

LASER

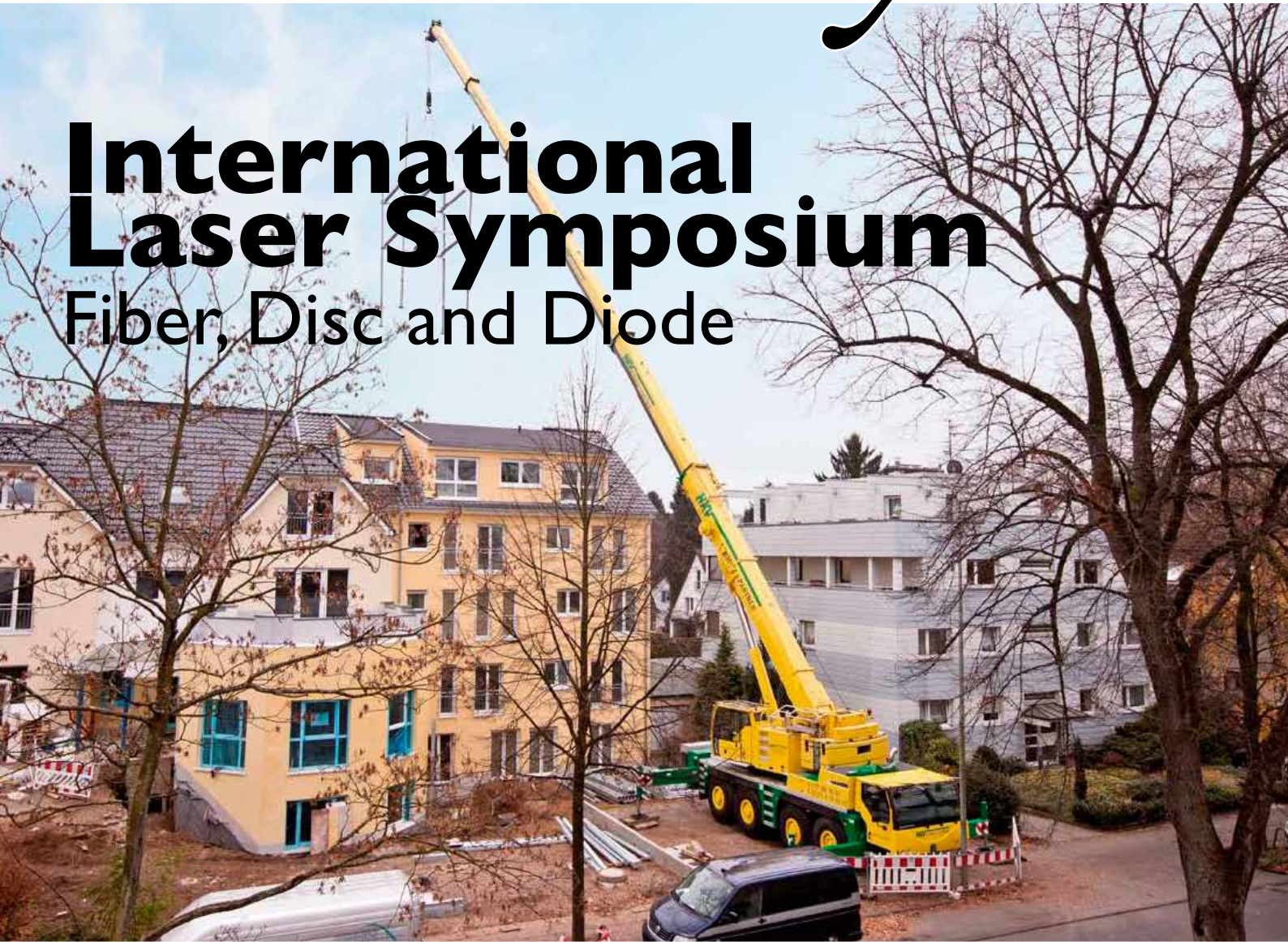
2-2014

Lösnummerpris 85 kr

nytt

International Laser Symposium

Fiber, Disc and Diode



**Avhandling:
Hur svetsdiken uppstår**



**Ögonskador
och laserstrålar**



**Innovativa lösningar
för lasersvetsning**



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

PERMAFLEX
samlad kunskap i en robotcell



Kvalitet. Produktivitet. Lönsamhet.
www.permanova.se

LASER nytt

Lasernytt utkommer med 3 nummer/år
och ges ut av
Lasergruppen c/o Svetskommissionen
Box 5073, 102 42 Stockholm
Telefon: 08-120 304 03

Redaktör

Hans Engström
Telefon: 0920-49 12 69
Växel: 0920-49 10 00
Fax: 0920-49 10 74
E-post: hans.engstrom@ltu.se

Redaktionellt arbete och kansli

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

Ansvarig utgivare

Per Westerhult

Lasernytt på Internet

www.lasergruppen.eu

Omslagsbild

Teleskopprör till mobilkranarmar
laserhybridsvetsas hos företaget
Vlassenroot KSK GmbH

Produktion: Tagg, Stockholm

www.tagg.se
Tryck: Modintryckoffset, Stockholm
www.modintryckoffset.se

TANKAR FRÅN STYRELSEN

Stephan Boëthius, Air Liquide Gas AB

1

EALA 2014 / DEL 2

Senaste verktyg för processövervakning och kvalitetskontroll

2

Marknad för lasersystem

10

DOKTORSAVHANDLING

Snabbare svetsning utan svetsdiken

11

LASERSÄKERHET

Lasersäkerhetsklasser, våglängder och skaderisker

12

LASERDAG

Stjernberg Automation växer så det knakar

14

MIKROBEARBETNING MED LASER

Laserskärning av kolfiberförstärkta plastkompositer

18

ICALEO 2013 / DEL 2

Innovativa lösningar för lasersvetsning av sprickkänsliga aluminiumlegeringar
och blandmaterialförband

20

SAMTAL KRING LASERTRENDER

Laserhybridsvetsning

– en synnerligen lämplig sammansättningsteknik för grovplåtskonstruktioner

35

EWV SPECIALKURS

Lasersvetsning

37

FRÅGA LASERDOKTORN

Finns det något alternativ till helium som processgas

38

DEL 1

Svetskvalitetens påverkan av inerta gaser och dess distribution
vid lasersvetsning.

39

Konsumera hälften. En radikal diet

41

STUDIERESA 2015

Följ med på studieresa till Tyskland i april 2015

43

INTERNATIONAL LASER SYMPOSIUM FIBER, DISC AND DIODE / DEL I

Typ av laserkälla vid industriell tillverkning

44

TANKAR FRÅN STYRELSEN

STEPHAN BOËTHIUS
AIR LIQUIDE GAS AB

Utvecklingen går i ett rasande tempo och ibland undrar jag över hur långt tekniken kan ta oss. Härmdagen läste jag en intressant artikel ”Laserljus istället för stick i fingret”. Det kan bli verklighet sedan amerikanska forskare utvecklat ett nytt sätt att mäta blodsockerhalten i blodet” och ”Laser hittar sprängmedel från luften”.

Än mer intressant är att forskare nu föreslår att man skall använda laser för att bekämpa den globala uppvärmningen från rymden!

Hoppas framtiden kommer snart, eller kanske inte, sommaren har ju varit fantastisk. ☺

Hur kommer framtidens användningsområden för laser att se ut, vad tror du?

LASERNYTT håller dig uppdaterad.





Senaste verktyg för processövervakning och kvalitetskontroll



JOHNNY K LARSSON
VOLVO CARS

I denna, min fortsatta rapportering från 2014 års EALA [European Automotive Laser Applications] -konferens kommer jag att rapportera om de nyheter som presenterades rörande nya laserkällor och -verktyg, men också beskriva några rykande färska, innovativa applikationsexempel. Dock vill jag inleda med att sammanfatta några presentationer som rörde ämnesområdet kvalitets-säkring vid laserbearbetning.

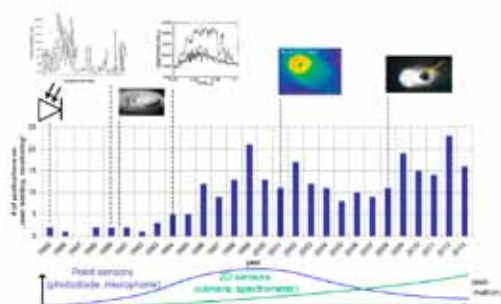
Vid förra årets EALA framförde ju OEM [Original Equipment Manufacturer] -representanterna med Volkswagens Thorge Hammer i spetsen önskemål om processövervakningsverktyg som kunde registrera penetrationsdjupet on-line vid lasersvetsning. Därför hade ACI [Automotive Circle International], som arrangerar dessa konferenser, nu valt att komponera årets program så att man återkopplade till dessa

önskemål. Således hade man bjudit in professor Michael Schmidt från Friedrich-Alexander Technisches Universität i Erlangen, tillika institutionsföreståndare vid BLZ [Bayerischer LaserZentrum], som "keynote speaker" [Fig. 1] för att ge en historisk återblick över hur hjälpmedel för processövervakning vid lasersvetsning utvecklats över tiden. De första systemen som kom i mitten av 1980-talet byggde på mätning av optiska och akustiska emissioner. Dessa följdes av spektralanalys av det återreflekterade laserljuset. Kring 1990 började man observera själva svetsmältan med hjälp av en extern kamera, vilket senare följdes av temperaturmätning av smältan och laserplasmata. I början på 2000-talet kom så de första lösningarna med kameraövervakning av själva nyckelhålsprocessen integrerad i svetsoptiken [Fig. 2], något som måste



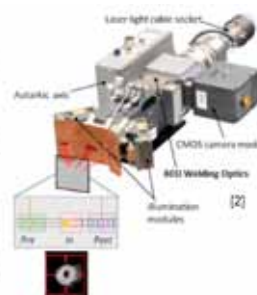
Figur 1. Särskilt inbjuden som "keynote speaker" var professor Michael Schmidt som redogjorde för hur olika tekniker för processövervakning vid lasersvetsning utvecklats över tiden.

betraktas som den mest direkta formen av processövervakning. Fortsatt forskning har sedan gått ut på att ytterligare förfina denna metod, så att man inte bara kan detektera huruvida full penetration föreligger utan också kvantifiera graden av partiell penetration.



Commercial camera based systems:

- Welding Monitor PD 2000, Promotec GmbH
- Laser Welding Monitor LWM, Precitec GmbH & Co. KG
- Weldeye, Lessmüller Lasertechnik GmbH
- SeamLine Pro, Trumpf GmbH + Co. KG

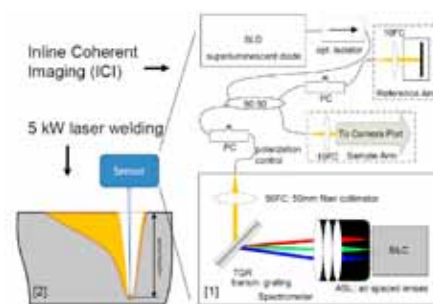


Figur 2. I diagrammet t.v. visas antalet vetenskapliga publikationer över tid med temat processövervakning vid lasersvetsning, vilket visar på den explosionsartade utveckling som skett under åren och som resulterat i ett antal kommersiella, kamerabaserade system (t.h.).

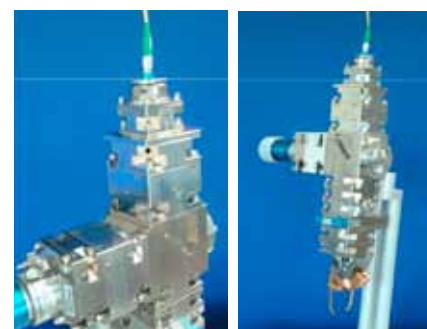
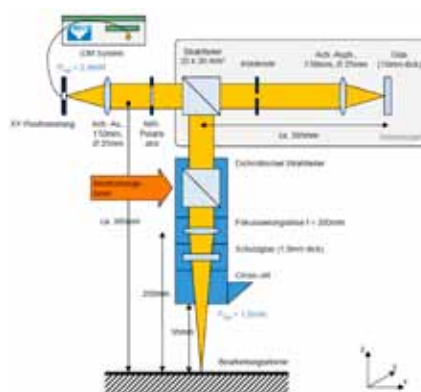
Det senare är möjligt genom att använda sig av LCI [Low Coherence Interferometry], en teknik som i detalj beskrevs i två efterföljande presentationer [Fig. 3]. Den första hölls av välbekante Dr. Markus Kogel-Hollacher från Precitec GmbH, som förevisade deras nya verktyg IDM [In-Depth Monitoring], vilket man nu kan tillhandahålla integrerat i sina svetsverktyg YW30 och YW52 [Fig. 4].

Eftersom metoden, vilken Precitec f.ö. utprovade redan 2007, och som bygger på att mäta vägen som återreflekterat laserljus från en laserdiod med 2,8 mW effekt har att gå, inte påverkas av emissioner från nyckelhålet blir det möjligt att positionera mätpunkten inuti detta för att ge största möjliga noggrannhet i mätningen, vilken påstods ligga inom 2 μm . Dr. Kogel-Hollacher framhävde att alla andra mätmetoder av penetrationsdjupet baseras på någon form av indirekt information. Man hade validerat sitt system på blindsvetsar utförda på 5 mm tjockt lågkolhaltigt St37-stål där lasereffekten varierades [Fig. 5], samt på överlappsfogar mellan 1,5 mm H340 LAD och 1,5 mm 22MnB5 med 0,1 mm spalt. Med IDM-sensorn går det också att detektera när processen övergår från nyckelhålssvetsning till värmeledningsdito. Den gode Markus passade på tillfället att också visa upp Precitecs CoaxBrazer-verktyg för laserlödning med koaxial trådmatning genom en ringformad energifördelning i fokuspunkten. Fördelarna med denna lösning är en bättre fyllnadsgrad i lödfogen samt att processen kan hållas riktningsoberoende, vilket är en fördel vid laserlödning av tredimensionella geometrier.

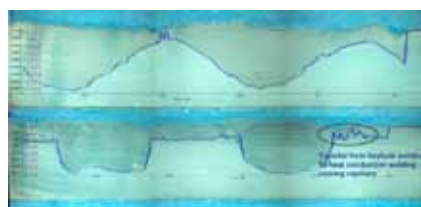
LCI adresserades också av herrarna Florian Hanschmann, Magna Cosma och Paul Webster, Laser Depth Dynamics Inc. i en gemensam presentation [Fig. 6]. Deras koncept ser något annorlunda ut än Precitecs och där diodlaserstrålen arbetar inom ett annat våglängdsområde, nämligen 840 nm. Verktöget har vad man ville kalla en 3D-kapabilitet i så måtto att sensorn också kan detektera svetsdjupet tvärs svetsriktningen,



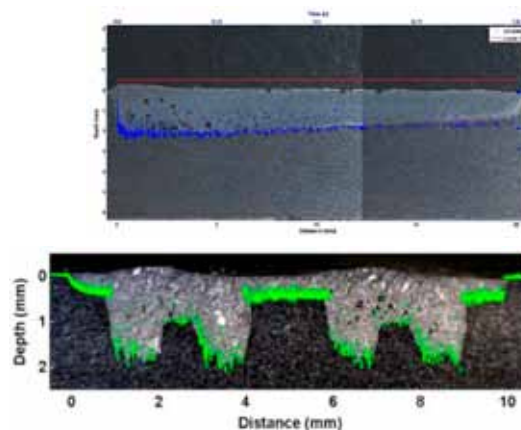
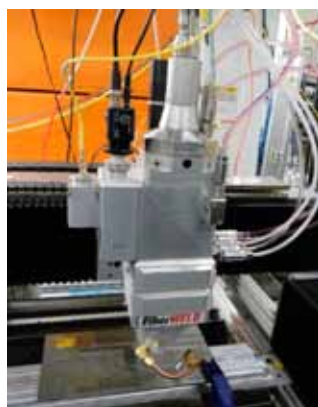
Figur 3. Processen för In-line Coherent Imaging (ICI) t.h. beskrevs bl.a. av Dr. Markus Kogel-Hollacher.



Figur 4. LCI (Low Coherence Interferometry) för kontroll av penetrationsdjupet vid lasersvetsning kan numera fås integrerat i Precitecs verktyg YW52 och YW30.



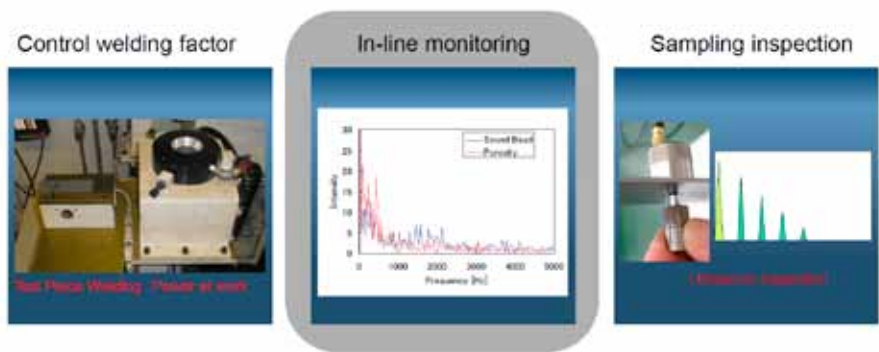
Figur 5. I dessa tvärsnittsbilder på blindsvetsar utförda med laser har man överlagrat den inkommande LCI-signalen och ser då en perfekt överensstämmelse mellan denna och verkligt penetrationsdjup då lasereffekten varierades. Metoden kan även detektera då svetsprocessen övergår från "key-hole" till värmeledningssvetsning!



Figur 6. T.v. den uppställning som användes vid svetsförsöken hos Magna Cosma och t.h. ser man samma goda korrelation mellan interferens-signal och verkligt penetrationsdjup som vi ser hos Precitec.

samt att samma sensor, liksom hos Precitec, kan användas såväl före som efter svetsoperationen för att detektera fogens utseende respektive analysera den faktiska svetsgeometrin. Bildfrekvensen ligger på över 1.000 fps [frames per second] och påstods även kunna detektera s.k. "False Friend", d.v.s. att full penetration föreligger men att det trots detta saknas bindning mellan plåtarna i en överlappsfog. Genom att adaptivt reglera lasereffekten med en reaktionstid på 18 ms har man lyckats åstadkomma ett fungerande "closed-loop"-system.

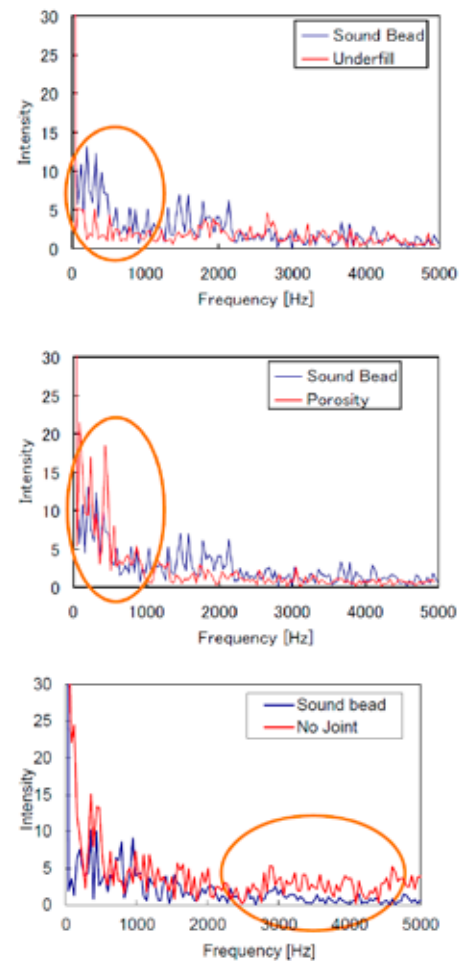
När vi ändå är inne på ämnet kvalitetskontroll låt mig då få referera lite från den presentation som gavs av Taishi Tarui från Nissan Motor Co. och som handlade om hur man säkerställer kvalitén hos sina "remote"-svetsade produkter i Oppama-fabriken. Sedan 2006 använder man här fiber- och disklasrar för "fjärrsvetsning" av komponenter som motorhuvor, sidodörrar, bakluckor och bakdörrar, s.k. "tailgates". Vanligtvis använder man 4,5 kW lasereffekt och en svets hastighet på 50 mm/sek. Man nyttjar tre olika verktyg för sin "quality management"; effektmätning, processövervakning och efterföljande stickprovskontroll med ultraljud fyra gånger per arbetsskift [Fig. 7]. Processövervakningen sker i form av höghastighetsfilmning av svetsförloppet med 10.000 fps, men också i form av frekvensanalys av laserstrålens återreflektion och plasmamolnets utseende där man använder sig av två fotodioder som belysningskällor. De observationer man gjort var att porer i svetsen ger höga intensiteter i frekvensbandet under 1 kHz, medan låg intensitet i förhållande till referensvärdet tyder på insjunk svets, s.k. "underfill". "False Friend", eller ingen bindning mellan plåtarna i ett överlappsförband visar sig i form av höga intensiteter i frekvensbandet över 2 kHz [Fig. 8]. Emellertid måste man även ta hänsyn till plåtjockleken i förbandet då tunnare plåtar tenderar att flytta intensitetstopparna uppåt i frekvensområdet. Med denna processövervakning kan



Figur 7. Nissan Motor Co. använder tre hjälpmedel vid kvalitetskontroll av fjärrlasersvetsade komponenter som bakluckan. T.v. effektmätning, frekvensanalys av återreflektad laserstrålning samt ultraljudskontroll.

man omedelbart identifiera defekta "remote"-svetsar och direkt sända dessa komponenter till en bredvidliggande punktsvetscell för reparation.

Fogning av stålplåt till polymermaterial är ett intressant och framtida koncept i fortsatta lättviktsatsningar inom bilindustrin. Även här kan en laser komma väl till pass vilket framgick av Marc Kirchhoffs [Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH] presentation. Förslaget var att man först strukturerade den metalliska ytan med hjälp av en "laser-scanner" [Fig. 9], där det krävs en effekttäthet på 30 MW/cm² för aluminium och 7 MW/cm² för stål. Motsvarande processhastigheter är 5 cm²/sek respektive 3 cm²/sek. Vid strukturering av stål bör man använda kvävgas för att undvika korrosion, medan aluminiumbearbetningen inte kräver någon skyddsgas. Initiala försök hade utförts med pulssade laserkällor ur Trumpfs TruMicro-serie då det är önskvärt med en liten fokalfpunkt som kan ge en tät struktur för bästa hållfasthet, men målsättningen är att kunna använda cw-lasrar för att kunna bearbeta större ytor per tidsenhet. Resultatet blir en grov metallyta, vilket ökar bindningsarean vid svetsoperationen och ger den smälta polymeren möjlighet att fylla ut dessa "gropar".



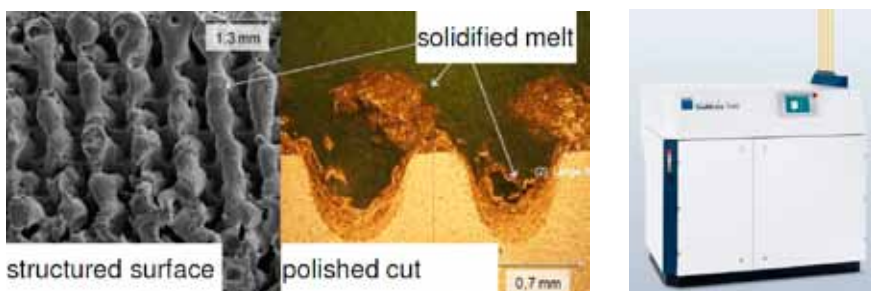
Figur 8. Frekvensanalys av återreflektad laserstrålning; under 1 kHz indikerar höga intensiteter porförekomst medan låga värden är liktydigt med insjunk svets. Vid högre frekvenser tyder de höga intensiteterna på s.k. "False Friend", d.v.s. ingen bindning mellan plåtarna.

Själva svetsningen sker såtillvida att en defokuserad laserstråle ansätts mot metallytan, varpå man med konduktiv värmeledning kan smälta polymeren lokalt samtidigt som ett högt tryck är anbringat på detaljerna.

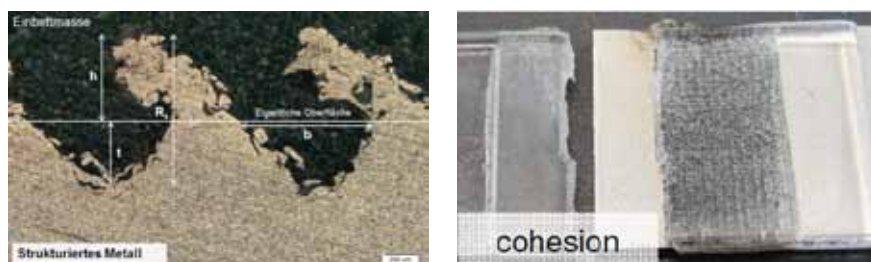
Vid validerande hållfasthetsprovning gav ett profildjup hos metallen kring 300 µm den högsta hållfastheten då den fogades mot ett PC [PolyCarbonat] -material. Sålunda kunde man uppnå så höga hållfastheter i fogen att brottet kom att gå i polymeren [Fig. 10] vid 2.350 N i det aktuella fallet. Om man istället använder en glasfiberförstärkt PA [PolyAmid] skulle man kunna nå brottlaster kring 8.000 N menade Herrn Kirchhoff. De här uppvisade resultaten härrörde från ett BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] -finansierat projekt kallat "Extralight Extremer Leichtbau mit Kunststoff-Metall-Hybriden", där vi i projektgruppen hittar aktörer som BASF [Badische Anilin- & Soda-Fabrik], TU [Technische Universität] Berlin, INPRO [Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH], ThyssenKrupp, Daimler och Volkswagen.

Några icke-karossrelaterade användningsområden för laserbearbetning

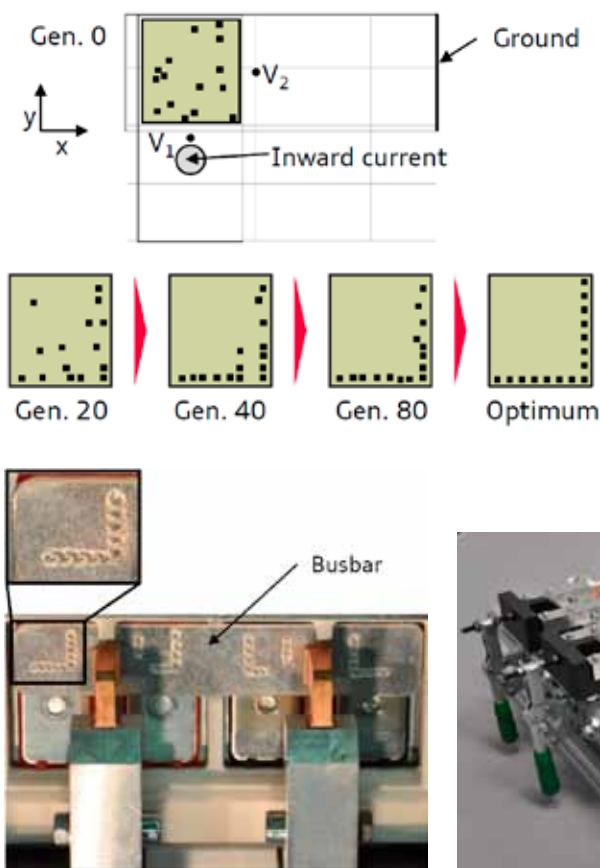
Idag sker kontaktering av battericeller, d.v.s. sammanfogningen av anod och diodplattor, med hjälp av skruvförband vilka i genomsnitt tar 5 sekunder att applicera. Detta bedöms som en i sammanhanget alltför lång processtid varför man börjat efterlysa alternativa fogningstekniker, och här kan lasersvetsning vara ett alternativ. Därför är ämnesområdet lasersvetsning av aluminium [katod] till koppar [anod] verkligen satt under luppen, och forskning bedrivs på ett otal ställen, så även hos Audi AG. Thomas Pauleser berättade om de fjärrlaserförsök som genomförts vid kontaktering av batteri-"packen" till Audi R8 e-tron, där kravbilderna för svetsningen var satt under 2,5 sekunder per kontaktering, undvikande av elektriska förluster samt att bat-



Figur 9. För att strukturera metallytor för att dessa skall få bättre kontakt vid sammanfogning mot en polymerdetalj använder man lämpligtvis pulserade laserkällor ur Trumpfs TruMicro-serie.



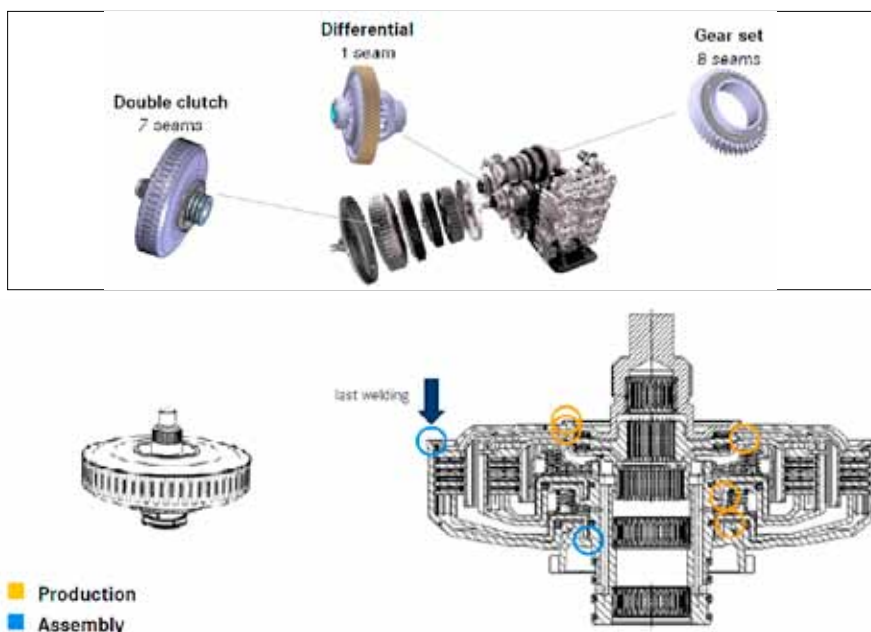
Figur 10. Vid ett profildjup (Rz) på 300 µm i metaldelen når man så pass hög hållfasthet att brottet går, som i fallet t.h., i det polymera PC-materialet.



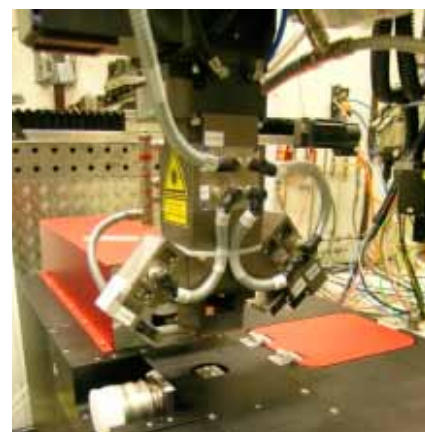
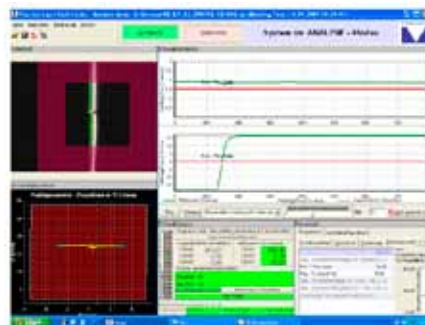
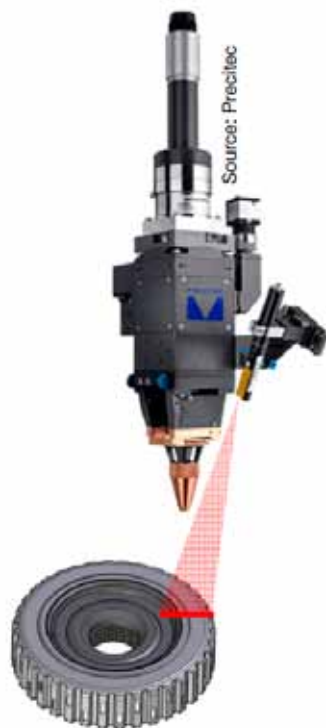
Figur 11. Med avancerad simuleringsteknik och "scanner"-svetsning blir det möjligt att optimera svetsmönstret m.a.p. elektrisk ledningsförmåga vid kontaktering av bilbatterier; samtidigt som produktiviteten ökas med en faktor 5!

tericellerna inte fick påverkas. Med tanke på att kontaktringen idag sker med 1.060(!) skruvförband som tillsammans väger 13,5 kg medför lasersvetsningen också en icke försumbar viktsbesparing. Svetsförsöken hade genomförts med ett RLSK-verktyg från HighYag plus en fiberlaserkälla från IPG och svetsningen hade utförts från kopparsidan. Med denna form av lasersvetsning hade kontaktringstiden gått att nedbringa till under 1 sekund, vilket skulle innebära att den totala sammansättningstiden för ett komplett e-tron batteri-”pack” skulle kunna reduceras från 88 till 16 minuter! Med hjälp av ett simuleringsprogram kunde man dessutom optimera svetsmönstret [Fig. 11] så att värmeförlusten vid svetsningen minimerades och den elektriska ledningsförmågan hos battericellerna därmed ökade med 15%.

Svetsning av drivlinekomponenter har varit ett stående inslag vid dessa EALA-konferenser och ämnesområdet har då främst representerats av Daimler och Herrn Christian Elsner. I år hade denna herre emellertid valt att träda tillbaka till förmån för kollegan Patrick Talmon l’Armée som berättade om precisionssvetsning av växellådskomponenter. Det handlade om lasersvetsning av A- och B-Klasse-modellernas nya sjuväxlade växellådor med oljekyld dubbelkoppling [F-DCT = Front Double Clutch Transmission]. Omfattningen består av 7 lasersvetsar på dubbelkopplingen, 1 på differentialhjulet samt 8 svetsar på övriga växelhjul [Fig. 12]. Svetsningen utförs som stumsvetsade I-fogar med ett minsta inträngningsdjup på 3 mm, där växelhjulen roteras under en stationär laserstråle. Det unika processupplägget i fabriken i Hedelfingen nära Stuttgart är att svetsning och efterföljande montering av växellådorna sker i samma produktionslinje. Traditionellt har Daimler använt CO₂-lasrar för dylika uppgifter men här har man för första gången gått över till fastkroppslasrar och därmed kunnat reducera antalet laserkällor från 5 till 2 stycken med bibehållen produktivitet vilket innebär 1.100 enheter om dagen. Drivkrafterna bakom



Figur 12. I den nya växellådan till Mercedes A- och B-Klassem modeller hittar vi inte mindre än 16 stycken lasersvetsar, varav sju stycken används vid sammanbyggnaden av den unika oljekylda dubbelkopplingen. Svetsarna utförs som stumsvetsade I-fogar med ett minsta inträngningsdjup på 3 mm (t.v.).



Figur 13. Bland de hjälpmedel som används för att säkerställa en 100%-ig svetskvalitet kan nämnas Precitecs "Laser Path Finder" och Primes' "High Power MicroPowerMonitor".

övergången till disk- och fiberlasrar menade Herrn Talmon l'Armée vara lägre driftskostnader genom en högre elektro-optisk verkningsgrad och inget behov av skyddsgas, samt bättre absorption av den kortare våglängden vilket tillåter en högre svets hastighet och därmed mindre värmepåverkan och stabilare och repeterbart geometriutfall. Bland de hjälpmedel som används för att innehålla en hög svetskvalitet kan nämnas Precitecs "Laser Path Finder" och Primes' "High Power Micro-PowerMonitor [MPM]" [Fig. 13]. Dessutom använder man sig av en patenterad lösning för evakuering av svetsrök och smutspartiklar. Innan växelhjulen skickas vidare till efterföljande montering utför man en automatiserad borstning av svetsrågen.

Nya laserverktyg och laserkällor

Vid den här typen av konferenser ges det också alltid utmärkta tillfällen till att uppdatera sig om vad som händer beträffande nya laserkällor. Sätillvida kunde vi i den välbesökta utställningen träffa Jay Liebowitz som visade upp TeraDiodes senaste skapelse; en 4 kW diodlaser med 8 mm*mrad i strålkvalitet i våglängdsområdena 950-990 nm [Fig. 14]! Enheten är uppbyggd av 8 stycken 600 W-enheter med produktbeteckningen TeraBlade™ där 171 stycken lysdioder via ett brytningsgaller skapar en laserstråle med en BPP [Beam Parameter Product] på 3 mm*mrad. Framgent kommer det att bli intressant att se vart den här utvecklingen med diodlasrar med hög strålkvalitet kommer att ta vägen i fortsättningen.

I den session som handlade om nya laserkällor var såväl, IPG, Laserline och RofinSinar engagerade, och först ut var Dr. Klaus Krastel från IPG. Denne berättade om några intressanta applikationsexempel som t.ex. laserrengöring av ytor innan man limmade på 1,2 mm tjocka aluminiumgolvtill en bärande containerstruktur. Detta utfördes med en uppsättning av "scanner"-verktyg så att man tidseffektivt kunde bear-

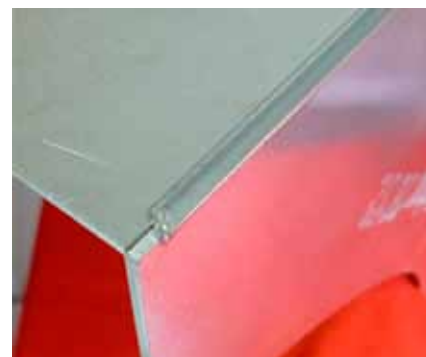


Fig. 14.

Vid EALA-konferensen var det "världspremiär" för TeraDiodes 4 kW diodlaser med 8 mm*mrad i strålkvalitet, vilken är uppbyggd av 600 W TeraBlade™-enheter.

beta så stora aluminiumpaneler som 2,5x12 meter. Avverkningen av ytans oxidskikt skedde med 100 ns långa laserpulser med energiinnehåll på 1 mJ. Frekvensen var 500 Hz och effekttopparna låg på 10 kW, vilket tillsammans resulterade i en avverkningshastighet på 21 cm²/sek. Vidare redogjorde han för laserhybridsvetsning av kranarmar tillverkade av 12 mm tjock höghållfast stålplåt där svetsningen kombinerades med håltagning genom laserskärning. Ett annat exempel rörde kantsvetsning av 3 mm aluminium med hjälp av oscillerad laserstråle [Fig. 15], 4 kW effekt och en framföringshastighet på 1 m/min.

I det sista applikationsexemplet redogjorde Dr. Krastel för verktyget "Seam Stepper", vilket numera erbjuds i två varianter; en för manuell hantering och en för robotiserad dito. Båda varianterna har en servodrivna fixeringsenhet som ger en maximal klämkraft på 3 kN, och verktygsvikten ligger på 35 resp. 40 kg [Fig. 16]. "Laser Seam Steppern" [LSS]



Figur 15.

Med ett unikt svetsverktyg där laserstrålen kan oscilleras går det att skapa högkvalitativa kantsvetsar i 3 mm tjockt aluminiummaterial.



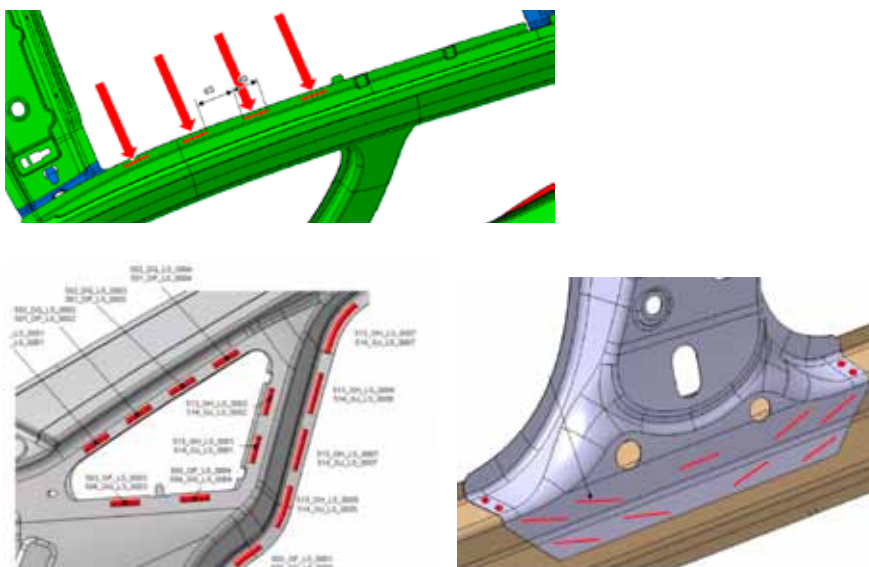
Figur 16.

IPG:s "Seam Stepper" går nu att få för såväl manuell hantering som i robotiserad version närmast.

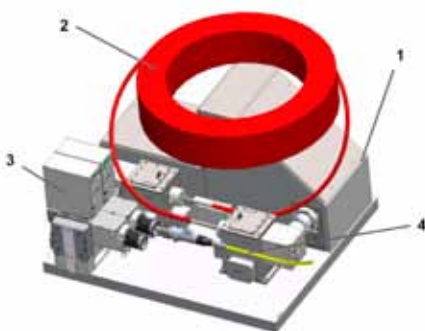
används ju numera i volymproduktion hos VW över hela världen vid tillverkning av sjunde generationens Golf-modell. Tack vare verktygets inbyggda säkerhetsarrangemang kan man lasersvetsa ute i karosfabriken utan att behöva använda sig av särskilda laserkabinett. Svetsapplikationerna hittar vi i en 3-plåtskombination i taksvällaren, B-stolpefoten och den bakre sidorutsöppningen, det s.k. "kvartsglaset", där punktsvetsning överhuvudtaget inte är möjlig [Fig. 17]. Verktyget kan även vara användbart för flänsbreddsreduktion i sidodörrsöppningarna på en kaross, något som jämfört med punktsvetsning kan resultera i en viktsbesparing på 4% och en ökning av dörröppningens mått med 8%, vilket underlättar in- och ursteg. Jämförelsen med punktsvetsning är given, och här visade Dr. Krastel upp ett s.k. spindelnätsdiagram, där de huvudsakliga fördelarna med LSS stod att finna i hållfasthet och processkaraktäristika.

Den elektriska verkningsgraden har ju alltid framhållits som en av fiberlaserns fördelar och fram till idag har IPG kunnat erbjuda laserkällor med 35% WPE [Wall Plug Efficiency]. Nu lanserar man emellertid en 6 kW-enhet med beteckningen YLS-6000-Eco med en WPE på 40%. Våg-längden är 1.070 nm, strålkvaliteten 2 mm*mrad(!) och stråldistributionen kan ske via en 50, 100 eller 200 µm grov fiber. Laserns kompakta form beskrivs av att den har ett s.k. "footprint" på endast 856x806 mm.

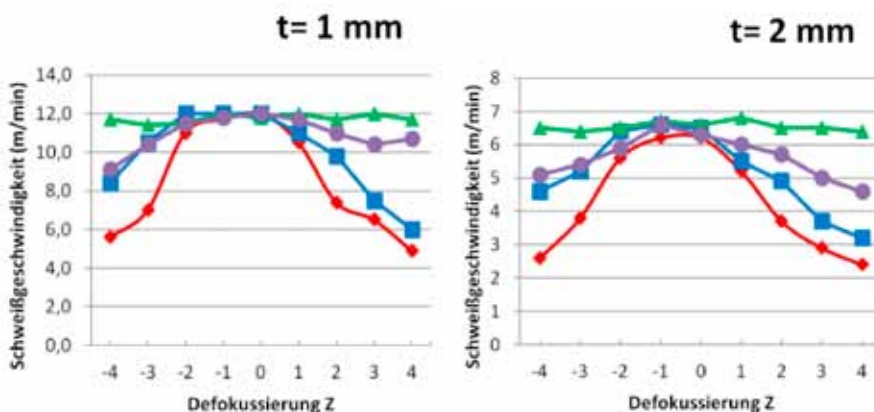
Laserlines talan fördes denna gång av sympatiske Axel Luft. Självklart berättade han om deras LDF 4000-8 som är en diodlaser vars strålkvalitet [8 mm*mrad] förbättras genom att man använder en ändpumpad s.k. "aktiv fiber" med ett omgivande "skal" som strålomvandlare [Fig. 18]. För att klara att omvandla så höga effekter som det här är frågan om måste fibern ha en större diameter än vad som vanligtvis förekommer i en fiberlasers aktiva fiber och man pratar här om en Yb-dopad XLMA [Extra Large Mode Area]-fiber. Denna speciella fibertyp tillverkas genom sintring av ett dopat granulat så att man erhåller ett kvartsglas att till-



Figur 17. VW har anammat IPG:s "Seam Stepper"-verktyg vid produktionen av sin senaste Golf-modell. Applikationerna hittar vi i taksvällare, B-stolpefot och den s.k. "kvartsglasöppningen".



Figur 18. Principen för Laserlines diodlaser med 4 kW effekt och en strålkvalitet på 8 mm*mrad. Detta möjliggörs genom att man med ett flertal diodstaplar (1) pumpar en XLMA-fiber (2), och där den genererade laserstrålen kan skickas via en strålväxlingsenhet (3) till den passiva bearbetningsfibern (4).

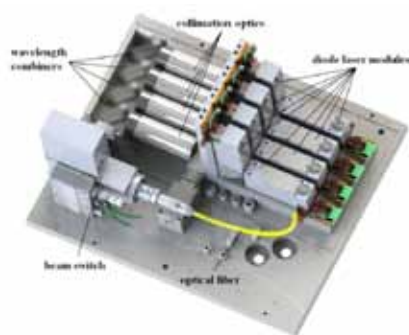


Figur 19. Vid svetsning av såväl 1 som 2 mm tjock stålplåt medför en bättre strålkvalitet och mindre diameter hos distributionsfibern ett större skärpedjup och därmed en robustare svetsprocess med bibehållen svets hastighet även vid stora fokalpunktsförskjutningar.

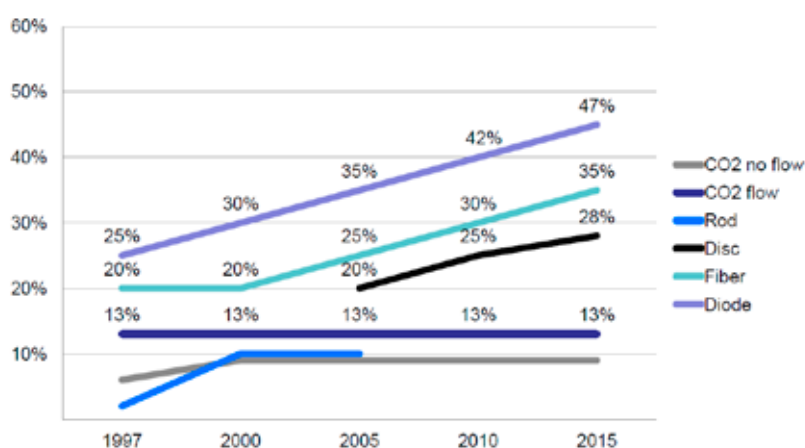
verka fibern av. Genom att laserljuset från diodstaplarna dels passerar genom den centrala aktiva fibern, dels reflekteras via det omgivande fiberskalet blir det möjligt att omvandla en infallande laserstråle med 100 mm*mrad och en våglängd på mellan 900-1.000 nm till en stråle med 8 mm*mrad i strålkvalitet inom ett våglängdsområde på 1.070-1.090 nm. Den numeriska aperturen [N.A.] ligger på 0,1, och i övrigt kan nämnas att 90% av de ingående komponenterna är identiska med de som används i de vanliga LDF-källorna. En fördel med den bättre strålkvaliteten är att skärpedjupet hos strålen ökar, och att man därför exempelvis fortsatt kan svetsa med hög hastighet även då fokuspunkten positioneras 4 mm ovanför plåtens toppyta [Fig. 19]. Däremot är nackdelen att WPE verkar avta med bättre strålkvalitet.

I övrigt handlade Axel Lufts presentation mycket om motiven för ännu högre lasereffekter. Idag kan Laserline erbjuda 20 kW genom sin LDF 20000-200 med 200 mm*mrad i strålkvalitet. Motivet för högre lasereffekter är motiverat inom områden som höghastighetspåläggning, värmebehandling av stora ytor samt svetsning av CFRP [Carbon Fiber Reinforced Plastics]. Man räknar med att åstadkomma effekter kring 25 kW genom att våglängdskoppla fyra olika våglängder med 20 nm intervall inom området 920-1.060 nm. En sådan enhet består av 8 diodstaplarna och beräknas få en WPE på 42,9-44,8% [Fig. 20]. Den förmodade strålkvaliteten ligger kring 220 mm*mrad, lämplig att distribuera genom en 2 mm grov optisk fiber med en N.A. på 0,2. Kompaktheten från tidigare Laserline-produkter känner vi igen även här då 25 kW-lasern har de behändiga yttermåten 1.100×1.330×1.750 mm.

Det är intressant att följa utvecklingen av den ständigt förbättrade elektriska verkningsgraden [Fig. 21], och Laserline anser sig idag ha ett "världsrekord" i så måtto att "arbetshästen" LDF 4000-100 levererar en WPE på 48%, vilket påstods vara det högsta uppmätta värdet för en industriell diodlaser i kW-klassen.



Figur 20. Överst "inkrämet" i Laserlines 25 kW diodlaser med 8 diodstaplarna och t.h. den kompakta produkten som mäter 1.100×1.330×1.750 mm.



Figur 21. I detta diagram framgår hur den elektriska verkningsgraden [WPE] förbättrats över tiden för olika typer av laserkällor.



Figur 22. En typisk fiberlasermodul från RofinSinars produktprogram av fiberlasrar. I deras FL-serie erbjuder man "single-mode"-källor med effekter upp till 1 kW, och "multimode"-dito med 6 kW som högsta effekt.

Avslutningsvis sammanfattade Dr. Luft de utvecklingsambitioner som Laserline avser integrera i kommande produkter. Dessa är:

- Cw-lasereffekter < 40 kW
- WPE > 50%
- Strålkvaliteter kring 4 mm*mrad
- 8 mm*mrad strålkvalitet vid 8 kW uteffekt

Siste talare i sessionen kring nya laserkällor var välkände Wolfram Rath från RofinSinar i Hamburg. Ämnet för denne gentlemans presentation var företagets serie av fiberlasrar uppbyggda av moduler och med ändpumpning av fibern. Man har två varianter i sin FL-serie, dels en s.k. "standard" och en som man valt

att benämna "compact". Den senare kan fås i "single-mode"-version och då med effekterna 500W, 750W och 1.000W [med BPP <0,4 mm*mrad], samt med såväl 2 som 3 kW uteffekt men då med en sämre strålkvaliteten på 2,5 mm*mrad och "multi-mode". "Standard"-versionen erbjuds med den högsta cw-effekten på 6 kW [FL060] med 10 mm*mrad i strålkvalitet, samt med effekter mellan 500W och 4 kW och då med den bättre strålkvaliteten på 2,5 mm*mrad [Fig. 22]. Laserkällorna är försedda med fyra fiberutgångar vilka kan användas för effektindelning eller strålväxling. Produkterna är certifierade enligt ISO13849-1/-2, och har en inbyggd automatisk effektavstängning inom 10 ms i händelse av föreliggande säkerhetsrisk. Vidare finns en välbeprövad funktion för detektering av fiberbrott.

Applikationerna för dessa laserkällor rör främst svetsning och



Figur 23.

Några bilder från RofinSinars applikationslaboratorium och experiment utförda med företagets fiberlasrar och 100 µm distributionsfiber; t.v. höghastighets-skärning och t.h. fjärrlasersvetsning med ett "scanner"-verktyg från Bergmann & Steffen.

skärning, och bl.a. hade man utfört RLC [Remote Laser Cutting] med ett "scanner"-verktyg från företaget Bergmann & Steffen GmbH. Andra exempel som visades upp var mikrosvetsning av fibrer, tredimensionell laserskärning och höghastighetsdito [Fig. 23], svetsning av drivlinekom-

ponenter med en 200 µm grov passiv fiber samt olika former av ytmodifiering med laser såsom påläggning och härdning.

Så mycket om mina intryck från EALA-konferensen, som är ett evenemang väl värt att besöka, inte bara för oss "bilnördar"! —

Marknad för lasersystem

Den globala marknaden för lasersystem ökade 5% 2013 till 70 miljarder kronor
Den europeiska lasermarknaden ökade med mer än 10% 2013.

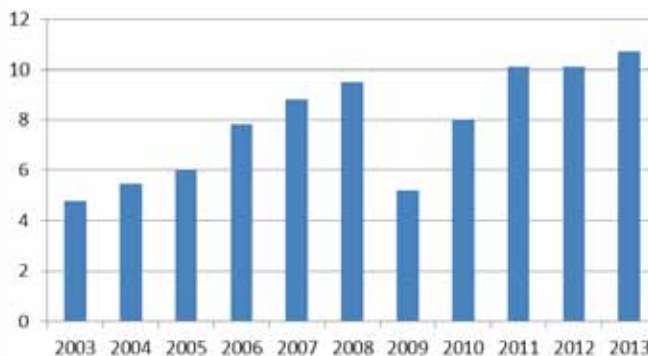
Den globala marknaden för lasersystem nådde rekordvolymen 70 miljarder kronor 2013, vilket är en ökning med 5% jämfört med föregående år. Enligt den årliga marknadsundersökningen från Optech Consulting ökade marknaden för lasersystem för makro-bearbetning (huvudsakligen skärning, svetsning, märkning) med 7.2% och nådde volymen 54 miljarder kronor. Marknaden för lasersystem gick bättre än den globala maskinmarknaden vilken minskade med 9%. Marknaden för lasersystem för mikro-bearbetning minskade med 1% och nådde 16 miljarder kronor i linje med den globalt svaga marknaden för halvledarkapitalprodukter. Lasermikrosystem används huvudsakligen för tillverkning av halvledarkomponenter, solceller, kretskort, och platta displayer.

Den 5 procentiga ökningen av den totala globala lasersystem-marknaden 2013, står sig dock slätt mot den årliga ökningen på 10% som skett i genomsnitt de senaste 10 åren. Den jämförelsevis låga ökningen 2013 orsakades främst av minskad efterfrågan i Asien under andra halvan av året. Med tungviktarna Kina, Japan och Korea konsumerar regionen lite över 50% av laserbearbetningssystemen.

Efterfrågan i Europa, som står för ca 30% av världsmarknaden ökade mer än 10% räknat i US dollar spor-

rad av de stora marknaderna i Tyskland, Frankrike och Italien. Siffrorna signalerar en förvånansvärd återhämtning från 2012 då Europa utvecklades sämst av de stora regionerna med en minskning på 8%, även det räknat i US dollar.

Marknaden för lasersystem ökade även i Amerika som står för 15% av världsmarknaden. Medan marknaden i Nordamerika kyldes 2013 efter tre år av stark tillväxt ökade Latinamerika med tvåsiffrigt värde. —



Utvecklingen av den globala världsmarknaden för laserbearbetningssystem (Miljarder US \$).

Källa: Optech Consulting (CH), www.Optech-consulting.com

Snabbare svetsning utan svetsdiken

I en ny doktorsavhandling vid Luleå tekniska universitet beskriver forskaren Jan Frostevarg hur oönskade svetsdiken uppstår vid svetsning. Genom att eliminera svetsdiken kan man förbättra produktens utmattningsegenskaper och hålla en högre svets hastighet.

TED KARLSSON,
LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET



Jan Frostevarg

Jan Frostevarg tillhör ämnet produktionsutveckling där man forskar på laserbearbetning med tyngdpunkt på lasersvetsning. I sin avhandling beskriver Jan hur svetsdiken uppstår, vilket är ett återkommande problem inom svetsning. Svetsdiken kan beskrivas som insjunkningar vid sidan av den svetsade rågen och basmaterialet.

Kan du berätta om din studie?

– Jag har studerat laserhybridsvetsning, en kombination av lasersvetsning och traditionell MIG/MAG. Metoden har många fördelar jämfört med vardera svets tekniken för sig. Det går att med relativt låg värmeförsel svetsa både snabbt och djupt. Jag har studerat förekomst och bildande av de icke önskvärda svetsdiken som kan uppstå vid svetsning.

Vad har du gjort för typ av experiment?

– Jag har utfört experiment på försöksplåtar med högeffekt laser och industriella svetsmaskiner i vårt verkstads labb. Jag använder hög hastighetsfilmning med bandpassfilter och laserbelysning, för att kunna se svetsprocessen och därmed avgöra hur svetsdiken formas. Jag har också använt en ytskanner för att kvantifiera mängd och storlek av dessa.

Vad kom du fram till?

– Om man vet hur olika svetsdiken bildas så går det att göra något åt dem, utan att behöva sänka svets-

hastigheten, vilket är den vanliga lösningen.

Vilken praktisk nytta har ditt arbete?

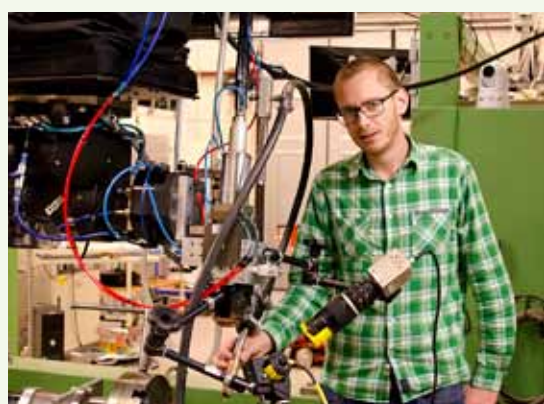
– Att kunna producera produkter utan svetsdiken är viktigt för att produkterna ska hålla länge, utan att de går sönder på grund av utmattning. Om företag ska våga investera i ny teknik måste de kunna lita på den, därför är det viktigt att defekter såsom svetsdiken kan undvikas, även vid höga hastigheter.

Till vad används lasersvetsning och var ser du tillväxtpotential?

– Idag finns de flesta applikationerna för laserhybridsvetsning inom skeppsvarv, kranar, profiler och tunga fordonskomponenter. Det är främst här som tillväxtpotentialen i första hand ligger. Ren lasersvetsning är mer förekommande, där det också används för bl.a. medicinska produkter, bilkonstruktioner, verktyg och turbiner.

Vad har varit roligast med arbetet?

– Att jobba tillsammans med företag har varit lärorikt och roligt. Forskningen i sig har varit rolig eftersom jag fått forska på en framtida process med teknik som är okänd för många. Att vara med och utveckla processen så att företag blir mer intresserade och vill investera i teknik som kan föra inhemsk produktion framåt, är förstås också kul.



Jan i labbet

Vilka företag har varit inblandade?

– Under mitt första år utförde jag studier som sedan tillämpades på produkter från företaget Cargotech. Men därefter är det främst Ferruform och deras huvudägare Scania som varit inblandade i min forskning, där det främst är deras applikationer som studierna tillämpats på.

Vem har finansierat din forskning?

– VINNOVA, Norrbottens forskningsråd och EU-FP7 har varit huvudfinansierare för de olika projekten där jag utfört min forskning.

Vad kommer du att göra nu?

– Planen är att jag ska fortsätta som lektor vid Luleå tekniska universitet och delvis handleda, men också ha mycket mer undervisning än tidigare. Jag kommer att vara fortsatt inblandad i mitt projekt, men då mer som handledare och även vara med i flera andra projekt.

Lasersäkerhetsklasser, våglängder och skaderisker

URBAN WIDÉN
SJÖGÅRDVIK AB

Laserstrålen är ett mycket användbart verktyg som är väl etablerat inom många områden sedan åtskilliga år. Dess egenskaper skiljer sig från annat ljus och är mycket användbara, såväl till mätningar som till bearbetning. Lasern alstrar ett ljus som inte liknar något annat ljus. Detta innebär att vi som människor inte har några försvarsmekanismer som skyddar oss från skador från laserljus – i varje fall inte om det är starkare än några milliwatt, eller om det ligger utanför det synliga området. Det gör att det blir väldigt viktigt att laserstrålningen hanteras på rätt sätt ur ett arbetsmiljö och säkerhetsperspektiv. Här följer en sammanfattning av bakgrunden och en jämförelse med annat ljus än laserljus.

Det är enkelt att inse att om vi kan märka, skära eller svetsa i olika material med lasern, kan vi även bränna oss på huden eller i ögonen med lasern. Det är lite mindre självklart att en laser, t.ex. en lite för stark laserpekare, som inte känns det minsta varm på huden, kan ge omedelbara brännmärken på näthinnan inuti ögat. Även osynligt nära infraröd strålning, som vi inte vare sig ser

eller känner, kan ge dessa ögonskador om det vill sig illa. Det första att känna till är att optisk strålning med olika våglängder ("färg") beter sig olika när de träffar kroppen och ögat. UV-strålning absorberas i ytan, eller strax under ytan, av huden respektive hornhinnan längst fram i ögat. UV-strålningen har fotokemiska egenskaper, dvs det är inte temperaturhöjningen i första hand som skadar, utan strålningens påverkan på molekylerna i cellerna. Solbränna är ett resultat av exponeringstiden under t.ex. ett dygn.

Infraröd strålning med lång våglängd, från t.ex. smält metall, eller en CO₂-laser, absorberas även den i ytskiktet på huden och hornhinnan. Här har vi inga fotokemiska effekter, utan det är temperaturhöjningen som till slut kan skada cellerna. Står vi framför en varm gjutugn, eller får en diffus reflex från en CO₂-laser mot ansiktet, känner vi att det hettar till och blir på det sättet varnade och kan dra oss undan. En samlad CO₂-laserståle från t.ex. en blank reflex kan lätt ge brännskador innan vi hinner undan, så även om CO₂-lasrar inte ger näthinneskador finns all

anledning till att hantera dem med respekt. En testbränning av en CO₂-laserstråle i plexiglas ger en idé om hur kroppen skadas – det blir rejäla gropar på bara någon sekund när det finns några kW att tillgå.

Synligt ljus och nära infraröd

LASERSÄKERHETSKLASSER

I Ofarlig

IM Mer effekt än klass I, men strålen utbredd, därför ofarlig

2 Synligt laserljus av svag effekt. Våra reflexer mot starkt ljus skyddar oss. Stirra inte in i strålen!

2M Synligt ljus med högre effekt än klass 2, men strålen utbredd, så endast en del av den kan passera genom pupillen. Titta inte mot ljuset med optik som kan samla ljuset – och stirra inte mot ljuset

3R Klass 3 räknas som skadlig för ögonen – men eftersom det finns breda marginaler mellan gränsvärden och konstaterade skador, är klass 3R en övergångsklass med ökad risk, men inte omedelbart skadlig. Undvik att exponera ögonen!

3B Skadlig vid belysning av ögonen!

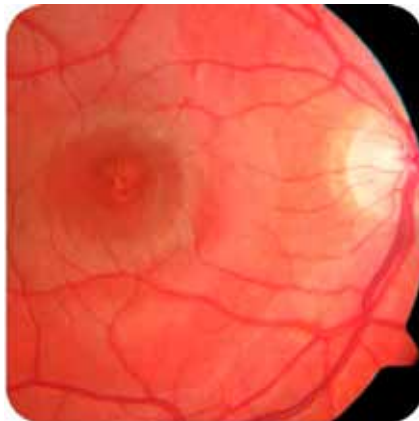
4 Stråle och diffusa reflexer skadliga. Brandrisk.

Klass **3B** och **4** kräver lasersäkerhetsansvarig på arbetsplatsen.

Maskiner är oftast **klass I** vid normal drift. De kan vara **klass 4** vid service, eller andra onormala men tänkbara händelser. Det är nödvändigt med lasersäkerhetsansvarig om **klass 4** drift kan förutses vid planerad service, olycksfall, eller felaktig hantering av utrustningen.



CO₂-laser-skadat djuröga

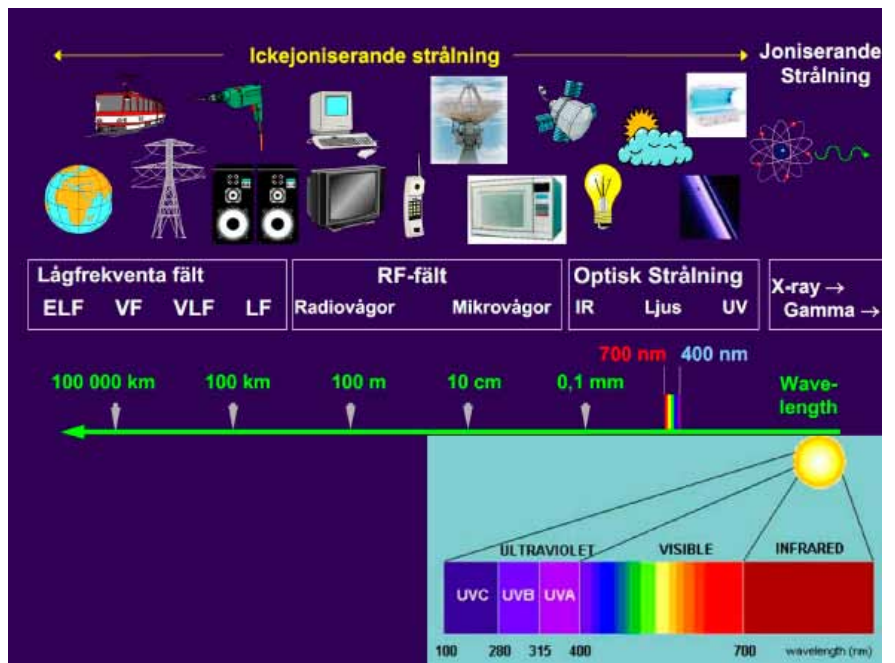


Brännmärken på näthinnan från laserpekare

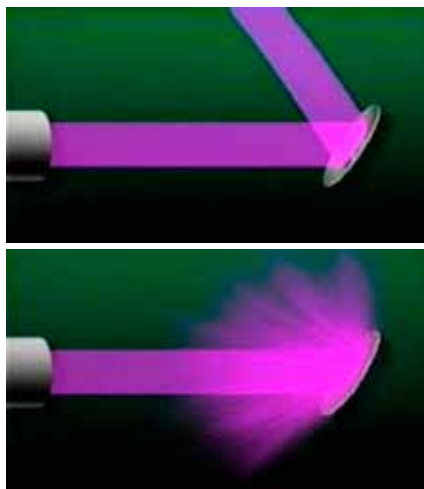
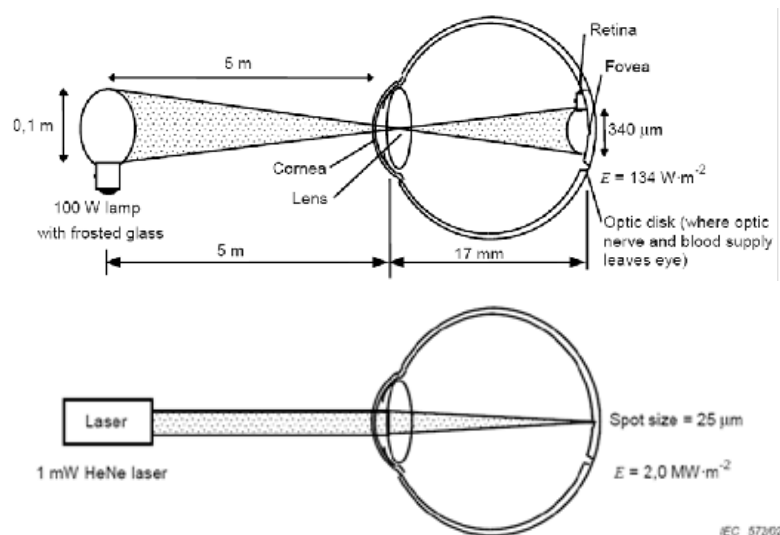
strålning passerar genom ögats optik och energin absorberas av näthinnan. För att orsaka en skada på cellerna på näthinnan krävs att de hettas upp av ljusenergin. Vid drygt 70 grader koagulerar proteinet och cellfunktionen förstörs helt, och blir det över 100 grader förångas vätskan i cellerna och de kokar sönder, eller tom exploderar.

Pupillen begränsar genom sin diameter hur mycket ljus som kan komma in i ögat. För utspritt ljus, dvs. vanliga ljuskällor och diffust reflekterad laserstrålning, räcker detta oftast som skydd. Det finns ljuskällor som har så hög intensitet, t.ex. solen, att ljusmängden som kan komma in i ögat kan leda till skador i ögat. För solen har vi utvecklat reflexer som skyddar oss. Även diffust reflekterad strålning från en bearbetningslaser kan skada ögat om vi är för nära reflexen – det kan röra sig om upp till 5-6 meter – och för osynligt nära infrarött ljus har vi inga blinkreflexer

En direkt laserstråle samlar långt mycket mer effekt per diameter än någon annan ljuskälla – dvs. MYCKET mer ljus kan passera genom pupillen och hamna på näthinnan. Med tanke på att skada på näthinnan uppkommer vid enstaka mW, och en typisk märklaser har 20-50 W, och en typisk skär eller svetslaser har 2-5 kW, i mer extrema fall upp till 10-16 kW, räcker det med en mycket liten del av det ljuset för att åstadkomma skada!



Våglängdsdiagram



Direkt stråle – divergerande stråle
– diffus reflex

Men det är inte bara den samlade strålen, effekt/diameter, som utmärker en laserstråle. Laserstrålen är mycket parallell, och kan därför fokuseras till en liten punkt. Tittar vi på en lampa eller ett lysrör ser vi dem som en rund kula eller ett avlångt lysande rör – vi får en utbredd bild av ljuskällan på näthinnan. Om vi leker med tanken att vi tittar rakt mot en laser – GÖR INTE DET – kommer vi att se öppningen på lasern som strålen fyller som en ring, men själva strålen blir en punkt i mitten av ringen – även om den fyller ringen när den lämnar lasern. Lasern kallas därför för punktkälla. Detta gör att

intensiteten i den punkten på näthinnan blir mycket hög. Tittar vi på en diffus reflex från en laserstråle – t.ex. när vi tittar på ljusfläcken som en laserpekare gör på väggen – är denna reflex dels utspridd och syns från hela rummet, dels kommer den att avbildas som en fläck på näthinnan.

Vi kan därför göra "ljusfällor" där laserstrålen reflekteras diffust två gånger eller mer, och på så sätt ha säkra öppningar i lasermaskiner för kablar, ventilation och dörrspringor. Men det får ALDRIG gå att se direkt mot strålen, eller en position där en blank reflex från strålen kan uppstå genom en sådan springa!

LASERDAG I KUNGSBACKA

Stjernberg Automation växer så det knakar

HANS ENGSTRÖM
LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

Stjernberg Automation AB i Kungsbacka utvecklas starkt som leverantör av automationslösningar till tillverkningsindustrin, med laser som en speciell inriktning bland alla processer som man arbetar med. Vid Laserdagen den 20 mars fick de 22 deltagarna en utförlig presentation av företagets verksamhet.

– Vi vill skapa framtidens produktionsteknik, säger Magnus Stjernberg, vd och ägare till företaget.

Vid LaserDagen hölls också traditionsenligt Lasergruppen årsmöte.

Stjernberg Automation startade 2008 och ombildades 2009 till ett aktiebolag.

– Sedan dess har vi fördubblat omsättningen varje år, säger Magnus Stjernberg. Tillväxten är en planerad expansion inom våra områden skärning, svetsning, märkning och påsvetsning. Vi är nu 9 anställda och har också ett antal konsulter för t.ex. programmering och installation.

– Vårt erbjudande är att leverera kompletta paketlösningar till industrins behov av automationslösningar med eller utan laser, säger Magnus. Montering t.ex. är ett område vi arbetar med. Vi har 20 års erfarenhet av kundpassade automationslösningar. Vi har också ett labb där vi bl.a. kan utbilda operatörer.

Stjernberg Automation levererar lasrar från ledande lasertillverkare som Rofin Sinar, LaserLine, Trumpf, Jenoptik, Coherent m.fl. och samarbetar också med företag som levererar optiska fiber och komponenter som Optoscand AB. Automationslösningarna är ofta robotbaserade och här samarbetar man med tillverkare som Fanuc, Yaskawa, ABB och Kuka.

– Vi gör analyser av projekt och produktionsflöden och tillämpar då



Bild 1.
Magnus Stjernberg (t.h.) och Urban Widén var värdar för Laserdagen 2014.



Bild 2.
Rundvandringen hos Stjernberg Automation gav upphov till många frågor som besvarades av Magnus Stjernberg.

ofta tekniker från lean production och ger också kurser i olika nivåer från två-timmars introduktion av laserteknik till avancerade kurser i lasersäkerhetsteknik. Vi har också en Support Service med en Hot Line för våra kunder. Nu har vi också kunder inom medicinsk teknik och livsmedel.

Vid rundvandringen i företaget berättade Magnus Stjernberg och Urban Widén om företagets verksamhet mera i detalj. Mycket av utrustning hade just sålts men nya produkter var på väg in.

– Framtiden är ljus för oss, avslutar Magnus Stjernberg.

Spricktillväxt i utmattnings-belastade lasersvetsar

Jesper Sundqvist, doktorand inom laserteknik vid Luleå tekniska universitet har arbetat med utmattning av lasersvetsat höghållfaststål i projektet PROLAS, som var ett INTERREG-projekt som drevs tillsammans med Uleåborgs universitet.

Jesper har här undersökt hur utmattningssprickor växer och utbreder sig i själva svetsen i 10 mm Domex 420 MC och 6 mm Optim 960 QC, svetsat med 15 kW fiberlaser respektive 4 kW disk laser. Han har visat att sprickutbredningshastigheten minskar (retardation) strax före svetsen och ökar (accelererar) i själva svetsen. Orsaken till detta är restspänningarna där området strax utanför svetsen har tryckspänningar och svetsen som har dragspänningar.

Jesper Sundqvist konstaterar också att energitillförseln dvs. använd lasereffekt och svets hastighet är en faktor som påverkar restspänningarna i svetsen.

Du kan läsa mer om allt detta i publikationen "Influence of the metallurgy on fatigue crack propagation in high strength steel joints" som du hittar via länken https://pure.ltu.se/portal/files/74996280/NOLAMP_14_2013.pdf

Fiber- kontra CO₂-laser vid skärning och svetsning

En återkommande fråga under de senaste åren har varit prestanda för fiber- och CO₂-laser vid skärning och svetsning. Denna fråga har intresserat Bo Williamsson, AGA Gas AB, och han gav sin syn på saken under LaserDagen.

Först konstaterade Bo att man måste skilja på skärning med kvävgas och skärning med syrgas samt vilka plåttjocklekar som är aktuella. Om vi börjar med skärning med kvävgas så visade Bo att skärfrontens vinkel mot plåt ytan är ca 80 grader vid skärning i tunt material och ca 88 grader vid skärning i tjockt material. Eftersom ljuset från fiberlasern har högre absorption vid 80 grader än vid 88 grader så blir skärprocessen effektivare där och detta ger möj-



Bild 3. Bertil Pekkari, f.d. ordförande i LaserGruppen gästade LaserDagen.



Bild 4. Jesper Sundqvist, doktorand inom laserteknik vid Luleå tekniska universitet presenterade resultat från ett arbete med att undersöka utmattningsegenskaperna i lasersvetsat höghållfast stål.

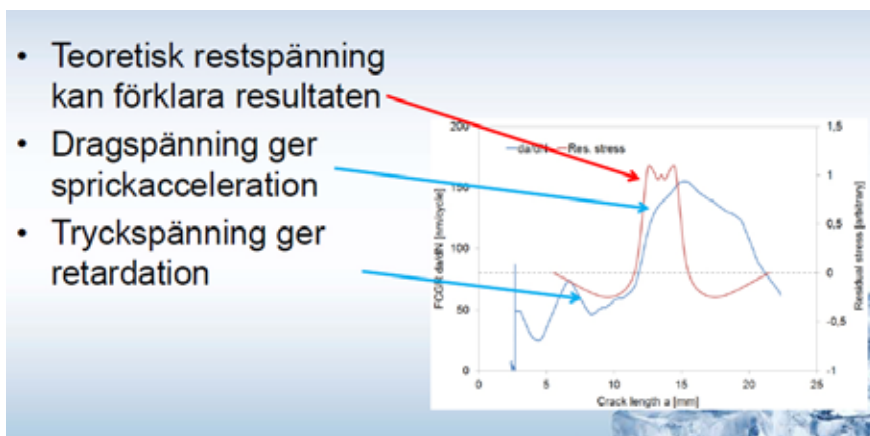


Bild 5. Sprickutbredningshastigheten minskar strax utanför svetsen på grund av att området är utsatt för tryckspänningar och ökar i svetsen som har dragspänningar.

lighet till högre skärhastighet. Alltså vid N₂-skärning i tunt material så är fiberlasern snabbare än CO₂-lasern, som dock har sina fördelar vid tjockare material.

Fiberlasern blir 3 gånger snabbare vid vanlig skärning i tunnare material medan skärhastigheten blir unge-

fär densamma för båda lasertyperna i plasmaområdet konstaterade Bo. Men notera då att gasförbrukningen per tidsenhet blir tre gånger högre!! Fiberlasern har också en tendens att ge mera skägg när plåttjockleken ökar.

Vid skärning med syrgas så är skärprocessen samma för de båda la-

sertyperna och det ger också samma skärhastigheter och skärkvalitet i kolstål. Här är det viktigt med gasrenheten i skärgasen.

Det har forskats mycket för att utveckla skyddsgaser för lasersvetsning genom åren. Bo berättade att vanliga tillsatser i svetsgasen är syrgen och koldioxid för svart material, kväve för svetsning av austenitiskt rostfritt stål och duplexlegeringar. Även vätgas kan användas som tillsats vid vissa tillfällen. Vid svetsning med CO₂-laser skapas ett plasma som måste undertryckas för att laserstrålen ska kunna överlämna sin energi till materialet. Fiberlaser däremot skapar inget plasma, utan bara metallånga. Därför blir valet av skyddsgas olika för de två lasertyperna. Helium är den bästa gasen för att motverka plasmabildningen vid CO₂-lasersvetsning men helium är dyrt och en "strategisk" gas som bara finns på ett fåtal ställen i världen, så därför försöker man ersätta helium med andra gaser som argon.

Bild 8 visar svetsresultat för CO₂-laser i kolstål när man har ersatt helium med en stor mängd argon och koldioxid. Argon gör att skyddsgasflödet förbättras mot svetsstället och påverkar också smältans viskositet. Tillsats av CO₂ förbättrar också viskositeten samt tillför energi till svetsen när järn oxideras. Resultatet blir en 30%-ig ökning av svets hastigheten med bibehållen eller bättre svetskvalitet.

Eftersom fiberlasern inte ger något plasma vid svetsning så behövs inte helium för att undertrycka detta. Standardgasen blir istället argon. Helium kan dock tillsättas i små mängder för att förbättra värmeledningen. Helium kan också minska sprutet från lasersvetsprocessen, avslutar Bo Williamsson.

Gasinstallationen viktig för hög kvalitet

Stephan Boëthius, Air Liquide Gas AB, fortsatte på temat lasergaser och berättade att orenheter i syrgenet vid laserskärning kraftigt kan sänka skärhastigheten. Föroreningar i kvävet kan ge missfärgningar.



Bild 6. Bo Williamsson; AGA Gas AB berättade om lasergaser vid skärning och svetsning.

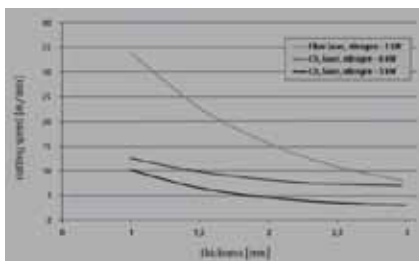


Bild 7. Skärhastighet som funktion av plåttjocklek vid laserskärning i kolstål med nitrogen med 3 kW fiberlaser samt 3 och 6 kW CO₂-laser.

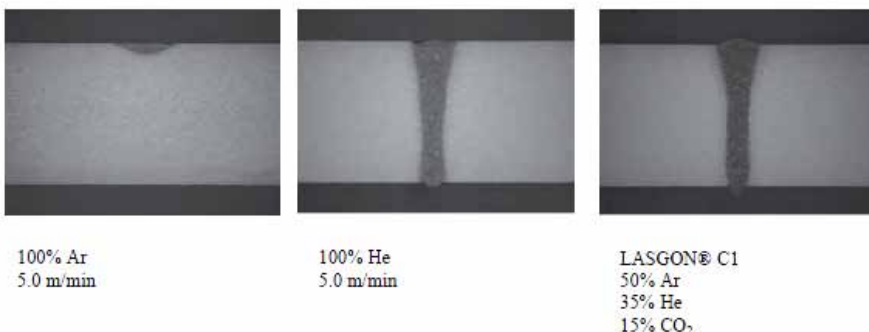


Bild 8. Svetsresultat för 6 kW CO₂-laser i 3 mm kolstål vid användning av olika skyddsgaser. Lasgon™ C1 ger 30 % högre svets hastighet vid samma svetsdjup och påverkar också svetskvaliteten positivt.

– Så det gäller att gasinstallationen är korrekt utförd säger Stephan. Man ska använda tvättade rostfria rör som orbitalsvetsas. Det gäller också att välja rätt slang den sista biten fram till svetshuvudet. Alla polymera material läcker in atmosfären i systemet men här är HD polyeten att föredra.

AirLiquide har utvecklat en ny skyddsgasdysa, LasalJet, som ger bättre skyddsgasatmosfär runt svetsstället.

– Vid svetsning av galvaniserat stål så kan man tack vare LasalJet byta ut helium med upp till 70% argon, säger Stephan. Vid höga effekter kan man till och med helt ersätta helium med argon.

Gaserna vid laserskärning och lasersvetsning är en viktig komponent för effektiv och konkurrenskraftig bearbetning. Kontakta gärna din gasleverantör så hjälper han dig att optimera gasanvändningen, avslutade Stephan Boëthius.

Nya laserverktyg

– Varför finns det så få lasersystem för svetsning i Sverige, frågade Björn Lekander, Permanova Lasersystem AB. Allt är ju standardkomponenter som sätts ihop till ett system.

Det kan inte vara problem med åtkomsten eftersom det finns mycket små svetshuvuden (linsdiameter 10 mm) att tillgå. Problem att hitta fokus?? Det finns utrustning som hittar den. Problem att hitta fogen? Det finns utrustning som både hittar fogen och fogföljare!

Problem att övervaka svetsning? Det finns processövervakning som arbetar on-line.

– Men övervakning räcker inte, säger Björn. Det krävs också reglering under processen. Men även här finns utrustning som t.ex. mäter penetrationen under processen.

I framtiden kommer det att finnas utrustning som ger sådan indata att svetseffekten kan regleras i realtid, avslutar Björn Lekander.

Diodlasrar under stark framfart

En lasertyp under stark utveckling är diodlasrarna där stål kvaliteten förbättras och effekterna ökar, så att nyckelhållsvetsning nu är möjlig. Urban Widén, Stjernberg Automation AB berättade att LaserLine, som är en av de stora tillverkarna, nu har ca 2500 system installerade world-wide. De kan leverera lasrar med strålkvalitet 30 mmxrad vid 4 kW och 40 mmxrad vid 6 kW. Maximal effekt i dagsläget är 15 kW uteffekt.

Diodlasrar kan fås med skraddarsydda strålgeometrier och används för sammanfogning, ytbehandling, plastsvetsning, skärning och formning, säger Urban Widén. Ett exempel är svetsning av tailor blanks för



Bild 9.

Stephan Boëthius, Air Liquide AB berättar om gaser vid laserbearbetning.



Bild 10.

Björn Lekander, Permanova Lasersystem AB berättar om nya laserverktyg.

aluminiumdörrar hos Audi. I Tyskland finns ett företag som tillhandahåller "Laser on Demand", alltså mobila lasersystem som kan användas för reparationer av stora tunga komponenter. En marknad för detta företag är också att hyra ut system för att kapa kapacitetstoppar eller att göra "on-site" tests.

– Diodlasrar används också mycket för olika härdningsapplikationer som djupdragnings- och skärverktyg. En nykomling på marknaden är Theradiode Inc. som nu har en 4 kW direkt diodlaser med 100 mikrometer fiber på marknaden, avslutar Urban Widén.

LaserGruppen tackar för en intressant Laserdag och önskar Magnus och hans personal all framgång i sitt arbete.



Bild 11.

Urban Widén, Stjernberg Automation AB, ser stora möjligheter för diodlasrar i framtiden inom industriell tillverkning.

Laserskärning av kolfiberförstärkta plastkompositer

JOHNNY K LARSSON
VOLVO CARS

Kolfiberförstärkta plaster, även kända under beteckningar som CFRP [Carbon Fiber Reinforced Plastic] eller CFP [Carbon Fiber Plastic], utgör det färdiga, solida materialet som tillverkats av flexibla kolfibrer vilka är invävda i polymermatriser. Kolfiberförstärkta plaster blir alltmer populära, mycket p.g.a. hög hållfasthet och flexibilitet i kombination med dess lätta vikt. Dessa nya kompositmaterial ersätter traditionella material som stål och aluminium inom många olika industrigrenar, såsom bil- och flygplanstillverkning, men används också för avancerad sportutrustning som cyklar och båtar. Hållfasthetskraven på dess produkter ökar ständigt, samtidigt som man strävar efter att hålla nere vikten för att få ett bättre bränsleutnyttjande och ökade prestanda.

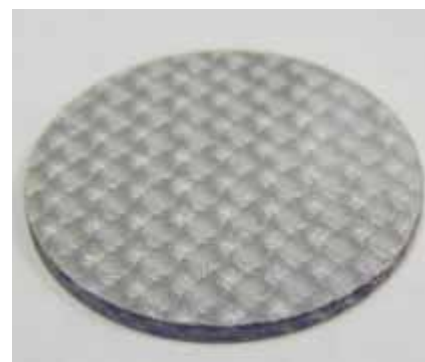
Typiska mekaniska skärverktyg som sågblad och knivar förslits mycket snabbt vid skärning av dessa typer av fiberförstärkta kompositer, varför en kontaktlös metod som laserskärning blir ett attraktivt alternativ för dessa applikationer. Vid bearbetning av CFRP-material kan snittkvaliteten vid laserskärning med en CO₂-laser variera kraftigt beroende på den specifika polymersammansättningen och dess densitet. Mängden epoxi som används som fyllmedel kan också påverka resultatet då kompositmaterial med hög fiberdensitet och mycket epoxi tenderar att sänka skärhastigheten med

missfärgning och svarta restpartiklar som resultat. Däremot kan kompositmaterial med färre fibrer och mindre mängd epoxi laserskäras mycket snabbare och ge rena skärkanter.

I den här speciella kundapplikationen laserskärs 2,5 mm tjock, akrylbaserad CFRP med låg fiberdensitet. En 200 W CO₂-laser från Synrad användes i kombination med ett X-Y-bord och skärverktyget var utrustat med en lins med 2,5" fokallängd vilket gav en brännfläcksdiameter på 0,1 mm. Assistgas med ett tryck på 50 PSI [pounds per square inch; = 3,4 bar] användes dels för att skydda linsen men också för att hindra att polymeren flammade upp. Med denna försöksuppställning kunde kompositmaterialet skäras framgångsrikt med en hastighet av 2 m/min. Som framgår av **Figur 1** uppvisar den här akrylbaserade kompositen med låg fiberdensitet och lågt epoxi-innehåll rena snittkanter med endast en obetydlig missfärgning av skärkanten.

Laserskärning av laminerad plywood

Ett praktiskt sätt att förvara skärverktyg är att placera dem i avsedda, matchande slitsar upptagna i en plywoodskiva. Skärepparna måste med robusthet kunna kvarhållas i dessa, vilket man åstadkommer genom att skära ut smala spår med en exakt bredd och parallella sidor, där stor-



Figur 1.

Detta kolfiberförstärkta akrylbaserade kompositmaterial med låg densitet renskas med 200 W lasereffekt och en process-hastighet på 80 ipm (inch per minute), alltså cirka 2 m/min..

leken beror på de skäreppar som man avser att förvara. Därefter kan skärverktygen sättas på plats med presspassning. CO₂-lasrar används alltmer för tillverkning av dessa applikationer mycket tack vare laserns förmåga att skapa exakta och repeterbara skärspalter samtidigt som laserstrålen följer en komplex robotbana.

I den här refererade applikationen skulle man skära cirkulära hål i 17 mm tjock baltisk björkplywood [**Fig. 2**]. För att göra detta monterades skärverktyget, som hade en fokallängd på 127 mm, på ett X-Y-bord, varpå en fokalfunkt med 200 µm

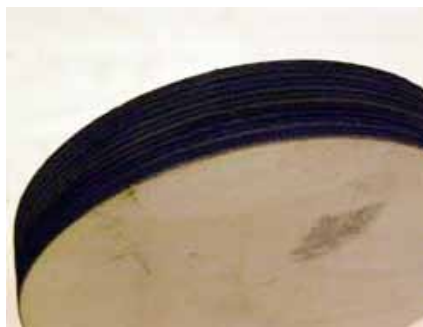
diameter och ett skärpedjup på 6,35 mm kunde åstadkommas. Dessutom tillfördes ren torr luft med 3,4 bars tryck [50 PSI] genom skärmunstycket för att fungera som assistgas.

Med 400 W lasereffekt kunde man skära ut hål i storlek 4,0" [= 101,6 mm] diameter med en hastighet kring 0,5 m/min. Med undantag av startpunkten för laserskärningen är såväl plywoodskivans ovan- som underkant rena och uppvisar ingen förkolning eller missfärgning. Själva skärytorna har dock en moderat förkolningsnivå, något som emellertid är typiskt vid laserskärning av trävaror men förvärras här ytterligare av det lim som används vid sammanfogningen av de olika björklaminaten. Skärytorna är parallella och skärspalten avsmalnar inte vilket bevisar att laserstrålen kan skapa och bibehålla en konstant skärspalt genom plywoodskivans samtliga tretton (13!) laminat.

Direkt artikelmärkning på rostfria detaljer

Många större industritillverkare, liksom exempelvis amerikanska försvarsdepartementet, kräver s.k. DPM [Direct Part Marking] av komponenter och ingående detaljer så att varje enskild artikel får en unik permanent identitet som en ingående del i slutprodukten.

Även om det erbjuds många olika metoder för artikelmärkning är den bästa lösningen då krav på hög produktivitetstakt föreligger – lasermärkning. Detta är den i särklass mest månsidiga DPM-metoden då det gäller att skapa en permanent märkning, vilken inte påverkas vid normal förslitning eller starka kemiska lösningsmedel som produkten kan bli utsatt för. Denna märkning innehåller data som är unika för varje individuell detalj som passerar förbi på det löpande bandet. Trots missuppfattningen att CO₂-laser endast är lämpliga för märkning av organiska material eller plaster har denna lasertyp även visat sig vara kapabel att märka vissa detaljer som exempelvis mjuk eller rostfri plåt, verktygsstål och t.o.m. Titan. Den



Figur 2.

Denna cirkulära sektion skars ut ur en 13 laminat och 17 mm tjock björkplywood med 400 W lasereffekt, en processhastighet kring 0,5 m/min och ett assistgas-tryck på 50 PSI (=3,4 bar).



Figur 3.

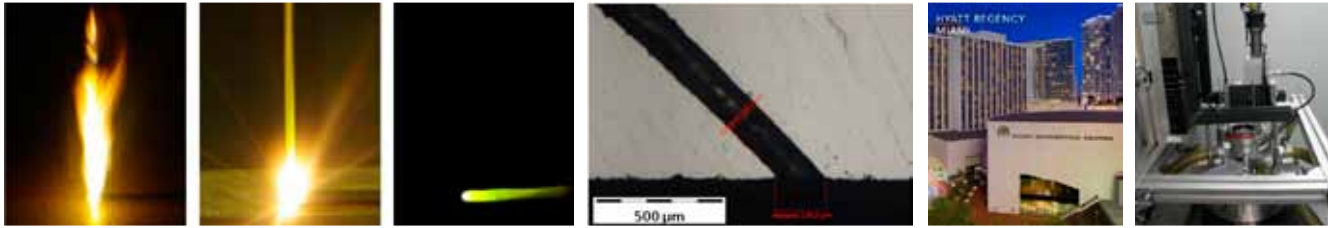
Denna permanenta, högkontrasterande text, applicerad på en maskinbearbetad rostfri komponent, skapades med en firestar t100-laser och 87 W effekt vid en processhastighet på 1 inch/sek. Cykeltiden kan reduceras dramatiskt om man i stället för ett fyllt teckensnitt använder en s.k. "multi-line"-variant.

i det följande beskrivna applikationen sätter strålkastarljuset på hur man kan använda en CO₂-laser för att direktmärka maskinbearbetade, rostfria höljen.

Försöksuppställningen bestod av en firestar t100-laser, ett FH Flyer märkverktyg och ett mjukvaruprogram för lasermärkning benämnt WinMark Pro. Märkverktyget var försett med en lins med 125 mm fokallängd som resulterade i en fokalkpunkt på 180 µm och med ett 3 mm stort skärpedjup. Märkningen består av tre textrader med totalt 24 stycken tecken, och det teckensnitt som användes var Times New Roman med en texthöjd om 3 mm. För att generera den aktuella märkningen sattes effekten till 87 W, processhastigheten till 25,4 mm/sek [1,0 inch/

sek] och pulsfrekvensen var 5 kHz. Den totala cykeltiden för att skapa denna 24-ställiga märkning tog 27,2 sekunder. **Figur 3** visar resultatet av lasermärkningen av den maskinbearbetade rostfria ytan. Den mörka, mycket kontrastrika märkningen är ett resultat av kolmigrering orsakad av den lokala uppvärmningen av det rostfria substratet.

I de fall då slutanvändaren inte nödvändigtvis kräver ett speciellt teckensnitt, som i det här fallet Times New Roman, kan man reducera cykeltiden för märkning av denna applikationen ner till 8 sekunder genom att skifta från ett fyllt teckensnitt till en s.k. "multi-line"-variant som "Complex", "Trip" eller "LiteCom".



JOHNNY K LARSSON
VOLVO CARS

Innovativa lösningar för lasersvetsning av sprickkänsliga aluminiumlegeringar och blandmaterialförband

Svetsning av lättviktsmaterial

Under senare år har vi kunnat se att ett ökat antal laseraktiviteter riktar mot svetsning av lättviktsmaterial som aluminium och magnesium, liksom svetsning av blandmaterialförband bestående av t.ex. aluminium och koppar. Dessutom har laserbearbetning av fiberförstärkta polymerer kommit alltmer i blickpunkten, och det som i första hand driver på denna forskning är naturligtvis miljöhänsyn i form av lättviktskonstruktioner inom transportsektorn. Därför var det inte förvånande att vi under ICALEO [International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics] -konferensen hittade ett antal sessioner som behandlade dessa ämnesområden. Således berättade Ludger Overmeyer från LaserZentrum Hannover [LZH] om hur man undviker varmsprickor vid lasersvetsning av aluminium genom att kombinera två laserkällor med olika våglängd med varandra. Vid LZH hade man superpositionerat en diodlaser med 100 W effekt och en

våglängd på 808 nm vars laserpulser synkroniserats med dem från en Nd:YAG-laser. Försökupställningen hade en fokallängd på 120 mm vilket resulterade i fokuspunktsdiametrar på 620 µm för Nd:YAG-lasern och 1.440 µm för diodlasern. Puls-längderna varierades mellan 12,5-20 ms för den förstnämnda och 12,5-200 ms för den senare [Fig. 1]. Svetsförsök hade gjorts på 0,5 mm tjockt AA5005- och AA6082-material, och med den här "hybrid"-tekniken blir det möjligt att överstiga värdet för den kritiska avsvältningshastigheten på 13,5 ms/°C. Dessutom tycks det bakåtlösa av svetsmältan som diodlasern skapar ha en självläkande effekt på defekter som t.ex. ytporer, samtidigt som penetrationsdjupet ökar. Med denna uppställning gick det att svetsa sprickfritt även vid så höga topp effekter från Nd:YAG-lasern som 1,6 kW!

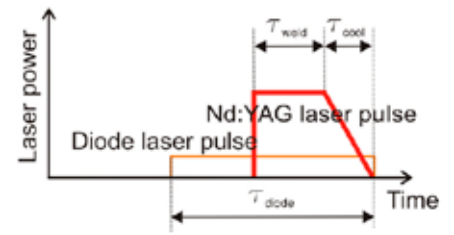
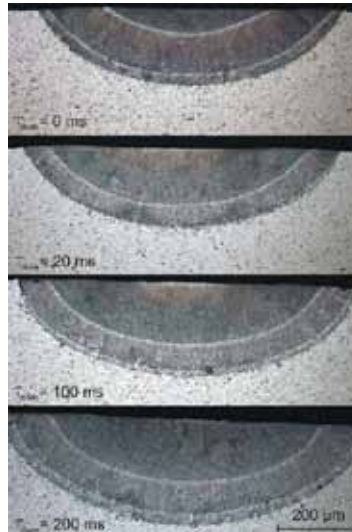
Superpositionering av två laserkällor adresserades också av Martin Stambke [Ilmenau University of Technology] även här med syftet att

undvika varmsprickor vid lasersvetsning av legeringen AA5754. Skillnaden mot den tidigare presentationen var här att diodlasern med 980 nm våglängd arbetade i cw-mode. Nd:YAG-lasern pulsades däremot med 5 Hz och en topp effekt på 2,3 kW. Genom att konfigurera diodlaserns fokuspunkt hade BOP [Bead-On-Plate] -försök genomförts på 0,5 mm tjockt material. Tre varianter av fokuspunktsgeometri hade undersökts; cirkulär punkt med 2 mm diameter, en linjeformig typ med måtten 17×1 mm, och en ringformad variant med en ytterdiameter på 5,0 mm och en innerdiameter som mätte 3,5 mm. Initialt kunde man konstatera att processfönstret ökade med en faktor sex jämfört med då enbart den pulserade Nd:YAG-lasern användes. För den ringformiga fokuspunktsvarianten krävdes 300 W diodlasereffekt för att kunna svetsa sprickfritt, medan den linjeformiga varianten uppnådde det önskade målet redan vid 200 W [Fig. 2]. Vidare hade man också arbetat med pulsformen hos

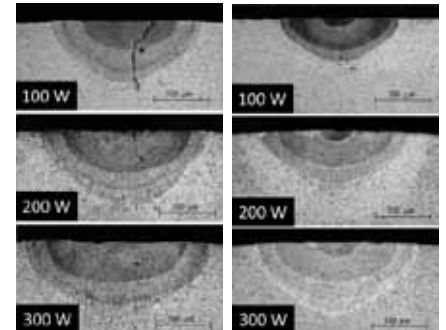
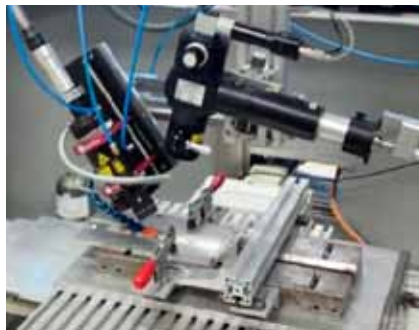
Nd:YAG-lasern för att på detta sätt minska temperaturgradienten och därmed undvika uppkomsten av varmsprickor.

Dirk Frederik de Lange hade tillsammans med kollegor vid Universidad Autónoma de San Luis Potosi i Mexiko studerat lasersvetsbarheten av legeringar som AA1050, AA5182 och AA7075, där man kunnat konstatera att svetsmåltans storlek varierar kraftigt mellan de olika legeringstyperna. AA1050 uppvisar en förhållandevis stor smälta, medan legeringar i 7000-serien har betydligt mindre sådana, vilket beror på faktorer som olika värmeutvidgningskoefficienter och smälttemperaturer. Legeringsämnen som Mg och Zn har en lägre smältpunkt än Al vilket gör att de kommer att uppfattas som föroreningar, något som förklarar varför dylika aluminiumlegeringar uppfattas som mer svårsvetsade än andra och uppvisar en högre grad av sprutbenägenhet. Avslutningsvis presenterade man en simuleringsmodell som bygger på förångningstemperaturerna för legeringselementen i smältan [Fig. 3].

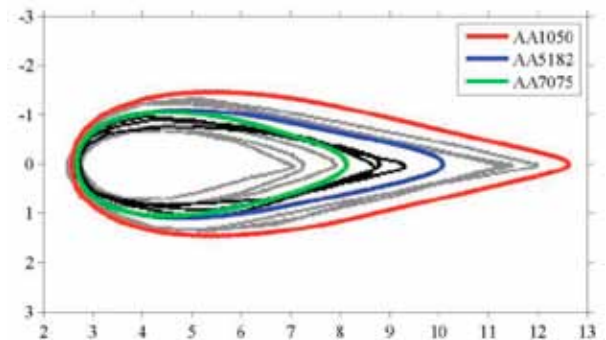
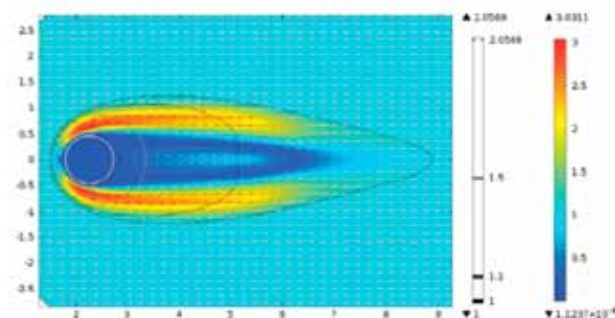
Deformationer och restspänningar är ständigt återkommande problem vid lasersvetsning av aluminium, och detta var temat i Dong Bizhes [Beijing University of Technology] presentation. Han hade i ett Airbus A380-relaterat uppdrag studerat svetsning av T-fogar, vilka skulle illustrera kopplingen mellan flygkroppens skal och en förstärkningsribba. Plåttjockleken var 2 mm och skaldelen utgjordes av AA2524-T3



Figur 1. Pulserna från diodlasern understödjer penetrationen vid svetsning av aluminiumlegeringarna AA5005 och AA6082, men tjänstgör framför allt som förvärmning och undertrycker därmed uppkomsten av varmsprickor. T.v. tvärsnitt genom svetsar utförda utan samt med 20, 100 och 200 ms långa diodlaserpulser.



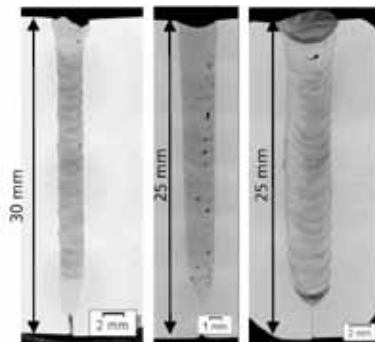
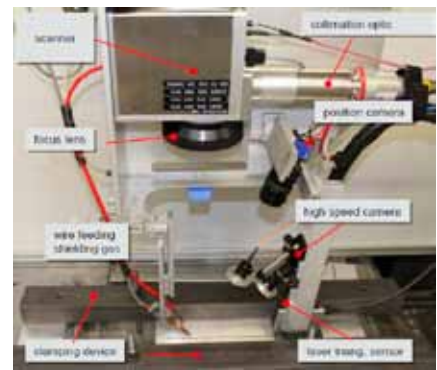
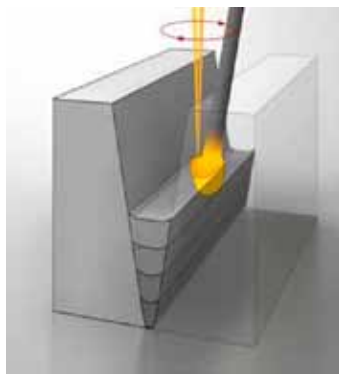
Figur 2. Experimentell uppställning vid superpositionering av en Nd:YAG- och en diodlaser. Vid svetsning med en cirkulär fokuspunkt krävs 300 W lasereffekt för att genomföra en sprickfri svetsning, medan en linjeformig brännfläck uppnår lika lyckosamt resultat redan vid 200 W effekt.



Figur 3. En avancerad simuleringsmodell validerar de observationer som gjorts vid lasersvetsning av olika aluminiumlegeringar, nämligen en betydligt större svetsmåltä för AA1050 jämfört med AA7075.

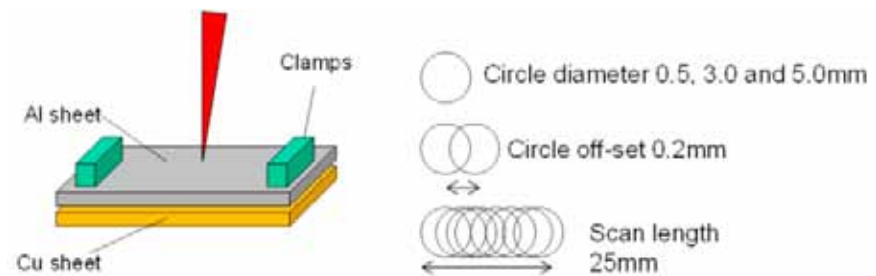
medan förstärkningsribban var tillverkad i AA7150. En 6 kW fiberlaser hade använts i undersökningen och den åtgärd som vidtagits för att komma till rätta med ovannämnda problem var att man anbringat en värmekälla på baksidan av fogen, något som tycktes vara effektivare jämfört med då den kompletterande värmen tillfördes från ovasidan! Genom simuleringar i ABAQUS hade man kunnat fastlägga optimal positionering och temperatur för denna tillskottsvarme vid flersträngssvetsning. Bäst resultat erhöll man då den kompletterande värmekällan följde strax efter laserstrålen och värmdes upp ett 4 mm brett område till 442 °C.

Renald Schedewy från Fraunhofer IWS i Dresden redogjorde för flersträngssvetsning [MPNG = Multi-Pass Narrow Gap] i upp till 50 mm tjockt AA6082-material vid smala spalter i stumfogen vilken fogberetts med vinklar < 5°. De huvudsakliga problemen vid lasersvetsning i tjockt aluminiumgods är materialets höga värmeledningsförmåga, värmekapacitet och värmeutvidgning, samtidigt som det visat sig vara svårt att få en bra inblandning av tillsatsmaterial i svetsens rot, något som i sin tur ökar risken för att varmsprickor skall uppstå. Den laserkälla som företrädesvis använts under försöken var en YLR-4000 SM [Single Mode] från IPG med 400 mm fokallängd. Först utfördes rotsvetsen med enbart lasersvetsning, varpå de efterföljande strängarna skapades med hjälp av ett "scanner"-verktyg och släpande tillförd tråd av AlSi12-material [Fig. 4]. Genom att pendla laserstrålen effektiviseras uppsmältningen av tillsatsstråden samtidigt som man erhåller en bättre spaltöverbryggnad. Observationer som gjorts var att vid en högre pendlingshastighet kring 700 Hz ökade porförekomst och risken för bindfel, varför en frekvens kring 200 Hz rekommenderades. Vidare föreslog Dipl-Ing. Schedewy att använda laserkällor av mer moderat effekt på mellan 2-4 kW då dessa ger en smalare värmepåverkad zon och mindre risk för varmsprickor jämfört med forskningsresultat då höga lasereffekter upp till 30 kW använts.

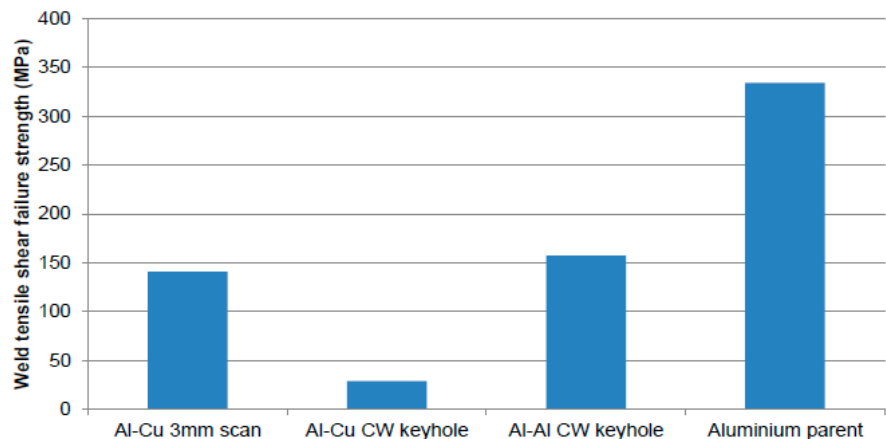


Figur 4.

Överst t.v. principen för stumsvetsning av tjockt aluminiumgods med tillsatsstråd och pendling av laserstrålen. Överst t.h. försöksuppställningen med "scanner-boxen" överst, och t.v. tvärsnitt genom svetsar utförda med 200, 600 respektive 1.000 µm fokallängd.



Aluminium to copper joining

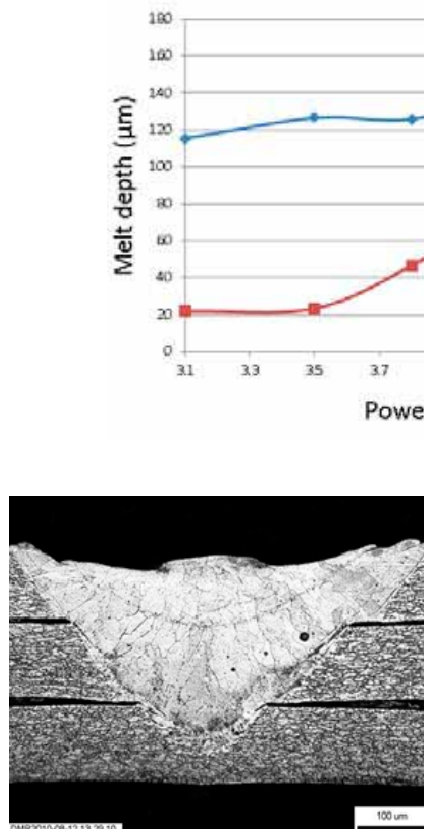


Figur 5.

Överst principiell försöksuppställning och oscilleringsmönster vid lasersvetsning av en Al/Cu-mixfog. I stapeldiagrammet ovan framgår det att draghållfastheten för en sådan utförd med "scanner"-teknik är jämbördig med en nyckelhållsvetsad aluminium/aluminium-kombination.

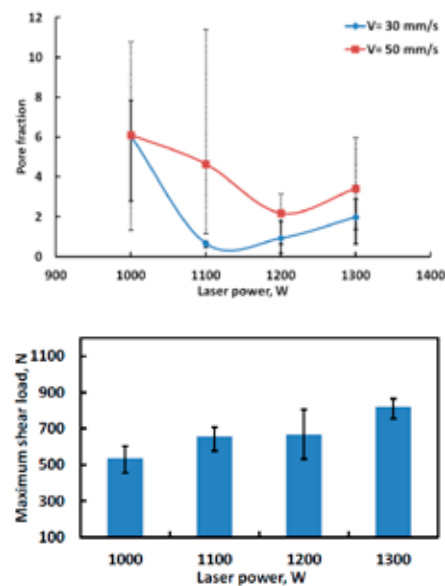
Dr. Paul Hilton från TWI [The Welding Institute] i närheten av Cambridge, U.K. satt ordförande under en av de sessioner som behandlade lasersvetsning av "icke-järn"-metaller och där hans kollega, italienskan Paola De Bono framträdde med två presentationer. Den första handlade om hur man genom att med "scanning"-teknik roterat laserstrålen för att på ett optimalt sätt sammanfoga artolika material. Materialkombinationerna som undersökts var AA6061 till antingen Ti6Al4V eller CW004A [kopparlegering], alltid med aluminium som topplåt. Utrustningen som använts var en "single mode"-laser från IPG, YLS-1000 SM, och "scanner"-verktyget 3D Elephant från Arges. Fokuspunktsdiametern var 46 μm och man hade skapat 25 mm långa överlappssvetsar via cirkelmönster med 0,5, 3,0 och 5,0 mm diameter med 0,2 mm överlapp mellan cirklarna [Fig. 5]. Fokuspunkten hade positionerats i interfacet mellan plåtarna för att åstadkomma en kontrollerad penetration i underplåten och ett begränsat intermetallsikt skikt. 3,0 mm "scanner"-cirkel gav högst hållfasthet för båda materialkombinationerna, och Al/Ti-kombinationen svetsades med en "scanner"-hastighet på 450 mm/sek, medan Al/Cu klarades med den lägre hastigheten 250 mm/sek. Hållfastheten vid dragprov låg mellan 80-90% av vad man fick vid rena aluminiumförband som nyckelhålssvetsats, men förbanden var dubbelt så starka jämfört med vad som gick att åstadkomma med nyckelhålssvetsning av de mixade materialkombinationerna.

Signorina De Bonos andra bidrag handlade om lasersvetsning av 1 mm tunna folier av koppar [Cu C101] och aluminium [Al AA3003], där man utvärderat två olika pulsade laserkällor. Den ena var en LASAG FL542 med 1.064 nm våglängd, 15 kW topp effekt och en brännfläck på 500 μm . Med denna laser gick det att genomföra nyckelhålssvetsning av båda materialen, där den kritiska energitätheten för att skapa denna form av lasersvetsning låg på 59 kW/mm² för koppar, men bara



Figur 6. Vid svetsning i lättviktsmaterial som AA3003 (diagrammet överst) eller CuC101 (tvärsnitt t.v.) medför den kortare våglängden hos en "grön" laser större penetrationsdjup. Kopparfogen består av tre 0,1 mm tjocka folier som svetsats med en enkel laserpuls med 4 J energi.

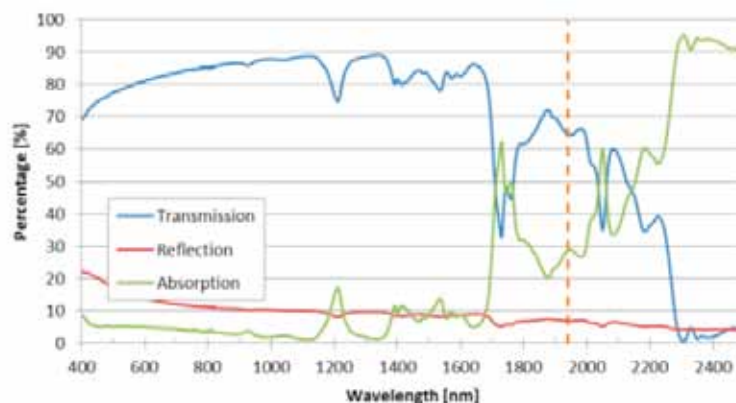
på 21 kW/mm² för aluminium som ju endast har 60% av koppars elektriska ledningsförmåga. Den andra lasern som använts vid experimenten var en Miyachi ML8150 med 532 nm våglängd och lägre effekt, vilket gav effekttoppar kring 1,5 kW och en brännfläck på 200 μm , vilket endast tillät att värmeledningssvetsning kunde genomföras med denna laserkälla. Då koppar har en absorptions-topp vid denna kortare våglängd resulterade detta i penetrationsdjup på maximalt 250 μm för C101 mot endast 160 μm för AA3003, samtidigt som svetsförloppet var avsevärt stabilare i kopparfallet. Med den kraftfullare 1 μm -lasern som innebär nyckelhålssvetsning blir energitätheten i laserpulserna avgörande och resultatet det omvända. Sålunda blev penetrationsdjupen här 400 μm för kopparmaterialen och 650 μm för aluminiumlegeringen. Sett till de olika förutsättningarna i maximal energi för de två laserkällorna blev konklusionen att den kortare 532 nm våglängden ger en fördelaktigare penetration vid svetsning i de här aktuella lättviktsmaterialen [Fig. 6].



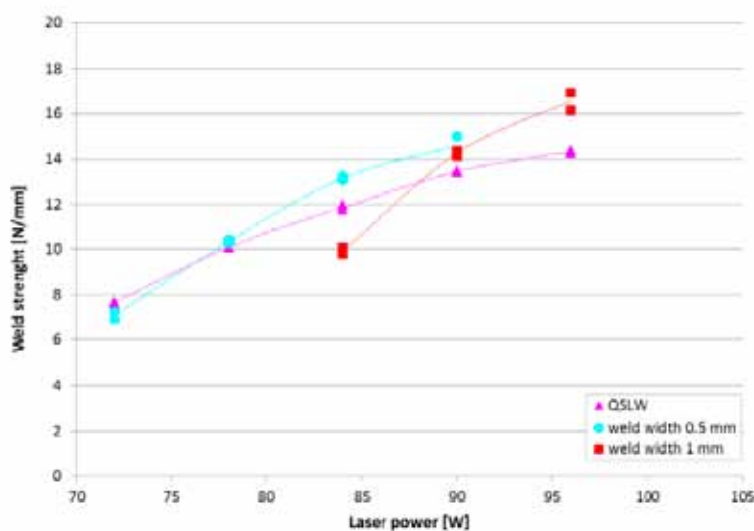
Figur 7. Att använda en relativt hög effekt vid lasersvetsning av magnesium har en positiv inverkan då det gäller att begränsa porbildningen, vilket i sin tur återspeglas i en förhöjd draghållfasthet.

Lasersvetsning av magnesium är ju en klassisk utmaning där risken för uppkomst av porositet och sprickor är uppenbar. En bidragande orsak till detta är det oxidskikt som naturligt bildas på ytan och som har en smältpunkt på hela 2.853 °C. Oxiden är dessutom porös vilket gör att den är benägen att absorbera fukt något som ger ytterligare negativa förutsättningar för att uppnå ett acceptabelt svetsresultat. Masoud Harooni från Southern Methodist University-RCAM [Regional Center for Advanced Manufacturing] i Dallas, TX hade studerat dessa problem genom lasersvetsförsök av 1,5 mm tjockt AZ31B där han hade använt en 4 kW fiberlaser. Parametrarna effekt och svetshastighet hade varierats, och man kunde konstatera att med en ökande lasereffekt erhöles ett större smältbad vilket gjorde att gasinneslutningar fick längre tid på sig att försvinna ur smältan. Detta visade sig vara gynnsamt på hållfastheten då det gick att fastlägga ett linjärt förhållande mellan lasereffekt och svetsens brotthållfasthet [Fig. 7]. Även vid högre svetshastigheter undertrycks porbildning genom att stelningsförloppet då sker snabbare. Här bör man emellertid beakta att hållfastheten sjunker då den högre svetshastigheten resulterar i en smalare svets.

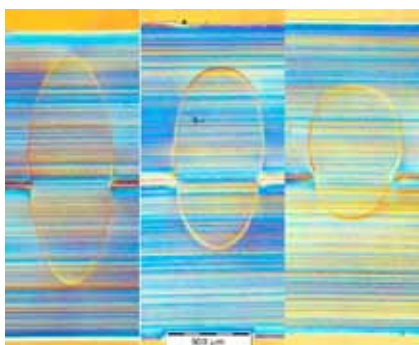
Saara Ruotsalainen från VTT i Lappeenranta hade lasersvetsat polymerer och då använt sig av en Thulium-laser från IPG [TLR-120WC] med 1.940 nm våglängd. Hon hade utfört svetsförsök på TPE-A [Thermoplastic Elastomer] -material [Fig. 8] genom att använda s.k. kvasi-simultan lasersvetsning [QSLW = Quasi-Simultaneous Laser Welding], med den nyheten att man försköt laserstrålens läge vid varje "scanning"-varv. Detta kan vara ett sätt att skapa bredare svetsar och därmed högre hållfasthet i fogen även om de här genomförda experimenten inte gav några sådana indikationer [Fig. 9]. Om däremot förskjutningen vid varje repetition är tillräckligt stor kan man använda en högre lasereffekt, vilket i sin tur är gynnsamt då det gäller att öka svetsens hållfasthet.



Figur 8. Absorptionsspektra för polymermaterialet TPE-A där den i försöken använda våglängden på 1,94 µm är markerad med en streckad, orange linje.



Figur 9. T.v. tvärsnitt av lasersvetsar utförda med QSLW med 0,5 och 1,0 mm förskjutning mellan "scanner"-varven, och överst relationen mellan dessa, använd lasereffekt och statisk draghållfasthet.



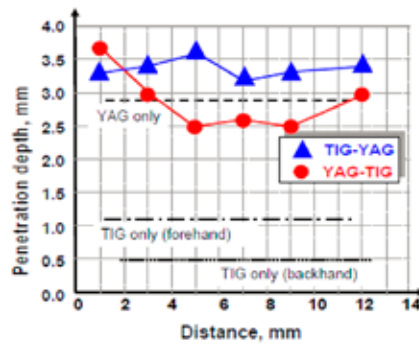
Laserhybridsvetsning

En välbesökt session var den som handlade om laserhybridsvetsning, vilken leddes på ett förtjänstfullt sätt av Annett Klotzbach från Fraunhofer IWS. Här inledde Anti Salminen [Lappeenranta University of Technology], med att beskriva försök utförda med laser-TIG [Tungsten Inert Gas] -hybridsvetsning. Den minnesgode läsaren kanske minns

att det var med just den här varianten som Bill Steen & Co. uppfann laserhybridtekniken. Fördelen med just denna kombination är att man separerar kontrollen av trådmatning och bågsvetsparametrar. Dessutom ger de nya strömkällor som introducerats på marknaden under senare år en ännu bättre och mer sofistikerad kontroll av sagda parametrar. Anti redogjorde för försök där en

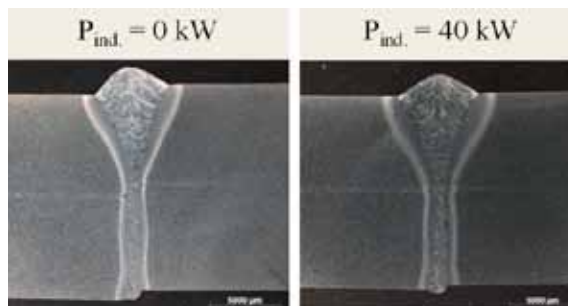
Kemppi-strömkälla [ProTIG410A] kombinerats med en laser för stumsvetsning av 6-8 mm tjockt S355K- och Laser 355MC-material från Ruukki, samt 10 mm tjockt rostfritt AISI 304. Lasereffekten varierades mellan 2-8 kW och framföringshastigheten från 0,5 till 1,5 m/min. Fokallängden var 300 mm vilken gav en brännfläck med 600 μm diameter och svetsförsöken hade utförts med både lasern och TIG-pistolen som ledande [Fig. 10]. Reduktionen av svetsnsprut var avsevärd med denna metod jämfört med konventionell MAG, liksom värmeförvridningarna vilka var blott en tredjedel jämfört med automatiserad MAG-svetsning och en femtedel jämfört med manuell sådan. Minst distorsion erhöles då TIG-pistolen placerades som ledande. En annan observation var den att om man svetsade simultant från båda håll blev hårdheten i svetsgodset lägre jämfört med ett enkelsidigt angreppssätt.

Induktionsunderstödd hybridsvetsning var temat för Rabi Lahdos [LaserZentrum Hannover] presentation. Svetsförsök hade utförts på materialen S700MC, X70 samt S690QL, och den utrustning som använts bestod av en 6 kW fastkroppslaser och en 40 kW induktionsenhet som arbetade med 550 A [Fig. 11]. De huvudsakliga fördelarna med att använda induktionsförvärmning visade sig vara en ökad svets-hastighet från 1,5 till 1,75 m/min i 10 mm tjockt material, minskad hårdhet i svetsgodset [företrädesvid på svetsens toppyta], och minskad porositet. På minussidan finns att HAZ [Heat Affected Zone] blir bredare vilket inverkar på resultaten vid efterföljande dragprov, då de induktionsunderstödda svetsarna uppvisade lägre förlängningsvärden jämfört med de enbart hybridsvetsade, detta beroende på att brottypen flyttas från grundmaterialet till den värmepåverkade zonen [Fig. 12]. En annan intressant observation var den att induktionsvärmningen förbättrade slagsegheten för de svetsar som utförts på S700MC-materialet, men försämrade densamma i X70-materialet.



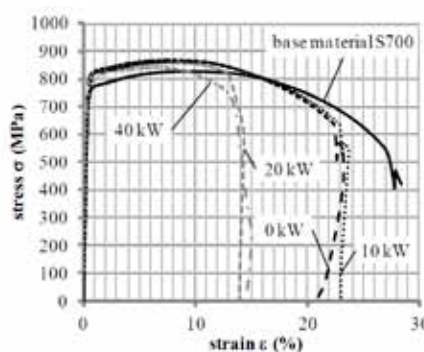
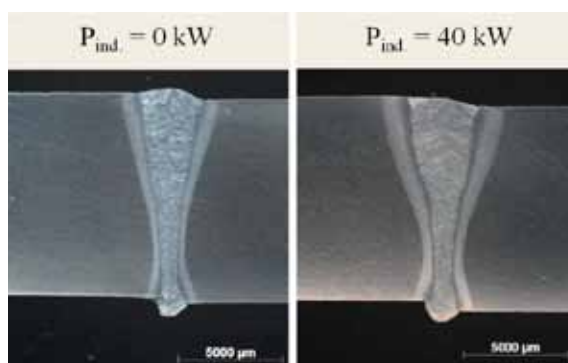
Figur 10.

Inverkan av interavståndet mellan TIG-ljusbåge och laserstråle på penetrationsdjupet vid laserhybridsvetsning av 10 mm tjockt rostfritt AISI 304-material. Lasereffekten är 1,7 kW, strömstyrkan i TIG-bågen 100 A, framföringshastigheten 0,6 m/min och skyddsgasen Argon till en mängd av 30 l/min. Laserstrålens fokuspunkt är placerad på toppytan.



Figur 11.

T.v. försöksupställningen för induktionsunderstödd laserhybridsvetsning, och överst svets-tvårsnittet genom 15 mm tjockt S690QL-material svetsat utan respektive med induktion.

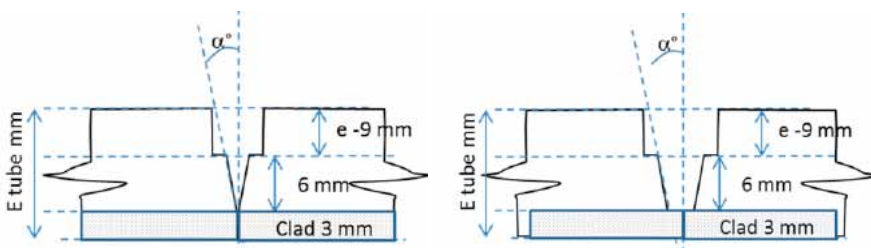
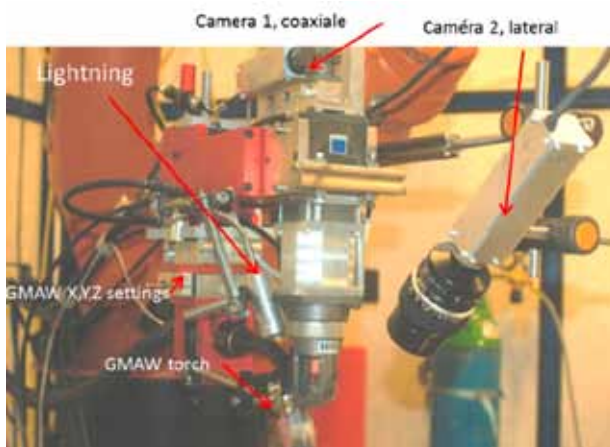


Figur 12.

10 mm tjockt S700MC-material svetsat utan respektive med induktion. I tvårsnittet t.v. kan man skönja den något bredare HAZ som uppstår och som medför försämrade förlängningsvärden vid dragprov.

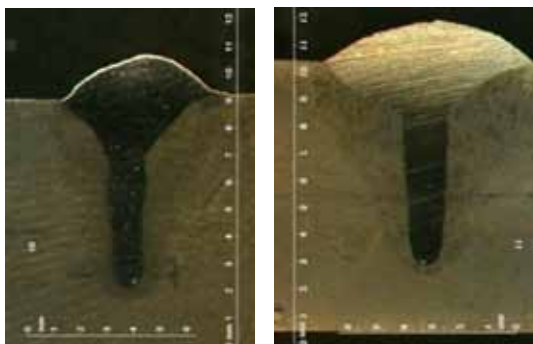
Fei Li från Beijing University of Technology hade undersökt hur en TIG-ljusbåge påverkar plasmaformering vid hybridsvetsning med fiberlaser. Laserkällan var en IPG YLS-6000 vilken kombinerats med strömkällan MagicWave 3000 från Fronius. Man hade använd 5 kW lasereffekt med laserstrålen fokuserad till en 300 μm brännfläck, framföringshastigheten var 3 m/min vid BOP [Bead-On-Plate] -svetsning av 10 mm tjock stålplåt och Argon [15 l/min] hade använts som skyddsgas. Laserplasma och ljusbåge hade observerats med hjälp av höghastighetsfilmning under försöken. Vid enbart fiberlasersvetsning bildas ett plasma som består av två delar, en liten kompakt del just ovanför svets-smältan samt en högre, cirka 80 mm, smal del. Den senare visade sig helt försvinna vid hybridsvetsning med TIG så länge interavståndet mellan de två processerna var mindre än 6 mm. Vidare kunde man konstatera att hybridmetoden gav mindre svets-sprut samtidigt som penetrationsförmågan ökade med 20%.

Vid konventionell gasmetallbågsvetsning av pipelines för "offshore"-industrin blir rotsvetsen förhållandevis tunn även om den i övrigt uppvisar en hög kvalitet. För att öka rotsvetsens tjocklek, och samtidigt nå en högre svets hastighet, hade Frederic Coste [PIMM-UMR (Unité Mixtes de Recherche) 8006, Paris] undersökt att laserhybridsvetsa dylika rör med olika invändig beläggning såsom rostfritt 316L, 317L och 904L samt Inconel 625 och 825. Två olika fogberedningar hade studerats; slutna och öppna fogutformning [Fig. 13]. Utrustningen som använts i försöken var en 10 kW disk laser, där olika fokalpunktsstorlekar hade provats [280, 560 och 810 μm] samt en strömkälla av märket DigiWave400 från SAF. Svetsverktyget var monterat på en roterande robotarm, och framföringshastighet och trådmätning var satt till 1 respektive 9 m/min vid en använd lasereffekt på 5 kW. Observationer som gjorts var att en högre spänning över tillsatstråden gav en bredare svetsråge [Fig. 14], samt att då lasereffekten modulerades ökade man penetrationen från 7 till 9 mm. Dessutom kunde man konstatera att den mera öppna foggeometrin gav en bättre uppblandning av svetsgodset.



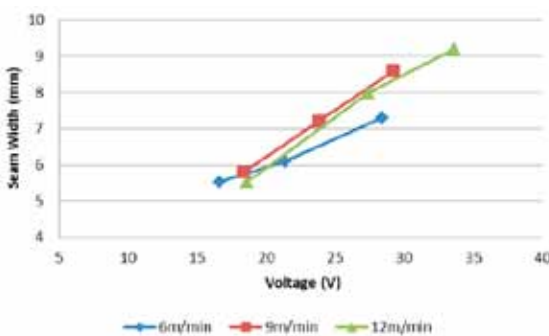
Figur 13.

Överst försökuppställningen där svets-förloppet registreras med två kameror, en koaxial och en extern. Övan de två fogutformningar som utvärderades, slutna (ovan t.v.) och öppna (ovan t.h.).



Figur 14.

Bågspänningen har en avgörande inverkan på svetsrågens bredd! T.v. tvärsnitt genom en svets utförd med 16,6V vilket ger en bågslängd på 1,8 mm, och under en där bågspänningen satts till 28,4V med en resulterande bågslängd på 7,0 mm. Trådmätningen var i båda fallen 6 m/min.



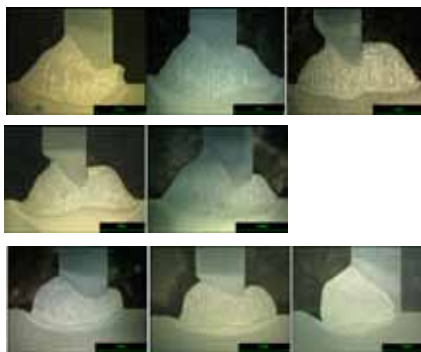
des ökade man penetrationen från 7 till 9 mm. Dessutom kunde man konstatera att den mera öppna foggeometrin gav en bättre uppblandning av svetsgodset.

Wojciech Suder hade tillsammans med kollegor vid Cranfield University tittat på laserhybridsvetsning av

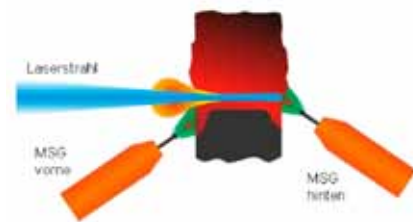
T-fogar. Dessa är vanligt förekommande i utmattningspåkända fartygskonstruktioner, varför det är viktigt att svetsfogens profil har en gynnsam geometri. I försöken hade man använt en 8 kW fiberlaser och en pulsad MIG [Metal Inert Gas] -strömkälla där tillsatstrådens diameter var 1,2

mm. Svetsförsöken hade utförts från en sida av en T-fog som utgjordes av 4 mm tjockt material. Ju mera laser-effekten ökas skjuts tillsatsmaterialet över mot rotsidan, och en liknande effekt erhöles då fokalpunkts diameter minskades från 1 mm till 500 μ m [Fig. 15], eftersom ett högre förångningstryck då uppstår i smältan. Även ljusbågen från MIG-pistolen kan skjuta smältan mot rotsidan då de elektromagnetiska krafterna uppnår ett visst kritiskt värde vilket i det här fallet tycktes ligga vid 7 kW, däremot såg man inget sådant bidrag vid lägre effektuttag. Ju flackare den infallande laserstrålen är desto bättre blir penetrationsdjupet, vilket beror på att en mindre materialmängd behöver penetreras.

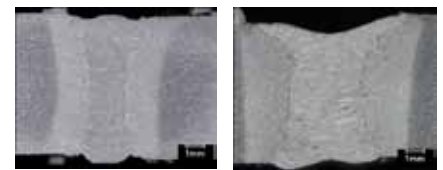
Vid Meyer Werft i Papenburg har man använt laserhybridsvetsning i produktion i snart tio år, och mycket av utvecklingsarbetet har bedrivits tillsammans med isf [Institut für Schweisstechnik und Fügetechnik] i Aachen. En av medarbetarna där är Dr. Simon Olschok, och nu redogjorde denne för försök utförda med "fallande" hybridsvetsning, så kallat PG-läge. Man hade använt 10 kW från en 16 kW disklaserkälla kombinerad med Precitecs hybridverktyg YH50 och två stycken GMAW [Gas Metal Arc Welding] -pistoler, en på framsidan och en på baksidan av fogen [Fig. 16]. Med denna uppställning hade man genomfört svetsprov på stumfogar och kälsvetsar med varierande spalt på mellan 0-3 mm. Materialet var kolstål av s.k. "Klass A"-typ med 7 mm tjocklek och hybridsvetsarna utfördes 5 m långa. Som tillsatstråd hade man använt G4Si1 med 1,2 mm diameter. För stumsvetsar utan spalt var de optimala svetsparametrarna; svets hastighet 1,5 m/min och trådmatning 3,5 och 6,0 m/min för den främre respektive bakre GMAW-pistolen. Vid större spalter ökade man trådmatningshastigheten för den främre pistolen med upp till 6,0 m/min. I kälsvetsförsöken arbetade man genomgående med lägre hastigheter och här var de bästa parameterinställningarna; svets hastighet 1 m/min samt trådmatningshastigheten 3,5 m/min för



Figur 15. Olika sätt att påverka inträngningsprofilen vid laser-MIG-hybrid-svetsning av T-fogar. Överst varierande lasereffekt; fr.v. 4, 5 respektive 7 kW, därunder svetsar utförda med 0,5 respektive 1,0 mm fokalpunkt, och längst ner har laserstrålens infallsvinkel mot horisontalplanet varierats; fr. v. 10°, 25° respektive 45°.



Figur 16. T.v. schematisk skiss över principen för "fallande" hybridsvetsning med dubbla GMAW-källor, och därefter tvärsnitt genom svetsar utförda på 7 mm tjockt kolstål med nollspalt resp. 2 mm spalt (t.h.).



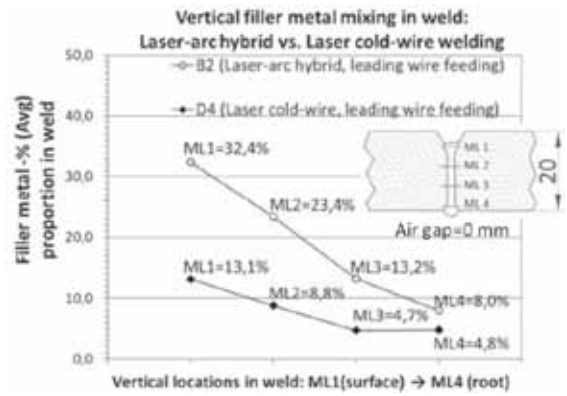
den främre GMAW-pistolen och 4,5 m/min för den bakre.

Inom ramen för ett europeiskt samarbetsprojekt har man studerat tillsatsmaterialets uppblandningsförmåga vid stumsvetsning av 10-15 mm tjockt rostfritt AISI 316L-material. Miikka Karhu från VTT Technical Research Centre i Lappeenranta redogjorde för experimenten där resultaten mellan laserhybridsvetsning och lasersvetsning med kall tillsatstråd jämfördes. Som tillsatsmaterial hade en övermatchande duplex tillsatstråd av märket Avesta 2205 använts tillsammans med Cr som spårelement för att kunna kvantifiera uppblandningen i svetsgodset. Tre olika luftspalter i stumfogen, 0, 0,2 och 0,4 mm, hade undersökts. Laserkällan var en 20 kW fiberlaser från IPG med 350 mm fokallängd och 200 μ m grov distributionsfiber, medan GMAW-strömkällan hämtats från företaget Close. I laserhybridsförsöken var ljusbågen ledande med ett interavstånd till laserstrålens fokalpunkt på 3,5 mm, medan kall-

trådsförsöken utförts med såväl ledande som följande ljusbåge och där man inte kunde se någon skillnad i uppblandningsgrad. Svetsarna hade analyserats med hjälp av SEM [Scanning Electron Microscopy] och EDS [Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy], och här kunde man konstatera att uppblandningsförmågan vid laserhybridsvetsning var tre gånger så hög jämfört med den uppblandning av svetsgodset som man erhöles i kalltrådsförsöken [Fig. 17].

Xiaoyan Zeng berättade om hur man stumsvetsat aluminium AA6061 till rostfritt stål 304, titan [Al6Ti4V] respektive koppar. Det var främst i det senare exemplet som man hade konstaterat att ett tjockare intermetalliskt skikt [IMC = Intermetallic Compound], vilket går att relatera till en högre värmeledning i materialen, har en gynnsam effekt då det gäller att hindra uppkomsten av varmsprickor. Laserkällan var en YLR-6000 från IPG, vilken kombinerats med en CMT-strömkälla typ TPS4000 från österrikiska Fronius.

Valet av CMT grundades främst på att man med en dylik strömkälla bättre kan undertrycka den höga reflexionen från aluminiumdelen. Laserstrålen hade positionerats 0,4-0,8 mm in på aluminiumsidan eftersom detta material har den lägre smälttemperaturen i alla de provade kombinationerna. Dock är det intermetalliska skiktet den svaga länken i svetsförbandet, även om detsamma är så tunt som 25 µm vilket var fallet i aluminium/titan-svetsarna, något som visade sig i genomförda dragprov vilka gav som resultat brottspänningar på 112 [Al/Cu], 168 [Al/Fe] respektive 217 MPa [Al/Ti].



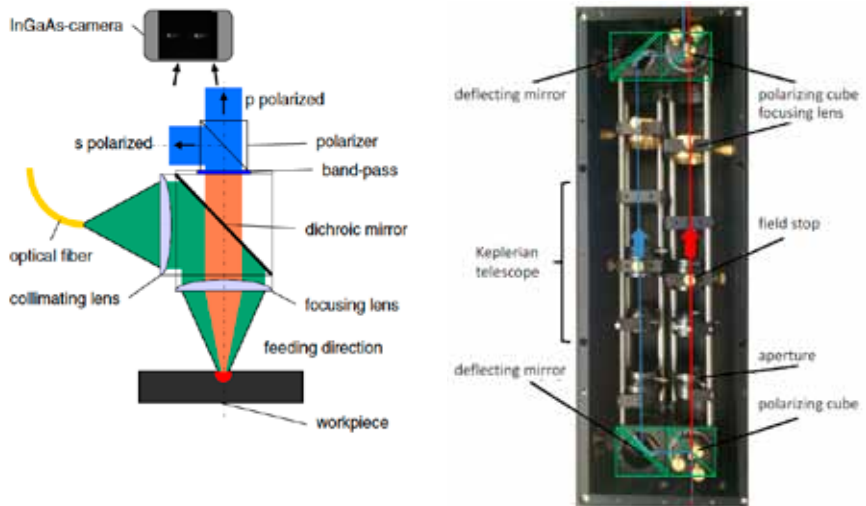
Figur 17.

Längst t.v. den använda uppställningen vid svetsförsoen hos VTT.

Diagrammet anger tillsatsmateriallets uppblandningsgrad i svetsgodset mätt på fyra nivåer med hjälp av EDS. I såväl hybridförsoen som i svetsförsoen med kalltråd har tillsatsmateriallet tillförts "ledande" och stumfogen har haft "nollspalt".

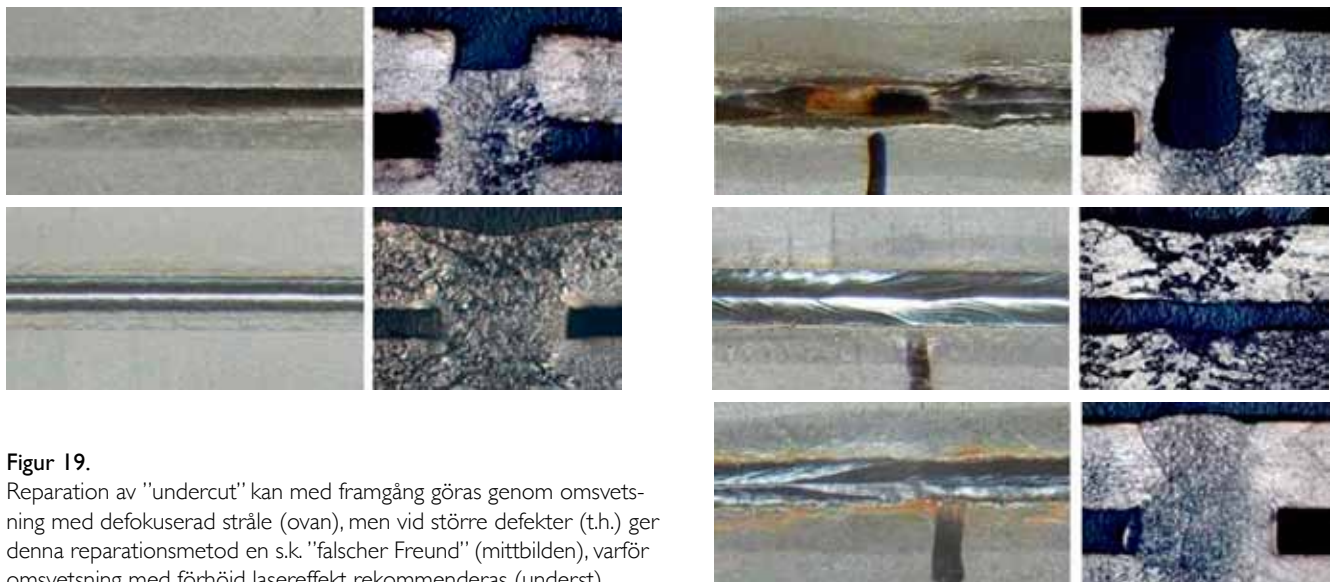
Övrig lasersvetsning

Bland övriga presentationer kring lasersvetsning fanns en del som var värda att uppmärksamma. Peter Berger från IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] i Stuttgart beskrev ett processövervakningssystem utvecklat i det BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] –finansierade projektet "WELDone". En InGaAs-kamera registrerar emissioner med olika polarisationsorientering från svetsprocessen, och kan med hjälp av en FPGA [Field Programmable Gate Array] detektera olika typer av defekter och deras läge [Fig. 18]. Svetsförsoen hade utförts på överlappsfogar i 1 mm tjockt zinkbelagt stål med 3 kW lasereffekt, en 600



Figur 18.

Experimentell uppställning med integrerad InGaAs-kamera och de optiska beståndsdelarna i process-övervakningsverktyget.



Figur 19.

Reparation av "undercut" kan med framgång göras genom omsvetsning med defokuserad stråle (ovan), men vid större defekter (t.h.) ger denna reparationsmetod en s.k. "falscher Freund" (mittbild), varför omsvetsning med förhöjd lasereffekt rekommenderas (underst).

µm stor fokalpunkt och en svetsastighet på 3 m/min. Vanligtvis är det dålig passning mellan detaljerna med alltför stora spalter som resulterar i defekter som lufthål, porer och ”undercut”. Den andra delen av Herrn Bergers presentation handlade om hur man kunde reparera uppkomna defekter. Att svetsa om med en defokuserad stråle med en brännfläck placerad mellan ±12 till ±15 mm i förhållande till överlappsfogens toppyta kan vara en lösning för att fylla igen defekterna, men löser inte svetsfel som otillräcklig bindning mellan plåtarna, s.k. ”false friend” eller ”falscher Freund”. I sådana fall är det bättre att göra en omsvetsning med högre lasereffekt [Fig. 19]; i det här aktuella fallet dock högst med 3,5 kW då högre effekter resulterade i skärning.

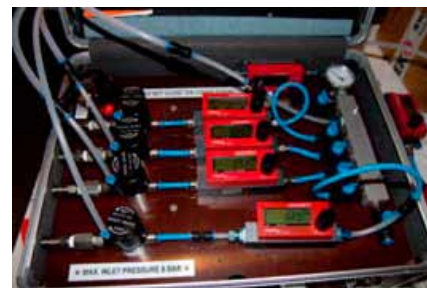
Jukka Siltanen från Rautaruukki Oy i Hämeenlinna, och med ett antal tidigare ICALEO-konferenser ”under bältet”, berättade om effekten av olika skyddsgaser vid ämnesskarvning med hjälp av en CO₂-laser. Som material hade man använt Ruukki-materialet Raex450 [tjocklek 4 mm], vilket skall uttolkas att det har en Brinell-hårdhet på 450 och en brottgräns på 1.300 MPa. Svetsningen hade utförts med 2,9 kW effekt och 2,3 m/min i framföringshastighet. Skyddsgasen hade tillförts ”stickande” i 45° med munstycksutloppet 10 mm framför laserstrålen och 10 mm ovanför arbetsytan. Eftersom Helium är ett dyrt skyddsgasalternativ hade olika gasblandningar bestående av He, Ar och CO₂ utvärderats [Tab. 1, Fig. 20]. Heliumandelen hölls konstant till 35% medan Argonandelen varierades mellan 40-55% och CO₂-andelen motsvarande mellan 10-25%.

Svetskvaliteten hade utvärderats enligt ISO 13919-1 och ISO 15614-11, och man kunde då se att otillräcklig penetration var ett genomgående problem och alla svetsförsök resulterade i en hårdhetsänkning i HAZ till 350 Brinell. Efterföljande dragprov gav konsistenta, repeterbara resultat där man kunde konstatera att brottförlängningen i de svetsade objekten var 3% jämfört med 10%

Tabell 1.

Fysikaliska egenskaper för de gaser som användes i skyddsgasblandningarna.

Gastyp	Molekylvikt [g/mol]	Densitet [kg/m ³]	Värmeledningsförmåga [W/m×K]	Joniseringsenergi [eV]
Helium (He)	4	0,14	0,15363	24,6
Argon (Ar)	40	1,38	0,01732	15,8
Koldioxid (CO ₂)	44	1,52	0,01615	13,8



Figur 20.

Försökuppställning och den automatiserade gasblandningsenhet som användes vid svetsförsöken.



för de rena materialdragproven. Bäst resultat erhöill man med AGA/Lindeblandningen Lasgon C1 [35% He, 50% Ar, 15%CO₂], vilken samtidigt innebär en 30%-ig kostnadsbesparing jämfört med om ren Helium hade använts.

Flitige Jukka hade en andra presentation under en session som handlade om svetsning av höghållfast stålplåt [HSS = High Strength Steel], där han under överinseende av sessionens ordförande Markus Kogel-Hollacher [Precitec GmbH] berättade om lasersvetsning av golv för marincontainrar [Fig. 21], ett ämne som han även föredrog under NOLAMP-konferensen i Göteborg i fjol. Idag tillverkas dessa golv av träslag som är mer eller mindre utrotningshotade varför ett metalliskt alternativ kan synas tilltalande för



Figur 21.

Överst t.v. syns det traditionella, plywood-baserade golvet bredvid den lasersvetsade stålvarianten, som endast tillför en marginell viktsökning. Ovan de två arbetsstationer vid Ruukki Metals Steel Service Centre i Uusikaupunki som använts vid lasersvetsningen av sandwich-golven.

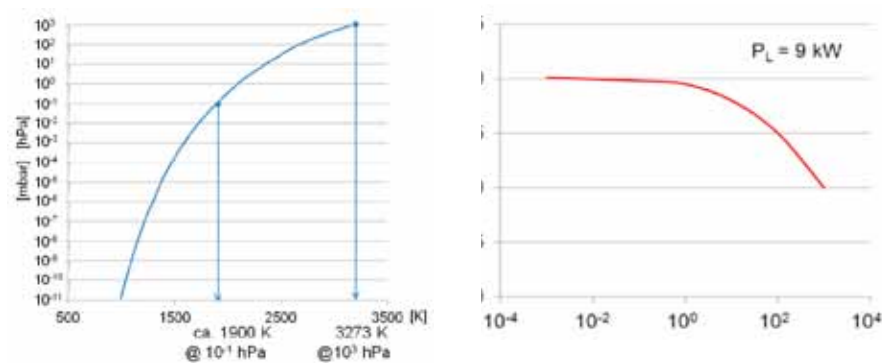
miljön. Stålgolven är uppbyggda som sandwich-konstruktioner med Raex-material som topp- och bottenplåt medan de trapetsformade livet är tillverkade i Cor-Ten- alternativt Optim500-material. Konstruktionens stumsvetsar är utförda med 3-4 kW lasereffekt, medan något högre, 5,0-5,5 kW, används för överlapps-svetsarna. Motsvarande svetshastigheter har legat på 2,0-2,3 respektive 1,4 m/min. Ett gaffeltrucksprov [ISO 1496/1, Fig. 22] hade använts för att säkerställa golvets bärförmåga, och för den först utvecklade prototypen resulterade detta i bucklingskollaps av det distanshållande livet. Därför använde man en s.k. öppen lösning utan bottenplåt för prototyp nummer två, vilken då betedde sig på ett önskvärt sätt. Trots materialbytet från trä till stål blir viktsökningen närmast försumbar och understiger 10%.

Lasersvetsning i vakuum har ju torgförts av bl.a. några japanska forskare vid tidigare laserkonferenser, men numera talar man snarare om svetsning under reducerat tryck kring 10⁻¹-10⁻³ hPa. Detta var ett ämnesområde som adresserades av Dr Simon Olschok från isf i Aachen. Genom att svetsa i en dylik atmosfär sänks det bearbetade materialets förångningstemperatur [Fig. 23] varför det blir möjligt att svetsa med lägre effekt samtidigt som svetshastigheten kan ökas. Försöken hade gjorts i ett kabinett på 0,6 m³ med integrerade förvärmnings- och temperaturövervakningsfaciliteter [Fig. 24]. Vidare hade man använt en TruDisc 16002 som laserkälla med en 200 µm optisk fiber. Svetsningen hade utförts under 10⁻¹ hPa tryck i lägena PA och PC, där man i det senare fallet gått ner till 0,15 m/min i svetshastighet för att få en fullständig penetration i det 70 mm tjocka materialet, något som inte skulle ha varit möjligt vid svetsning i luftatmosfär. Vare sig sprickor eller porförekomst hade kunnat konstateras, men Dr. Olschok påpekade att korrekt positionering av fokuspunkten är en kritisk faktor. Andra försök hade gjorts med koppar där man nådde penetrationsdjup kring 130 mm vid 16 kW lasereffekt, 1,2 m/min i framföringshastighet och en at-



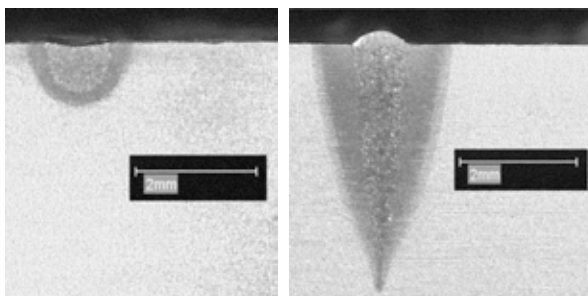
Figur 22.

Ett gaffeltrucksprov enligt ISO 1496/1 genomfördes för att prova det nya, lasersvetsade golvets bärlighet.



Figur 23.

Lasersvetsning under reducerat tryck medför att materialets förångningstemperatur sänks, vilket i sin tur innebär en förbättrad penetration. Tvärsnitten t.v. visar svetsar utförda med 600 W effekt i rumsatmosfär respektive vid reducerat tryck till 10 hPa.



Figur 24.

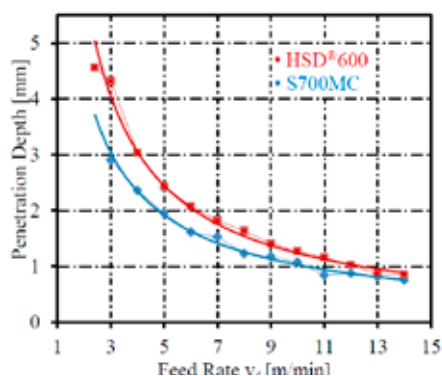
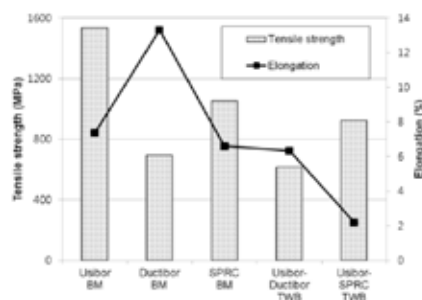
Det svetskabinett som använts vid lasersvetsning under reducerat tryck vid isf i Aachen.

mosfär på 2×10⁻¹ hPa. Att isf tror på en framtid med detta att lasersvetsa under reducerat tryck bevisas av att man i sitt laboratorium nu har installerat en vakuum-kammare från företaget PTR som en del i ett pågående projekt med beteckningen LasVac.

Cheolhee Kim från KITECH [Korea Institute of Industrial Technology] i Sydkorea hade studerat ämnesskarvning av AlSi-belagda material som Usibor® och Ductibor® [produktbeteckningar hos leverantören ArcelorMittal]. Vanligtvis måste

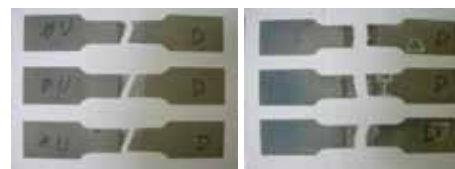
denna beläggning avlägsnas lokalt kring svetsstället för att inte riskera att aluminium penetrerar in i korngränserna och därmed försämrar svetsgodsets hållfasthet [Fig. 25]. För att undvika denna komplicerade förbehandling kan man antingen öka temperatur och hålltid under varmformningsprocessen alternativt TIG-förbehandla svetsområdet. Dyliga åtgärder hade emellertid inte vidtagits inför de här redovisade stumsvetsförsöken, där man hade använt 3 kW lasereffekt från en 4 kW diskaser med 1.030 nm våglängd och strålkvaliteten 8 mm*mrad, 560 mm fokallängd och en brännfläck med 0,54 mm diameter. Distributionen av laserstrålen skedde via en 200 µm optisk fiber och framföringshastigheten var satt till 8 m/min. I de efterföljande drag- och utmattningsproven skedde brottet alltid i det svagare Ductibor®-materialet, som har en brottgräns i paritet med ett DP600-material, d.v.s. omkring 600 MPa, och inte i svetsgodset!

Lasersvetsning av TWIP [TWinning Induced Plasticity] -stålet HSD@600 var temat för Velten Behms presentation. Han arbetar vid Volkswagen AG där man börjat intressera sig för denna typ av "lättviktstål" som tack vare sitt 2,5%-iga innehåll av aluminium får en lägre specifik vikt jämfört med konventionella ståltyper. Det här använda materialet har en sträckgräns kring 600 MPa och en motsvarande brottgräns på 1.020 MPa, samt förlängningsvärden i paritet med austenitiska, rostfria stål. Kol- och Manganinnehållet är dock högt vilket ställer utmaningar på svetsprocessen, och gärna resulterar i kraftigt svetsprut. Positivt är dock att värmekonduktiviteten är låg något som underlättar penetrationen vid svetsning [Fig. 26]. Försöken hade utförts på 0,9-1,5 mm tjockt material med 3-4 kW effekt från en 16 kW diskaserkälla och en fokallängd som uppgick till 560 mm. Dragproven indikerade en något lägre svetshållfasthet för TWIP-materialet jämfört med ett DP1000 som har en motsvarande brotthållfasthet; 15 kN mot 18 kN. Merparten av pre-



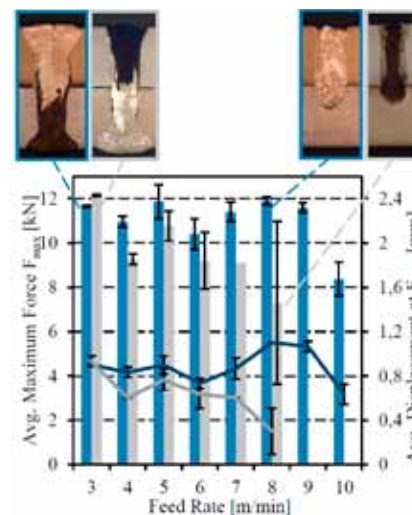
sentationen handlade emellertid om austenit/martensit-förhållandet i svetsgodset vid lasersvetsning av den mixade kombinationen HSD@600 till S420MC. Vid full penetration erhöj man ingen uppblandning av dessa element, medan man däremot vid partiell penetration och med HSD-materialet som topplåt erhöj fullständigt austenitiska och sprickfria svetsar [Fig. 27] vid 7-8 m/min i framföringshastighet och en i princip sprutfri svetsprocess. Dessa parameterförutsättningar gav också högst hållfasthet och störst brottförlängning vid efterföljande dragprov.

Siste talare i sessionen rörande lasersvetsning i höghållfasta stålmaterialer var doktoranden Jesper Sundqvist från Luleå Tekniska Universitet [LTU], en av få svenska deltagare vid årets ICALEO-konferens. Han redogjorde på ett alldeles utmärkt sätt för de experiment som utförts för att studera spricktillväxten genom utmatt-



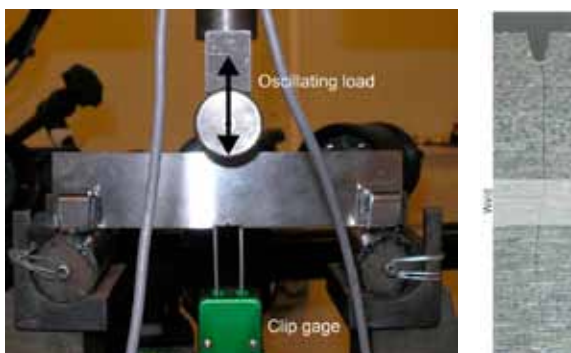
Figur 25. Övan t.v. ses det typiska svetsstavsnsnitt som man får vid svetsning i AlSi-belagda material, d.v.s. med aluminium-penetration i korngränserna. Detta visade sig dock vara mindre kritiskt vid genomförda dragprov då brotten alltid gick i det svagare (Ductibor®) materialet. Enda skillnaden, som framgår av brottbilderna ovan, är att brottet initieras från svetsen, men däremot från klippkanten i de fall då beläggningen avlägsnats innan svetsning.

Figur 26. Jämförelse i penetrationsdjup vid svetsning i TWIP-material (HSD@600) jämfört med ett lågkolhaltigt stål (S700MC). Konstanta parametrar har varit; lasereffekt 3 kW, fokallängd 560 mm och den 560 µm stora fokalpunkten placerad på topplåtens ovasida.

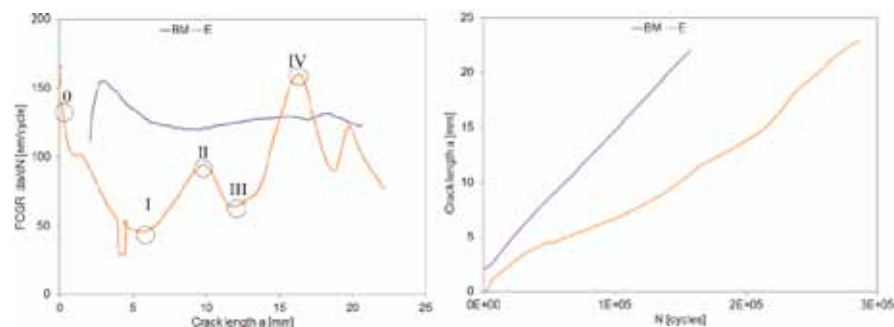


Figur 27. Längst upp till höger ses tvärsnitt genom den svets som uppvisar ett fullständigt sprickfritt, austenitiskt svetsgodset; partiell penetration med TWIP-materialet som topplåt (t.v.). Detta avspeglar sig också i dragprovresultatens stapel-diagram där en dominerande martensitstruktur avsevärt sänker hållfastheten.

ningsbelastade lasersvetsar. Dessa hade utförts som BOP [Bead-On-Plate] på 8 mm tjockt material med variationer av effekt [5,5-8.0 kW], svetshastighet [0,6-1,0 m/min] och sträckenergi [0,48-0,55 J/m]. Argon hade använts som skyddsgas och fokalpunktsstorleken uppgick till 400 μm . Provplåtarna hade sedan försetts med en sprickinitiering som under utmattningsprovning i 3-punkts böjbelastning vid 25 Hz och ett R-värde på 0,1 gav en sprickpropagering vinkelrätt mot svetsen [Fig. 28]. Det visade sig att sprickhastigheten ökar just över svetsen, men sammantaget uppvisade de svetsade plåtarna en förbättrad utmattningshållfasthet jämfört med osvetsade. Detta förklarade Herr Sundqvist på ett pedagogiskt sätt med att lasersvetsningens höga energitillskott bygger in tryckspänningar vilka därmed motverkar den pålagda utmattningsbelastningen och resulterar i en längre livslängd hos provobjektet [Fig. 29].



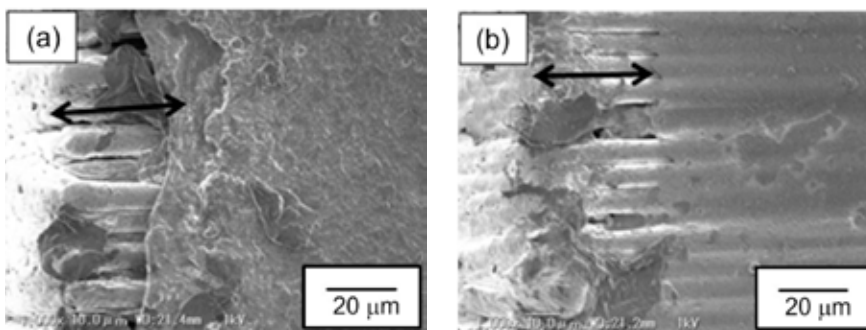
Figur 28. T.v. uppställningen vid utmattningsprovning i 3-punkts böjbelastning av en osvetsad provplåt, och därjämte tvärsnitt genom ett svetsat prov där man kan följa sprickans utbredning från den på förhand skapade initieringspunkten.



Figur 29. T.v. spricktillväxten som funktion av spricklängd och t.h. spricklängd som funktion av antalet belastningscykler. Båda diagrammen indikerar en längre livslängd för de svetsade provplåtarna (E) jämfört med grundmaterialet (BM), vilket förklaras av de genom svetsningen inbyggda tryckspänningarna som motverkar sprickutbredningen.

Skärning och borrar

Att skärning och borrar med laser är väl etablerade tekniker i dag bevisades av att dessa ämnesområden var väldigt sparsmakat representerade vid ICALEO 2013. Det som känns lite "hett" just nu då det gäller laserskärning är teknikens applicering på polymera material, och därför var det intressant att lyssna på Shin-ichiro Masunos [JWRI = Joining and Welding Research Institute, Osaka University] presentation kring bearbetning med nanosekunder långa laserpulser. Materialet som undersöktes var en kolfiberförstärkt epoxiplast tillverkad med RTM [Resin Transfer Moulding] -teknik. Tre laserkällor med 1,5 W medeffekt och olika våglängder, 355, 532 och 1.064 nm, hade ingått i studien där effekttopparna låg kring 3,7 kW vid 40 ns långa pulser med 150 μJ energiinnehåll per puls och där pulsfrekvens var satt till 10 kHz. Fördelen med pulsad bearbetning vid denna typ av material är att den låga värmeförselelsen resulterar i en smal värmepåverkad zon och minimal förstörelse av fiberändarna, något som mins-



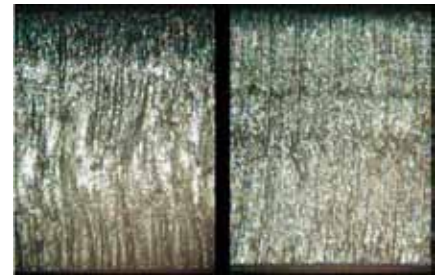
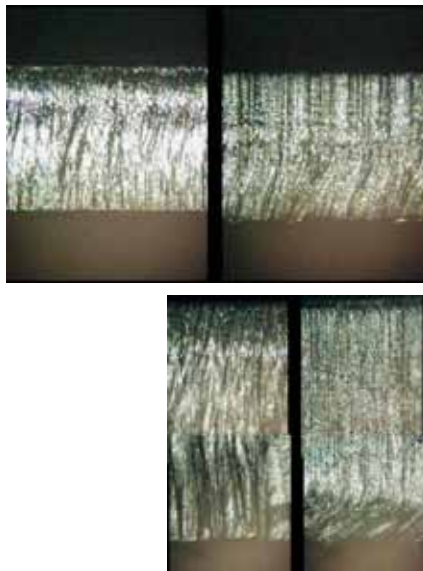
Figur 30. Vid pulsad bearbetning med laser av en kolfiberförstärkt epoxiplast ger luft (a) en högre avverkningsgrad jämfört med Argon (b), vilket framgår av dessa SEM (Scanning Electron Microscopy) -bilder.

kar spänningskoncentrationer kring dessa. Man hade använt Argon som assistgas för att undvika oxidering av fibermaterialet, men tappade då i såväl penetrationsförmåga som bearbetningshastighet jämfört med då man använde luft [Fig. 30] och då man uppnådde bearbetningshastigheter på 1,2 m/sek. Andra observationer som gjordes var att kolfiber har en betydligt högre absorptionsförmåga jämfört med termoplasten

samt att också våglängden 355 nm var mest gynnsam för laserstrålens absorption i substratet.

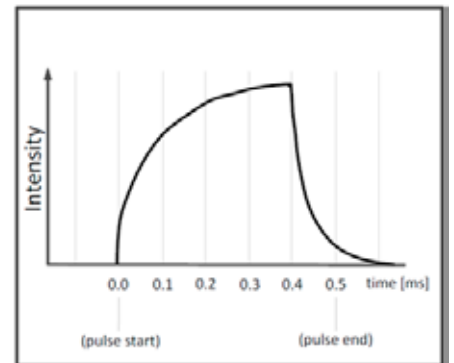
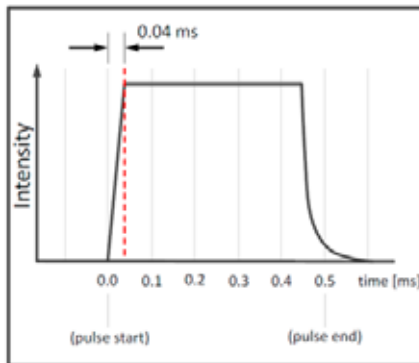
En annan presentation kring laserskärning kände jag igen från LAMP-konferensen i Niigata 2013 då Koji Hirano från Nippon Steel and Sumitomo Metal Corporation på nytt berättade om laserskärning av olika plåttjocklekar med 1 respektive 10 μm laservåglängd. Materialet som använts i försöken var

rostfritt SUS 304 i tjocklekarna 3, 5 och 8 mm, lasereffekten hade satts till 3,7 kW och kvävgas med 16 bars tryck hade använts som assist-gas. De två våglängderna har olika Fresnel-absorption och den längre våglängden absorberar bäst då nyckelhålets framkant har en lutning på 2° medan motsvarande vinkel för 1 μm-lasern är 10°. Ett snabbt skärförlopp, vilket blir resultatet vid skärning i tunt material med den kortare våglängden, leder till ett mer lutande nyckelhål, bättre absorption av lasereffekten och därmed en ytterligare ökning av skärhastigheten. Detta hade validerats i skärningen av det 3 mm tjocka materialet där skärhastigheten vid användning av 1 μm-våglängd var dubbelt så hög som för 10 μm-lasern. Denna fördel avtar med ökande plåttjocklek, och vid 8 mm grovt material låg skärhastigheten på samma nivå, 2 m/min, för de två laserkällorna. För att penetrera det grövre materialet går skärhastigheten ner till under 1,5 m/min och nyckelhålets framkant lutar endast 3°, varför absorptionsfördelarna med 1 μm-lasern försvinner samtidigt som skärnsnittet blir oacceptabelt ojämnt [Fig. 31].



Figur 31.

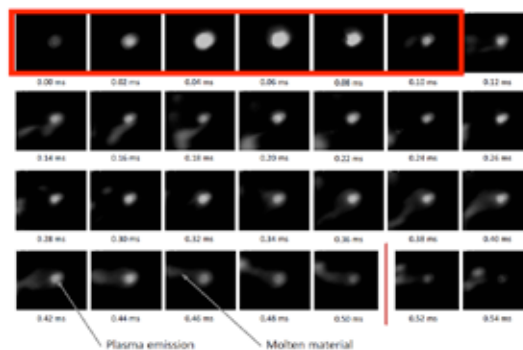
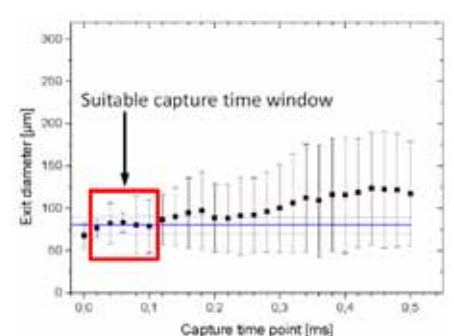
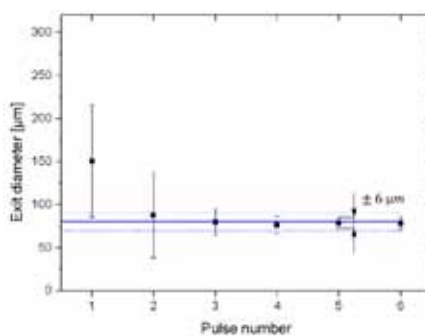
Vid skärning av tjockare plåtmaterial förlorar 1 μm-lasern sina fördelar i form av produktivitet och snittkvalitet jämfört med en koldioxidlaser. Snittbilderna visar skärytorna i överst frv. 3, 5 och 8 mm tjockt rostfritt SUS 304 med 1 μm-laserns snitt överst t.v.



Figur 32.

Intensitetsdistributionen i en laserpuls från en fiber- (t.v.) respektive Nd:YAG-laser (t.h.) kan förklara de snävare toleranser som kan innehållas vid hålbörning med den förstnämnda.

I turbinblad är det vanligt att kylkanalerna laserborras med en diameter på mellan 500-800 μm. Toleransen måste understiga 10-30 μm för att kunna garantera ett konstant luftflöde, Stefan Janssen från ILT [Institut für LaserTechnik] i Aachen hade utvecklat en metod för processövervakning av håldiametern vid laserborring genom att analysera det ljus som emitteras från laserplasmata. Detta gjordes med hjälp av en höghastighetskamera med 7 μs exponeringstid och 50.000 fps [frames per second], där de bilder som erhöles i gråskala omvandlades till en binär svart/vit-bild. Vid borrning med en "gammaldags" lampumpad Nd:YAG-laser hamnade standardavvikelsen för håldiametrarna på oacceptabla 36 μm, medan nya försök där en fiberlaser [YLS 600/6000-QCW] med 1.070 nm våglängd, strålkvaliteten M2=7 och en 50 μm grov distributionsfiber resulterade i en spridning på blott 6 μm [Fig. 32].



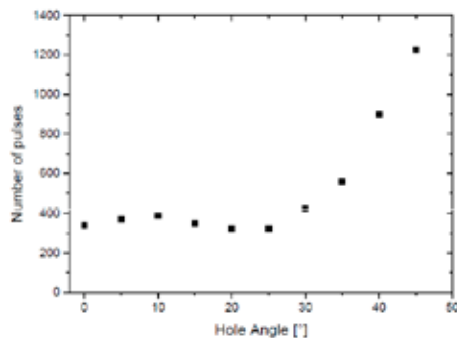
Figur 33.

Från den tredje laserpulsen har borrningsprocessen stabiliserats, varpå man kan starta analysen av det emitterade ljuset från laserplasmata. Denna görs då lämpligast inom tidsintervallet 0,02-0,1 ms.

På en fråga från auditoriet svarade Dipl.-Ing. Janssen att observationen bör starta fr.o.m. den tredje laserpulsen och att det är tillfyllest om den sker i tidsintervallet 0,02-0,10 msek [Fig. 33]

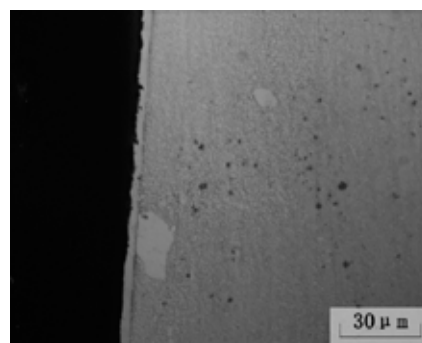
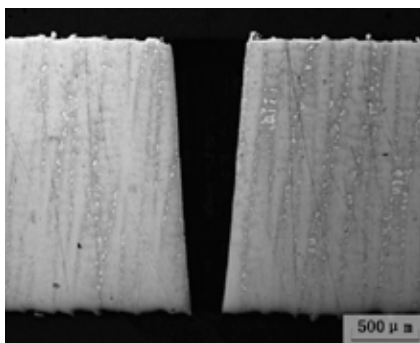
Hermann Uchtmann, även han verksam vid ILT samt RWTH [Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule] beskrev en ny tillverknings-teknik för de formar som används vid rotationsintring av formade ytskikt för t.ex. interiöra bilpaneler. Normalt används s.k. elektroformar p.g.a. detaljernas komplexa form och yttextur, men tillverkningen av dessa är både dyr och tidsödande varför ett alternativ i form av laserborrade injektionshål i formarna är ett tilltalande alternativ. De aktuella hålen måste understiga 200 μm i diameter så att de ej lämnar synliga märken på den formade detaljen. Verktygsmaterialet utgörs av 40CrMnMo och för laserborrningen hade man använt en borroptik från Reis Robotics. Typiska pulslängder ligger kring 0,3 ms med en frekvens på upp till 500 Hz. Hålen orienteras såväl vinkelrätt som snett mot verktygsytan, men då lutningsvinkeln överstiger 30° ökar antalet pulser dramatiskt då det gäller att penetrera verktygsmaterialet [Fig. 34]. I det aktuella fallet hade hål orienterade 90° mot verktygsytan borrats med 130 μm diameter och en tolerans på $\pm 12 \mu\text{m}$, medan värdena för de 45°-igt orienterade hålen låg på 180 μm diameter med en tolerans på $\pm 15 \mu\text{m}$. Dipl.-Ing. Uchtmann avslutade med en jämförelse av tillverkningstiderna för ett elektroformat respektive ett laserbearbetat formverktyg där 14 veckor krävs för det förstnämnda medan det senare kan tillverkas på endast 3 veckor!

Xiaobing Zhang från BAMTRI [Beijing Aeronautical Manufacturing Technology Research Institute] berättade om hålbörning i flygmotorkomponenter med ns-långa laserpulser för att undvika omsmältning av de nickelbaserade materialen, vilket kan leda till sprickinitiering från hålkanten och reducerad livslängd för den aktuella komponenten. Tre olika metoder hade studerats; en



Figur 34.

Vid borrning av "sneda" hål ökar antalet pulser som krävs för full penetration dramatiskt då laserstrålens infallsvinkel överstiger 30°. T.h. tvärsnitt genom en 5 mm tjock sektion med hål laserborrade i 45°-ig vinkel.



Figur 35.

De hål som laserborrats med s.k. trepanneringsmetod (39 W effekt, pulslängd 40 ns) var de som uppvisade den lägsta graden av omsmält material inuti hålen.

"scanning"-teknik med låg laserefekt och hög frekvens där materialet avverkades lager för lager, "slagborrning" med laser samt trepanneringsborrning med högre effekt och användning av assistgas. Den förstnämnda metoden ger en önskad, låg omsmältningsgrad men har låg produktivitet. Vid "slagborrning" ökar avverkningsgraden men resulterar samtidigt i såväl omsmältning som

sprut kring ingångshålet. Bäst resultat för att undvika omsmältning nådde man med trepanneringsmetoden [Fig. 35], men denna uppvisar en lägre penetrationsförmåga och därmed reducerad materialavverkningsgrad. Generellt kunde man konstatera att längre pulser ökar avverkningsgraden, men då på bekostnad av ett tjockare omsmält ytskikt i det laserborrade hålet.



Laser Institute
of America
Laser Applications and Safety



Laserhybridsvetsning – en synnerligen lämplig sammansättningsteknik för grovplåtskonstruktioner



JOHNNY K. LARSSON
VOLVO CARS

Då man talar om ämnesområdet laserhybridsvetsning stöter man ganska snabbt på namnet Herbert Staufer från Fronius GmbH i Wels, Österrike. Herbert, som idag basar för företagets forskning kring svetsmetoder med hög effekt, är en av de verkliga pionjärerna inom denna speciella form av laserbearbetning, och jag lärde känna honom under tidigt 2000-tal. Sedan dess har våra vägar korsats åtskilliga gånger och under tiden har Herbert Staufer förärats med en mängd förtroendeuppdrag, senast då han valdes in som ordförande för IIW:s [International Institute of Welding] Commission III, vilken innefattar olika s.k. "Power beam processes". Därför blev det extra roligt att få sätta sig ned med Herbert vid denna organisations "Annual Assembly" i Essen i fjol och få lyssna lite till hur han uppfattar att laserhybridtekniken utvecklats under den senaste tioårsperioden.

Vid svetsning inom många olika områden som fartygstillverkning och processindustri, men också vid tillverkning av pipelines, insisterar kunden på såväl ett högre produktvärde som ökade prestanda. Att uppfylla dessa krav, vilket ofta utgör skillnaden mellan succé och fiasko, tycks endast vara möjligt om man i kontinuitet använder sig av avancerad och innovativ svetsutrustning. Detta visar sig vara särskilt sant då det gäller svetsning av höghållfasta stål.

Vid smältsvetsning är det generellt önskvärt att ha såväl hög svets hastighet som en god spaltöverbrygnads-

förmåga. Emellertid sätter fysikaliska lagar begränsningar för detta vid exempelvis gasetallbågs svetsning, vilket gör det svårt att samtidigt uppnå dessa båda egenskaper. Laserhybridsvetsning med enkel- eller tandem-baserad MAG [Metal Active Gas]-utrustning har blivit etablerade och industriellt använda svetsmetoder, vilka medger en avsevärd ökning av processfönstret. Att kombinera två ljusbågar med en laserstråle måste anses vara ett tekniksprång för smältsvetsning både med hänsyn till prestanda och till kvalitet.

Jag vill exemplifiera detta med hur man vid ett skeppsvarv svetsar fast profiler vilka utgör förstärkningsribbor i däckssektioner. Inledande svetsförsök utförda på de för ändamålet avsedda stålkaliterna för skeppsbyggnad visade att man med en hybridprocess med fastkroppslaser och MAG-strömkälla kunde få reproducerbara resultat med hög kvalitet. Om man dessutom använder avancerade svetsverktyg kan kostnaderna för processen reduceras och laserhybridsvetsningen blir därmed ett effektivt och kvalitetsmässigt alternativ till pulverbågs svetsning.

Halvautomatiserad orbitalsvetsning med GMAW [Gas Metal Arc Welding = gasetallbågs svetsning] används för närvarande vid tillverkning av såväl land- som offshore-baserade pipelines. Tidsåtgången per svetsad fog bestäms av det antal strängar som måste läggas och detta i sin tur avgörs av rörens vägg tjocklek.

Försöken att kontinuerligt reducera kostnaderna inom pipeline-in-

dustrin har lett till införandet av sofistikerade och innovativa tekniker. Sålunda har höghållfasta stålkaliteter som t.ex. API 5LX-80 börjat användas vid rörtillverkningen, vilket tillåter en avsevärd reduktion av vägg tjockleken. Ett annat exempel är försöken att integrera avancerade svetsprocesser som tandem-MAG för att öka både produktivitet och svetskvalitet. Vidare har Nd:YAG- och Yb:YAG-laserna gjort sitt intåg på marknaden och kommit att bli ett alternativ till de CO₂-lasrar som tidigare använts inom denna bransch.

Vi på Fronius genomförde tidiga praktiska svetsförsök med hjälp av en 12 kW CO₂-laser. Materialet var det ovannämnda API 5LX-80 med en tjocklek på 13 mm där lasersvetsningen utfördes utan tillsatsmaterial på stumfogar. Vi svetsade såväl från en sida av fogen som simultant från båda sidor och nådde svets hastigheter på 0,75 respektive 1,65 m/min. Svetsarna uppvisade god duktilitet och hög hållfasthet och slagseghet, men vi ville undersöka möjligheterna att minska de höga svetskostnaderna vilka står för majoriteten av de totala produktionskostnaderna vid pipeline-tillverkning. Jag vill understryka att industrin alltid är på jakt efter produktivetsförbättringar av traditionell tillverkningsteknik och här ger implementeringen av avancerade fogningsprocesser goda möjligheter att nå dylika mål. Svetsekonomi vid pipeline-tillverkning bestäms av två huvudsakliga ingredienser; svetsningen av rotsträng och svetsningen av fyllnads- och toppsträngar.

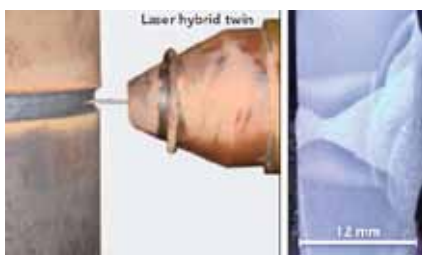
I de fortsatta försöken utvärderade vi laserhybrid-tandemsvetsning av rör med en diameter på 190 mm och 12 mm vägg tjocklek. Rotsträngen utfördes utan mothåll och med en hastighet av 70 cm/min. Enbart med denna rotsträng kunde 2/3 av den aktuella V-fogen fyllas, varför endast ett andra lager, bestående av tre strängar utförda med en framföringshastighet på 140 cm/min, var nödvändigt för att fullborda den kompletta svetsen [Fig. 1]. Alltså erhöj vi väldigt lovande svetsresultat, men det är värt att beakta att denna form av orbitalsvetsning begränsas till ferromagnetiska material som järnlegeringar och stål.

Inom varvsindustrin är det vanligt att använda profiler för att öka styvheten i diverse däckssektioner. Tjockleken hos dessa förstävningar ligger mellan 4 och 8 mm, och den vanligaste svetsmetoden för att få dessa profiler på plats är med pulverbåge [SAW = Submerged Arc Welding]. Emellertid finns det en avsevärd nackdel med denna metod, nämligen att den höga värmeförseln i kombination med en förhållandevis låg svets hastighet leder till förvrängningar och distorsioner. Detta kräver i sin tur omfattande efterbearbetning och riktningoperationer. Med hänsyn till detta borde den optimala lösningen vara att använda lasersvetsning, men formavvikelse som uppkommit vid fogberedning och tidigare svetsoperationer hindrar att man med enbart lasern skulle kunna uppnå ett fullgott svetsresultat. Om lasern däremot kombineras med en MAG-process kan dessa problem lösas, vilket också redan visats i industriell skala genom de imponerande CO₂-laser/GMAW-system som installerats hos det tyska skeppsvarvet Meyer Werft i Papenburg. Här svetsas de ovannämnda förstävningarna fast till däckssektionerna med en fullpenetrerande kälsvets i en T-fog.

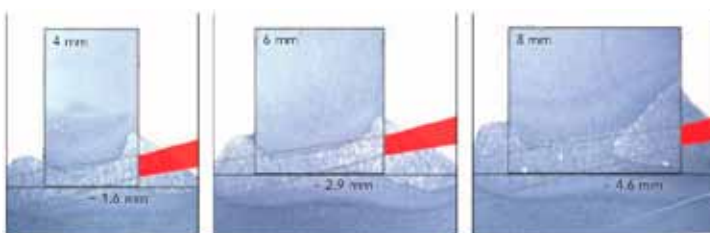
På senare år har emellertid fastkroppslasrar med större flexibilitet börjat användas för dylika svetsuppgifter. Figur 2 visar makrotvårsnitt genom 4,0, 6,0 och 8,0 mm tjocka förstärkningsribbor svetsade till en 12 mm tjock däcksplåt. Lågg sär-

skilt märke till den markerade zonen inom smältområdet. Detta område varierar med förstärkningens tjocklek beroende på att laserstrålen har en begränsad fokuspunktsdiameter, i detta fall 0,9 mm, samt ett bestämt skärpedjup och position [Tab. 1], varför den inte ensam kan täcka svetsfogens hela tvärsnittsarea. Merparten av volymen, som ligger utanför det markerade området måste därför smältas med hjälp av MAG-processen. Man skulle kunna uppnå

samma effekt genom att defokusera laserstrålen, vilket emellertid har en negativ inverkan på penetrationsdjup och svets hastighet, och därför måste kompenseras med högre effekt hos laserkällan. Alltså krävs att en väl avvägd relation mellan lasereffekt, deponeringsmängd av tillsatsmaterial samt svets hastighet fastläggs och bibehålls under hela svetsförloppet. Figur 3 visar en enkelsidig full penetrationsvets av en förstärkningsprofil i en T-fog för skeppsbyggnad där



Figur 1. Närmast svetsning av pipelines i läge G med laserhybrid-tandem MAG, och t.h. ett tvärsnitt genom den 12 mm tjocka fogen som består av rotsträng plus tre fyllnadssträngar.



Figur 2. Laserhybridsvetsning av en T-fog med en 1,2 mm grov tillsatsstråd i G3Si1 (EN 440) där laserstrålen har en infallsvinkel på 12° i förhållande till horisontalplanet.

Tabell 1. Parametrar för laserhybridsvetsning vid fullpenetration och olika tjocklekskombinationer

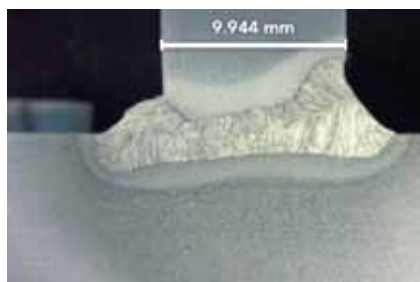
Plåttjocklek [mm]	4/12	6/12	8/12
Svets hastighet [m/min]	2,0	1,5	1,0
Trådmatningshastighet [m/min]	7,5	6,5	5,5
Strömstyrka [A]	220	200	180
Spänning [V]	19,0	19,0	20,0
Lasereffekt [kW]	7,0	8,0	8,0
Laserstrålens infallsvinkel [°]	12,0	12,0	12,0
Skyddsgasblandning [°/°]	96Ar/4O ₂	96Ar/4O ₂	96Ar/4O ₂
Skyddsgasflöde [l/min]	20,0	20,0	20,0

Tabell 2. Parametrar för laserhybridsvetsning vid full penetration och 10 mm plåttjocklek

Plåttjocklek [mm]	10,0
Svets hastighet [m/min]	0,7
Trådmatningshastighet [m/min]	7,0
Strömstyrka [A]	205
Spänning [V]	20,5
Lasereffekt [kW]	10,0
Skyddsgasblandning [°/°]	96Ar/4O ₂
Tillsatsstråd (ENI 4341-A)	G 42 4 M 22 3 Si1
Grundmaterial (ASTM A 131M)	AH 36

plåttjockleken uppmäts till ungefär 10 mm [Tab. 2]. Laserstrålens infallsvinkel var satt till 12° i förhållande till horisontalplanet, samtidigt som den släpande MAG-pistolen positionerats i 45°.

Många fördelar erbjuds vid användning av vårt nya koncept med laserhybrid-tandemsvetsning där den traditionella laser/MAG-processen kombineras med en tandemutrustning för smältsvetsning. Ett brett spektrum av svetsapplikationer kan passa för detta nya teknikkoncept, särskilt i de industriella tillämpningar där ren lasersvetsning har sina fysikaliska begränsningar, men också i de fall då konventionell laserhybridsvetsning inte är tillräcklig för att erhålla god kvalitet på svetsgodset med därtill hörande hög hållfasthet. Det har visat sig att man med denna sofistikerade teknik kan reducera investeringskostnader knutna till en hög lasereffekt samtidigt som driftskostnaderna kan minskas genom kortare cykeltider och därmed en högre produktivitet. Vad beträffar svetskvaliteten förbättrar metoden såväl de mekaniska som de metallurgiska egenskaperna hos svetsgodset. Genom att anpassa kringutrustning och parametrar som trådmatnings- och framföringshastigheter kan användaren förbättra det förstnämnda, och genom att välja lämpligt tillsatsmaterial de senare.



Figur 3.

En 10 mm tjock förstärkningsprofil som laserhybridsvetsats från en sida i en T-fog med full penetration.

Ett lämpligt användningsområde för denna laserhybridsvetsning finner vi inom varvsindustrin då det gäller att svetsa förstärkningsribbor till däckssektioner. Den konventionella metoden för dessa svetsoperationer är pulverbågsvetsning, en process som emellertid innebär oönskade nackdelar som distorsioner och skevhet hos sektionerna något som kräver omfattande efterbearbetning i form av olika riktningsoperationer och därmed avsevärda extra tillverkningskostnader. Ett angreppssätt som kan leda till såväl minskade tillverkningskostnader som en förbättrad produktkvalitet är att använda en fastkroppslaser kombinerad med en MAG-utrustning med vilken det blir möjligt att utföra samtliga de svetsgeometrier som kan komma i fråga.

Hybridsvetsverktyget bedöms vara en kritisk komponent vid implementering av laserhybridsvetsning med höga lasereffekter (10 kW), men genom att tidigt ta hänsyn

till de specifika omständigheter som föreligger inom skeppsbyggnadsindustrin har det visat sig vara möjligt att skapa skraddarsydda komponenter som till fullo möter de krav som föreligger. Praktiska svetsförsök utförda på relevanta detaljer, med de för skeppsbyggnad specificerade stålqualiteterna, har bevisat att laserhybridsvetsning med en fastkroppslaser kan åstadkomma reproducerbara resultat med hög svetskvalitet. Därmed kan vi konstatera att en laserhybridutrustning baserad på fastkroppslaser och med ett tämligen avancerat svetsverktyg kan reducera tillverkningskostnaderna och öka produktkvaliteten i jämförelse med traditionell pulverbågsvetsning.

För den intresserade delar Herbert Staufer gärna med sig av sina erfarenheter inom laserhybrid-området. I så fall nås han per mail herbert@fronius.com. Titta gärna också in på Fronius hemsida www.fronius.com, eller varför inte göra ett besök vid anläggningen i Wels (Österrike).

EFW – SPECIALKURS

LASERSVETSNING

Ny kurs genomförs 2015 den 4-5 mars, 24-26 mars och 28-29 april

Kursen ger dig ingående teoretiska och praktiska kunskaper om lasersvetsning så att du kan analysera och utvärdera potentialen för lasersvetsning av dina applikationer och genomföra lasersvetsprojekt. Ett internationellt diplom, EWF-diplomet, garanterar en utbildning av hög internationell kvalitet som ökar dina karriärmöjligheter inom svetsområdet.

Kursen ges av Luleå tekniska universitet i samarbete med Svetskommissionen och European Welding Federation, EWF.

KONTAKTA Hans Engström, Luleå tekniska universitet för kursinformation
hans.engstrom@ltu.se, 0920-49 12 69

*Nu med 15 kW
fiberlaser!*

SISTA CHANSEN!

FRÅGA laserdoktor Bo Williamsson



Hej,

Vi lasersvetsar en del produkter i vår verksamhet. I dagsläget använder vi en 6 kW laserkälla (CO₂-laser) för svetsning av plåt detaljer upp till 4 mm. Vanlig stumfog utan tillsatsmaterial. Materialet är typiskt 355-stål. Skyddsgas vid svetsningen är helium, ca 15-20 l/min.

Finns det något alternativ till helium som processgas? Kostnaden för helium är relativt hög, dessutom ryktas det om att tillgängligheten är begränsad emellanåt, vilket kan få konsekvenser för vår produktion.

Lars Strålberg

SVAR

Hej Lars och tack för din fråga.

Vid lasersvetsning med CO₂-laser är helium den dominerande processgasen. Helium ger bra prestanda och hög svetskvalitet. Det främsta argumentet för att använda helium vid svetsning med CO₂-laser är dock att plasmabildningen minimeras. Ett överskott av plasma (blandning av joniserad gas och metallånga) påverkar svetsningen negativt, och kan i extrema fall skärma av laserstrålen från arbetsstycket genom s.k. plasmaabsorption. Nackdelen är som du skrev, att kostnaden är relativt hög. Till och från har också tillgängligheten på marknaden varierat. Vad är då alternativen? Låt oss titta på några alternativ. I **figur 1** visas en sammanställning över olika tänkbara gasalternativ, grundgaser och tillsatser, för svetsning i "svart" material.

Grundgas	Helium	Bra inträngning, hög svetskvalitet, lite plasmabildning
	Argon	Bra svetskvalitet vid låg lasereffekt, mycket plasma vid hög effekt.
Tillsatser	Oxygen	Ger mjukare svetsgods (spec. i CMn-stål). Vid för höga halter (alt. för låg svetshastighet) => hårdstrukturer i svetsgodset. Förbättrar inträngningen generellt.
	Nitrogen	Ökad hårdhet (austenitbildning, omvandlas till martensit vid svalningen) Kan orsaka porer
	Koldioxid	Liknande egenskaper som oxygen. Kolhalten bör observeras, bör ej användas vid svetsning av stål med C > 0,25%. Har ofta en positiv inverkan på svetsrågens ytjämnhet.
	Hydrogen	Löser sig i svetsgodset. Bör undvikas vid svetsning av "svart" material p.g.a risk för försprödning

Fig 1. Gasalternativ vid svetsning av konstruktionsstål med CO₂-laser

Som tabellen visar, finns det ett par tänkbara alternativ till helium just i ert fall. Det är svårt att undvika helium helt och hållet, men argon som grundgas med tillsats av en mindre mängd helium, och dessutom en liten mängd koldioxid, ger ofta förutsättningar för ett bra svetsresultat vad gäller prestanda, kvalitet och ekonomi. I utgångsläget handlar det om en gasblandning bestående av cirka 35% helium, 15% CO₂ och resten argon (dvs. cirka 50%). **Fig 2** visar en jämförelse mellan de olika alternativen argon, helium och blandgas.

Som synes kan blandgasen ge likvärdiga, eller i vissa fall t.o.m bättre resultat än ren helium. Beroende på materialsammansättning och andra, yttre faktorer kan blandningen behöva optimeras. I något fall har CO₂-halten minskats till 12%, i andra fall har heliumhalten justerats något. Detta är något som görs på plats i den befintliga lasermaskinen. En annan viktig aspekt är också själva gastillförseln. Gasen ska tillföras från sidan och i rörelseriktningen. Diametern på munstycket och vinkeln på gasflödet anpassas för att få ett laminärt flöde med maximal effekt och optimal gaskostnad.

För att avsluta resonemanget så finns det definitivt alternativ till helium som processgas, men den exakta blandningen och munstycksarrangemanget måste slutprovas på plats i lasermaskinen. Helium är i det här avseendet en enklare gas att använda, med de nackdelar som nämnts tidigare.

Jag hoppas i och med detta att du har fått en liten inblick i hur processgasen fungerar vid svetsningen, och vilka alternativ som finns. Jag har inte gått in i detalj på mekanismerna som styr processgasens interaktion och påverkan på svetsprocessen för att hålla resonemanget på en mer "praktisk" nivå. Givetvis finns motsvarande alternativ också för lasersvetsning av t.ex. rostfria material. Förhoppningsvis kan det skapa lite idéer och tankar inför framtida lasersvetsning hos er.

Fortsätt gärna att skicka in era frågor till redaktionen. Det kan röra sig om frågor kring maskinproblem, processfrågor, ekonomi, service och underhåll osv. Alla frågeställningar tas upp och vi publicerar svaren så snart vi kan.

Laserdoktor Bo Williamsson

Svetskvalitetens påverkan av inerta gaser och dess distribution vid lasersvetsning

BEARBETAD AV STEPHAN BOËTHIUS,
AIR LIQUIDE GAS AB

Lasern är idag en självklar del av tillverkande företags maskinpark vid tillverkning inom framförallt metallindustrin, lika självklart borde det vara att ta hänsyn till de inerta gaserna och dess benägenhet att bilda plasma.

När det gäller nya användare är ren helium eller argon dominerande, båda gaserna kan användas flexibelt och med bra resultat. Under processen kan de inerta gaserna tillsammans, kopplade till grundmaterial och laser ge (utöver plasmapåverkan) ett enormt inflytande på svetsresultat, inträngningsprofil, svetsens yta, svets-hastighet och även gasförbrukningen påverkas. En specifikt sammansatt gasblandning anpassad till respektive laserälla kan ge ytterligare fördelar gentemot både ren helium och argon beträffande kvalitet och effektivitet.

Valet av gasblandningen är styrt av laserns våglängd och effekt och på grund av den specifika fysikalisk-kemiska egenskapen hos en ädelgas kan svetsprocessen påverkas positivt med hänsyn till energiupptagning, inträngning och svetskvalitet.

Sätt gasen tillförs processen skapar en stor potential när det gäller kvalitet, processsäkerhet och effektivitet vid lasersvetsning. Anledningen är helt enkelt att gasens effekt till största del beror på om den distribueras effektivt till processen eller inte.

Tillsammans med LASAL™-nozzle från Air Liquide kan de fysikalisk-kemiska egenskaperna användas fullt ut, de egenskaper som är avgörande för optimal energitillförsel, processtabilitet och svetskvalitet.

Introduktion

Det är inte längre möjligt att ignorera lasersvetsning ur ett industriellt perspektiv, de flesta material kan idag bearbetas med laser och i många fall med fördel tillsammans med en inert gas eller gasblandning.

Potential och påverkan av gasblandningar på processtabilitet och därmed på ökad kvalitet och produktivitet är bevisat i samband med bågsvetsprocesser genom praktiska erfarenheter. Detta har lett till att skraddarsydda gasblandningar med stor framgång används för specifika material och processer.

I kontrast till bågsvetsprocesser är potentialen för inerta gaser i laserapplikationer fortfarande undervärderad.

Vilket som är det optimala valet av inert gas eller gasblandning kommer att betraktas nedan vid CO₂-lasersvetsning med hänsyn till det känsliga processfönstret, plasmats bildande och koppling.

För nya användare av CO₂-laser är helium det första valet, för fastkroppslasrar som t.ex. disk eller fiberlaser används oftast argon eller ingen gas alls.

En tillverkare som utrustar sina installationer med CO₂-laser med effekt upp till 5 kW sa ”vi har så

Författare
Dipl.-Ing. Cerkez Kaya EWE
ALTEC GmbH
Air Liquide Technology Center North and Central Europe
D-47805 Krefeld, Füttingsweg 34
Tel: +49 (0) 2151/ 379 - 9182
cerkez.kaya@airliquide.com

mycket erfarenhet tillsammans med Air Liquide att vi rekommenderar våra kunder att använda He-Ar 50/50 eller ren helium för alla material, oavsett val av gas blir processens robusthet densamma”.

Både argon och helium är enkla och flexibla att applicera men för bästa resultat bör gasvalet optimeras till vald process. Svetsresultatets potential för respektive inert gas vad gäller inträngning, yta, hastighet och förbrukning är inte den samma. En kundanpassad gasblandning kan många gånger ge avsevärda fördelar jämfört med ren He eller ren Ar i fråga om svetsens kvalitet och lönsamhet, speciellt vid tillverkning av stora serier.

Gasens karaktär

Valet av gasens blandningsförhållande är styrt av laserns våglängd och effekt och på grund av ädelgasens fysikalisk-kemiska egenskaper kan svetsprocessen påverkas väldigt mycket.

Tabell 1: Skyddsgas och komponenter

Gas	Egenskap	Inert gas	Som komponent
He	Inert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ar	Inert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
N ₂	Inert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CO ₂	Oxiderande	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
O ₂	Oxiderande	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H ₂	Reducerande	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

I tabell 1 listas gas vilken är lämplig som skyddsgas eller som tillsats i skyddsgasen.

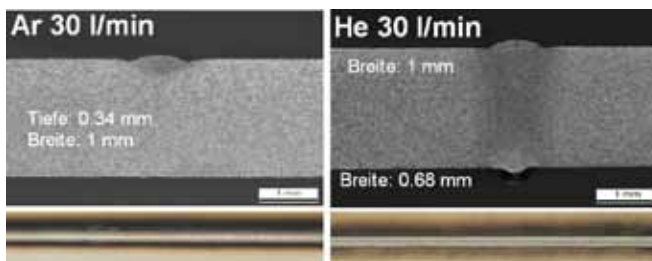
Effekt av fysisk egenskap

De olika gaserna reagerar olika beroende på laserns våglängd och effekt. Argon och koldioxid visar tendens vid CO₂-lasersvetsning att bilda ett laser inducerat plasma. Effekten av detta plasma varierar kraftigt och påverkas av mängden metall som flyter ut från nyckelhålet. Plasmats storlek och påverkan beror på laserns effekt och våglängd. Vid ogynnsamma förhållanden kan plasmats absorbera all energi från laserstrålen.

Just på grund av plasmabildning används helium över hela världen som referensskyddsgas inom lasersvetsning. Helium har en mindre atomdiameter, högre joniseringsenergi och jämfört med argon mindre benägenhet att bilda plasma. Argon har stor benägenhet att bilda plasma, se figur 1 som visar en jämförelse av två svetsförsök där argon och helium använts som skyddsgas. Samma laser och samma parametrar.

Heliums lilla benägenhet att bilda plasma säkerställer en stabil process och skapar en bra koppling av laserstrålens energi till komponenten. Dessutom ger heliums höga värmeledningsförmåga en effektiv värmeöverföring från lasern in i materialet vilket innebär möjlighet till en bra inträngning och hög svetsastighet. Vätningen blir bättre jämfört med gas som har stor atomdiameter och jämfört med argon en mindre värmeledningsförmåga.

Användningen av helium medför tyvärr vissa nackdelar, omgivande temperatur och tryck, helium har en densitet på endast 0167 kg/m³ vilket medför att det blir svårt att förhindra luftkontaminering av svetszonen och att skapa ett bra och homogent skydd av svetsen. I jämförelse med Argon måste volymflödet trefaldigas. Uttryckt i siffror, 10 l/min Argon (densitet med 15° C, 1013 bar: 1669 kg/m³) ger ett bra och homogent skydd av svetsen, minst 30 l/min Helium kommer behövas för att nå samma homogena gasskydd. Dessutom



Figur 1.
CO₂-laser
– plasmabildning /
inträngning, laser 6kW,
hastighet 5m/min

om används helium på grund av sina speciella egenskaper mer och mer för högteknologiska tillämpningar och det finns en ständigt ökande efterfrågan på helium på världsmarknaden. Jordens tillgängliga resurser är begränsade vilket kommer att ha en allt större inverkan på heliumpriset.

På grund av begränsad tillgång och därmed risk för ökande pris arbetar Air Liquide med att optimera alla parametrar, gasförsörjningssystem och processspecifika gasblandningar.

Resultat från Air Liquidess forskning och utvecklingscenter visar påverkan av plasmabildandet i förhållande till gassammansättning och lasereffekt. När svetsning sker med 12 kW ger en gasblandning med >70% helium motsvarande resultat och inträngningsdjup som med ren helium. Vid svetsning med 2 kW är det tillräckligt med >20% helium i gasblandningen för att få en stabil process (diagram 1).

Gasblandningar har större densitet än ren helium vilket innebär att luften runt svetsprocessen hålls borta mer effektivt och att ett homogent gasskydd lättare kan skapas och upprätthållas. På grund av detta kan gasflödet minskas och i jämförelse med helium kan flödet i en blandning med 50/50 helium/argon minskas med upp till 60%.

Effekten av gasens kemiska egenskaper

De kemiska reaktionerna av de olika gasblandningarna tillsammans med den svetsade komponenten beror på grundmaterialets legeringssammansättning och dess temperaturberoende reaktivitet. Under termiskt inflytande kan grundmaterial, tillsatsmaterial och gasblandning reagera metallurgiskt och kraftigt påverka energiupptagning och svetskvalitet.

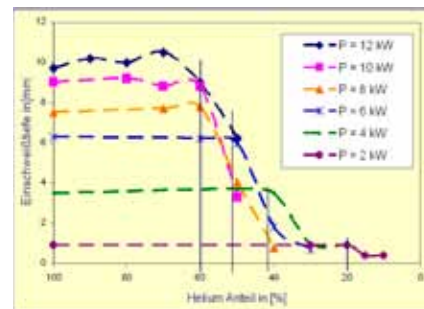


Diagram 1.
Argon i Helium (P = lasereffekt/kW)

Argon och helium har ett neutralt beteende från ett metallurgiskt perspektiv medan hydrogen har en reducerande effekt vilket innebär att en inert gas med hydrogen som tillsats ger en god vätning.

Koldioxid är näst intill inert upp till ungefär 600°C men med ökande temperatur faller gasen sönder till oxygen och kolmonoxid där graden av sönderfall är beroende av temperaturen. Vid höga temperaturer blir gasen aktiv, det separerade oxygenet har en oxiderande och kolmonoxiden en kolande effekt. På grund av oxidationen kommer en hastig uppvärmning och uppkolning att ske, framförallt på grund av den låga sträckenergi som lasersvetsning ger. Vid svetsning av stål med hög kolhalt eller höghållfasta stål finns en risk för sprickbildning. Med CO₂-laser är det en risk att de relativt stora CO₂-molekylerna defokuserar strålen och absorberar så pass mycket energi att processen blir instabil.

Blandningar som innehåller polyatomära gaser som nitrogen, hydrogen, koldioxid och oxygen faller sönder vid termisk påverkan. Den energi som skapas vid rekombinationen ökar energiöverföringen till grundmaterialet.

Konsumera hälften

En radikal diet

ÖVERSÄTTNING/BEARBETNING

HUBERT WILBS, TRUMPF MASKIN AB
AV EN ARTIKEL FRÅN TRUMPF LASER COMMUNITY.

Förväntningarna från konsumenter och politiker är tydliga: tillverkningsprocesser skall förbruka allt mindre energi och resurser.

Leverantörens förmåga att bidra till en energi- och resurssnål förbrukning under hela produktionsprocessen har blivit en allt viktigare nyckelfråga i tillverkningskedjan.

Så enkelt är det. Men ibland är det viktigt att påminnas själv, säger Marko Pfeifer. ”Nollkonsumtion finns inte. Den som vill tillverka något, måste använda energi och resurser.” Pfeifer vet vad han talar om. På Fraunhofer IWU deltog han i Green-Body projektet, vars syfte var att hitta ett sätt att minska energi och resursanvändning i produktionen av bilar. Han koordinerade delprojektet InnoCaT4 som har utforskat potentialen inom karosseritillverkning. ”Men detsamma kan naturligtvis sägas om ett kylskåp eller en mobiltelefon.” Processen, för en annan produkt skulle vara annorlunda. Men kunskapen är sannolikt densamma: ”Det fungerar bara i samarbete med leverantörerna”, säger Pfeifer.

Många företag påverkar mindre än hälften av energi- och resursförbrukningen för den slutliga produkten. Ansvarsfull användning av resurser blir viktigt i leveranskedjan – inte bara inom fordonsindustrin. Där märks det bara tidigare och mer kännbart. Bilindustrin är en av de viktigaste globala industrierna och ”early adopters” av nya rutiner och processer. Om något är viktigt för biltillverkarna då påverkar deras beteendeförändringar och teknologiska beslut synsätt och investeringar i företag över hela världen.

”Vi mäter varje energiförbrukare för att hitta möjligheterna.”

INGRID PAUL, AUDI AG.



Ingrid Paul

Hur viktig frågan om energi och resurseffektivitet i branschen är visar en föreläsning Ingrid Paulus, Senior Manager för Green Production hos Audi AG i Ingolstadt, höll för 270 gäster i auditorium hos leverantören TRUMPF: ”Vi sammanställer data för allting som förbrukar energi i vår produktionsprocess för att mäta var potentialen för förbättringar finns,” redovisar Paulus och listar upp en rad åtgärder som oftast inklude-

rar samarbeta med leverantörer. I ”Body-in-White monteringen av den nya Audi A3, optimerades svets- och svetsstångstyrningar tillsammans, med resultatet att såväl investeringarna som driftskostnaderna och utrymmeskraven minskade. På liknande ingående sätt undersöktes robotarnas rörelse av produktionsingenjörer hos Audi. Runda, mjuka rörelser kräver mycket mindre energi än kantiga. Ingrid Paulus ser även en stor potential i intelligent styrda belysningssystem: ”Robotarna arbetar utan ljus, endast vid mänskliga ingrepp är belysning nödvändig”, säger hon. Koncept med avstängning av utrustningen för både korta och långa pauser spelar en allt viktigare roll för att minska energi- och mediekonsumtion. Totalt kan hundratals megawatt sparas.

Detta är åtgärder som också finns i rapporter från Green Car Body-projektet, och ingen av dem är produktspecifika. Men åtgärderna kommer att leda leverantörerna till nya lösningar och de kommer att dyka upp i andra branscher. 2012 rapporterade Laser Community om produktionen av ugnar hos Electrolux. Leverantören EDAG AG har designat en lasersvets- och laserskärmlinje för Electrolux och då medvetet använt erfarenheter från produktionslinjer för fordonstillverkare: Även en bakugn är bara annan typ av kaross med ugn. På liknande kunskap bygger även många underleverantörer sin verksamhet. Ofta är det en säker och hög ordervolymer från fordonsindustrin, som möjliggör investeringar i avancerad tillverkningsteknik såsom 3D-laserskärmaskiner. När

tekniken finns, kan underleverantören erbjuda också andra kunder sina lasermetoder för att producera kundens produkter på ett effektivare sätt. Bilföretagens inköpsreglemente styrker denna process. Till exempel baserar Volkswagen leveransavtal på bland annat egna normer om miljöpåverkan, materialåtervinning och förbjudna material. Från de största leverantörerna kräver Volkswagen också en certifierad miljöledning enligt ISO 14001.

Följaktligen sprids en målmedveten optimering av energi- och resursanvändning inom bilindustrins underleverantörer. Michelfelder Automotive är ett exempel: Företaget tillverkar huvudsakligen komponenter för avgassystem i rostfritt stål. Kundernas krav på kontinuerliga effektivitetsökningar möter vd Peter Sohmer så: "Vi optimerar anläggningskonceptet och planerar produktionen intensivt för att maximera maskinernas utnyttjande. Med våra kunder, beslutar vi om Minimigränser för att förhindra slöseri med material. Det finns nu ett energibesparingskoncept och vår kontinuerliga förbättringsprocess visar om och om igen på nya besparingspotential", förklarar han. "Vi väddar också till våra leverantörer och partners att hitta ytterligare besparingar."

De insikter och idéer som uppstår introduceras även hos de andra företagen i Michelfelder gruppen, även de som har lite eller inget att göra med bilindustrin. Ett av dem är Michelfelder Metall- och Laserteknik där företagets laserkunskande finns koncentrerat. Som underleverantör erbjuder man sin expertis till kunder även i andra branscher. Ett annat exempel är Michelfelder Edelstahltechnik. Företaget använder gruppens erfarenhet av rostfritt stål för att erbjuda lösningar inom andra industrisektorer: såsom renrumsteknik, livsmedelsindustrin, för maskinbyggare och byggnadsteknik. Werner Huprich, en av de två styrelseledamöterna i bolaget, sade: "Fordonindustrin har inte monopol på konkurrenstryck, tekniska framsteg och kunder med mycket höga krav. Vi reagerar genom att öka graden av automatisering och

"I de flesta fall reparerar vi delar med en bråkdel av vad det skulle kosta att tillverka en ny del i energi och råvaror."

DAVE HUDSON,
JOINING TECHNOLOGIES



Dave Hudson

genom att eliminera efterbearbetning. Det betyder att laserbearbetning och framförallt lasersvetsning får en allt viktigare roll."

Att lasersvetsning är en nyckelteknik för energieffektiva konstruktioner, bekräftar det som svetsingenjör Holger Fischer berättar om produktionen av DSB-differentialen och DSB-dubbelkopplingen hos Volkswagen AG: "Vi har i ett första steg, ersatt skruvar eller nitar som sammanfogningsmetod med CO₂-lasersvetsning med tillsatsmaterial. Detta minskade komponentvikten med ungefär ett kilo", säger Fischer. "I det andra steget bytte vi till disk-laser. Dessa har en nästan dubbel så hög effektivitet och ökar processhastigheten avsevärt." Fischers andra exempel, DSB dubbelkopplingen, har 9 svetsfogar som alla är lasersvetsade. Med två undantag är alla stumfogar, som sparar flänsar och på så sätt material. Här använder VW disk-laser mycket effektivt, som

Fischer berättar: "Ett laseraggregat försörjer via fiberoptisk kabel flera svetsstationer. Så undviks de flesta improduktiva stand-by tider."

Att använda laserkällan på ett effektivt sätt är bara en av många möjligheter för att kompensera det uppenbara handikappet lasern har jämfört andra metoder – dess höga strömförbrukning. Det blir tydligt när jämförelsen omfattar hela processen. Frank Riedel från Fraunhofer IWU har inom ramen för Green Car Body projektet undersökt termiska fogningsprocesser. Han har redan i ett tidigt skede avvisat tanken att använda parameter som energiförbrukning eller energi per längdenhet som enda jämförelsevariabler: "Alltför många faktorer lämnas då utanför. Vi beslutade därför att betrakta fogningsprocesserna som en "Black Box". I den Boxen matade vi in allt som krävs för sammanfoga två ämnen på en längd av en meter: den direkta energiförbrukningen och den indirekt energiförbrukning vid processförberedning, efterbearbetning, processtiden, förbrukad material, platsbehov...". Sedan jämförde teamet scenarier med olika sammanfogningsprocesser och Riedel konstaterade: "Om vi letar efter den maximala energieffektiviteten för en enhet hittar vi det perfekta resultatet oftast som en blandning av metoder, inklusive laser." Men det står mot en viktig trend i produktionen: "Där är det idag fråga om att använda ett mindre antal metoder på ett flexibla sätt" som Riedel förklarar. Det medför att betydelsen av den extremt flexibla Lasern fortsätter att öka.

Även om man använder energi- och resursfokus, anser Riedel att Lasern har klara fördelar jämfört med andra svetsprocesser. "Materialet måste smältas även med Lasern, men på grund av den kraftiga energifokuseringen är smältvolymen extremt liten", säger han. Därför vinner Lasern i många scenarier, även om dess elektriska verkningsgrad är lägre än den i andra processer. Lasern använder sin energi i arbetsstycket extremt effektivt, den värmer upp och smälter bara en nästan perfekt minimal volym. Och: "Ingen behöver förbruka energi

för att förbereda stora svetskanter och svetsfogar, för att minska värmspänningar, för att slipa och rikta svetsade detaljer. Ofta räcker enbart detta för att slå andra metoder i energibalansen”, konstaterar Riedel.

När dessa Lasersvetsar – eller Laserskärningar – sedan används för att skapa mera stabila strukturer med mindre material, förbättras balansen ytterligare. Det bekräftades under de senaste åren inom bilindustrin bland annat inom power train men även på höghållfasta stål i kassan. De tunnare plåtjocklekarna i optimalt konstruerade karossdetaljer sparar en hel del vikt – det vill säga materialmängd. Den utvecklingen har möjliggjorts av högproduktiva Lasermaskiner, som klarar av det motsträviga materialet även i stora serier. Samtidigt öppnade bil-tillverkarnas målsättningar att spara material och vikt nya affärsmöjligheter för underleverantörer inom processkedjan plåt.

På samma positiva sätt hjälper Lasern till att förlänga drifttiden för detaljer som tillverkades med stora mängder av energi och material: Reparationssvetsning har blivit ett eget affärsområde. Amerikanen Michael Francoeur har sedan starten varit en del av den växanden trenden. 2005 beslutade han att hans företag Joining Technologies skulle arbeta med reparationsorder från flygindustrin. Fokus låg på kostnadsbesparingar: Inom Aerospace finns det många

”Energisparande koncept, kontinuerliga förbättringsprocesser, undvika slöseri med material.

Vi gör en hel del och vi konfronterar våra leverantörer med våra förväntningar.”

PETER SOHMER,
MICHELFELDER AUTOMOTIVE



Peter Sohmer

dyra precisionsdetaljer. Att reparera slitage, skador eller tillverkningsfel med Lasersvetsning kostar ofta betydligt mindre än att ersätta dem helt. Men Michael Francoeurs partner och vd för Joining Technologies, Dave Hudson poängterar även den resurs-sparande aspekten av hans arbete: ”För våra kunder är det ännu inte högsta prioritet men i de flesta fall använder vi en bråkdel av den energi och det material som skulle behövas för en ny del.” De mest populära exemplen på denna typ av reparationer är turbinblad och -hjul. Men även massiva axlar eller stora cylindrar för marindiesel är lönsamma objekt där nytillverkning kräver långt mer material och energi än en reparation.

Hursomhelst: Att tänka nytt i termer av resurser och energi och sökandet efter möjligheter till optimering av förbrukad energi och använda råvaror, har redan börjat, särskilt i den extremt kostnadsdrivna bilindustrin: ”Vårt mål var att spara 50 procent energi,” säger Pfeifer. ”Det har vi inte uppnått i varje forskningsuppslag. Men i slutändan är vi alla överens om att de besparingspotential som vi har hittat faktiskt kan förverkligas. Mycket har förändrats i medvetandet.” Det har också många underleverantörer uppmärksammat. Och allt fler bygger sin framtid på det.

Kontakt:

TRUMPF Maskin AB, Hubert Wilbs

FÖLJ MED PÅ STUDIERESA TILL TYSKLAND APRIL 2015

Se hur tyska företag använder laser



LaserGruppen planerar en studieresa till Aachen-området i västra Tyskland under april 2015.

Där finns en mängd verkstadsföretag och tunga forskningscentra som använder laser.

Vi planerar en resa där vi får träffa spännande företag som framgångsrikt har installerat laser i sin produktion.

Lämna redan nu plats i kalendern för några dagar i april i ett vårvarmt Tyskland för att se och lära mera hur andra företag har lyckats med lönsam produktion med laser.

Mera information kommer i kommande nummer av LaserNytt och på LaserGruppens hemsida.

Kontakta gärna Per Westerhult,
per.westerhult@svets.se

LASER
LASERGRUPPEN



Typ av laserkälla vid industriell tillverkning

Finns det behov för alla nuvarande typer av laserkällor vid industriell tillverkning eller kommer någon av dem att bli helt dominerande i framtiden?

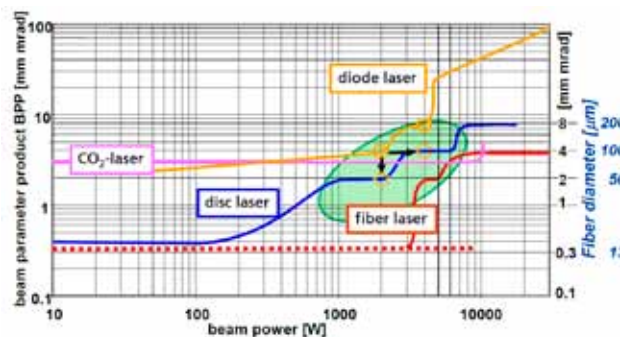
JOHNNY K LARSSON
VOLVO CARS

Fraunhofer IWS [Institut für Werkstoff und Strahltechnik] i Dresden har sedan några år tillbaka arrangerat en diodlaserkonferens på "bi-annual"-basis. Att tyngdpunkten lagts på diodlasrar är förståeligt då IWS' kompetens främst ligger i laserhårdning och -påläggning, forskningsområden som också prioriteras hos systerorganisationen Fraunhofer CCLA [Center for Coatings and Laser Applications] i Plymouth, MI. I år hade man emellertid valt att bredda utbudet och lanserade därför ett internationellt symposium för fiber-, disk- och diodlasrar, vilket kombinerades med ett specialprogram som behandlade andra fogningstekniker som MPW [Magnetic Pulse Welding], FSW [Friction Stir Welding] och mer klassiska processer som motståndsvetsning och lödning. Dock kommer jag här att inrikta min rapportering på lasertekniken.

Detta symposium hölls den sista veckan i februari i Dresdens "International Congress Centrum" där vi hälsades välkomna av professor Dr. Eckard Beyer, institutionsförestandare vid IWS och tillika nyutnämnd hedersdoktor vid det tekniska universitetet i Wroclaw [Fig. 1]. Vi var cirka 450 delegater som inledningsvis fick se en spännande balett benämnd "Water and Fire", där symboliken låg i att de två elementen skulle bygga en bro mellan varandra snarare än att strida. Detta



Figur 1.
I november i fjol promoverades professor Eckard Beyer (t.v.), under högtidliga former, till hedersdoktor vid Wroclaw Technical University.



Figur 2.

Med den förbättrade strålkvalitet som framförallt disk- och diodlasrar presenterat på senare tid kommer de olika lasertyperna att mer eller mindre överlappa varandra inom de effektområden som är intressanta för verkstadsteknisk produktion!

var något som sympatiske Dr. Beyer, vilken jag f.ö. haft förmånen att vara bekant med under mer än tjugo år, knöt an till i sitt inledningsanförande. Han beskrev den hisnande utveckling som skett då det gäller laserkällornas förbättrade strålkvalitet [Fig. 2], något som man kan påstå drivits fram i konkurrens mellan de olika lasertillverkarna, men där man som slutanvändare idag snarast skall betrakta de olika laserkällorna som komplement till varandra. Det blir

helt enkelt en fråga om att använda "rätt laser till rätt ändamål". Då vi pratar om strålkvalitet i termer av BPP [Beam Parameter Product] ligger den fysikaliska gränsen för vad som kan uppnås, s.k. "fraction limitation", vid 0,34 mm*mrad. Ett sådant värde är idag möjligt för en 2 kW fiberlaser, vilket innebär att man har en strålkvalitet som kan konkurrera med en elektronstråleutrustning.

För de tre lasertyperna sammanfattade Dr. Beyer var "State-of-the-

Art” befinner sig idag:

Disklasrar:

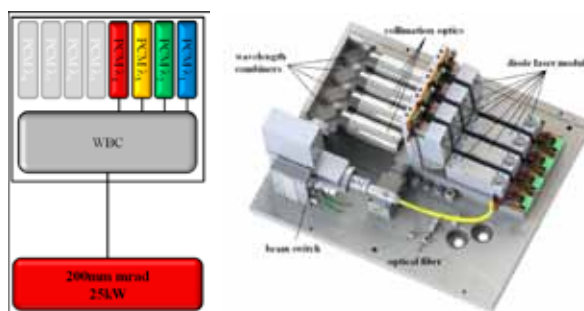
2 kW – 2 mm*mrad, 3 kW
– 4 mm*mrad, 8 kW - 8 mm*mrad

Fiberlasrar:

5 kW – 2 mm*mrad, 10 kW
– 4 mm*mrad

Diodlasrar:

2 kW – 4 mm*mrad,
4 kW – 8 mm*mrad



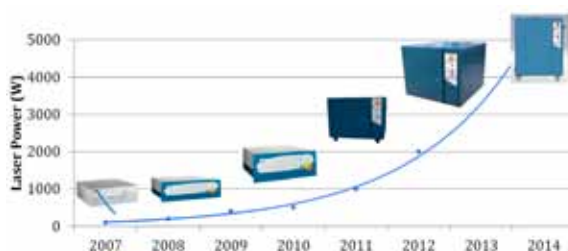
Figur 3.

Att kombinera olika våglängder i laserkällan, s.k. WBC [Wavelength Beam Combining], är hemligheten bakom Laserlines koncept för diodlasrar med hög effekt, här exemplifierat med deras senaste 25 kW-produkt.



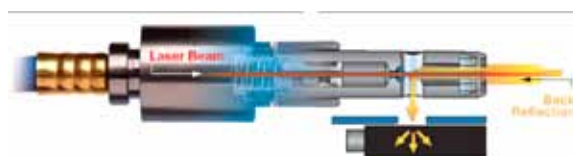
Först ut bland företagsrepresentanterna var Dr. Christoph Ullmann från Laserline som beskrev företagets nya 25 kW-enhet. Denna kombinerar 8 diodstaplar med olika våglängder vilket resulterar i en laserstråle med "tophat"-distribution av energin och en N.A. [Numerisk Apertur] på 0,2. Strålkvaliteten ligger på 200-220 mm*mrad och den passiva distributionsfibern har en diameter på 2 mm. Med denna form av våglängdskombination [Fig. 3] höll Dr. Ullmann det inte för uteslutet att man i framtiden skall kunna erbjuda ännu högre lasereffekter på mellan 50-100 kW. Man håller idag ett "världsrekord" då det gäller verkningsgraden för laserkällor, s.k. WPE [Wall Plug Efficiency], där man med sin 4 kW laser LDF-4000-100 kan garantera ett värde på 48%. Några ord spenderades också på att beskriva Laserlines senaste innovation där man integrerar en aktiv fiber i diodlasern och kan på så sätt utvinna en bättre strålkvalitet, något som man idag kan erbjuda med produkten LDF 4000-8 med en BPP på 8 mm*mrad och en WPE kring 30%. Mer om detta finns att läsa på annan plats i detta nummer av LaserNytt [Rapport från EALA].

Vi som upplevde industrins "laserungdom" kan minnas företaget Lumonics med huvudsäte i Rugby, U.K., som i början av 1990-talet laserade sin revolutionerande JK-serie av Nd:YAG-lasrar med cirka 700 W uteffekt. Sedan dess har "mycket vatten runnit under broarna" och företaget har varit föremål för ett antal omorganisationer och ägarbyten. Numera heter man JK Lasers och är en del av GSI Group och representerades på symposiet av Mr. Mark Richmond. Denne gentleman beskrev



Figur 4.

Här ser vi hur uteffekten från JK Lasers' sortiment av fiberlasrar ökat över åren, och där man idag erbjuder enheter med upp till 4 kW effekt.



Figur 5.

Distributionsfibern JK Luminator™ är försedd med en kapillärtub som tar hand om återreflekterat laserljus och skickar detta till en s.k. "beam-dump", vilken kan kombineras med en sensor för processövervakning.

deras nya fiberlaserserie som kan fås med effekter upp till 4 kW [Fig. 4]. De byggs upp av moduler som består av deras "Smart Laser™", vars distributionsfiber [JK Luminator™] är försedd med ett skydd för återreflektion av laserstrålen [Fig. 5]. Detta är i form av en kapillärtub som omger den aktiva fibern. Med denna lösning blir det också möjligt att använda den återreflekterade laserstrålen för processövervakning alternativt till att fastställa fokuspunktsläget.

Berthold Kessler från IPG beskrev företagets modellprogram som numera omfattar fiberlasrar i våglängdsområdet 500 nm till 2 µm med effekter mellan 100 W och 100 kW, samt strålkvaliteter från 0,4 till 45 mm*mrad. Strålkvaliteten 0,4 mm*mrad kan man få ur en 5 kW "single mode"-laser med vilken det går att svetsa 50 mm tjockt alumi-

nium med s.k. NGT [Narrow Gap Technology]. De "gröna" lasrarna med 532 nm våglängd erbjuds idag i pulsad version upp till 15 W med effekttoppar på 20 kW, medan den kraftfullaste cw [continuous wave]-modellen levererar 500 W. De är baserade på frekvensdubbling av en Yb-fiberlaser med 20% verkningsgrad. Herrn Kessler nämnde också en Th-baserad fiberlaser med 1.940 nm våglängd, vilken har hög absorptionsgrad i transparenta plaster och biologisk vävnad. Denna lasertyp kan fås som luftkyld variant upp till 50 W effekt eller vattenkyld med ett maximalt effektuttag på 120 W. Annars utgörs IPG's största produktgrupp av Yb-lasrar med 1.070 nm våglängd där "värstingsmodellen" är en 100 kW-enhet med 15 mm*mrad i strålkvalitet och en distributionsfiber med 300 µm diameter.

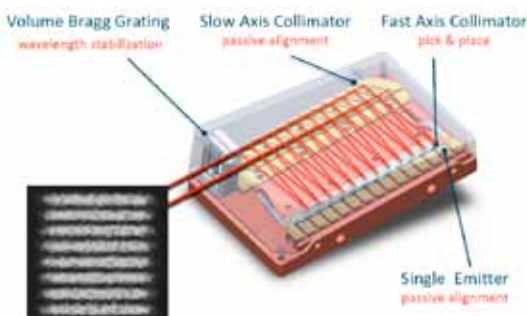
Till dags dato har IPG levererat över 2.500 skärlasrar och här nämndes speciellt modellen YLS-5000-CUT [Fig. 6]. Bland andra intressanta lösningar som visades upp var en YLS-12000-S2 med strålväxlare mellan en 200 μm -fiber för skärning och en 300 μm -dito för svetsning, samt en YLS-16000-S4 med två fiberutgångar för effektdelning vid skärning och en fiberutgång för svetsning. Herr Kessler visade också upp vad han kallade en "megapuls"-laser för färgborttagning med benämningen YLPN-50-120-4000-S [Fig. 6] vilken arbetar med 50 ns långa laserpulser. Avslutningsvis presenterades IPGs HE [High Efficiency] -lasrar som idag tillhandahålles med effekter upp till 6 kW, verkningsgrader över 40% och en strålkvalitet $< 2\text{mm}^*\text{mrad}$!

Självklart var också de två stora aktörerna inom området diodlasrar med hög strålkvalitet, DirectPhotonics respektive TeraDiode, närvarande vid detta lasersymposium. Andreas Grohe var den som förde DirectPhotonics' talan. Han beskrev konceptet som består av 90 mm breda halvledarelement på 10 W, där de resulterande strålarna läses vid olika våglängder med 4 nm intervall. Dessa sammankopplas i den s.k. "fast axis"-riktningen varpå man använder en monolitisk kollimering i den vinkelräta riktningen ["slow axis"]. Den utgående våglängden begränsas sedan med hjälp av ett s.k. Bragg volymgaller [Fig. 7]. Högeffektlasrarna byggs upp av dylika block om 500 W, och där man med våglängdskombination idag som mest kan åstadkomma 2 kW cw för våglängder mellan 915-1.550 nm och en strålkvalitet på 7,5 mm^*mrad .

Konkurrenten TeraDiode har ju visat upp en motsvarande 4 kW-enhet, men här nöjde sig Jay Liebowitz med att presentera företagets 2 kW diodlaser [Fig. 8]. Deras koncept bygger på s.k. WBC [Wavelength Beam Combining], där den genererade laserstrålningen från nio olika diodstavar med inalles 171 halvledarelement fokuseras mot ett diffractions-galler. Innan fokusering ligger strålkvaliteten från en diodstav på $M2=1,2$ utefter den s.k. "fast axis"



Figur 6. Några specialprodukter från IPG; cw-lasern YLS-5000-CUT för laser-skärning (närmast t.v.) och den ns-pulsade YLPN-50-120-4000-S speciellt utvecklad för färgbort-tagning på flygplanskroppar.



Figur 7. T.v. en principskiss över DirectPhotonics' koncept för att generera hög strålkvalitet ur en diodlaser; och t.h. ett detaljutsnitt av de ingående diodstavarna.



Figur 8. TeraDiodes 2 kW diodlaser byggs upp av TeraBlade™-moduler (t.v.) om 600 W.

medan $M2$ -värdet för "slow axis" ligger på 7,8. En sådan modul har produktbeteckningen TeraBlade™ och kan leverera en effekt på 600 W med en BPP under 3 mm^*mrad , och där den utgående laserstrålen kan transporteras vidare genom en 50 eller 100 μm grov fiber. Genom att kombinera fyra sådana moduler kan effekten skalas upp till 2 kW cw, och produkten har då beteckningen DLS-0970-02000-100 ur vilken man kan utläsa att den slutliga våglängden ligger på 970 nm [Fig. 9]. Enheten är synnerligen kompakt med mått-

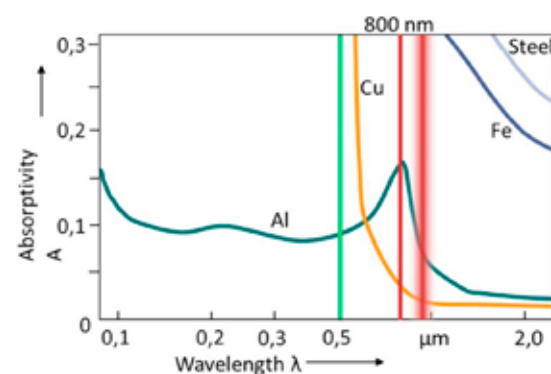
ten 0,9×0,9×0,9 m och påstås ha en verkningsgrad på 41%. Strålkvaliteten ligger på 4 mm^*mrad och den numeriska aperturen på 0,12. Med tanke på att diodstavarnas prestanda kontinuerligt förbättras höll Dr. Liebowitz det inte för uteslutet att vi snart kan få se individuella stavar som kan leverera 200 W jämfört med dagens 80 W. Detta skulle innebära att vi snart kommer att få se TeraBlade™-moduler med över 1 kW uteffekt, något som skulle möjliggöra diodlasrar med 10 kW effekt och bibehållen hög strålkvalitet.

Diplomingenjören Dirk Hauschild från LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH avslutade den synnerligen intressanta sessionen kring laserkällor med att berätta om hur man med en linjär fokalkpunkt kunde förfina ytor. Med en diodlaser och mikrooptiker för strålomformning kan man med kortpulser i μs - eller ms -skala utsätta ytskiktet för höga temperaturer utan att påverka substratmaterialet. På så sätt kan man omsmälda de funktionella beläggningar som finns på många av våra vardagliga elektronikprodukter för att därigenom öka verkningsgrad, förbättra kosmetiskt utseende o.s.v. [Fig. 10] I en jämförelse med att i stället använda "scanner"-teknik menade Herrn Hauschild att produktiviteten för linjelasern var 20 gånger högre! Detta verifierades med ett exempel där en 18 kW LIMO L3 Line Laser omsmalte en yta på "foton-nivå".

Nyheter

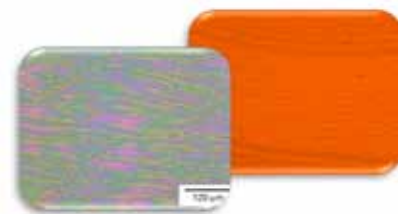
I och med att olika former av laserbearbetning inom verkstadsindustrin har blivit accepterade som mogna processer blir det allt glesare mellan de verkliga nyheterna, men precis som vid andra laserkonferenser fanns det dock några nya "guldägg" att hitta även här.

Något som jag själv inte hade kännedom om var den kortpulsatsning som genomförs med finansiellt stöd från EU-kommissionen. Om detta berättade professor Dr. Wolfgang Sandner från ELI [Elite Extreme Infrastructure, www.eli.laser.eu] som har sitt huvudsäte i Bryssel. Kommissionen har beviljat nästan 1 miljard euros i forskningsanslag fördelat på 5 MECU i en initieringsfas, 850 MECU för implementering och 60-80 MECU i en brukarfas, och man



Figur 9.

Med en resulterande laservåglängd på 970 nm erbjuder TeraDiodes diodlasrar optimal absorption vid bearbetning av aluminium.



Figur 10.

Ovan exempel på ytmodifiering av tunna folier för solceller genom kristallisering av ett absorberande skikt på glass, och t.v. LIMO Lissotschenkos kommersiella produkt "Activation Line 300" som arbetar med en linjär fokalkpunkt med i princip obegränsad längd.

vill skapa något som Dr. Sandner valde att kalla ett "CERN [Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire] för laserforskning". Tre forskningscentra är under etablering; ett för attosecond [10⁻¹⁸ sek] -forskning vid ELI-ALPS [Attosecond Light Pulse Source] i Szeged, Ungern, ett för högenergi processer [ELI-Beamlines] i Prag och ett för nukleär fysikforskning [ELI-NP; Nuclear Physics] i Magurele i Rumänien [Fig. 11]. Man hoppas med kortpuls teknik kunna nå petaWatt-nivåer [10¹⁵ W] i topp-effekt, där den fysikaliska begränsningen idag ligger vid 10 teraWatt [10¹² W], och intensiteter kring 10²⁴ W/cm². Vid en frekvens på 1 Hz skall då en toppeffekt på 1 PW ge ett ener-

günehåll på 50 J i de 50 fs [femtosecond = 10⁻¹⁵ sek] långa laserpulserna!

Forskningsklustret kommer att ha tillgång till minst 20 avancerade laserfaciliteter där man kommer att forska kring basal fysik, livsvetenskap, medicin- och biomedicinska applikationer, snabbelektronik och materialforskning främst kopplad till kärnreaktorer och hur man skall ta hand om och bereda kärnbränsleavfall. Fullt operativa kommer forskningsanläggningarna att vara först 2018, men då inbjuds laserforskare från hela Europa att delta genom ERIC [European Research Infrastructure Consortium].

En mer handgriplig innovativ laserlösning togrfördes av diplom-



Figur 11.

De tre tilltänkta forskningscentra inom ELI, fr.v. ELI-ALPS i Szeged, Ungern, ELI-Beamlines i Prag, Tjeckien och ELI-NP i Magurele, Rumänien.

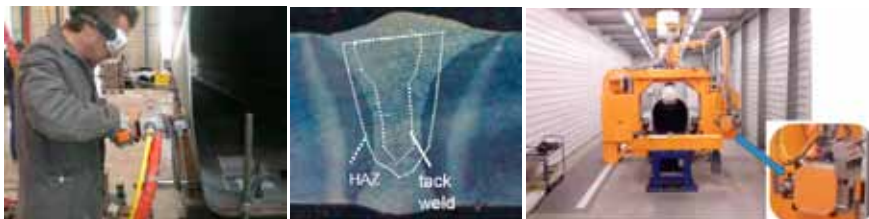
genjör Detlev Kruse från företaget Vlassenroot KSK GmbH i Bochum. Företaget tillverkar teleskoprör till mobilkranar vilka tillhandahålles i längder mellan 8-15 meter med vägg-tjocklekar på 4-12 mm i material som S900/1100QL. För något år sedan förde man in laserhybridsvetsning med en 12 kW fiberlaser vid tillverkningen där två rörhalvor stumsvetsas mot varandra [Fig. 12], och fann att lasertekniken var synnerligen lämplig för ändamålet då den avsevärt kunde minska värmedistorsioner, vilket var ett problem vid mer konventionella svetsmetoder. Problem uppstod emellertid när hybridprocessen skulle svetsa över de försvetsar som var utförda med GMAW [Gas Metal Arc Welding] på insidan av rören och med SAW [Sub-merged Arc Welding] på utsidan. Ofta uppstod olika svetsdefekter i dessa områden då försvetsarna störde stabiliteten hos laserhybridprocessen. Man hade då provat att utföra försvetsarna simultant från in- och utsida av rören med hjälp av två stycken CO₂-lasrar, dock utan någon större framgång. Lösningen kom då man i stället introducerade ett handhållet svetsverktyg kopplat till en 4 kW Nd:YAG-laser [Fig. 13].

Marco Holzer från Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH höll ett föredrag under titeln "The Power of Choice" där han menade att det var den aktuella applikationen som kom att bli bestämmande för vilken typ av laserkälla som är den mest optimala. Han fortsatte med att referera några av de innovationer som utvecklats av Trumpf, och berättade bl.a. om företagets mjukvaruprogram CutAssistance [Fig. 14] som kan reglera effekten vid tunnplåtsskärning i komplicerade geometrier och därmed säkerställa ett konstant högkvalitativt skärnsnitt. Mer om detta finns att läsa i LaserNytt 2-2013 och min rapportering från LAMP [Laser Advanced Materials Processing] i japanska Niigata.

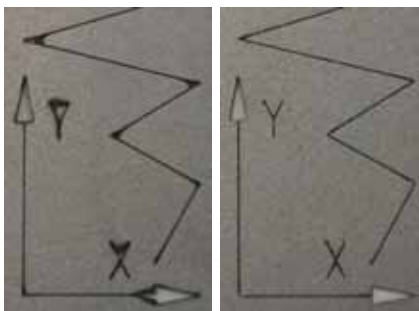
Ett intressant angreppssätt då det gällde att svetsa stål till aluminium var att först med hjälp av LMD [Laser Metal Deposition] och ett aluminiumpulver belägga ståldetaljen i de områden där svetsarna skulle po-



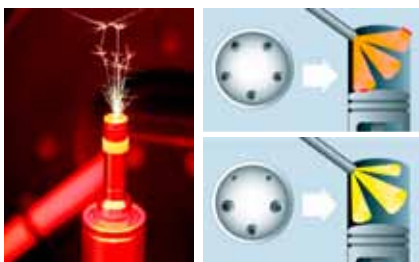
Figur 12. Teleskoprör till mobilkranar är huvudprodukten hos företaget Vlassenroot KSK GmbH i Bochum, vilka numera tillverkas med hjälp av laserhybridsvetsning och en 12 kW fiberlaser. Längst t.h. tidiga svetsförsök från 2008 med utrustning från Fraunhofer IWS.



Figur 13. Även häftsveitsningen av rörhalvorna sker med laserteknik (4 kW lampumpad Nd:YAG) och i tvärsnittet syns den överlagrade hybridsveitsen. T.h. en för detta ändamål nyutvecklad halvautomatisk fixtur med handhållet laserverktyg.



Figur 14. Laserskärning i tunnplåt utan (t.v) och med (närmast t.v.) Trumpfs mjukvaruprogram CutAssistance, som reglerar effekten vid komplicerade skärgeometrier där processhastigheten momentant sjunker.



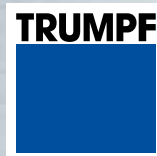
Figur 15. Genom att laserborra olika håldiametrar i insprutningsmunstycken (underst t.v.) kan man undvika onödig vätning av kol- och cylinderytor och därmed reducera bränsleförbrukningen hos en förbränningsmotor.

sitionerar varefter man kunde sammansmälta de två detaljerna med en annan laserkälla. Andra nyheter var:

- En höghållfast lödtråd av CuMn13Al8 som ger en brotthållfasthet på 540 MPa.
- Genom att laserborra olika håldiametrar i insprutningsmunstycken kan bränsleförbrukningen i en förbränningsmotor reduceras ytterligare [Fig. 15].

- Svetsning av stål till plast där laserstrålen ansätts på metallsidan och genom konduktiv värmning smältes plasten lokalt och skapar en förbindning.

Fortsätter i nästa nummer,
LaserNytt nr 3.



Säkra Dig för framtida behov



TruLaser Cell 3000. Unikt universell.

Det senaste inom kostnadseffektiv laserbearbetning av små och mellanstora detaljer har ett namn: TruLaser Cell 3000. Denna mångsidiga femaxlade maskin är kapabel att leverera 2D och 3D skärning och svetsning i toppkvalitet, inom allt från prototyper till hög volymproduktion. Modulär design och innovativa tekniska funktioner ger maximal flexibilitet att anpassa detta allt-i-ett system till dina skiftande behov samt en kontinuerlig produktivitetsfördel.

Säkra Dig för framtida behov med nya affärsmöjligheter och konkurrensfördelar inom 2D och 3D laserbearbetning.

www.se.trumpf.com

KALENDARIUM

2014

OKTOBER

15	Lasernytt 2-2014	
28	Laserdag Trumpf Maskin AB, Tunnpåat Centrum, Alingsås	Per Westerhult

NOVEMBER

27	Workshop Lasersvetsning, Högskolan Väst, Trollhättan	Per Westerhult
----	--	----------------

DECEMBER

5	LaserNytt nr 3-2014	
---	---------------------	--

2015

MARS

3-4	EFW Specialkurs Lasersvetsning, del 1, Luleå tekniska universitet	Hans Engström
19	Laserdag, Lasergruppens Årsmöte, Volvo cars, Olofström	Per Westerhult
24-26	EFW Specialkurs i Lasersvetsning del 2, Luleå tekniska universitet	Hans Engström

APRIL

28-29	EFW Specialkurs Lasersvetsning, del 3, Luleå tekniska universitet	Hans Engström
-------	---	---------------



LASER
nytt