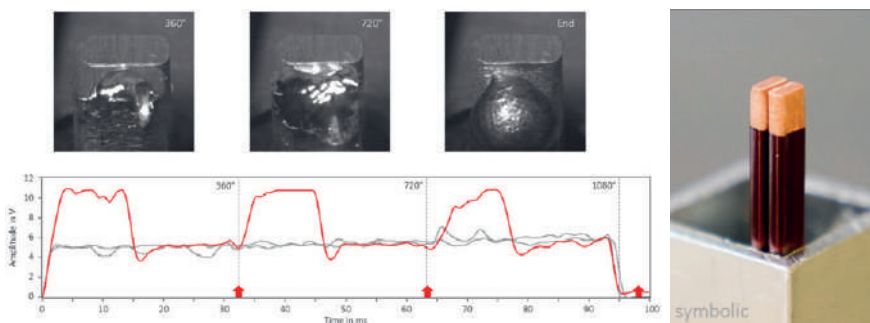
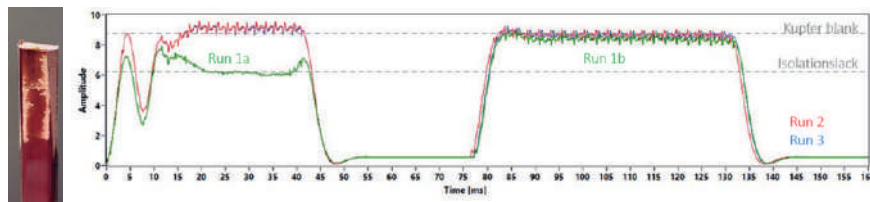


Figure 29.

WeldWatcher® från 4D Lasersystem detekterar såväl fellinjerade hårnålar under svetsprocessen (överst) som ofullständig borttagning av deras skyddspolymer innan svetsning (underst).

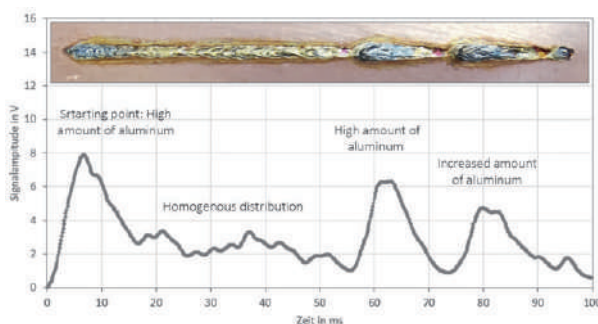


Ett tredje prov handlade om överlapps-
svetsning av en 0,3 mm tjock kopparfolie
lagd ovanpå en aluminiumplåt med 1
mm tjocklek. Svetsningen skedde med 6
kW och 18 m/min i framföringshastighet.
Sensordata samlades in med en frekvens
av 8 kHz, och här fick man larmsignaler
då svetsprocessen betedde sig instabilt
p.g.a. en momentant alltför hög inbland-
ning av aluminium i smältan [Fig. 30]!

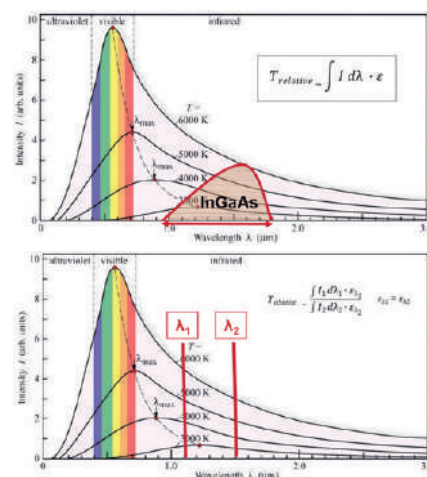
En intressant materialmix bestod
av bronslegeringen CuSn6 ovanpå den
rostfria kvalitén 1.4302, båda med en
tjocklek på 0,3 mm. Dessa hade svetsats
samman med 30 mm långa stygn och man
hade använt en hybridlösning liknande
den som Herrn Rütering presenterat. Här
kombinerades en LDM_{blue} 1000-40 [$\lambda=450$
nm] från *Laserline* med en single-mode
[SM] fiberlaser på 1 kW [$\lambda=1.070$ nm]
från *IPG*. Från vardera laserkällan tog man
ut 950 W och svetshastigheten var satt till
100 mm/sek. Sensorn var här integrerad i
ett speciellt svetsverktyg utvecklat i sam-
arbete mellan *ILT* och företaget *Delvotec*,
men WeldWatcher® 5.323 kunde inte upp-
täckta några defekter då användningen av
en hybridlösning med två olika våglängder
tycks vara den optimala lösningen för hög
svetskvalitet hos denna typ av blandfog.

Processövervakning var delvis också
temat för Alexander **Goerk** från *Hama-
matsu Photonics*. Företaget, som har sin
största marknad i Japan, är välkänt för
tillverkning av optikkomponenter, men
man erbjuder också ett antal egna lågef-
fektslasrar. Här redogjordes för model-
lerna SPOLD och LD-Heater, vilka båda
är cw [continuous wave] -lasrar med
vanligtvis 808 nm våglängd men erbjuds
även med varianter med den längre våg-
längden 940 nm [Fig. 31]. Laserkällorna
kan fås med effekter i intervallet 10-360
W, är fiberkopplade och strålprofilen är
av typen "tophat". Det som Herrn Goerk
menade är unikt med dessa lasrar är att
de har en inbyggd processövervakning i
form av fotodioder, alternativt pyrome-
trar, som i realtid mäter temperaturen hos
processljustet inom NIR [Near InfraRed]
-våglängdsområdet i ett Planck-spektrum.
SPOLD-varianten arbetar med fotodioder
av InGaAs-material varför de endast kan
ge information om relativa temperaturför-
ändringar, medan en LD-Heater kan ge en
exakt temperaturangivelse via förhållandet
mellan två filtrerade våglängder.

Det finns ett flertal applikationsområ-
den för dessa lågefektslasrar och Herrn
Goerk lyfte speciellt fram två; lasersvets-
ning av plast respektive s.k. lasersintring

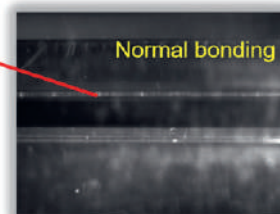
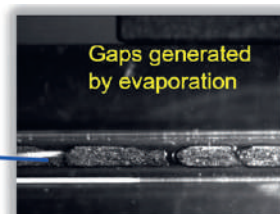
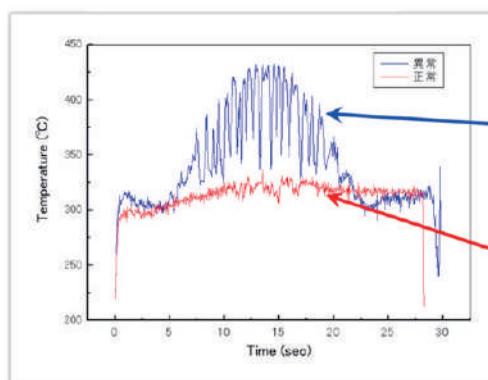


Figur 30.
Vid lasersvetsning av en
kopparfolie lagd över en
aluminiumplåt får man
variationer i sensorsignalen
alltefter inblandningsgraden
av aluminium i smältan.



Figur 31.

Två förhållandevis "okända" laserkällor från Hamamatsu Photonics; SPOLD (överst) och LD-heater (underst). Båda har en inbyggd funktion för processövervakning i form av temperaturmätning av processljustet inom NIR-våglängdsområdet där den senare kan ge en exakt temperaturangivelse genom förhållandet mellan två filtrerade våglängder.



Figur 31.

Om lasereffekten är för hög vid plastsvetsning kommer man att få en momentan förångning av det polymera materialet. Detta leder till en ofullständig svets (blå kurva), något som kan detekteras i realtid genom temperaturmätning av processljustet

av kretskort av typerna RFID [Radio Fre-
quency IDentification] och FPC [Flexible
Printed Circuits]. Vid överlappssvetsning
av två plastartiklar såg man hur processö-
vervakningen kunde detektera en ofull-
ständig svets som hade uppstått genom
momentan förångning av det polymera
materialet [Fig. 32]. Finessen att använda
lasersintring vid tillverkning av kretskort
är att metallpartiklarna sintras samtidigt

som det bläck som används torkar. Detta
gör att det elektriska motståndet i kretsen
drastiskt reduceras. Den traditionella
tillverkningen av PCBs [Printed Circuit
Board] kräver en avslutande torkning i
ugn, varför en laserbaserad process är
mycket snabbare, något som innebär
hög energieffektivitet och i slutändan en
betydligt lägre tillverkningskostnad. ■



Industriella lasrar och lasersystem i Japan

– ett land där arbetskraften minskar för varje år

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering

Kunihiko Washio [Fig. 1] är en herre som brukar dyka upp vid de flesta större internationella laserkonferenser och -utställningar. Jag vill minnas att det var vid någon ICALEO-konferens på tidigt 2000-tal som jag första gången stötte på Kunihiko, som då nyligen hade startat sitt eget konsultföretag inom laserbranschen; *Paradigm Laser Research Ltd.* Sedan dess har våra vägar korsat varandra otaliga gånger, och varje gång så sker är han väldigt intresserad av att intervjua mig om hur lasertekniken för närvarande används i bildindustrin. Eftersom vi sällan rapporterar om laseranvändning i japansk tillverkningsindustri tycket jag det var befogat att låta den gode Kunihiko ge oss en bild av utvecklingen hittills under 2000-talet.

2004 hade Japan sin hittills största befolkning uppgående till 127,84 miljoner, medan siffran i december 2019 minskat till 126,15 miljoner. Om vi enbart tittar på den arbetsföra populationen i åldern 15 till 64 år var den i juli förra året 75,18 miljoner, vilket är en minskning på 0,52% jämfört med föregående år. Denna minskning är en trend som förväntas bestå, vilket i så fall skulle indikera att den arbetande delen av Japans befolkning kommer att minska med hela 34,4% fram till år 2050 och då landa på endast 49,3 miljoner.

Figur 2 visar den kvartalsvisa bruttonationalprodukten samt en tabell av dess årsvisa förändring sedan kalenderåret 2007. Trots den ovannämnda minskningen av arbetskraft fortsätter den japanska bruttonationalprodukten att öka alltsedan 2012. Emellertid är den genomsnittliga årliga tillväxten omkring 1,2%, vilket är betydligt mindre i jämförelse med Kina där tillväxten under senare år legat mellan 6-8%.

I **figur 3** illustreras den sammantagna årliga leveransen av laserutrustningar i Japan, vilken omfattar såväl inhemsk produktion, inklusive export, som importerad sådan utrustning som sålts i Japan. Som

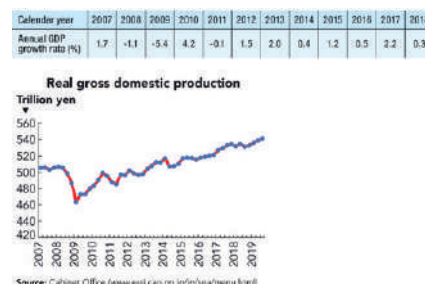
framgår av figuren är den genomsnittliga årliga tillväxten på 4,5% för CO₂-, fastkropp och fiberlasrar, något högre än siffran för excimer-lasrar vilka mestadels används för litografi och härdning.

Hur ovanstående leveranser av laserutrustningar i Japan fördelar sig med hänsyn till användningsområden under 2018 framgår av **figur 4**. Andelen laserskärmskinner, främst baserade på fiber- och CO₂-lasrar, är helt dominerande och representerar 50,5 % av det totala värdet, eller cirka 10 miljarder svenska kronor. Det höga andelstalet beträffande utrustningar för laserskärning går att härleda till att andra bearbetningsmetoder med laser minskat under senare år, vilket delvis beror på att elektronikprodukter och solceller numera tillverkas utanför Japan, samt att japanska lasrar för mikrobearbetning blivit mindre konkurrenskraftiga.

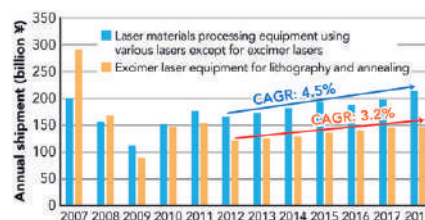
Om vi istället ser till antalet sålda laserskärutrustningar så illustreras detta i **figur 5**, och under 2018 såldes 3.085 enheter. Den siffran är marginellt något högre än för det tidigare rekordåret 2007. Det genomsnittliga priset för en utrustning för laserskärning låg kring 3 miljoner svenska kronor. Just nu går trenden mot laserkällor med högre effekter och innova-



Figur 1.
Kunihiko Washio i intensiv laserdiskussion med Dr. Peter Loosen (ILT) under AKL-konferensen i Aachen 2010



Figur 2.
Den kvartalsvisa bruttonationalprodukten i Japan sedan kalenderåret 2007 illustreras i diagrammet t.h., medan den årsvisa förändringen av densamma framgår av ovanstående tabell.



Figur 3.
Den totala leveransen av laserutrustningar med olika källor i Japan, vilken inkluderar såväl inhemsk användning som export och import av dylika utrustningar.

tiva tekniker för strålmanipulering, vilket gör att det förväntade priset för laserskärutrustningar kommer att öka under de närmaste åren. Sådana var förhoppningarna vid ingången av år 2019, men har nu visat sig komma på skam, dels beroende på handelskonflikter mellan USA och Kina, dels på pandemiutbrottet med ett nytt Corona-virus.

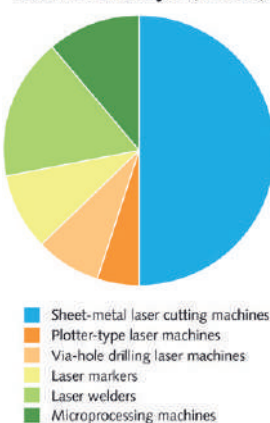
Enligt en undersökning genomförd av DOB [Development Bank of Japan] har andelen utländsk kapitalinvestering i japansk tillverkningsindustri ökat snabbt, efter recessionen 2007, mellan 2009 och 2013 från 29,6% till 54,8 %. Därefter tycks den utländska investeringslustan avtagit och aldrig överstigit 52,7% under något av de följande åren. Detta har gjort att produktionstakten av laserutrustningar gått ner, även om minskade utländska investeringar till viss del kompenseras genom en sedan 2013 ökande inhemsk sådan. Trenden överensstämmer väl med en rapport från IFR [International Federation of Robotics], som konstaterar att den genomsnittliga, årliga tillväxttakten för robotinstallationer i Japan ligger på 17% sedan 2013. Ett nytt rekord noterades 2018 då hela 55.240 industrirobotar installerades, vilket var en ökning på 21% jämfört med föregående år. Antalen korrelerar väl med andelen levererade system för laserskärning [Fig. 6]. Denna har snabbt ökat från 51,1% för 2007 till 64,0% under 2012, men därefter minskat något, för att alltsedan 2013 ligga stabilt strax under 60%.

Figur 7 beskriver utvecklingen för s.k. job-shops i Japan enligt en rapport från Japan Laser World & Trend. Antalet var som högst under 2009 med 655 stycken sådana företag, varpå det stadigt minskade till en bottennotering på 546 job-shops för 2015. Emellertid har därefter en viss positiv tillväxt kunnat skönjas.

Nuvarande status för avancerad materialbearbetning med laser i Japan

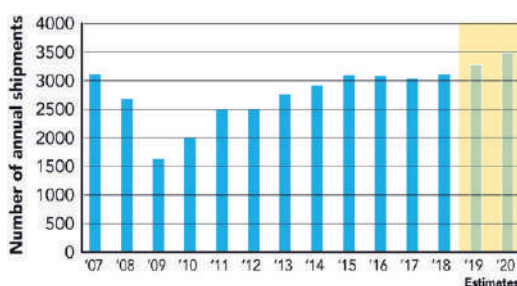
2018 presenterade JBF [Japan Business Federation] det visionära konceptet "Society 5.0" och handlingsplaner för hur japansk tillverkningsindustri skulle verka i detta. "Society 5.0" är tänkt att växa fram som ett digitalt transformerat samhälle baserat på kreativitet och fantasi hos en mångfald av människor. Åtgärder för att realisera "Society 5.0" innefattar att lösa sociala problem i samklang med naturen och att ta del i en gemensam inriktning för att uppfylla Förenta Nationernas mål för en hållbar utveckling [SDG = Sustainable

Total: 360 billion yen (in 2018)



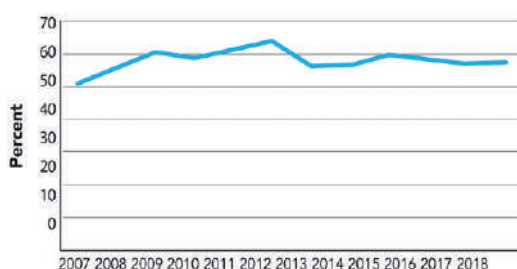
Figur 4.

Leverans av laserutrustningar för olika användnings-områden under 2018. Andelarna inkluderar såväl utrustningar för inhemsk tillverkningsindustri som exporterade och importerade lasersystem.



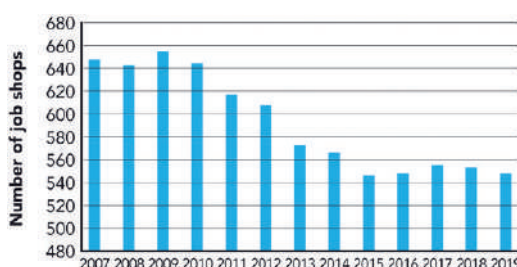
Figur 5.

Den årliga utvecklingen över antalet sålda laserskärutrustningar i Japan, sammantaget de som används i inhemsk produktion samt exporterade och importerade system.



Figur 6.

Andelen levererade system för laserskärning av det totala antalet utrustningar för skärning av tunnplåt.



Figur 7.

Utvecklingen av antalet job-shops i Japan enligt en rapport från "Japan Laser World & Trend".

Development Goals].

En av de noterbbara trenderna inom tillverkningsindustrin i stort tycks vara paradigmskiftet mot "smartare produktionsformer". Dessa hänger samman med en digital omställning genom ett effektivt utnyttjande av IoT [Internet of Things], AI [Artificial Intelligence], ökad robotisering etc. En annan beaktansvärd trend tycks vara främjandet av ett djupare och effektivt samarbete mellan industri, akademi och statliga myndigheter.

I fjol såg vi resultaten från några sådana samverkansprojekt. Amada introducerade

sin 4 kW skärmaskin "VENTIS-3015AJ" baserad på en fiberlaser och försedd med den nyutvecklade "LBC [Laser Beam Control] -teknologin" [Fig. 8]. Den sistnämnda möjliggör högre skärhastigheter och bättre snittkantskvalitet jämfört med konventionella fiberlaserbaserade skärmaskiner.

Furukawa Electric Group introducerade ett laserhybridsystem likaledes baserat på en fiberlaser förra året. Detta kombinerades med ett verktyg för avståndsmätning som grundar sig på OCT [Optical Coherence Technology], och det hela var

resultatet av ett lyckat samarbete mellan flera ledande ”high-tech”-företag [Fig. 9]. Hybridlösningen utvecklades i samarbete med Daihen som är ett företag med lång erfarenhet av ljusbågssvetsning och robotisering. Det nyutvecklade laserhybridsystemet möjliggör högkvalitativ svetsning av begränsat kompatibla materialkombinationer som exempelvis zinkbelagd stålplåt med olika aluminiumlegeringar, något som kan ske genom att effektivt utnyttja laserstrålens energifördelning med en kontrollstrategi utvecklad av Furukawa.

Framtida utveckling

2016 startade NEDO [New Energy and Industrial Technology Development Organization] det femåriga projektet ”High-Brightness and High-Efficiency Laser Technology for Next-Next Generation Laser Processing”. När projektet avslutas under innevarande år kommer det att innebära att ett antal innovativa produkter, såsom diodlasrar i det blå våglängdsområdet med hög briljans och hög effekt eller UV-lasrar med pulslängder i pikosekund-området [1 pikosekund (ps) = 10^{-12} sekund], kommer att finnas kommersiellt tillgängliga på marknaden.

Vidare startades 2019, som en del av SIP [Cross-Ministerial Strategic Innovation Promotion] -programmet ett nytt femårigt forskningsprojekt kring laserbearbetning med följande teman:

- Konceptvalidering av smarta produktionslösningar baserade på avancerad integration av simulering och fysiska tester av system för materialbearbetning med laser
- Utveckling av CPS [Cyber-Physical System] -baserade system för specifika områden av laserbearbetning
- Smart bearbetning baserad på Japans egen teknologi för rumslig manipulering av ljus, samt utveckling av tekniker för tredimensionell lägeskontroll med hög noggrannhet och motståndskraft mot höga effekter
- Vidareutveckling av japanska kristall-lasrar mot högre effekter

Således ser framtiden ljus ut i Japan, åtminstone vad beträffar området materialbearbetning med laser, kan Kunihiro Washio avslutningsvis konstatera. ■



Figur 8.

Vid Photonix-mässan i Makuhari 2019 presenterade Amada sin skärmaskin ”VENTIS3015AJ” baserad på en fiberlaser och försedd med företagets nyutvecklade LBC-teknologi.



Figur 8.

Furukawa Electric Group introducerade ett fiberlaserbaserat laserhybridsystem tillsammans med en OCT-lösning för avståndsmätning vid Photonix-mässan förra året.



Lasersvetsning med en joystick

Vi besöker ett företag som lasersvetsar utan att använda robot

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering



Robotiserade processupplägg för lasersvetsning är State-of-the-Art inom många industribranscher idag, inte minst då hos biltillverkare och dess underleverantörer. En av drivkrafterna är ökad produktivitet vid volymtillverkning av 100-tals för att inte säga 1000-tals identiska produkter. Men även om vi allmänt anser lasern vara ett flexibelt verktyg kan det vara svårt att se nyttan i att investera i sådan utrustning för ett företag som producerar olika enstaka produkter, och inte på förhand vet vilken som kommer närmast i produktionsflödet. Är det ett helt identiskt objekt som det senast tillverkade, är det en variant av ett standardutförande eller är det frågan om en helt ny, aldrig tidigare tillverkad, produkt? Visst kan off-line-programmering, processimulering och fixturutveckling till viss del bidra till en effektivare produktion, men om man valt att satsa på lasersvetsning som sammanfogningsmetod måste man tänka lite ”utanför boxen” för att få lönsamhet i sin verksamhet!

Food Warming Equipment Co. Inc. [FWE] står inför samma utmaningar som gäller för många andra tillverkare med en omfattande produkt-mix. Företagets anläggning i Portland, TN, illustrerar i högsta grad begreppet flexibel produktion, och man tillverkar utrustningar och tillbehör åt kommersiella livsmedelsföretag på beställning, där kunderna oftast har önskemål om att få skräddarsydda produkter [Fig. 1]. Det kosmetiska utseendet på fogarna hos dessa produkter, vanligtvis tillverkade i rostfritt stål eller aluminium, är av kritisk betydelse, och därför utförs merparten av

dem med manuell TIG [Tungsten Inert Gas] -svetsning. Det finns emellertid en arbetsstation som skiljer sig avsevärt från övriga svetsceller i fabriken. Här hittar vi en operatör som kikar in i ett stereomikroskop samtidigt som han hanterar en styrspak, som vi populärt kallar joystick, för att därigenom reglera svetshastigheten. Han svetsar med hjälp av ljusstrålen från en fiberlaserkälla, och detta är resultatet av en applikationsutveckling som visar att robotisering inte är det enda alternativet vid lasersvetsning.



Figur 1. Food Warming Equipment Co. Inc. i Portland, TN, tillverkar olika typer av värmeskåp för livsmedelsprodukter, och har på senare tid insett fördelen med att introducera lasersvetsning i sin produktion.

Att ha en helhetssyn beträffande produktivitet

Lasercellen är avskild från de övriga svetscellerna med "lasersäkra" gardiner och säkerhetsbarriärer, och vi kan konstatera att förberedelseiden inför ett nytt jobb är något längre än i TIG-cellerna. Däremot kräver de artiklar som skall lasersvetsas inga speciella fixturarrangemang, men däremot spenderar operatören viss tid för att positionera delarna exakt under lasersvetsverket. Typiska svetsoperationer innefattar färdigsvetsning och kantsvetsning av vattenbehållare och skåpöverdelar.

Man använder en pulsad fiberlaser med en medeleffekt på 400 W som kan generera pulstoppar kring 4,5 kW. Laserkällan är tillräckligt kraftfull för att svetsa det tunnväggiga materialet i FWE:s produkter men effekten är ändå så låg att den inte kräver ett kylaggregat. Några av svetsjobben hos FWE utförs på plåtar med en tjocklek omkring 1,3 mm, men merparten sker på tjocklekar mellan 0,7-1,0 mm i material som magnetiskt och icke-magnetiskt rostfritt stål eller aluminium. Typiska legeringar är SS430, SS301 och AA3003.

Lasersvetsprocessen hos FWE är inte speciellt snabb, men svetshastigheten i sig är irrelevant om man betraktar de tidsbesparingar man gör med avseende på efterbearbetning. För dessa kosmetiskt viktiga fogar behöver en medarbetare, som skall slipa och polera en enstaka svets på en synlig yta hos en TIG-svetsad komponent, minst fem minuter för detta arbete. Däremot kräver de lasersvetsade artiklarna ringa eller ingen efterbearbetning alls [Fig. 2]. I värsta fall måste arbetaren använda något polermedel på svetsen, en operation som bara tar några sekunder.

Vägen fram till valet av lasersvetsning

FWE har emellertid inte helt bannlyst automatisering i sin produktion. Deras anläggning för laserskärning, som är försett med automatiserat materiallager och -hämtning från detta, lyfter ur de utskurna plåtämnen och använder bandtransportörer för att placera dem på arbetsvagnar. Dessa forslar plåtämnen vidare till olika kantpressar som inte är samgrupperade på fabriksgolvet utan strategiskt placerade i produktionsflödet. Företaget förfogar över två robotiserade kantpressar med automatisk verktygsväxling, medan de manuella kantpressarna har typbundna verktyg strategiskt arrangerade så att operatörerna kan byta ut stans- och dynverktyg på några minuter.

Emellertid avtar automatiseringsgra-



Figur 2.

En lasersvets utförd utan tillsatsmaterial kräver varken slipning eller polering för att uppfylla FWE:s högt ställda utseendemässiga krav.

den längre fram i flödet och således har FWE överhuvudtaget inga svetsrobotar. Med sin omfattande produkt-mix och existerande processupplägg, som hanterar olika enstyckskomponenter efter varandra, har svetsautomatisering inte varit försvarbar. Detta gäller såväl strukturella som utseendemässigt kritiska kosmetiska svetsar.

När företagsledningen 2016 började syna sin färdigsvetsning i sömmarna visste man att begränsningarna för att få en hög kvalitet på fogen inte låg i själva svetsningen utan i den efterföljande poleringsoperationen. En annan utmaning var operatörskompetensen. Att hitta skickliga svetsare är i sig svårt nog, och att finna sådana som kan hantera en TIG-brännare med fingertoppskänsla är ännu svårare. Dessutom gick det inte att använda TIG-svetsaggregat i närheten av magneter på dörrar och andra komponenter i svetscellen.

"Om Du befinner Dig nära ett magnetfält kommer Du inte att kunna skapa kontakt mellan ljusbåge och arbetsstycke", säger Mike Adams som är svetsansvarig vid FWE. "Vid lasersvetsning har Du däremot ingen ljusbåge utan istället en stråle med hög ljusintensitet som snabbt sammansmälter de material som skall svetsas".

Så i jakten på en alternativ fogningsmetod som kunde minska eller helt eliminera behovet av slipning och polering föll valet på lasersvetsning. Problemet var bara att denna svetsmetod vanligtvis kräver en robotiserad process. Även om handhållna lasersvetsverktyg finns att tillgå, och förvisso används i viss utsträckning i såväl Asien som Europa, var kännedomen om

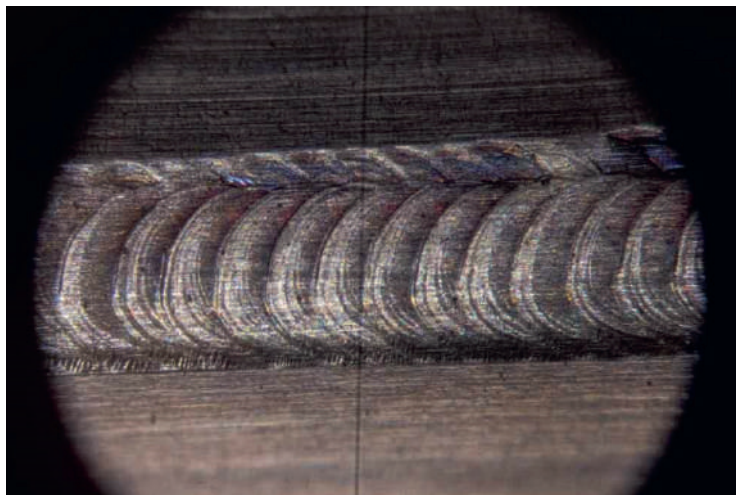
sådana i stort sett obefintlig i USA vid den här tidpunkten.

Emellertid fick man kontakt med företaget *Alliance Specialities and Laser Sales*, som visade sig importera och integrera handhållna laserverktyg, och man hade i sitt laboratorium framgångsrikt kunnat lasersvetsa material upp till 5 mm tjocklek. Därför ville nu ett antal svetsoperatörer hos FWE ge lasersvetsningen en chans. Svetsverktygets kontaktyta är så utformat att så länge denna inte vidrör arbetsstycket så aktiveras inte lasern. Operatören bär säkerhetsglasögon som skydd mot laserljuset, och glasögonen är förbundna med verktyget så att om de skulle glida av operatören stoppas också lasern.

Några åtgärder återstod dock för att helt uppfylla FWE:s krav på flexibilitet. Sålunda var verktyget något mer skrymmande jämfört med den tidigare använda TIG-pistolen, varför en omkonstruktion blev nödvändig för att kunna komma åt alla foggeometrier. Dessutom var passningen mellan vissa plåtar dålig och därför behövde man lära sig att hantera tillsatsråd vid svetsoperationen.

Slutligen bestämde man sig för en fiberlaser från *Alliance* med modellbe-teckningen ID-1, där laserstrålen kunde manipuleras med hjälp av en joystick. Denna lösning hade ursprungligen tagits fram för underhåll och reparation av formverktyg, något som utgör den ursprungliga affärsidén för *Alliance*. Dock visade sig konceptet så framgångsrikt att man numera bygger och levererar sådana system till andra företag.

Laserverktyget är monterat på en liten portalrobot som möjliggör en vertikal-



Figur 3.

Mike Adams, svetsansvarig vid FWE, utför en kantsvets med laser utan att använda tillsatstråd.

Ovan ett exempel på vad svetsoperatören ser då vederbörande tittar genom stereo-mikroskopet som ger en 10× förstoring av processområdet.

rörelse hos verktyget på cirka 1,8 meter [Fig. 3]. "Det kan vinklas åt sidan vilket möjliggör svetsning kring hörn och längs kurvor, och framföringen sker med en jämn och stabil hastighet", säger Derek **Coddington** som arbetar med ständiga förbättringar hos *FWE*.

"Då det gäller åtkomst kräver vårt system endast att man har en rak siktlinje mellan verktyget och den aktuella fogen", menar Tony **Demakis**, som är försäljningschef och marknadsansvarig hos *Alliance*. "Om man har en invändig fog inuti ett hålrum kan denna vara svår att komma åt med en manuell TIG-pistol, men om man har en god siktlinje finns alla möjligheter för att man kan laser-svetsa den aktuella fogen". Det viktiga är att välja korrekt arbetsavstånd, något som bestäms av fokuserlinsens brännvidd, för att positionera fokuspunkten på rätt ställe på arbetsstycket.

Under inledande svetsförsök vid *FWE* kunde man konstatera att man erhöll rena och kosmetiskt attraktiva svetsar även om rester från plåtmaterialens skyddsfilm fanns kvar. Visserligen genererades en hel del rökgaser på grund av detta, något som arbetades bort i samband med att man införde ett vakuum-utsug.

Doug **Niggemann**, som är verkstäl-lande direktör vid *Alliance* tillägger att nämnda rester knappast är något problem, vilket däremot vissa ytbeläggningar kan

vara. Det är ett i lasersammanhang välkänt problem att ytskiktet hos galvaniserade eller anodiserade metaller förångas under svetsning, vilket destabiliserar svetsprocessen och leder till porositet och andra defekter i svetsgodset. Dock har detta hittills inte utgjort något problem för *FWE* då man enbart hanterat obelagt material, men nyligen fick man en order som krävde svetsning av aluminium med en mycket tjock beläggning. Att lasersvetsa detta material resulterade i ett sprött svetsgods som var sprickkänsligt och därför hade en låg hållfasthet. Man insåg att ytbeläggningen måste tas bort innan svetsning och prövade en mängd alternativ såsom kemisk tvättning och sandblåstring, men ingenting tycktes hjälpa tills någon fick idén att använda en pulsad laser som man annars använde för gravering. Med denna gick det alldeles utmärkt att förånga ytskiktet och därmed skapa en ren yta inför lasersvetsningen, vilken sedan kunde utföras med gott resultat.

De tekniska aspekterna vid lasersvetsning

Vid handhavande av laserutrustningen hos *FWE* placerar operatören detaljerna under laserverktyget och det tillhörande stereo-mikroskopet, vilket samtidigt tjänar som operatörens skyddsglasögon [Fig 3 och 4]. Andra medarbetare som vistas i närheten under svetsningen måste bära sådana skyddsglasögon som krävs

vid användning av klass 4-lasrar. Därpå positionerar hen munstycket för tillförsel av skyddsgasen

"Vi använder Argon som skyddsgas", förklarar Mr. Adams, "även om vi kunnat konstatera att svetsprocessen fungerar väl utan skyddsgas. Den enda skillnaden då är att svetsen inte blir lika ren utan kräver en viss efterföljande polering. Genom att använda skyddsgas behöver vi överhuvudtaget inte röra svetsen vidare och ännu mindre polera densamma". Och denna fördel, menar Mr. Adams, var avgörande för beslutet att investera i en laserutrustning.

Företaget lagrar alla sina processdata som t.ex. pulsfrekvenser, vilka kan ligga mellan 1 och 50 laserpulser per sekund. "Normalt startar vi med 10 pulser/sek och en förutbestämd medeleffekt som motsvarar ett visst penetrationsdjup", säger Mr. Adams. Därefter kan operatören justera dessa värden beroende på svetsgeometri och framföringshastighet. En snabb svetshastighet kräver högre pulsfrekvens, medan en långsam sådan motsvarande behöver färre pulser.

Framföringshastigheten bestäms inte av hur fort operatören rör sin hand, vilket skulle vara fallet med en handhållen laserutrustning eller en TIG-pistol, utan istället genom en förprogrammerad hastighet i kontrollenheten. "Eftersom svetsningen utförs med en joystick blir det nästan som ett video-spel", säger Mr. Coddington,

”och det gör det möjligt att bibehålla en snygg rak linjörrelse.” Detta har avsevärt förkortat upplärningstiden, menar han, och tillägger att det krävs endast några timmars träning för att kunna hantera systemet. Generellt sett bedömer han att man kan bli en kompetent svetsare med laser mycket snabbare jämfört med en som skall utbildas för att handha en TIG-utrustning. ”Samtidigt är laseralternativt tillräckligt flexibelt för att kunna hantera en stor variantflora av produkter”, fortsätter han, och tillägger att man inte behöver förlita sig på någon förprogrammering av svetsbanan vilket är fallet vid robotiserade processlösningar.

De flesta svetsoperationerna hos *FWE* sker på stum- eller kälfogar, och i 90% av fallen använder man inget tillsatsmaterial. Detta tack vare att man i tidigare tillverkningssteg skapat små och jämna spalter mellan detaljerna genom att använda företagets moderna kantpressar och verktyg. Laserutrustningen möjliggör också för operatören att justera pulsvidden. En något längre puls gör att man får en viss rörelse i fokuspunkten, vilket kan hjälpa till att kompensera för spaltvariationer och andra olinjäriteter i fogen.

”Helst vill vi naturligtvis helt undvika

spalter”, säger Mr. Adams, ”men på den mikronivå som vår svetsning sker kan en defekt som i mikroskopet inte ser större ut än ett hårstrå vålla problem. Ibland finns det helt enkelt inte tillräckligt mycket grundmaterial att smälta för att kompensera för spalten mellan detaljerna.” Då måste operatören använda en mycket tunn tillsatstråd som inte är mycket grövre än ett hårstrå. I motsats till TIG-svetsning skall man vid lasersvetsning inte doppa ner tillsatstråden i smältan. Genom att föra in den under laserstrålen smälts tillsatstråden innan den träffar smältan, vilket gör att den värmepåverkade zonen blir mycket smal. Den höga energitätheten i strålen både upprätthåller smältan på arbetsstycket och trycker ner tillsatsmaterialet i densamma. Vid TIG-svetsning är man beroende av gravitationen för att tillsatsmaterialet att flyta in i smältan, medan man vid lasersvetsning blir helt oberoende av gravitation p.g.a. processens höga energitillförsel.

Vad kommer att ske härnäst?

FWE undersöker i dagsläget möjligheten att investera i ytterligare ett lasersystem. I så fall skall detta leverera något högre lasereffekt, exempelvis 600 W medeleffekt,

och då vara avsedd för svetsning av detaljer med 2,0-2,5 mm plåttjocklek. Dylika grövre material används i exempelvis de vagnar för uppvärmning av mat som används i fångelser. ”Om vi går upp till ett joystick-kontrollerat system på 600 W måste vi använda kylaggregat”, säger Mr. Niggemann, men å andra sidan kan vi då bearbeta materialtjocklekar upp till 3 mm.

FWE tittar hela tiden på olika former av svetsautomatisering, inklusive off-line-programmering, simulering och andra åtgärder som kan hjälpa företaget att bibehålla och helst öka flexibiliteten vid sin svetsavdelning. Men med detta sagt får automatiseringen inte innebära att man gör avkall på sin flexibla produktion eftersom *FWE* i grund och botten är en jobshop som enbart producerar mot inkomna order.

Företagsledningen bedömer dagens lösning vara en gyllene medelväg mellan handhållna utrustningar och fullständig automation. Svets hastigheten är på inget sätt spektakulär som i andra laserapplikationer, men om man tillämpar ett övergripande synsätt på cykeltiden för processkedjan svetsning-slipning-polering, blir valet och satsningen på lasertekniken meningsfull.



Figur 4.
Visar svetsoperatör med stereomikroskop

Minnesord för Hans Engström

Det var med bestörtning jag i våras mottog beskedet att vår kollega Hans Engström hastigt och tragiskt gått bort. Därmed har vi förlorat en av de verkliga pådrivarna för användning av lasertekniken inom svensk verkstadsindustri.

Jag lärde känna Hans under senare hälften av 1980-talet då jag fick uppdraget att utveckla lasersvetsningen av karosstaket på Volvo Personvagnars modell ”850”, vilken skulle introduceras på marknaden 1991. Eftersom Luleå Tekniska Högskola var den enda instansen i Sverige som vid den tidpunkten förfogade över en laserkälla med tillräckligt hög effekt blev det naturligt att förlägga de initiala svetsförsöken dit. Bland många innovativa ingenjörer vid avdelningen för Produktionsteknik kom Hans att få en central roll, och när diskussionen bland oss övriga rörande valet av lämpliga processparametrar tenderade att bli alltför livligt kändes det tryggt när Hans med sitt norrländska lugn styrde upp det hela.

Nu har Lasergruppen, dess medlemmar och styrelse, förlorat en kär och uppskattad vän, som kommer att lämna ett stort tomrum efter sig i sin roll som aktiv styrelsemedlem och ”flygande reporter” för vår tidning LaserNytt, där han även fungerade som huvudredaktör.

Tack Hans - Vi kommer alla att i fortsättningen sakna dina såväl tekniska som sociala färdigheter, och minnas dig som en verklig svensk ”laserpionjär”:

Johnny K Larsson



Som kollega och vän till Hans, vill jag säga att beskedet om den tragiska händelsen berörde mig djupt.

Jag lärde känna Hans vid starten av verksamheten runt NOLAMP, och vi hade fortsatt regelbunden kontakt efter det, både i arbetet men också privat när tillfälle bjöds. Kvällarna i Luleå med god mat och dryck, men också de livliga diskussionerna runt vårt fotointresse och andra, mer privata ämnen kommer jag sent att glömma.

Jag hade förmånen att få arbeta ihop med Hans sedan slutet av 80-talet, först i samband med de tester vi gjorde för lasersvetsningen av karosstaket till Volvo 850 men också vid flera andra tillfällen i samband med olika laserprojekt under efterföljande år. Hans kompetens och lugn i kombination med en stor portion humor hjälpte mig vid många tillfällen under vårt samarbete, framför allt när vi ställdes inför utmaningar i projekten.

Som mångårig styrelseledamot i Lasergruppen vill jag också uttrycka min uppskattning av Hans insatser, såväl i gruppen som pådrivande när det gäller tidningen Lasernytt. Utan hans arbete hade inte tidningen utvecklats till den publikation den är idag.

Ett stort tack till dig Hans för dina insatser inom laserområdet, men också som vän och kollega. Du lämnar ett stort tomrum efter dig.

Bo Williamsson

Vår tidigare kollega Hans Engström lämnade oss olyckligtvis under våren. Vi kommer minnas Hans som en uppskattad kollega och en stor inspirationskälla.

Hans tillhörde den första generationen, pionjärerna inom laserbearbetning i Sverige. Hans var del av den första kullarna av studenterna vid Luleå tekniska högskola (som grundades 1971, numera Luleå tekniska universitet (LTU)). Han blev anställd 1975 vid dåvarande avdelningen för Bearbetningsteknik där han stannade till sin pension 2016. Hans var med när materialbearbetning med laser startade i Sverige 1979 och har haft en stor betydelse för dess utveckling sedan dess. Han bidrog väsentligt till att utveckla nätverket om laserbearbetning i Sverige, där han bland annat deltog i branschorganisationen Lasergruppen med ca 50 medlemsföretag där han fortfarande satt som ledamot även efter sin pension. Tidskriften LaserNytt där han var en flitig skribent var han också medgrundare till. Han var även internationellt aktiv och med sedan starten och flertalet gånger agerat

som huvudorganisatör för konferensen NOLAMP, som är en av världens äldsta fortfarande aktiva konferenser inom laserbearbetning. Bland sina många uppgifter och initiativ fanns även coaching i LEANproduktion hos företag, undervisning inom produktionsteknik och industrinära laserforskning.

Hans hade alltid värdefulla råd att ge, både professionellt för att arbeta effektivt men även hur viktigt det är att njuta av sin fritid. Ett bevis på Hans positiva åskådning är hur han enträget hävdade att sommaren varade från maj till augustis slut och för att bevisa sin tes bar han kortbyxor under den tiden, oberoende av väder. Hans var en person som hade nära till skratt vilket smittade av sig på kollegor. Hans var alltid en inspirationskälla, för nya idéer, angreppssätt och kritiska tankar.

Tack Hans! För allt du gjort för vår bransch, för all glädje du skänkt och för all inspiration du gett. Våra tankar går till din familj, anhöriga och alla de du haft som vänner och kollegor.

Jan Frostevarg



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

Welcome to the 18th

NOLAMP Conference

Nordic Laser Materials Processing

24-26th August 2021 in Luleå, Sweden

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

Conference language: **English**

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

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

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

Welcome!

Jan Frostevarg and Alexander Kaplan, LTU

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



LULEÅ
UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY