

Lasernytt



2-2025



Internationella Svetskommissionens årsmöte (IIW) i Genoa



Lasersäkerhet och skaderisker



20th Nolamp – Copenhagen



Välkommen till Laserdag II



EFW ELB-B specialistkurs i laser- och laserhybridsvetsning

Under våren hölls en diplomerande specialistkurs i lasersvetsning. Med några års uppehåll har nu kursen börjat hållas igen, denna gång hölls den hos Swerim i Kista utanför Stockholm, i ett samarbete mellan Luleå tekniska universitet och Swerim. Kursdeltagare var från flera olika företag runtom i landet.

Kursen ger ett svetsdiplom som gäller internationellt och följer internationella riktlinjer från European Federation of Welding (EFW). Kursdeltagare får kunskaper om en laserkällas uppbyggnad, vad som skiljer laserkällor åt, hur optiken fungerar och kan anpassas för att passa olika laserbearbetningsprocesser och förbättra svetskvalitet, även kopplat till de maskiner som håller och styr laseroptiken. Kursdeltagare får även inblick i processmekanismer och hur olika material kan bearbetas och vad som behöver tas i beaktning vid svetsning i dessa. Även standarder, övervakningssystem, kvalitetssäkring och lasersäkerhet ingår.

En nuvarande trend på marknaden är ökad implementation av laserteknik inom både verkstäder och större industrier. De som nu läst kursen har bred, djup och purfärs kunskap om tekniken och utvecklingen inom områden, för att själva kunna omsätta kunskapen för processförbättringar eller vid inköp av ny utrustning.

Vi är glada över att tillsammans ha genomfört kursen och ha fått lära känna alla. Vi ser fram emot att hålla fler kurstillfällen och ser fram emot att se många fler framtida lasersvetsexperter.

– Nästa kurstillfälle planeras ske våren 2026 med start i februari. Kursupplägg är 3+3+2 dagar med lucka emellan där det vanliga arbetet och hemuppgifter i laserkursen löses. När kursplaneringen är färdig kommer info att läggas ut på svets.se samt swerim.se.

Jan Frostevarg, Alexander Lundstjälk, Joakim Hedegård, Ethan Sullivan och Tatiana Fedina



TDRI Robotics vinner Guldhanden 2025

TDRI Robotics har utsetts till vinnare av Guldhanden 2025 i kategorin Årets Automationsinnovation. Priset delas ut för deras banbrytande lösning som lyckats automatisera svetsning av aluminiumbåtar – En banbrytande innovation inom robotiserad svetsning

Att svetsa aluminium med robot har länge setts som nästintill omöjligt. Aluminium är ett levande material – det utvidgar sig under värme och kräver ständiga justeringar i realtid, vilket gör traditionella, förprogrammerade svetsbanor oanvändbara.

– Aluminium kräver ett flexibelt tänk och dynamisk teknik. Vi byggde ett system från grunden, med lasersensorer och adaptiv robotstyrning som gör att roboten själv hittar och följer fogarna, berättar Gábor Szabó, teknikansvarig på TDRI Robotics.

Guldhanden delas ut av tidningen Automation och syftar till att uppmärksamma framstående innovation, teknik och ledarskap inom svensk automationsindustri.

Manuell laser @GKN Aerospace

Vi inom metodtekniksvets började utreda om det fanns något företag i Sverige som lasersvetsade med manuell laser, då fann vi Ltech Ab som gör detta sedan 2015.

Vi tog kontakt med Patrik på Ltech och vi fick komma dit på studiebesök vilket blev en studieresa vilket resulterade i att vi köpte en Alflak 450fiber från Alphalaser.



Denna laser används till reparationer av flygkomponenter och har varit i bruk sedan 2019.

Materialen är oftast nickellegeringar.

2023 så tog vi även kontakt med Tim på LMI angående vi ville

göra svetsprover med en manuell laser, detta blev sedan gjort hos svetsmaskin service och 2024 köpte vi en IPG XC1500 maskin som vi kommer att använd inom nyproduktion.

Materialen är titanlegering som vi kommer att svetsa som första applikation i produktion.

Vi har även byggt en cell för klass 4 laser, som vi kan bara svetsa med en laser i taget med i samråd med företagets LSO.

Robert Leo



Lasernytt ges ut av

Lasergruppen c/o Svetskommissionen
Grev Turegatan 12 A, 114 46 Stockholm
Telefon: 08-120 304 00

Redaktör

Lars Hamrebjörk

Redaktionellt arbete

Lars Hamrebjörk
Telefon: 070-630 22 17
E-post: lars.hamrebjork@construedo.se

Ansvarig utgivare

Joakim Ekeröth

Lasernytt på Internet

www.lasergruppen.eu

Omslagsbild

Hamnen i Genoa
Foto: Pixabay

Layout: Marcus Dahlin, Dahlin grafisk design.

Tryck: Haninge Tryckeri



INNEHÅLL

Laserdag I – Älvsjö/Linde	4
Vad handhållen lasersvetsning är och inte är	6
Utmattning av lasersvetsade aluminiumfogar under strömbelastning	9
Välkommen till Laserdag II, 2025	12
Lasersäkerhetsklasser, våglängder och skaderisker	14
Välkommen till Lasersäkerhet del-II, 2025	16
Laserbaserad tillverkning, utvecklingstrender presenterade vid vid internationella svetskommissionens (IIW) årsmöte i Genoa	18
Internationella Svetskommissionens årsmöte (IIW)	26
– Tema Handhållen lasersvetsning	
Kalendarium	30
Internationella Svetskommissionens årsmöte (IIW)	31
– kombinerat blått + infrarött lasersystem	
LAMP conference – Laser news från Japan	32
Copenhagen meets laser	34
– The 20th Nordic Laser Materials Processing Conference	
Rapport från internationellt svetsmöte i Trollhättan	38
Termer och definitioner lasersvetsning – del 2	40
Nostalgiartikel	42
Medlemsföretag	44

Tankar från styrelsen

3D-printing – ett uppsving för branschen

Först och främst tänkte jag ta tillfället i akt att presentera mig. Jag heter Robert Leo och jobbar vid GKN Aerospace där jag 2008 började arbeta med lasersvetsning.

Jag har varit styrelsemedlem sedan 2024 och tog över denna plats i styrelsen som ordförande i Lasergruppen efter Jan Frostevarg.

Speciellt den senare delen av årtiondet har intresse snabbt ökat för additiv tillverkning, även känt som 3D-printing. Detta har inneburit ett uppsving i antalet aktörer som direkt eller indirekt använder sig av laser vid tillverkning. Speciellt pulverbäddssystem (Laser Powder Bed Fusion, L-PBF) används mer för större applikationer som bygger på påsvetsningsteknik (ex Direct Energy Deposition, DED, med pulver eller tråd). Mycket av utvecklingen inom additiv tillverkning ligger i material och system, men även för att öka återbruk av metallpulver i högre utsträckning än tidigare.

Ett exempel är energiförsörjning och metaller, men även förädlade produkter. Här tror jag att 3D-printing i metall har en viktig roll att fylla. Men för att det ska kunna realiseras på en bred front behöver kunskaper, tänka om och adaptation ske hos många små- och medelstora företag eftersom tekniken fortfarande är dyr och komplex.

Här finns det mycket att ta tag i framöver. För att belysa frågeställningarna kring handhållen lasersvetsning har en nationell samverkansgrupp skapats i Sverige med intressenter från industrin, maskinleverantörer och institut

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



Robert Leo
Ordförande Lasergruppen



Laserdag I 2025 deltagare från vänster: Joakim Ekeröth, Svetskommissionen, Mattias Gustavsson, Oerlikon, Hans Torstensson, Volvo CE, Ethan Sullivan, Swerim AB, Jan Frostevarg, LTU, Mikael Juntti, Ferruform AB, Scania, Daniel Björkström, Alfa Laval Technologies AB, Niklas Andersson, Trumpf, Mikael Olsson, Trumpf, Robert Leo, GKN Aerospace Sweden AB, Stephanie Robertson, Scania, Ej med på bild, Bogoljub Hrnjez, Linde Gas AB.

Laserdag I 2025 – Älvsjö

Tisdag den 6 maj hölls Laserdag I och Årsmötet för Lasergruppen på Scandic Talk i Älvsjö i samverkan med Welding & Automation Expo på Stockholmsmässan.

Dagen inleddes med att ordförande Jan Frostevarg hälsade deltagarna välkommen till Årsmötet för Lasergruppen. Under årsmötet valdes Robert Leo från GKN Aerospace Sweden AB, som ny ordförande för Lasergruppen. Jan Frostevarg som lämnar Luleå Tekniska universitet och börjar på Duroc, fortsätter dock som styrelsemedlem i Lasergruppen. Dessutom valdes Fredrik Sikström, Högskolan Väst, och Ethan Sullivan, Swerim, som ledamöter på två år. Styrelsen består i övrigt av Mikael Juntti, Scania Ferruform, Bengt Johansson, Teknikcentrum i Gnosjö, Mikael Olsson,

Trumpf Maskin och Bo Williamsson, Linde Gas.

När årsmötet var avslutat så hälsade Jan Frostevarg alla välkomna till Laserdag I 2025. Första föredragshållare var Niklas Andersson från Trumpf som pratade om Automation 2D-skärning med laser. Nästa föreläsare var Bogoljub Hrnjez från Linde Gas som hade ett intressant föredrag om Partiklar vid laserskärning, inverkan på lasermaskiner och filterlösningar. Efter en bensträckare fortsatte Ethan Sullivan från Swerim om vad som pågår inom forskning av lasersvetsning på Swerim. Jan Frostevarg höll sedan ett

tankeväckande föredrag om Utveckling och trender inom laserområdet, applikationer och laserteknologi. Det sista föredraget för dagen hölls av Stephanie Robertson från Scania om E-mobility, ett område med potential för laserbearbetning. Jan Frostevarg avslutade sedan föreläsardelen av Laserdagen med en lunch på Scandic Talk. Efter lunch fortsatte sedan Laserdagen med ett besök på Welding & Automation Expo på den näraliggande Stockholmsmässan. Man besökte där bland annat Svetskommissionen monter och övriga intressanta utställare.



Lars Hamrebjörk
Redaktör, Lasernytt



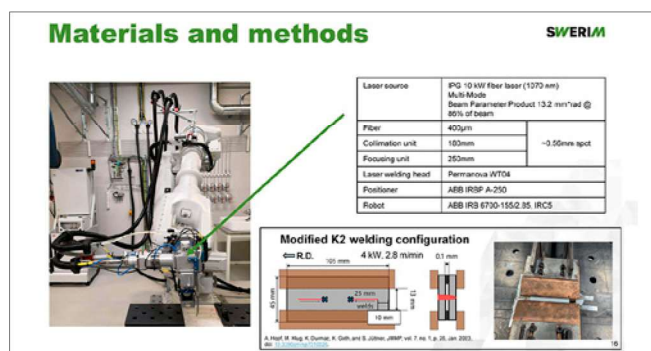
Ny ordförande för Lasergruppen, Robert Leo, GKN Aerospace Sweden AB.



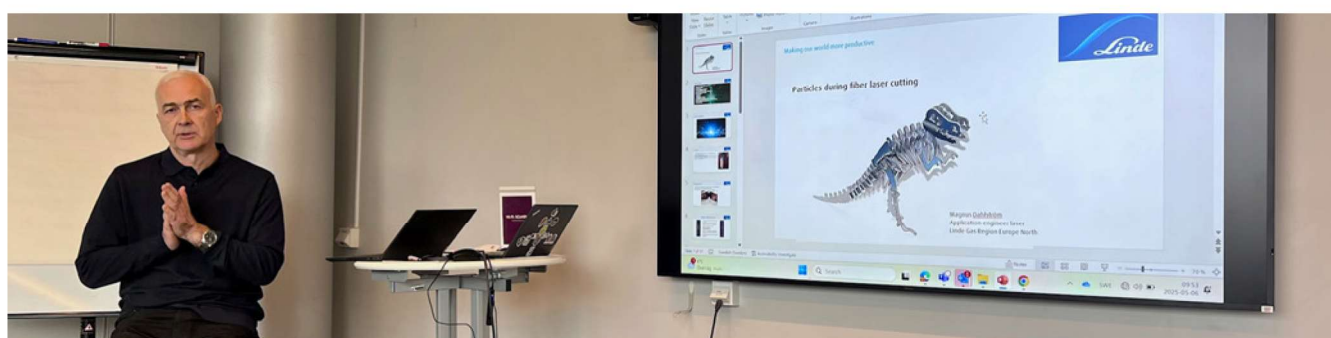
Jan Frostevarg hälsar alla välkomna till Laserdagen och intressant dag med flera lärorika presentationer.



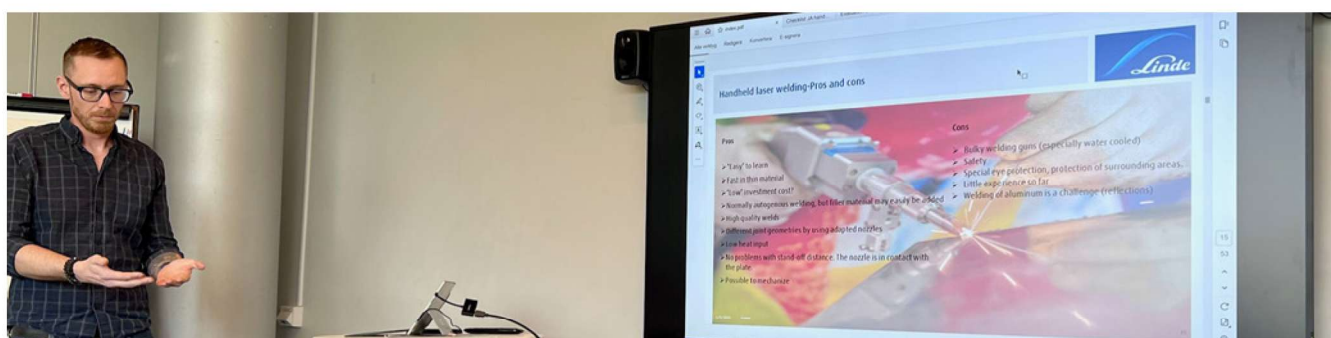
Utdrag från Ethan Sullivans föredrag.



Ethan Sullivan berättade vad som pågår inom forskning av lasersvetsning på Swerim.



Bogoljub Hrnjez höll ett föredrag om Partiklar vid laserskäring, inverkan på lasermaskiner och filterlösningar.



Jan Frostevarg berättade om Utveckling och trender inom laserområdet, applikationer och laserteknologi.



Stephanie Robertson från Scania berättade om E-mobility, ett område med potential för laserbearbetning.



Figur 1: Gruppbild Samverkansgrupp, från vänster: Timothy Hamblin-Smith vid LASER MACHINING INC. LMI AB, Lars Aronsson vid Pepab Produktionspartner AB, Mikael Juntti vid Scania Luleå | Ferruform AB, Daniel Björkström vid Alfa Laval Technologies AB, Stig-Olof Elmelind vid Pepab Produktionspartner AB, Jan Frostevarg vid Luleå tekniska universitet / Duroc Laser coating AB / Boreal lasersystem AB, Mikael Edh Pepab Produktionspartner AB Jarmo Meriläinen vid AB Alvenius Industrier, Nils Hassel vid RFR Solutions AB, Mikael Siversson RFR Solutions AB, Magnus Nielsen vid RFR Solutions AB, Robert Leo vid GKN Aerospace AB, Joakim Ekeröth vid Svetskommissionen.

Vad handhållen lasersvetsning är och vad det inte är



Jan Frostevarg
Luleå tekniska universitet
(numera vid Duroc laser coating)

I början av maj arrangerades en första nätverksdag för handhållen lasersvetsning & rengöring (HLBW), i samband med Laserdag och Svetsmässan Welding & Automation i Älvsjö i Stockholm.

Utvecklingen av handhållen lasersvetsning har gjorts främst i Europa och USA, där många tekniker har försökts genom åren. Genom tekniska landvinningar har IPG utvecklat teknik och gjort det möjligt att manuellt kunna svetsa med laser. Andra tillverkare tog mycket snabbt efter och nu är det en teknik som på mycket kort tid börjat segla in på

marknaden, speciellt från Kina. Det har skett rapporterade allvarigare olyckor i andra länder, exempelvis Kanada och Australien, men där de används mest syns inga liknande, möjligtvis för att marknaden inte är lika reglerad. Det dock tydligt att det finns en schism mellan oseriösa och seriösa industriella säljare av system. Vid mässan demonstre-

rades system av de som anses vara mer seriösa aktörer. HLBW är en ny metod som för tunnare plåtar kan göra svetsarbete mer ekonomiskt och hållbart på flera sätt, verkar för bättre arbetsmiljö, jämnare resultat mellan svetsare och möjliggör svetsning i nya fogar och material som för ljusbågssvetsning har svårt för eller inte alls klarar. Eftersom svetspistolen ska vara i kontakt med ytan (tre funktioner: säkerhetsfunktion, säkerställa laserfokusering och skyggsgastillförsel) så blir svetsrörelsen praktiskt annorlunda än vid ljusbågs-

Vad HLBW är	Vad HLBW inte är
En metod för att svetsa olika material och i nya olika typer av fogar, ex överlappsfogar och lättare svetsning i aluminium, koppar och titan.	Billig, jämförelsevis MIG/MAG eller TIG/TAG
En metod som kan jämna ut kompetensbristen inom manuell svetsning då den är lättare att lära sig hantera	En metod för att svetsa i tjocka material
En metod som likt andra svetsmetoder kan certifieras utifrån gällande aktuella standarder och procedurer (ex WPQR och WPS inklusive procedur och svetsarprovning) En metod liksom andra heta arbeten kräver särskilda anpassade säkerhetsåtgärder	En metod för att fylla igen stora spalter
En metod som har hög precision som möjliggör små och detaljerade svetsfogar. Den ger även låg värmepåverkan vilket ger mindre deformation och värmepåverkan på grundmaterialet	En metod där noggrann fogberedning inte är tillämplad eller tillämplbar
En metod som är snabb och ger minskad resursförbrukning och renare arbetsmiljö	En metod som ska användas av nybörjare utan kunskap inom svetsning
<i>Särskild hänsyn behöver tas gällande lasersäkerhet</i>	

Fördelar med handhållen ljusbågssvetsning	Nackdelar med handhållen ljusbågssvetsning
Vissa bågsvetstekniker kan vara lämplig för utomhusapplikationer, även under ogynnsamma väderförhållanden	Svårigheter med tunna material: Hög värme skapar deformation, skevhet eller genombränning
Bågsvetsutrustningens bärbarhet gör det möjligt för operatörer att vara flexibla och arbeta på en mängd olika platser	Tar tid att lära sig, kan vara stor skillnad i resultat mellan operatörer
Bågsvetsning kan användas för att sammanfoga tjockare metallbitar. Anpassningsbar och kompatibel med en mängd olika legeringar och fogtyper	Slagg och sprut: Under svetsprocessen bildas ofta slagg eller stänk som kan vara besvärligt och kräver efterbehandling, rengöring, polering eller slipning
Bågsvetsning är billigare i inköp än lasersvetsning och kan användas för att svetsa större ytor	Säkerhetsrisker: Bågsvetsningsprocessen producerar stark värme, UV-ljus och potentiellt giftiga gaser. För att minska hälsoproblemen måste svetsare vidta nödvändiga säkerhetsprocedurer, såsom att bära skyddsutrustning och upprätthålla optimal ventilation.
Det finns mycket kunskap och erfarenhet kring bågsvetstekniker	Långa svetsstider: Bågsvetsning tar ofta lång tid. Tillsats av material kan göra den långsammare och flera svetssträngar kan behövas för att skapa en färdig svets.

svetsning. Systemet pendlar laserstrålen över ytan medan operatören ska dra pistolen längs med svetsfogen. Kontaktdonen som ska dras längs ytan har olika utformning beroende på vad som prak-

tiskt fungerar bäst för olika geometrier. Därför kan stöd läggas vid fogen för att operatör ska lättare kunna erhålla goda svetsresultat. Fogen i sig kan även ibland fungera som en guide för att dras rakt.



Figur 2: Svetsresultat i 2mm Strenx från SSAB, där a) är foto från ovasida, b) är motsvarande rotsida och c) bild från höghastighetsfilm.

Dessa system har oftast en inbyggd rengöringsfunktion, som kan bränna bort smuts från ytan innan svetsning, eller ta bort missfärgningar efteråt för att bättre bibehålla korrosionsegenskaper. Det är teknik som är här för att stanna, som har många stora fördelar, men vi behöver lära oss mer och nå en branschkonsensus om hur användande bör ske.

Deltagare vid detta event är med på bild i Figur 1. Under dagen presenterades best practice av Timothy Hamblin-Smith vid LASER MACHINING INC. LMI AB, hur arbete med tekniken bör användas för att vara säkert. Vi såg även implementation av tekniken hos GKN Aerospace under flera år och lessons learned av Robert Leo. Jan Frostevarg vid LTU presenterade både vad som diskuterades under det första lasersäkerhetsmötet, marknadsundersökning för implementering av metoden i norra Sverige och en påbörjad studie för betydelse av skyddsgas och rengöring för processtabilitet och porbildning för olika material (projektet InHal finansierat av Tillväxtverket och HALVIN finansierat av Norrlandsfonden).

Tekniken är omvälvande och kan i vissa fall vara banbrytande, men det är viktigt att påpeka vad HLBW är och vad det inte är, för liksom andra verkstadsmetoder så har den potential att till del ersätta eller fyller i vissa nischer. Ljusbågssvetsning (ex MIG/MAG, TIG/TAG) är tillförlitliga metoder som många kan och har använd under många år, men som också har sina fördelar och nackdelar.

Det börjar finnas system i många olika prisnivåer, där de billigare riktar in sig mot små firmor eller privatpersoner. Detta är problematiskt ur två synvinklar: 1. Dessa system har ofta stora brister i säkerhet och i faktisk prestanda och 2. De som köper dessa får inte kännedom om lasersäkerhet och vilka åtgärder som behöver tas för att kunna användas säkert. För industrier finns

det dyrare system som då också har betydligt bättre egenskaper och är säkrare, samt att dessa företag är måna om att utrustningen ska kunna användas på ett säkert sätt. För dessa företag är det i marknadsstudier utförda i norra delen av landet att eftersom det är ny teknik och den har vissa begränsningar och dessutom inklusive skyddsväggar och utrustning får en ganska hög prislapp, så är det företag som behöver ha en relativt hög nyttjandegrad som investerar i systemen. Häften av företagen som in-
vetrvjuats har som målsättning att låta en Cobot använda systemen och då ökar kostnaderna ytterligare. Implementerande företag blir då de som arbetar med material med relativt hög volym inom spannet 0,2-4mm tjocka gods och redan har låga toleransavvikelser i de detaljer som ska svetsas. De tittar då också på fördelar särskilt med att kunna genomföra överlappsfogar för att kunna dölja svetsar eller minska detaljer i sin tillverkning. Att öka svetskvalitet och minska deformationer och kunna er-
hålla jämnare resultat mellan operatörer är också av intresse, för de företag som ligger inom detta område.

I Figur 2 visas resultat från svetsning i Strenx från SSAB, med både ovan och rotsida. I Figur 2c visas en bild från höghastighetsfilmning. Notera att laserstrålen inte syns, kanten som svetspistolen dras mot och den förhållandevis korta smältpölen. Laserstrålen pendlar tvärs över fogen i svetsriktningen och skapar därigenom en stor smältpöl. Den lilla laserstrålen skapar ett förhållandevis litet nyckelhål i smältpölen och instabilitet från processen dämpas då nästintill helt av ytspänning i den relativt stora smältan runt omkring. Det är denna funktion som gör att HLBW ger så pass stabila resultat trots variationer i förflytnings-hastighet.

Avslutningsvis följer här en summering från diskussionerna. Ett antal önskemål att reda ut för ökad implementation av HLBW:

- Rekommenderade tillverkare och leverantörer till Lasergruppens hem-sida
- o Guide inför köp av system - vilka system och kringutrustningar, utrymmen, gaser, regelverk mm be-
höver gås igenom inför inköp
- o Driftsäkerhet olika system, tillförlitlighet kvalitet, livslängd

Så här hänger det ihop

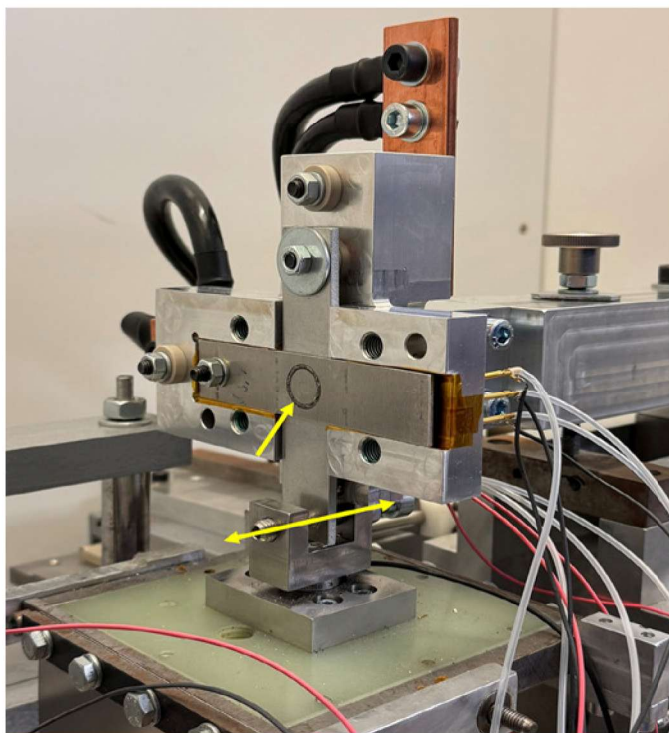
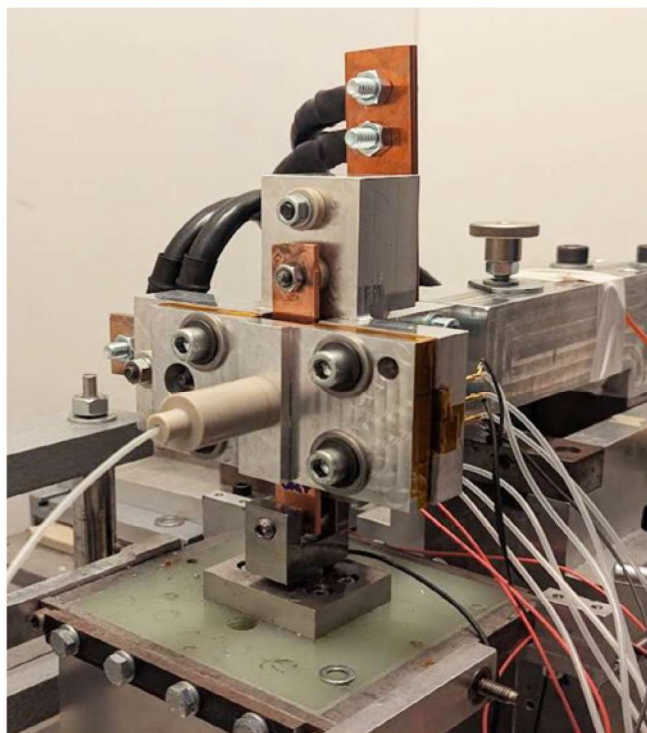
Namn	Typ	Roll
IIW (<i>International Institute of Welding</i>)	Organisation	Globalt organ som utvecklar och godkänner internationella svetsutbildningar.
EWF (<i>European Welding Federation</i>)	Organisation	Europeisk partner till IIW. Anpassar och implementerar utbildningar i Europa.
IW (<i>International Welder</i>)	Utbildningsnivå	En certifieringsnivå inom IIW/EFW-systemet för praktisk <u>svetskompetens</u> .
LSO (<i>Laser Safety Officer</i>)	Utbildningsnivå	En specialiserad utbildning enligt EWF/IIW för ansvariga för lasersäkerhet i industriella miljöer.

- Service, tillgång till reservdelar
- Säkerhetskrav - checklista av krav för implementation
 - o Tydlighet för arbetsstationer - arbetsstationerna efter graden av automation och övervakning. De tre vanligaste typerna/stationerna kallas ofta:
 - o Manual welding station (Manuell laserstation, Manuell svetsstation)
 - o Supervised automated welding station (Övervakad automatiserad svetsstation; Övervakad robotcell, Automatstation med operatörsövervakning)
 - o Unsupervised (unattended) automated welding station (Oövervakad automatiserad svetsstation, Oövervakad robotcell, Obemannad svetsstation)
- Regler (regelverk och dylikt) - checklista av praktiska aspekter för implementation
- Rekommendationer skyddsgaser och handhavande för olika material och fogar
- Krav på utbildningar säkerhet
- Guide till konstruktörer så att de kan konstruera för autonom lasersvetsning (Laser Beam Welding, LBW) (samt HLBW)
- Kunskapspridning av resultat svetsning i olika fogar och material från olika leverantörer

- Vetenskapligt underlag angående kvalitet, materialegenskaper, diskontinuiteter etc
- Utbildningar handhavande:
 - o IW
 - o EWF
 - o Säkerhet (LSO)

För Kvalitetsstyrning finns det standarder och kriterier fylls i nivåerna B, C, D

- o ISO 9001, Paraply StD
 - ISO 3834 Kvalitetsledningssystem för den speciella processen metallisk smältsvetsning.
- o Del: Teknisk dokumentation, på tillverkningsritningar anges kvalitetsnivån (-B, C, D) vid svetsbe-teckningarna mha
 - SS EN ISO 2553 symboler
- o Stål, Ni-, Ti-legeringar med kon-
ventionella metoder: MIG/MAG-
ej till Ti-leg., TIG, MMA osv
 - SS EN-ISO 5817-B, C, D
- o Aluminiumlegeringar med kon-
ventionella metoder: MIG, TIG,
MMA-specialfall osv
 - SS EN-ISO 10042-B, C, D
- o Stål, Ni-, Ti-legeringar med Laser
 - SS EN-ISO 13919-1-B, C, D
- o Laser-Al, lättmetaller med Laser
 - SS EN-ISO 13913-2-B, C, D
- o Laserhybrid (laser+MIG/MAG/
TIG)
 - SS EN-ISO 12932-B, C, D



Figur 1: Figur 1: Fotografi på den nyutvecklade utmattningsrigg som togs fram inom COMMIT-projektet. Utmattningsprovning av fogar kan genomföras med samtidig strömbelastning på upp till 300 Ampere-DC. På bilden till vänster, syns provet, med en cirkulär svets (gul pil), på bilden till höger syns provet inspänt, cylindern i mitten är en temperatursensor. (Dubbelriktad pil visar lastriktningen).

Utmattning av lasersvetsade aluminiumfogar under strömbelastning

För elektriska fordon används huvudsakligen cylindriska batterier eller prismatiska batterier. Prismatiska batterier är rektangulära och är väsentligt större än cylindriska batterier och strömmen från en enda battericell kan uppgå till 300 A DC. För att elektriskt koppla ihop prismatiska batterier så lasersvetsas vanligtvis aluminiumskenor på batteriterminalerna. De lasersvetsade fogarna har mycket höga krav på tillförlitlighet, eftersom det i ett fordon är väldigt många batterier som är sammankopplade i serie. Ett riktvärde på tillåten felfrekvens som leder till avbrott är ett fel på fem miljoner svetsar. Dessa höga krav innebär att utveckling av svetsprocessen, provning och utvärdering blir en utmaning, då det inte är praktiskt möjligt att prova miljoner svetsfogar.

Projektet COMMIT – Utveckling av testmetodik för elektriska fogar

Inom ramen för ett projekt delfinansierat av FFI Cirkularitet genom Vinnova utvecklades en testmetodik för att utvärdera fogar avsedda för strömöverföring. Projektet leddes av Swerim, och övriga deltagande företag var:

- El-supply i Ed AB
- Lasertech LSH AB
- Hydro Extruded Solutions AB
- Northvolt Systems AB

- Scania CV AB
- Volvo Car AB

Projektnamnet var COMMIT, vilket står för *”Electrical interconnects designed for improved thermal- and mechanical fatigue life”*. På svenska: **Elektriska fogar optimerade för ökad termisk och mekanisk utmattningstidslängd.**

För att kunna utvärdera svetsprocessen där acceptabelt felutfall är en på miljonen eller ännu mindre togs en testmetodik fram som baserades på följande:



Tag Hammam
Swerim AB

tag.hammam@swerim.se



Ethan Sullivan
Swerim AB

ethan.sullivan@swerim.se

1. Mekanisk utmattningsprovning vid förhöjd nivå jämfört med förväntad nivå vid drift.
2. Undersökning av inverkan av processparametrarna vid lasersvetsning
3. Undersökning av inverkan av förhöjd driftstemperatur på utmattningsegenskaperna.
4. Undersökning när laserdefekter uppstår och konsekvenserna för utmattningsegenskaperna

Med hjälp av resultaten från ovanstående testmetodik kan åtgärder vidtas för att minska risken för att batterifogarna går av under drift.

Utmattningsprovning av lasersvetsade fogar under strömbelastning

För att utvärdera utmattningsbeteendet hos lasersvetsade fogar av samma typ som används i prismatiska batterier, togs en särskild utmattningsrigg fram. I denna rigg kunde provkroppar med lasersvetsade fogar utsättas för kraftstyrd mekanisk utmattning samtidigt som de belastades elektriskt med ström.

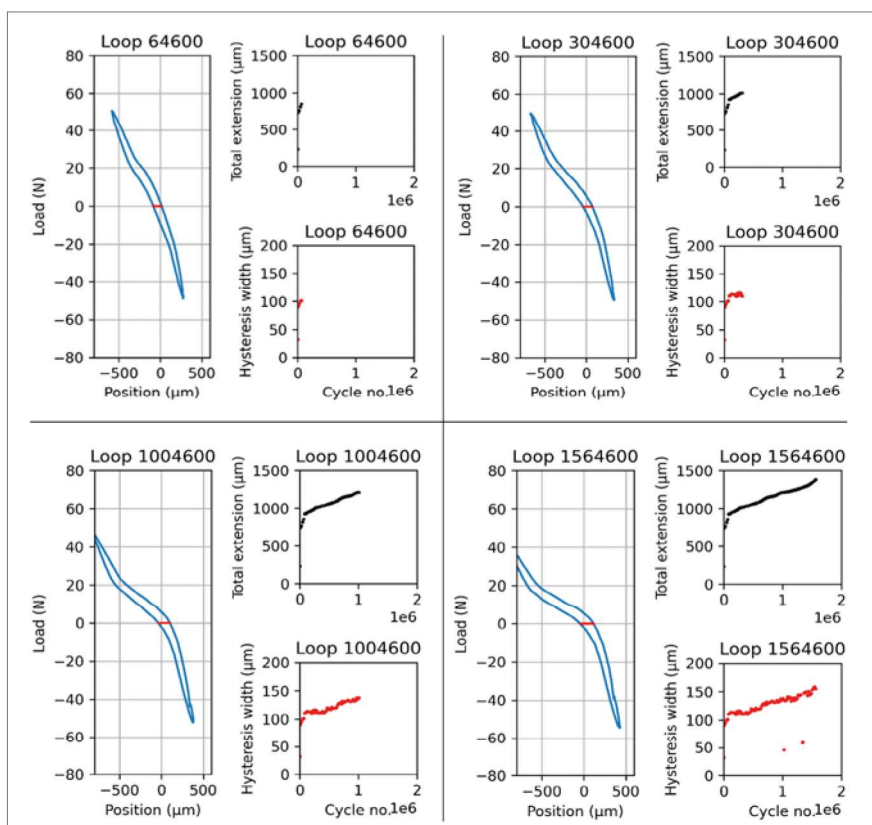
Testriggen bestod av en datorstyrd elektrodynamisk vibrator med tillhörande sensorer som möjliggjorde kontinuerlig mätning av kraft, läge, elektrisk resistans samt temperatur i provet – se *Figur 1*.

Ett exempel på de utmattningsdata som samlas in under testningen visas i *Figur 2*.

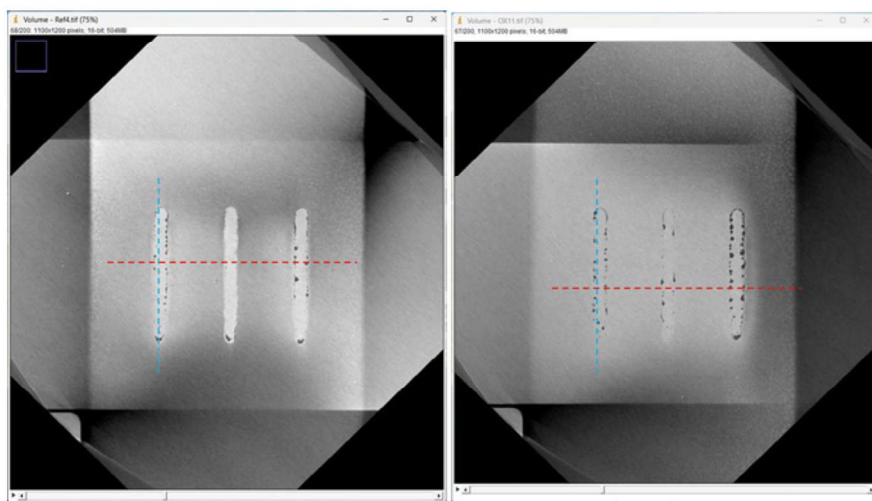
Genom analys av utmattningsdata kan tidpunkten för sprickinitiering oftast bestämmas. Ett mycket viktigt komplement för att förstå inverkan av svetsdefekter var användning av högupplöst 3D-röntgen före och efter provning. 3D-röntgen, d.v.s. datortomografi eller Computer Tomography (CT) på engelska. Nedan redovisas några av resultaten från projektet.

Strömbelastning under utmattningsprovningen leder till förhöjd temperatur av fogen. Under testning med 300 A DC ström ökade temperaturen i svetsområdet till 40–60 °C beroende på svetsens utformning men denna milda temperaturökning påverkade inte mätbart utmattningsprestandan i de genomförda försöken. Däremot visade det sig att 120 °C under lång tid kan till viss grad försämra utmattningstidslängden för lasersvetsade aluminiumfogar.

En viktig fråga är hur tjockleken på aluminiumoxiden påverkar svetssegenskaperna, eftersom aluminium som lagrats i fuktig miljö bildar tjockare ox-



Figur 2: Representativ visualisering av utmattningsdata under kraftstyrd utmattning med en lastamplitud av 50 N och frekvens av 10 Hz ($R=-1$). En kraft-lägesloop, den totala bredden på loopen, bredden på loop vid noll last visas här för samma prov under fyra olika tidpunkter under utmattningstestning. Bredden på loopen ökar med ackumuleringen av utmattningsskador i svetsen.



Figur 3: 3D-röntgen av lasersvetsade aluminiumprover, bilderna visar gränssyten i fogarna. Bilden till vänster är svetsad med material som levererats, och den till höger är ett prov med ett års simulerad förvaring av materialet i fuktig miljö innan svetsning. Det är väsentligt mer porer i det provet där aluminiummaterialet har förvarats i fuktig miljö.

idlager. I projektet simulerades ett års lagring genom att exponera aluminiumprover för hög luftfuktighet och förhöjd temperatur i flera veckor. Resultatet blev en tredubbling av oxidskiktets tjocklek. Lasersvetsning gjordes med oxiderat material, och 3D-röntgen av dessa prover visade på fler och större porer vid kanten i svetsarna, se *Figur 3*.

En viktig slutsats från projektet är att

svetsens geometri har stor betydelse för var och hur sprickor uppstår. Linjära svetsar tenderar att spricka vid slutet av svetsen, där så kallade stelningsprickor ofta bildas när svetsen avslutas abrupt. Dessa sprickor fungerar som initieringspunkter för utmattningssprickor, och det gäller att om möjligt designa svetsen så att dessa initieringspunkter hamnar där spänningarna är minst i fogen.

Även svetsens bredd spelar en avgörande roll. En smal svets som gick ned djupt i grundmaterialet, det vill säga batteriterminalen, gav en kortare utmattningslivslängd än en bred svets som gick ned grunt i grundmaterialet. Detta eftersom den mekaniska påkänningen ökar för en smalare svets.

Figur 4 visar en utmattnad S-formad svets där provet i stället spruckit i grundmaterialet (aluminium 1050) samt längst smältgräsen nära fogen.

Figur 5. Kornstrukturen på samma tvärsnitt undersöktes med elektronåterkastad diffraktion (EBSD); detta visas i Figur 5. Båda sprickorna följer smält gräsen.

Materialvalet visade sig också ha stor påverkan på svetskvaliteten. Aluminiumlegeringen 6101, som innehåller mer legeringsämnen än renare varianter som 1050 och 1370, har högre hållfasthet men visade sig vara mer benägen att bilda sprickor. Detta beror på att legeringsämnen som magnesium och kisel ökar stelningsintervallet, det vill säga det temperaturspann där materialet övergår från flytande till fast form. Ett bredare stelningsintervall ökar risken för sprickbildning under stelnings-

I projektet breddades användningen av utmattningsriggen genom att genomföra provning av resistanssvetsade kopparskenor, både med och utan tenn. I projektet demonstrerades att det finns en optimal tjocklek på tennbeläggningen vid resistanssvetsning av kopparskenor. Baserat på resultaten från COMMIT-projektet har forskarna tagit fram ett antal praktiska rekommendationer för lasersvetsning av aluminium i batteriapplikationer. Arbetet med att utveckla bättre och mer tillförlitliga fogar för strömöverföring fortsätter på Swerim.

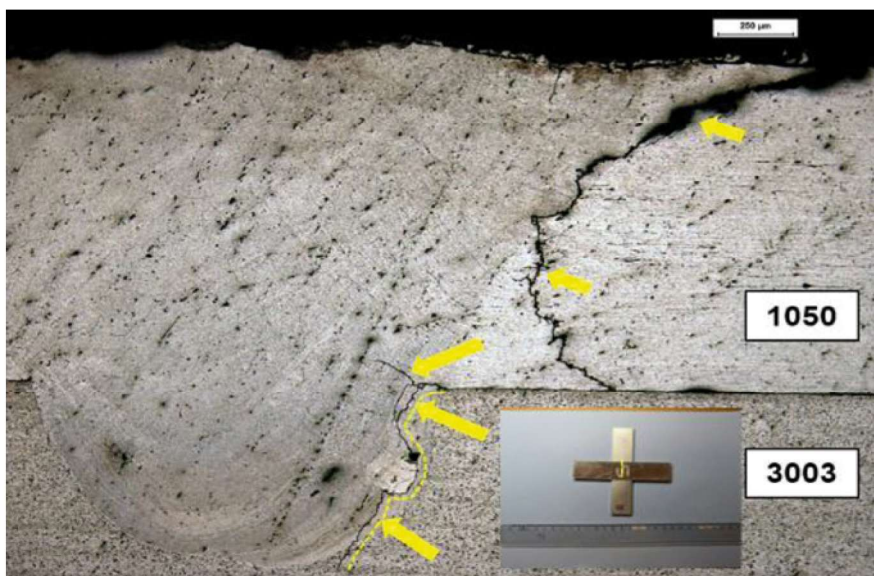
Läs mer på Internet

www.vinnova.se/p/commit---elektriska-fogar-optimerade-for-okat-termiskt-och-mekaniskt-utmattningsliv/

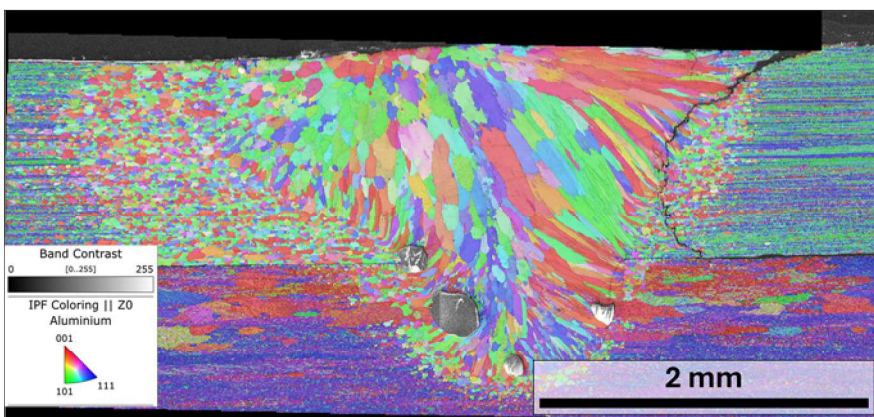
Begreppsförklaringar & definitioner:

Svetsen

Den del av fogen där materialet har smält och stelnat. Begreppet används med fokus på geometri, defekter och metallurgiska egenskaper. I detta projekt syftar "svetsen" specifikt på svetssträngen, eftersom COMMIT undersökte olika geometriska utformningar av svetssträngen (till exempel cirkulär, linjär, fyrkantig med mera). Samma



Figur 4: Ljusoptysk mikroskopi-bild av ett tvärsnitt taget från en S-formad aluminiumsvets efter utmattnings-testning. Två utmattningsprickor är synliga.



Figur 5: Samma prov som i figur 4, men visar kornstrukturen i materialet, och hur det har påverkats av svetsningen. Bilden visar också att en spricka har växt längs med smältgräsen i svetsen. Bilden visar också att en spricka har växt längs med smältgräsen i svetsen.

provkroppsgeometri användes, medan svetssträngens form varierades för att analysera dess inverkan.

HAZ (Heat Affected Zone)

Området i grundmaterialet som påverkas av svetsvärmen men inte smälter. HAZ är relevant vid analys av utmattnings-, sprickbildning och mikrostrukturförändringar, och kan ha stor betydelse för svetsförbandets mekaniska egenskaper.

Svetsförband

Svetsförbandet utgör hela den sammansatta strukturen som bildas genom svetsning. Det består av svetsgodset (den stelnade svetsmetallen), det värmepåverkade grundmaterialet (HAZ) samt det opåverkade grundmaterialet utanför HAZ. Begreppet används i konstruktionssammanhang, mekanik- och hållfasthetstillämpningar, där helheten av fogens beteende är av intresse.

R-värdet eller lastväxlingsfaktor i utmattnings

Lastväxlingsfaktorn är kvoten mellan den lägsta och den högsta spänningen under mekanisk utmattnings. Med en lastamplitud av 60 N, en frekvens av 10 Hz, och $R=-1$ betyder det att kraften oscilleras mellan 60 N och -60 N tio gånger per sekund.

Olegerad aluminium (ren aluminium)

Kortfattad beskrivning av AW-1050

Typ: Renhet: Minst 99,5 % aluminium

Egenskaper: Mycket god korrosionsbeständighet, Utmärkt formbarhet

God elektrisk ledningsförmåga

Låg hållfasthet jämfört med legerade aluminiumtyper

Vanliga användningsområden:

Elektriska komponenter, Reflektorer, Kemisk utrustning, Dekorativa ytor, Livsmedelsindustri

Välkommen till Laserdag II, 2025

Torsdag 13 november 2025 – kl: 09:00 – 15:00

Plats: Swerim AB

Adress: Isafjordsgatan 28A, 164 40 Kista, Stockholm

Vi träffas i receptionen hos Swerim AB. Möteslokal är skyltat från receptionen.

Lunch: Gemensam lunch erbjuds. Vi promenerar en kort sträcka till närliggande lunchrestaurang.

Swedish fika: I anslutning till konferenslokalen bjuder Swerim AB på kaffe med något gott samt en frukt.

Kommunal kommunikation:

Startpunkt: T-centralen (Stockholm City); Tunnelbana: Ta blå linje (nummer 11) mot Akalla;

Avstigning: Kliv av vid Kista station;

Promenad: Cirka 5–10 minuters gångväg till Isafjordsgatan 28A.

Anmälan: via www.lasergruppen.eu/aktiviteter

anmälan är öppen fram till 3 november.

Boende: Hotellbokning sker av deltagarna i egen regi.

Swerim AB Kista/Stockholm

Swerim AB är ett svenskt industriforskningsinstitut som bedriver behovsstyrd forskning och utveckling inom metallers väg från råmaterial till färdig produkt. Visionen är en fossilfri och cirkulär industri, där innovationer inom materialteknik, processutveckling och fogningsteknik spelar en central roll.

Swerim har verksamhet i både Luleå och Kista (Stockholm). I Kista bedrivs avancerad forskning inom bland annat lasermetoder, där institutet utvecklar och utvärderar laserbaserade processer för svetsning, skärning, ytbehandling och additiv tillverkning. Forskningen sker i nära samarbete med svensk industri och akademi, och bidrar till ökad effektivitet, kvalitet och hållbarhet i tillverkningsprocesser. Swerim är också aktiv inom internationella projekt, och har nyligen samarbetat med General Motors kring nästa generations svetsningsteknik för lättviktsfordon.

Välkomna!

Kontaktperson: Lasergruppens ordförande Robert Leo robert.leo@gknaerospace.com

Dagens företagsvärd: Ethan Sullivan ethan.sullivan@swerim.se eller Joakim Ekeröth, Svetskommissionen (www.svets.se/joakim)





Program Laserdag II, 2025 (med förbehåll om eventuella ändringar)

08.30 – 08.55	Registrering och kaffe	Förflyttning till Swerim AB:s konferenslokal
09.00 – 09.10	Välkommen till Laserdag II, 2025.	Robert Leo, GKN Aerospace Sweden AB, ordförande Lasergruppen
09.10 – 09.40	COMMIT – Elektriska fogar optimerade för ökat utmattningsliv	Ethan Sullivan, Swerim AB
09.40 – 09.45	Fri frågestund, diskussion	
09.45 – 10.15	Lasergruppen erbjuder Lasersvetskurser (ELW, LSO, IW)	Jan Frostevarg Duroc Laser Coating I Luleå
10.15 – 10.20	Fri frågestund, diskussion	Jan Frostevarg Duroc Laser Coating I Luleå
10.20 – 10.45	Swedish fika	Ethan Sullivan, Swerim
10.45 – 11.25	Laserbearbetning: Framtidens teknik	Bo Williamsson, Linde Gas AB Mikael Olsson, Trumpf
11.25 – 11.35	Fri frågestund, diskussion & kort bensträckare	
11.35 – 12.00	Preliminärt – kompletteras senare	
12.00 – 12.05	Fri frågestund, diskussion	
12.05 – 12.25	ASUS – Kartläggning av svetsbranschens kompetensbehov	Joakim Ekeroth Svetskommissionen
12.25 – 12.30	Fri frågestund, diskussion	
12.30 – 13.30	Lunch	Gemensam lunch erbjuds. Vi promenerar en kort sträcka till närliggande lunchrestaurang.
13.30 – 14.55	Labbrundvandring	Swerim AB, Ethan Sullivan
14.45 – 15.00	Avslutning Laserdag II, kommande Laserdagar, 2026.	Robert Leo, GKN Aerospace Sweden Ethan Sullivan Swerim AB

Lasersäkerhetsklasser, våglängder och skaderisker



Urban Widén
Sjögårdsvik 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-strål-

ning 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

Lasersäkerhetsklasser

1 Ofarlig

1M Mer effekt än klass 1, 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!

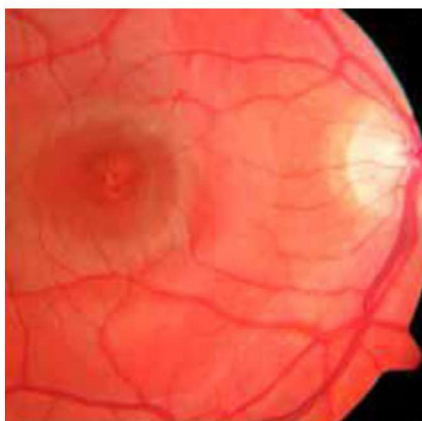
4 Stråle och diffusa reflexer skadliga. Brandrisk.

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

Maskiner är oftast **klass 1** 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.

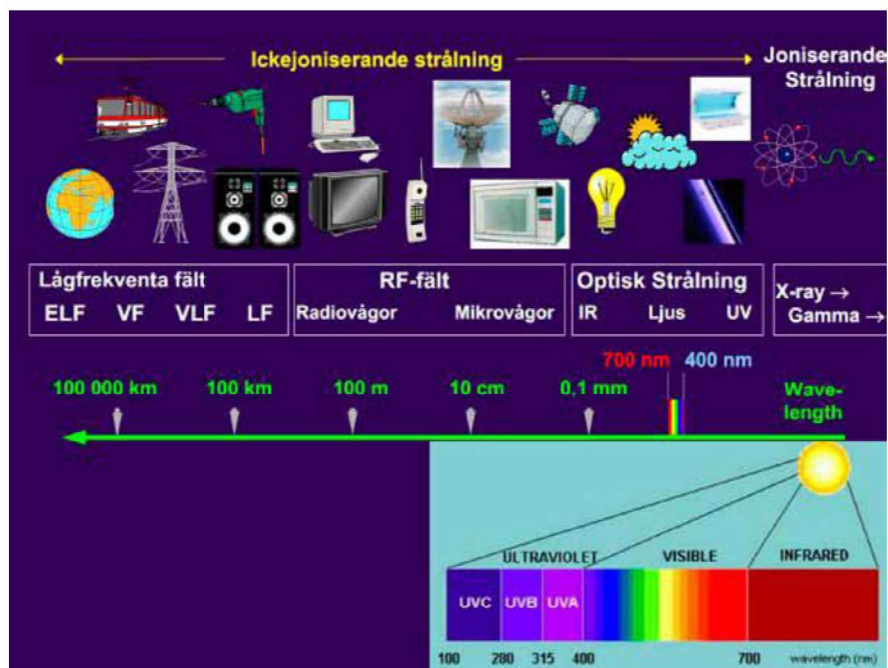


Brännmärken på näthinna från laserpekare.

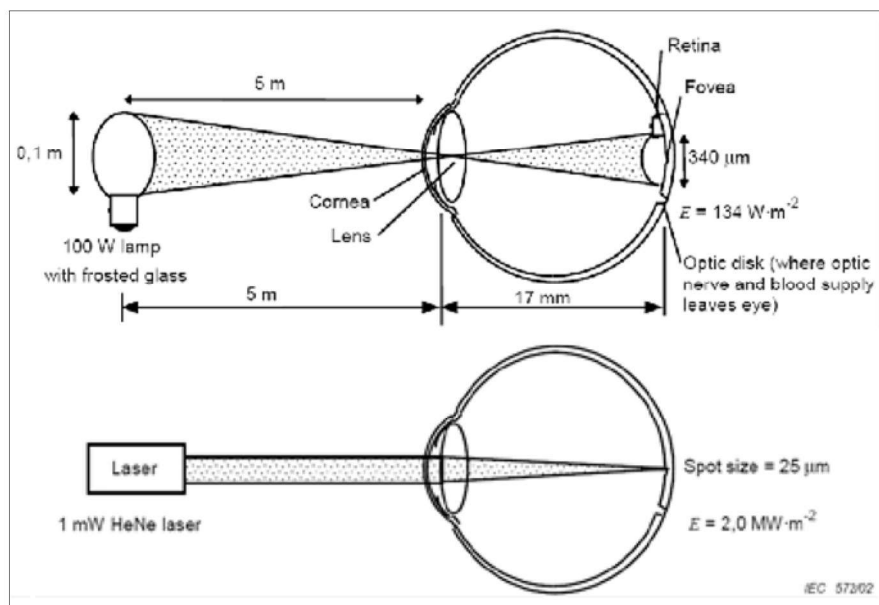
undan, så även om CO₂-lasrar inte ger näthinneskador finns all anledning till att hantera dem med respekt. En test-bränning av en CO₂-laserstråle i plexiglas ger en idé om hur kroppen skadas – det blir rejäla gropar på bara någon sekund när det finns några kW att tillgå. Synligt ljus och nära infraröd 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



Våglängdsdiagram.



Direkt stråle – divergerande stråle – diffus reflex

en mycket liten del av det ljuset för att åstadkomma skada!

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! ■

Välkommen till Lasersäkerhet del-II, 2025

Torsdag 14 november 2025 – kl: 09:00 – 14:00

Plats: STC (Scania Technical Center)

Adress: Granparksvägen 10, 151 48 Södertälje. För eventuell bilparkering, viktig information, anmäl bilens registreringsnummer i receptionen. Parkeringsplats instrueras om i receptionen (men utgående från STC-reception sväng av på första avtagsväg mitt i backen, från Granparksvägen. Vi möts i receptionen

Lunch: Lunchrestaurang finns i nära anslutning. Kaffemaskiner finns tillgängliga nära möteslokalen.

Kommunal kommunikation:

Närmaste Pendeltågsstationer är Södertälje Syd, 10 minuters promenad eller Södertälje Hamn, för taxi eller lokalbuss. Det finns lokalbussar eller ta en taxi till industriområdet där STC byggnad 117, ligger.

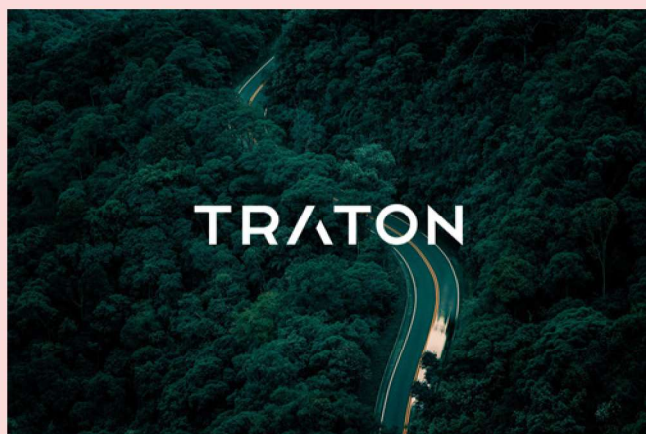
Anmälan: via www.lasergruppen.eu/aktiviteter

anmälan är öppen fram till 3 november.

Boende: Hotellbokning sker av deltagarna i egen regi.

Traton Sweden AB & Traton Group R&D – Södertälje

Traton Sweden AB är ett svenskt dotterbolag inom den globala Traton Group, som samlar varumärken som Scania, MAN, Navistar och Volkswagen Truck & Bus. Bolaget är registrerat i Södertälje och fungerar som nav för koncernens svenska FoU verksamhet.



Välkomna!

Kontaktperson: Lasergruppens ordförande Robert Leo robert.leo@gknaerospace.com

Dagens företagsvärd: Peter Nerman
peter.nerman@scania.com
eller

Joakim Ekeröth, Svetskommissionen
(www.svets.se/joakim)



Deltagarna på första Lasersäkerhetsmötet den 6 mars 2025, med 3M i Solna som värd.

Program Lasersäkerhet del-II, 2025 (med förbehåll om eventuella ändringar)

0830 - 08.55 Registrering, kaffe & mingel

09.00 - 09.15	Välkommen till temadag: Lasersäkerhet, 2025. Introduktion, varför vi är här idag	Lasergruppens ordförande Robert Leo, GKN Aerospace Sweden AB
09.15 - 09.35	Resumé från första Lasersäkerhetsmötet	Robert Leo, GKN Aerospace Sweden AB
09.35 - 10.00	Uppdatering Lasersäkerhet	Urban Widén, Sjögårdsvik AB

10.00 - 10.15 Bensträckare

Bikupa- Ämne Lasersäkerhet

10.15 - 10.45	Grönt kort	Peter Norman, Scania
10.45 - 11.15	LMIAB	Timothy Smith, LMIAB
11.15 - 12.00	Traton och Scania en företagspresentation	Värdföretaget

12.00 - 13.00 Lunch

13.00 - 14.00	Rundvandring	Alla deltagare
---------------	--------------	----------------



Figur 1: Konferenslokalerna i hamnen och stråkmusikspelning under öppningsceremonin.

Laserbaserad tillverkning, utvecklingstrender presenterade vid internationella svetskommissionens (IIW) årsmöte i Genoa

78th Annual Assembly and International Conference (IIW) i Genoa. Konferensen 26-27 Juni hölls parallellt med den Italienska svetskonferensen, som tillsammans hade rekordmånga deltagare, över 2 000(!) från 49 olika länder, vilket visar på styrkan i det internationella svetssamfundet. Jag själv deltog framförallt vid General Assembly, med öppningsceremonin 22:a Juni och fortsatte till 25:e Juni och där flertalet diskussioner, arbetsgrupper och presentationer hölls, upp till 19 per dag och totalt 87 presentationer. Att konferensen hölls i Genoa är symboliskt, eftersom det var här som grunden för EWF lades för snart 80 år sedan. Bland bekanta namn tilldelades också priser under öppningsceremonin, bland annat till Elin Westin och Gustav Hultgren.

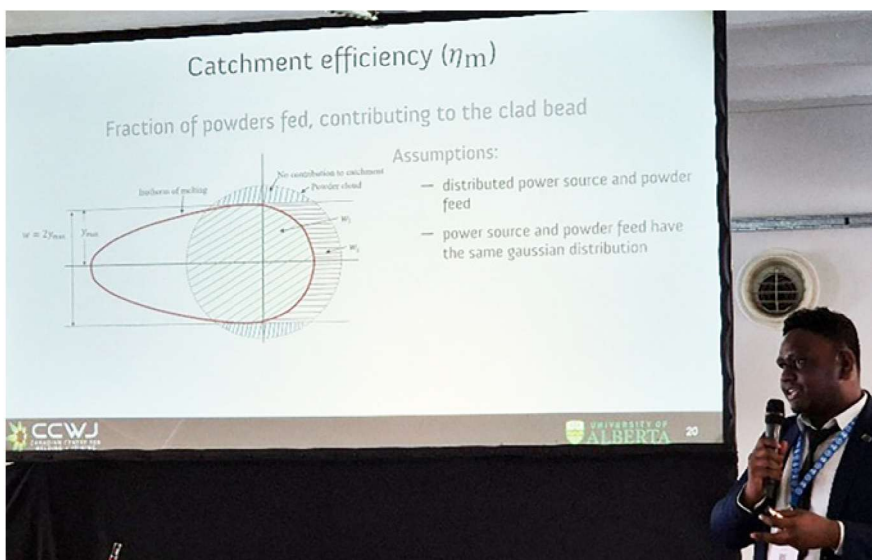


Jan Frostevarg
Duroc

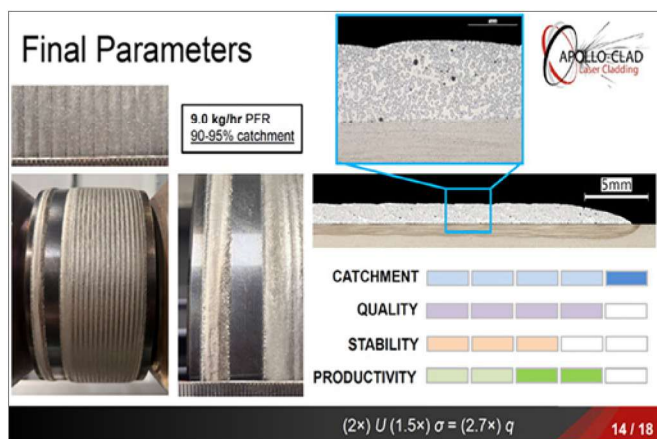
Under konferensen hölls presentationer inom flera områden inom laserbearbetning. Nytt för i år är den nya fokusgruppen på handhållen lasersvetsning. Det hölls en hel session om detta som hela fem kommissioner höll gemensamt, där jag höll en presentation om det arbete jag lett vid LTU. Jag var även sessionsledare för en session vid kommission fyra (C-IV) (strålsvetsning). Här följer en summering från de presentationer jag tyckte var mest intressanta inom olika områden.

Laserpåsvetsning

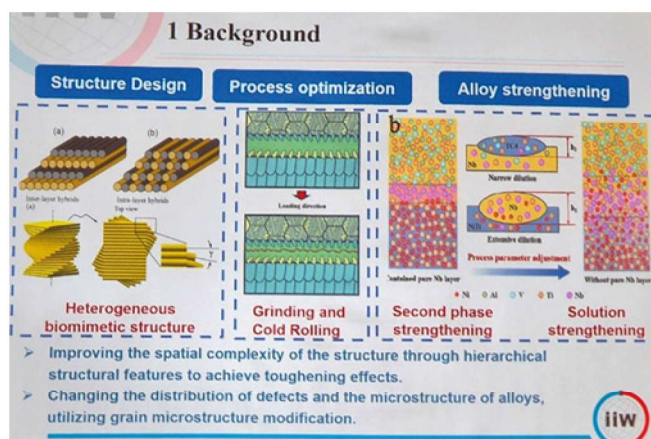
Niteesh Kumar (University of Alberta, Kanada) presenterade teoriutveckling inom laserpåsvetsning. I Kanada är olja, gas, gruvdrift sektorer där stora maskiner används och där slitålliga



Figur 2: Niteesh Kumar presentation om pulverinfångning och beräkning av resulterande geometri och värmeförlust vid laserpåsvetsning.



Figur 3: Resultat av processförbättringar vid laserpåsvetsning med Ni-WC.

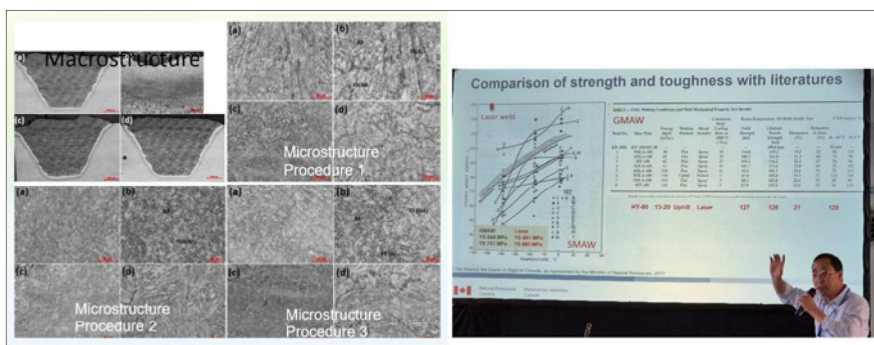


Figur 4: Illustration för koncept med metalliska komposit, hur uppbyggd av uppblandning eller skikt skulle kunna skapas för att erhålla mycket starkare ändamålsenliga material.

ytor behövs. Det finns ett företag som är sprunget av behovet att förlänga livslängden som har långtgående samarbete med University of Alberta för att ständigt utvecklas i kunskap och i teknikutvecklingen. Niitesh presenterade en modell under utveckling för att beräkna både geometri och pulverinfångning utifrån givna parametrar. Detta är av stor vikt för att kunna göra bearbetning energieffektivare, samt för termiska beräkningar för resulterande materialegenskaper och distorsion, Figur 2.

Vid Apollo-Clad Laser Cladding i Alberta (Kanada) har de också undersökt hur laserpåsvetsning kan göras effektivare. Målsättningen är att göra processen så kvalitet bibehålls, men kan göras snabbare och billigare, vilket kräver en hel del FoU. Exempelvis har Ni-WC riktigt höga egenskaper mot slitage, men är vid beläggning värmekänsligt så karbiderna inte löses upp eller uppblandning med basmaterial blir för stor, samtidigt som sprickor och porbildning behöver undvikas. Genom beräkningar och anpassningar av munstycke kunde de höja både laserut effekt med större diameter, öka pulvermatning och matningshastighet för att erhålla 3x ökning i tillverkningshastighet med hög kvalitet och 1,5x totalt inkl hantering och förvärmning, Figur 3.

En utveckling för att erhålla starkare strukturer sker inom utveckling av nya material för pansarfordon och andra strategiska strukturer. Shujun Chen (Beijing, China) presenterade "Exploring the microstructure and Mechanical Properties of Bimetallic Layer Structures Fabricated by DED-Arc Trajectory Weaving", som går ut på att stärka homogena metaller genom



Figur 5: Resultande reparationsarbeten för sprickor i ubåtar, som med laserpåsvetsning kan repareras snabbare och med bättre mekaniska egenskaper jämfört MIG/MAG eller SMAW som använts tidigare.

att tillsätta keramer eller andra metaller på kontrollerade sätt, Figur 4, vilket har potential att skapa metalliska komposit eller bimetaller som har både exempelvis hög styrka och elasticitet. Detta försöks här uppnås genom att skapa lager av materialen inte bara i strängar som bildar raka lager utan även göra dessa olika vågformiga för bättre ihopkoppling (eng. interlocking"). Vid provning av skapade prover visas att styrkan och duktiliteten i materialen ökar, men dessa egenskaper är villkorliga beroende på placering och tjocklek av de olika lagren i provbitarna. Det finns potential i att utveckla teknik för att skapa bimetaller, men hur de ska användas kräver troligen många fortsatta studier och experiment innan tekniken tryggt kan appliceras i riktiga fordon och strukturer.

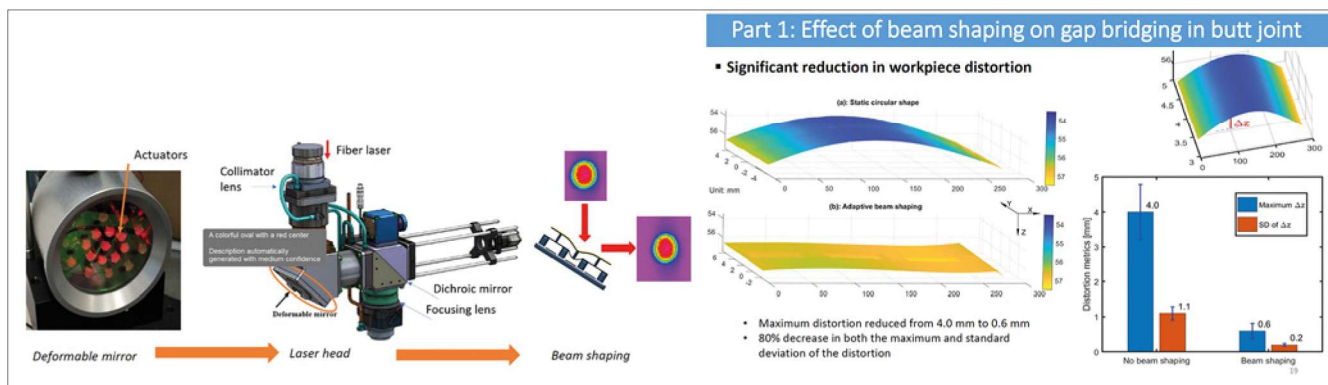
Ett till bidrag inom laserpåsvetsning är inom reparationsarbeten, för ubåtar där sprickor uppstår i grundmaterialet om värmeförsel är för låg, relativt tiden för värmeförseln från processen, vilket också kan orsaka försämrade mikrostruktur i materialet. Detta samtidigt

som värmeförsel ska hållas låg för att motverka uppkomst av spänningar och distorsion på grund av värmeförsel. Uppvärmning till 90 grader innan bearbetning krävs för att bibehålla materialegenskaperna. Målet i denna studie presenterad av James Chen vid Natural Resources i Kanada är att kunna ta bort förvärmning med bibehållna egenskaper.

Resultaten i studien, Figur 5, visar att vid jämförelse med MIG/MAG eller SMAW behövs inte förvärmning när laserpåsvetsning används, samt att de mekaniska egenskaperna är bättre. Processen är nu kvalificerad för användning inom detta område där kraven för reparationsarbeten är riktigt höga.

Lasersvetsning

Strålförning är ett högaktuellt ämne och vi ser fler och fler applikationer för olika typer av effektfördelning inom de flesta laserbearbetningsprocesser, såsom ringformad eller med bred stråle med effektpik i mitten. Presentationen "Dynamic beam shaping with a deformable mirror for control of high power



Figur 6: Formbara speglar som kan omforma laserstråle, här visat kunna avsevärt minska distortion.



Figur 7: Civan laser används med dynamiskt fokus för att svetsa i tjocka gods av olika material.



Figur 8: Saeid Pachegani Chozaki (university of Turku) presenterade "Microstructure and mechanical properties of laser welded PBF-LB/IN718".

laser processes" av Yongcui Mi vid Universitet Väst i Trollhättan, Sverige, presenterade studie där olika effektfördelningar går att skapa med hjälp av en formbar spegel. En mycket intressant aspekt i resultat är att vid svetsning med spalt går det med hjälp av strålförning att minska distorsion avsevärt, 80% minskning vid 2mm tjocka plåtar med 0,6mm spalt.

Nina Armon och andra vid Civan lasers från Israel har varit med på många

konferenser de senaste åren och så även här. De har en specialuppbyggd laser som snabbt kan forma om laserstrålen under bearbetningsprocesser, vilket öppnar för många möjligheter, såsom formskanning, styrning av fokuspunkt och formsekvenser för laserstrålen. I denna presentation visades möjligheter för att svetsa tjocka fogar i olika material, där 25mm fogar sammanfogades utan tillsatsmaterial med styrning av fokuspunkt. För kolstål blev det i

regel alltid underfill, men med laser-hybridsvetsning kunde god svetsform uppnås. För aluminium och rostfritt stål kunde goda resultat uppnås även utan tillsatsmaterial.

Saeid Pachegani Chozaki (university of Turku) presenterade "Microstructure and mechanical properties of laser welded PBF-LB/IN718", Figur 8. Inconel är ett bra material, som används inom många områden och industrier. Mikrostruktur är beroende på vilken process som används, och inom 3d-printat material med Laser Powder Bed Fusion är det ofta byggriktningen. I ett case som visas blir de geometriska resultaten bättre med en viss top hat profil för laserstrålen. Mikrostrukturen påverkas när lasersvetsning sker i materialen, och mikrostrukturen blir olika i smitt jämfört med 3d-printat material, där värmepåverkade zonen blir färre påverkan och har högre elasticitet i smitt Inconel, medan hårdheten och styrkan blir högre i den 3d-printade varianten. Värmebehandling ger i båda fall försämrade egenskaper efter svetsning.

"Numerical studies of keyhole dynamic behaviour during laser beam welding with an oscillating magnetic field" presenterades av Michael Rethmeier (BAM, Bremen, Tyskland). Med hjälp av magnetisk styrning kan eventuellt porer reduceras genom att nyckelhålet stabiliseras. Porer minskar med ökande magnetic flux density. Simulering har gjorts för att simulera process utan och med magnetisk stabilisering. Vid rätt inställningar på magnetiska fältstyrkan kan nyckelhålet stabiliseras och porer motverkas, dock blir svetsdjupet lägre, Figur 9.

Furukawa Electric group har utvecklat en kombinationslaser som kan göra det lättare att svetsa högrelektriska ma-

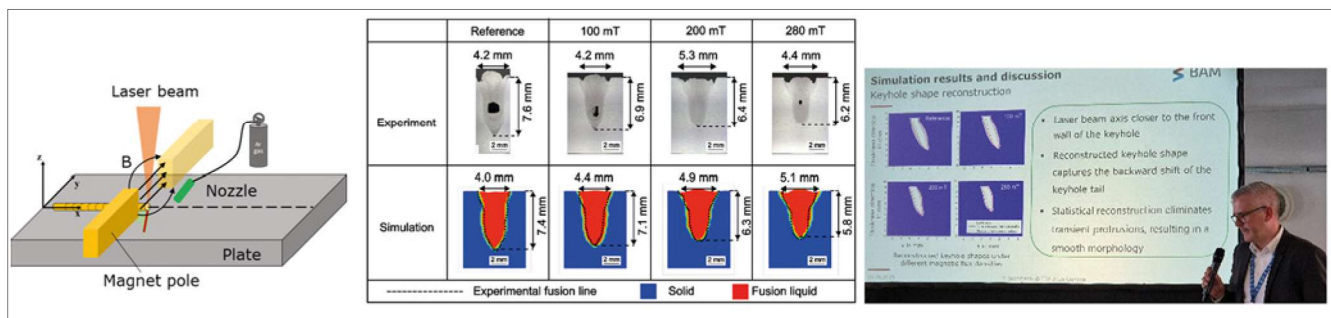


Figure 9: BAM i Tyskland och Michael Rethmeier presenterade en studie där magnetfält kan förbättra stabiliteten i nyckelhålet vid lasersvetsning.

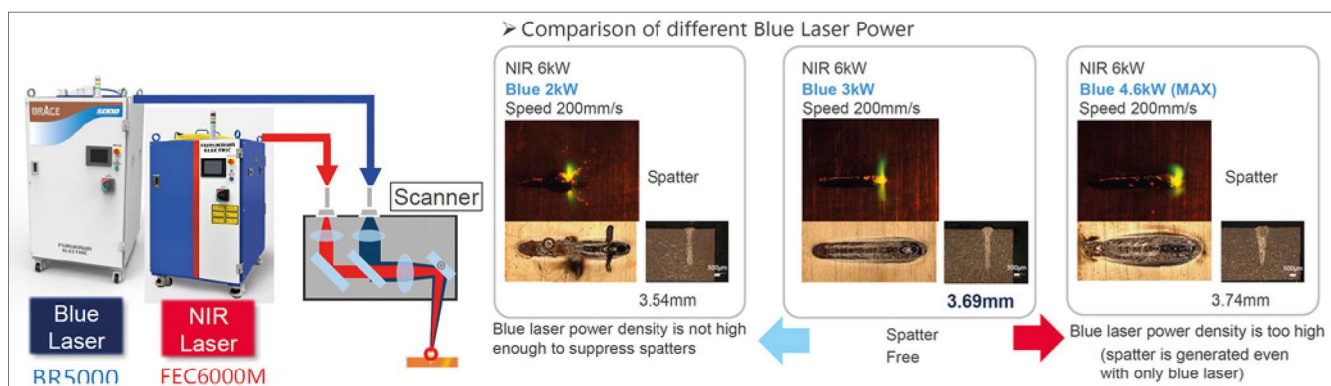
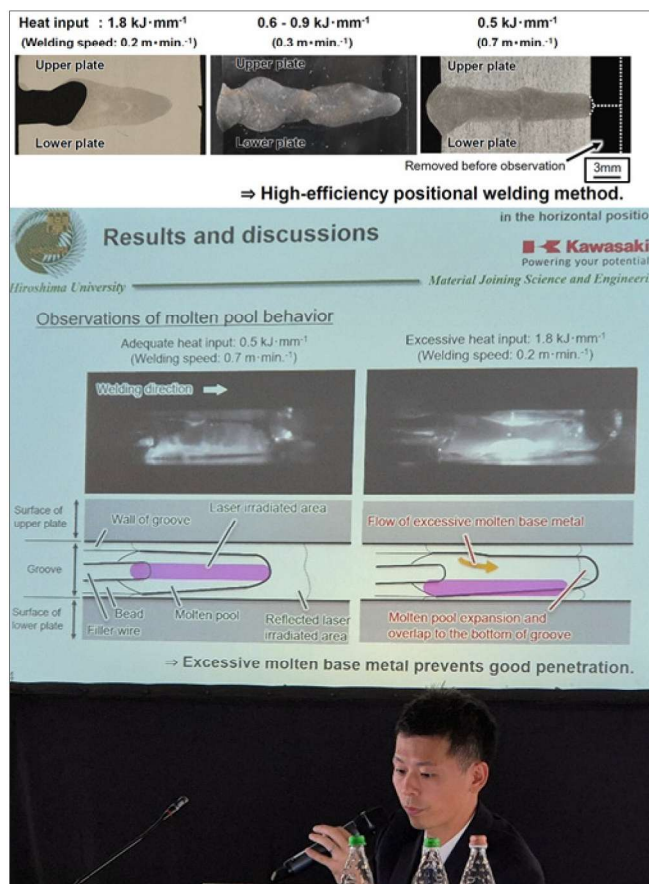


Figure 10: Principen för en kombinationslaser utvecklad av Furukawa Electric Group, som visar på att med rätt kombination av fiberlaser och blådiodlaser kan en effektiv sprutfri process erhållas.

terial, såsom koppar som är en nyckel i förbättrad och effektiviserad batteritillverkning för fordonsindustrin. Toshaki Sakai (Japan) visade ett system som kombinerar en blå diodlaser och en fiberlaser med skanningsoptik där den senare har högre strålkvalitet (Brazo TM). Blått laserljus har betydligt högre absorption jämfört med fiberlaser men har inte samma strålkvalitet. Genom att kombinera de två lasertyperna kan svetsar göras smalare och minskad värmeförlust jämfört endast blå diodlaser och samtidigt stabila sprutfria resultat. Det har funnits att en tumregel verkar vara dubbla effekten fiberlaserljus mot blått laserljus för att erhålla de stabila resultaten vid nyckelhålssvetsning i koppar, exempelvis 6,6kW fiberlaser och 3,3kW blått laserljus, Figur 10.

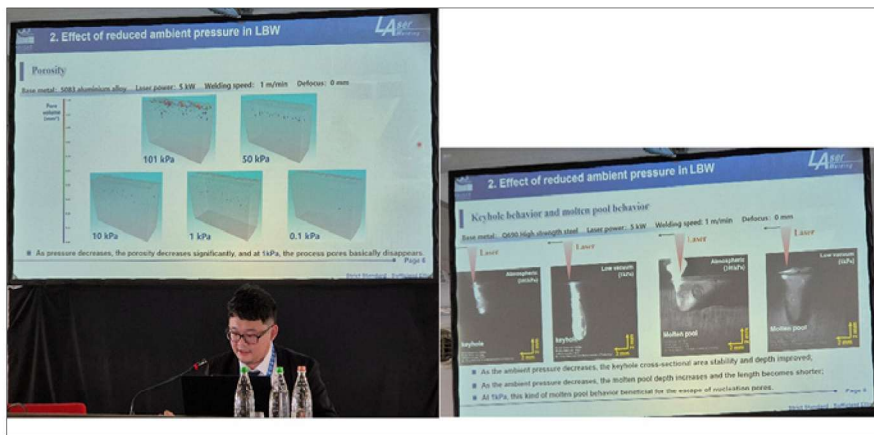
“A statistical investigation of the laser energy absorption and keyhole stability in high-power laser beam welding” presenterades av Xiangming Menga (BAM, Bremen, Tyskland). En modell har skapats och validerats på flera sätt, tvärsnitt, röntgen, och uppmätt värme-cykel. De kom fram till att laserljuset absorberas mer vid långsamma svets-hastigheter och mindre energi vid fronten av nyckelhålet vid ökad svetshastighet. Dessutom, med defokusering från +3 till -6mm minskar absorption vid

Figure 11: Användande av horisontell svetsning i narrow gap, med varmtråd, oscillerande laserstråle och styrning av smälta för att erhålla djupa svetsar och samtidigt erhåller minimalt med vätepåverkan i svetsen.

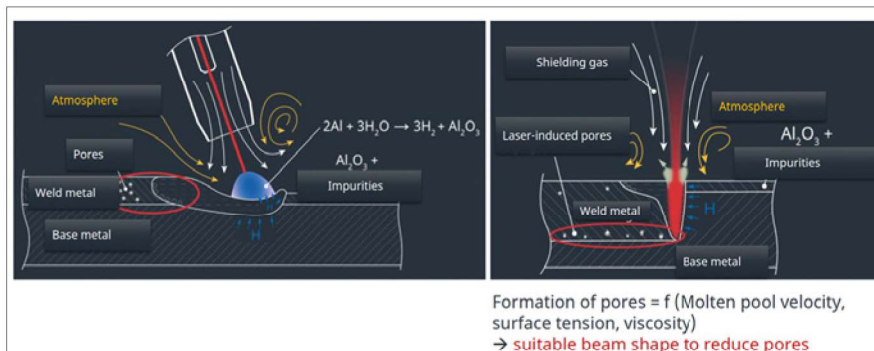


nyckelhålets front med några procent. Mer energi träffar botten av nyckelhålet. Nyckelhålet är också uppmätt kollapsa statistiskt inom en normalfördelning, med en frekvens på 7-8kHz. Vid

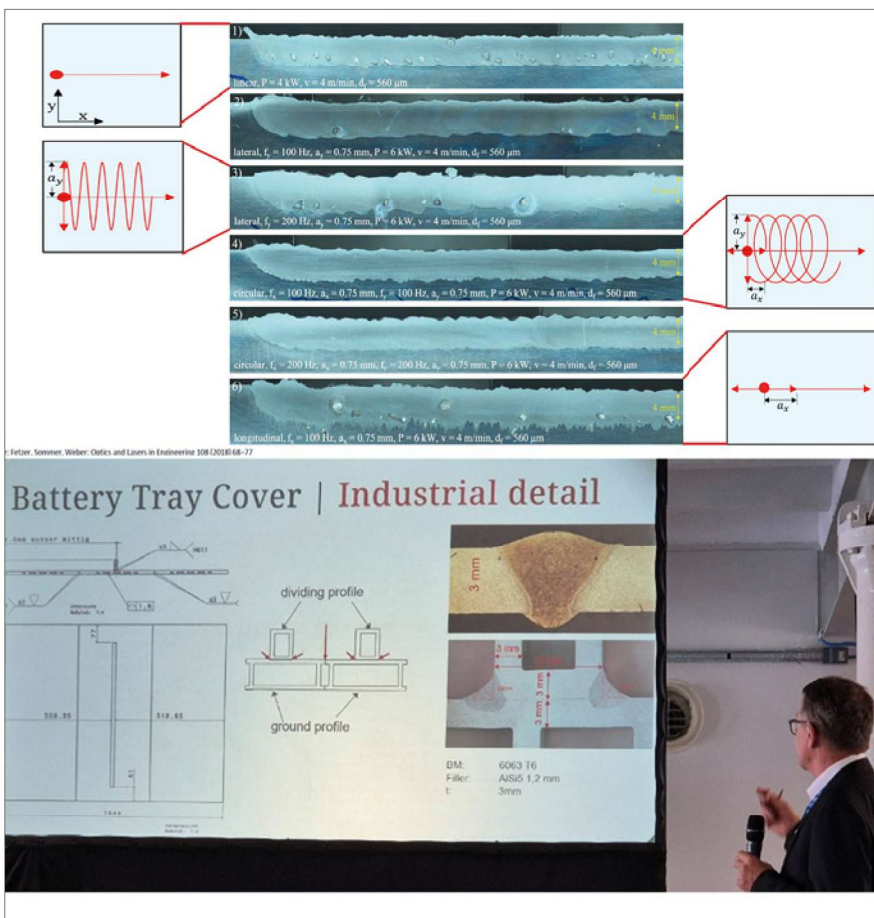
ökad svetshastighet från 2 till 3 m/min ökar denna frekvens till 180kHz. Kollapserna varar sällan längre än 1 m/s. Vid snabbare svetshastighet minskar antalet kollapser men ökar i hur länge



Figur 12: Lasersvetsning i olika tryck i vacuumkammare, där resultaten visar på minskade pormängder och även höghastighetsfilms genom termiskt glas vid olika tryck



Figur 13: Uppkomst av porer i svetsning med tv MIG/MAG och th laser.



Figur 14: Reducerad pormängd vid laserhybridsvetsning i aluminium med cirkulerande laserstråle och teknikens lämplighet för svetsning av batteribehållarpaket.

de varar. Vidare visade det sig att nyckelhålet kollapsar med 4,8kHz vid -6mm och 9,2kHz vid +3mm defokusering av laserstrålen.

Svetsning i tjocka material är utmanande, speciellt om det ska genomföras i en svetsrepa. Det finns problem med stabilitet, sprut, porbildning och droppbildning. Ett sätt att mitigera detta problem är att svetsa i horisontellt läge, samt att göra det i flera omgångar, med narrow gap. Shoichiro Yoshida vid Kawasaki i Japan presenterade "Development of narrow-gap welding technique for austenitic stainless steel using hot-wire laser welding" som studerar just detta. Målet är att tillföra material med varmt tråd och undvika väte i svetsen. En oscillerande laserstråle används längs med svetsriktningen för att förlänga smältan och exponeringstid på tråd.

En riktigt intressant studie som skapade nya insikter är "Vacuum laser beam welding of dissimilar materials between In718 Superalloy and 304 Stainless steel", som presenterades av S. Zhang vid Harbin institute of Technology i Kina. De har utvecklat en vacuumkammare för lasersvetsning under under 10 års tid. Det är känt sedan tidigare att penetrationsdjup ökar vid lasersvetsning i lägre tryck. De visade här också med X-CT att mängden porer minskar vid svetsning i lägre tryck och har även höghastighetsfilmat processen med termiskt glas för att kunna se skillnader i nyckelhål och smältans rörelser vid olika tryck.

Batteritillverkning är ett vanligt återkommande tema de senaste tio åren och här är lasersvetsning en av processerna som används. Oftast i koppar för att svetsa kopplingar mellan batterier, men även för tillverkning av ramarna till batteripaket. Herbert Stauffer vid Fronius (Österrike) presenterade "Influence of laser beam rotating to the porosity of Laser-MIG Hybrid welded AW 6063-T Aluminium Alloy for reduced porosity", där det går ut på att svetsa Al-profiler med flera svetsar och två olika fogtyper (applikation är ramar för batterier i elektriska fordon). Ett sätt att minska porer i svetsar är att tillsätta skyddsgas på rätt sätt. För detta bör tillförsel av skyddsgas vara laminär och nyckelhålet vara stabilt, Figur 13. Genom att rotera laserstrålen kan också porositet minska, jämfört med stationärt eller linjeskanning av laserstrålen, Figur 14.



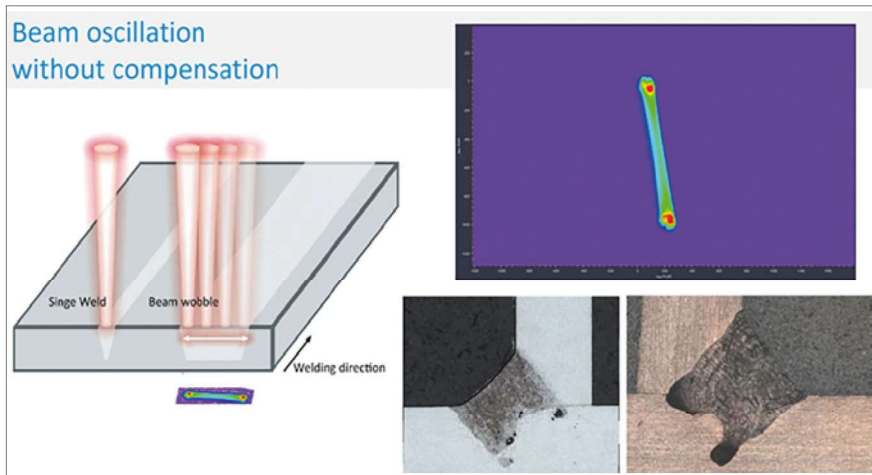
Figur 15: Förslag för utformning av tilläggsmodul för IWS utbildning för Handhållen lasersvetsning presenterades.

I denna studie används laserhybrid med inert gas och roterande laserstråle. Med roterande laserstråle blir svetsdjupet lägre än med en mer reguljär laserstråle, men pormängd reduceras väsentligt och svetsytan kan erhålla en mer fördelaktig geometri. Det visades med schlierenoptik hur ett munstycke kan optimeras för att ge jämnare gasflöde, så att svetsarna blir än mer stabila. Denna teknik och framtagna utrustning kan med fördel användas för att svetsa batteripaketshållare i aluminium.

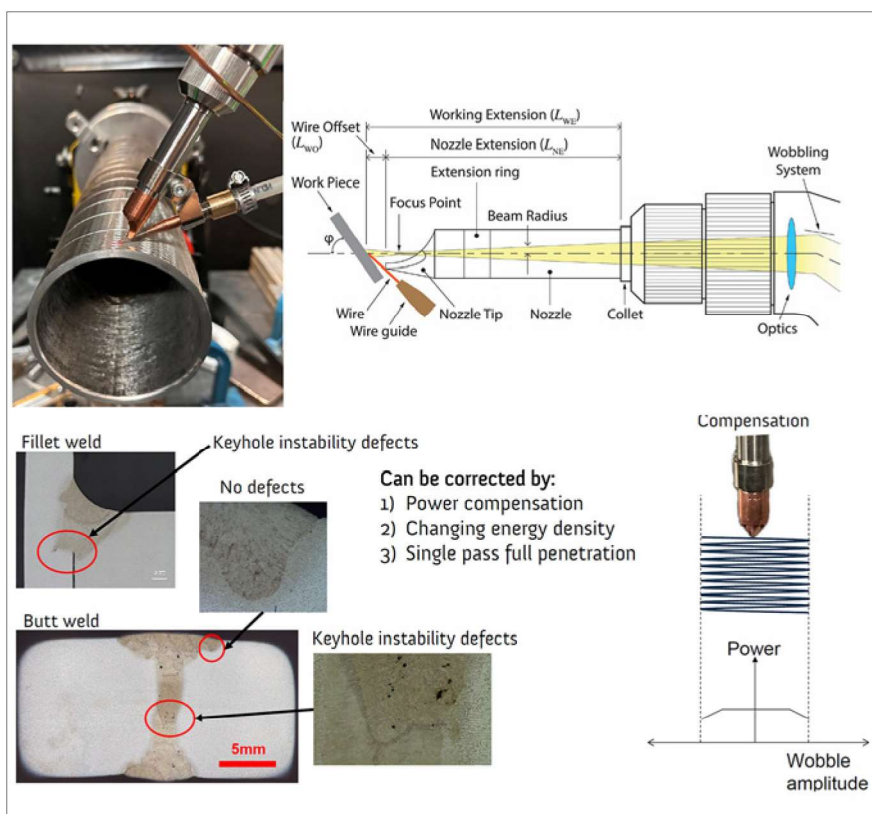
Handhållen lasersvetsning

Handhållen lasersvetsning är ett nytt tema och i år hölls ett så kallat super joint meeting mellan inte mindre än fem olika kommissioner, eftersom det berör så många olika delar inom svetsning och det finns många frågor som behöver besvaras. En av dessa frågor är utbildning, där den första presentation gick igenom några aspekter för att skapa kurs för IWS och ramverk därav, som de hade utvecklat. Idag är det vad det verkar globalt ett bristande utbud av kvalificerade svetsare, någon som denna nya teknik kan bidra till att lösa. Handhållen lasersvetsning (Handheld laser beam welding, HLBW) erfar ofta missvisande reklam, där tekniken marknadsförs som "plug & play", men där många brister finns i både säkerhet och kvalitet. För att införa denna teknik behövs både utbildare och utbildade svetsare, och en slags överföring av "know-how". I kursupplägget som presenterades tas det upp de olika delarna som en som ska bli IWS behöver veta, både teoretiska och praktiska moment, Figur 15.

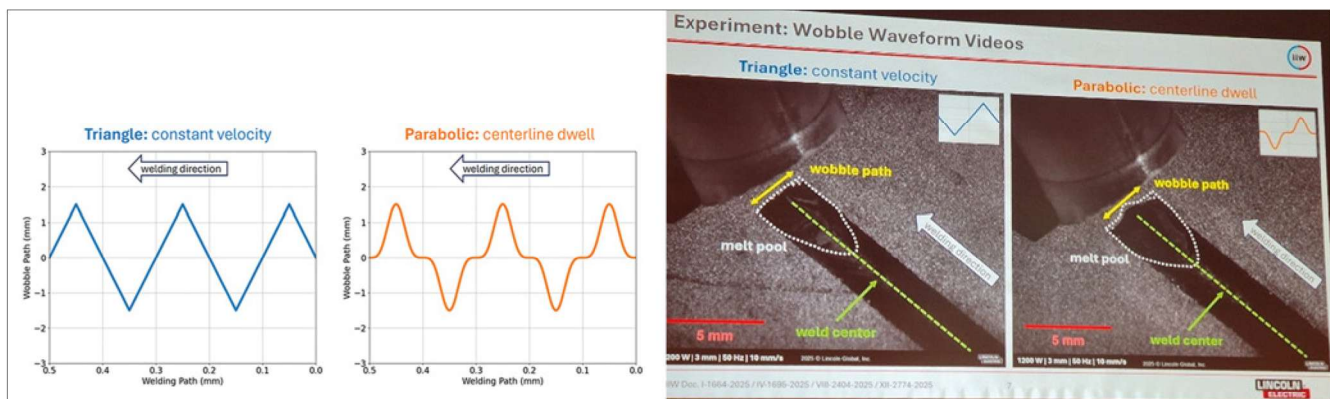
Simon Jahn vid IFW Jena presenterade "Hand held laser beam welding – about various influences on resulting properties", där det visades en studie där de har testat fem olika system för



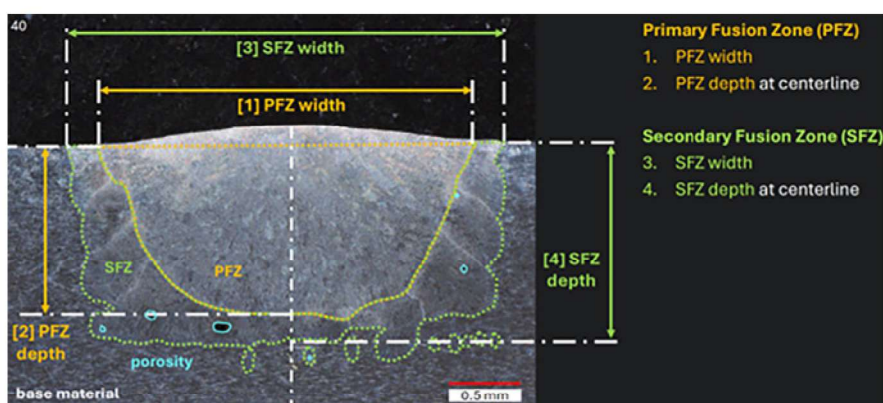
Figur 16: Oscillering av laserstråle längs ytan och exempel på svetsar där hastigheten i rörelsen inte kompenseras för, vilket resulterar i svetsgeometri kallad "hajtänder" (eng. shark tooth).



Figur 17: Handhållen lasersvetsning med multi-pass och sidoförflyttning, resulterar i god mikrostruktur i svets och i värmepåverkad zon (med undantag från viss uppkomst av porer).



Figur 18: Skanningsmönster och bilder från höghastighetsfilmer resulterande smältpöl vid svetsning med respektive.



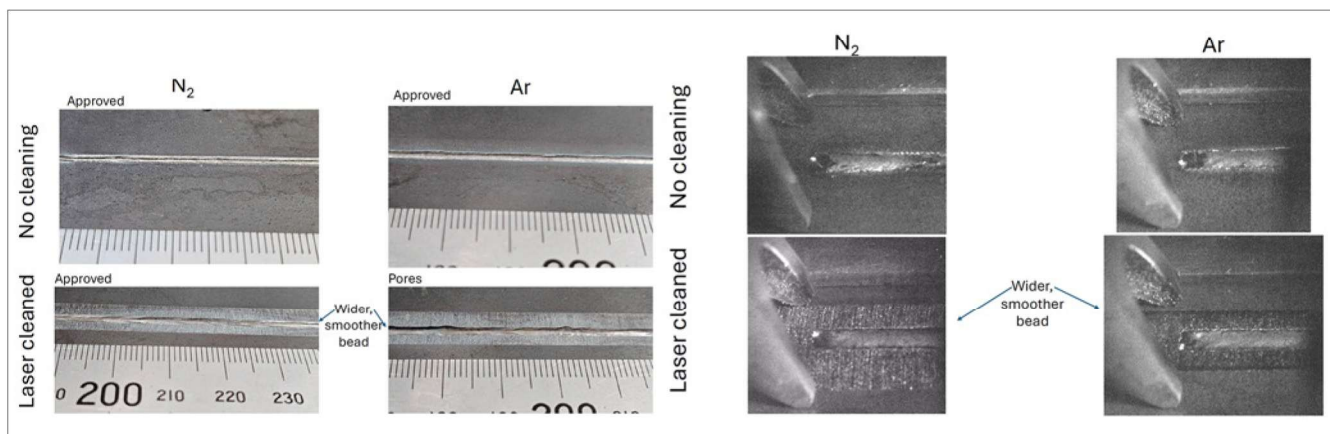
Figur 19: Tvärsnitt som visar sekundära smältor (fusion zone, FZ) mellan svets och värmepåverkad zon. Denna kan uppstå vid HHL med felaktiga wobblingsinställningar.

HLBW. Har testat fem olika system, hur skanning ger för resultat, typer, moduler, uppmätt effektfördelning. Om optik är smutsig och om fokalskiften förekommer och hur det skiljer sig mellan system. Det visade sig i studien att fokalskiften förekommer och det tar olika lång tid, i extremfall för ett system i testet var det upp till 150mm svetslängd, vilket påverkar svetskvaliteten längs svetsen, både geometri och processtabilitet och uppkomst av porer. De uppmätte även skillnader i likadana system som kommer från samma tillverkare,

dvs prestandan är maskinberoende då det finns variationer i tillverkningsprocessen av systemen. Smuts på optiken sågs försämrade resultaten avsevärt för alla system. De olika systemen använder sig också av olika typer av skannings-system, vissa har en spegel som oscillerar fram och tillbaka, vilket resulterar i djupare svets i ändlägena tvärs igenom svetsgeometrin, medan vissa system kompenserar för det och gör skanningshastigheten långsammare i mitten och snabbare mot sidorna för att erhålla en med rektangel eller u-formad svetsgeo-

metri, Figur 16. Single-mode laserkällor visar sig vara stabilare och ger mindre uppkomst av porer. Som skyddsgas rekommenderas kvävgas för kolstål för att inte få porer i svetsen, men med rätt inställningar på laserkälla kan även argon fungera. En läropeng är att idag för svetskvalificering är det viktigt att göra kvalificeringsprover med utrustningen som ska användas, eftersom det finns skillnader mellan system även om de är gjorda av samma tillverkare.

Eduardo Alvarez Rocha (University of Alberta, Kanada) presenterade en studie om att använda HLBW för att svetsa tjocka material, med många svetsrepetitioner (multi-pass). För att lösa detta har först laserstrålen karakteriserats och ett system valts som har en tillräckligt lång duty cycle (vissa HLBW system kan inte svetsa länge utan behöver stanna och kyla av) och valet föll på IPG LightWeld. För att kunna svetsa i en spalt användes parametrar för att hålla processen under gränsen för nyckelhålssvetsning, men så att tillräckligt värme tillförs för att smälta både tråd och säkerställa att bindfel uteblir. De lyckas svetsa 12,5mm tjocka plåtar med

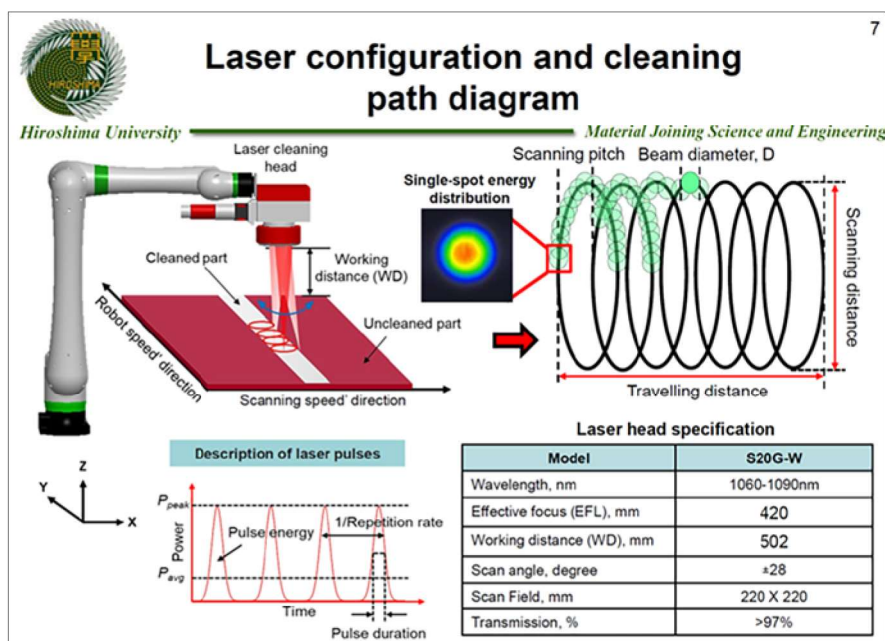


Figur 20: HLBW svetsade prover i kolstål SSAB Artuf, resulterande ytor och motsvarande bilder från höghastighetsfilmning.

multi-pass för både svetsning från två håll och från ett håll, *Figur 17*. I mikrostrukturundersökning hittades ingen CGHAZ, dvs värmen från processen är så pass låg att den grovkorniga värmepåverkade zonen som normalt blir vid traditionell MIG/MAG eller TIG/TAG uteblir. Dock är det oklart om det är kostnadseffektivt att svetsa så många strängar även om hastigheten är hög.

Corey Cox vid Lincoln Electric (Cleveland, Ohio, USA) presenterade "Optimizing hand held laser welding: Analyzing the effects of laser power and Wobble optic parameters", där wobbling för HLBW har provats två olika lägen, triangelformat eller en mer anpassad skanning, som är snabbare mot kanterna och långsammast i mitten (parabolisk), *Figur 18*. Den senare ger profiler som liknar MIG/MAG mer än den första. Svetsningen utfördes i S304L och ett intressant fynd är att det blir två olika zoner för svetsens FZ, som beror på vinkeln på laserstrålen och frekvensen för dessa, *Figur 19*. Han presenterade också riktlinjer för wobbling för att erhålla önskad form på svetsens tvärsnittsprofil, och hur de sekundära FZ kan mitigeras med rätt skanningsmönster och parametrar, vilket också mitigerar uppkomst av "hajtänder" och porer som också visades av Simon Jahn vid IFW Jena.

Vid denna session höll jag den sista presentationen, där jag visade resultat och pågående benchmarkingstudie för HLBW. Det är viktigt att vara uppriktig i vad HLBW är och vad det inte är, dvs när vi ser att det är fördelaktigt att använda jämfört med när andra metoder bör tillämpas för att sammanfoga plåtar. I denna studie jämförs svetsresultat gjorda i fyra olika material (två kolstål från SSAB, ett rostfritt och ett aluminium), där ytorna har rengjorts eller inte med inbyggda laserrengöringsfunktionen eller inte, samt med både argon och kvävgas som skyddsgas. Dessa har även höghastighetsfilmats för att se hur processen skiljer sig för de olika materialen. Kiwa har assisterat med analys och bedömningar av svetsarna och resultaten visar generellt att det är bättre att använda kvävgas som skyddsgas, och att det ofta men inte alltid är fördelaktigt att laserrengöra före svets. Ett exempel på detta är för SSAB Artuf erhålls i alla gjorda svetsar goda resultat, med undantag när yta rengjorts, *Figur 20*. Detta kan vara en avvikelse, men vid höghas-



Figur 21: Anpassning av rörelsemönster och parameterinställningar för att erhålla önskade resultat vid laserrengöring.

tighetsfilmning går det att se att smältan har en mer gynnsam form och är stabilare, jämfört med när ytan är rengjord. SSAB Artuf, visade sig vara väl lämpligt att använda för handhållen lasersvetsning då det varit minst problematiskt och lättsvetsat av alla av mig hittills provade material.

En annan process relaterat HLBW är även laserrengöring, som nu också ser ett uppsving i användande. För tillverkning är det viktigt att kunna rengöra ytor skonsamt, snabbt och effektivt. Thongchuea Nuchanat vid Hiroshima University (Japan) presenterade "Process parameter influence on pulsed laser cleaning of high-thickness painted coatings". I denna studie undersöktes om det istället för att blåstra yta är bättre att laserrengöra före laserpåsvetsning. Studien visade att oscillerande elliptisk rörelse ger positiva resultat, överlapp mellan pulser är också bra. I studien har det sökts ett optimum för att rengöra lack och smuts på ytan men samtidigt inte skada ytan mer än nödvändigt. Avlägsnandet behöver göras med intensiva laserpulser, men hanteras så att de inte skadar ytan och samtidigt ger en jämn tvärsnittsprofil utan lokala omsmältningsområden, *Figur 21*. I studien fanns det att för noggrann laserrengöring är det mycket viktigt att anpassa alla parametrar (pulseffekttopp, pulslängd, frekvens, cirkulationshastighet och överlapp) för att erhålla bra resultat eftersom de hänger ihop.



Figur 22: IIW anteckningsblock.

Slutord

Det finns många fler presentationer vid detta största IIW sammanträde hittills. Jag har deltagit denna gång som representant för både svenska Lasergruppen, Luleå tekniska universitet och i min nya tjänst som teknikchef vid Duroc Laser Coating. Roligt då att det varit särskilt många presentationer i år om både laserpåsvetsning och handhållen lasersvetsning som jag bygger upp kunskap om. Jag har fört många anteckningar från presentationerna här och fått många nya kontakter, *Figur 22*. Jag ser fram emot att fortsätta lära mig om laserbearbetning och nu särskilt påsvetsning. Ser också fram emot fler möjligheter att vara med på detta event.

Den 79:e årliga IIW kommer att hållas den 12-17 juli 2026 på Salzburg Congress (Salzburg, Österrike), där IIW ser fram emot att samla samhället för svetsning, fogning och relaterade processer. Österrike är en bra destination för affärer, fritid och underhållning. ■



Figur 1: Konferenslokalerna i hamnen och stråkmusikspelning under öppningsceremonin.

Internationella Svetskommissionens årsmöte (IIW)

– Tema Handhållen lasersvetsning

78th Annual Assembly and International Conference (IIW) i Genoa. Konferensen 26-27 Juni hölls parallellt med den Italienska svetskonferensen, som tillsammans hade rekordmånga deltagare, över 2 000(!) från 49 olika länder, vilket visar på styrkan i det internationella svetssamfundet. Jag själv deltog framförallt vid General Assembly, med öppningsceremonin 22:a Juni och fortsatte till 25:e Juni och där flertalet diskussioner, arbetsgrupper och presentationer hölls, upp till 19 per dag och totalt 87 presentationer inom olika områden. Att konferensen hölls i Genoa är symboliskt, eftersom det var här som grunden för EWF lades för snart 80 år sedan. Bland bekanta namn tilldelades också priser under öppningsceremonin, bland annat till Elin Westin och Gustav Hultgren, ett stort grattis till dom! I år hölls för första gången en särskild grupp kring temat Handhållen lasersvetsning.

Handhållen lasersvetsning

Handhållen lasersvetsning (Hand held laser beam welding, HLBW) är både i världen ett snabbväxande nytt område för svetsning men också nytt ett nytt tema vid IIW. För ca ett år sedan bildades ett världsomspännande nätverk inom IIW om handhållen lasersvetsning. Termen som det nu enats om som processen ska heta är "Handheld laser beam welding", HLBW. Det finns redan många olika system för detta, där det första utvecklades i USA av IPG, men där företag från Kina snabbt tog efter. Det finns idag några seriösa leverantörer men också många opportuniteter

som försöker sälja system som har låg kvalitet och ofta med säkerhetsbrister. Till alla som funderar på att investera, var noga med att köpa från en seriös leverantör och se framförallt till att vara införstådda i säkerhetsaspekterna. Vi har hört rapporter om skador från flera länder och allvarliga olyckor ibland annat Kanada och Australien. I Kina och många länder i öst saknar vi information från men misstänker att det finns ett stort mörkertal.

I år hölls ett så kallat super joint meeting under dagarna vid IIW General Assembly, mellan hela fem olika kommissioner. Detta eftersom det berör så



Jan Frostevarg

CTO vid Duroc Laser Coating
Docent | T.Dr i laserbearbetning
EWF ELW

många olika delar inom svetsning och det finns många frågor som behöver besvaras. Alltifrån säkerhet, utbildning, prestanda, kvalificering och processgenskaper. Det första området är utbildning, där första presentationen om HLBW gick igenom några aspekter för att skapa kurs för IWS och ramverk därav, som de hade utvecklat. Det är känt att det börjar vara brist på kvalificerade svetsare i Sverige, men vid konferensen blir det tydligt att det är en global trend, någon som denna nya teknik kan bidra till att lösa eftersom den är lättare att lära och erhåller lättare goda resultat. HLBW erfar ofta missvisande reklam, där tekniken marknadsförs som "plug & play", men där många brister finns i både säkerhet och kvalitet. För att införa denna teknik på ett säkert sätt behövs

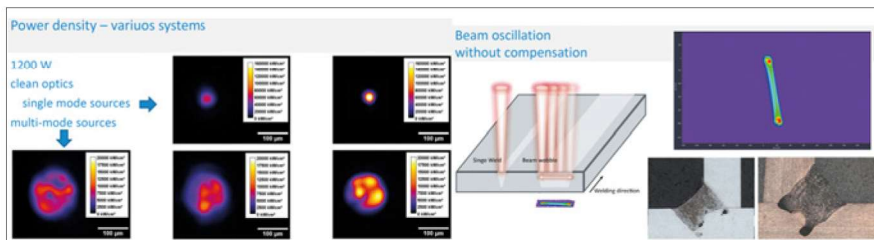
både utbildare och utbildade svetsare, samt en slags överföring av ”know-how”. I kursupplägget som presenterades tas det upp de olika delarna som en som ska bli IWS behöver veta, både teoretiska och praktiska moment, *Figur 2*. En IWS kurs inom HLBW bör innehålla lasersäkerhet, teori om hur processen fungerar, och hur den skiljer sig från vanlig svetsning, vilka de rådande standarder är och hur de ska tolkas, hur metoden kan certifieras och praktiska moment för att kunna utföra svetsningen. Vad gäller regelverk så ligger amerikanska ASME först, troligen för att metoden utvecklades där, medan det nu görs tillägg till övriga ex ISO standarder så metoden kommer att ingå vid nästa revision.

Simon Jahn vid IFW Jena presenterade “Hand held laser beam welding – about various influences on resulting properties”, en studie där de har testat fem olika system för HLBW. De har testat fem olika system från olika tillverkare. De har undersökt hur laserstrålen sveper över ytan och vad det ger för resultat, modulering, processtabilitet och uppmätt effektfördelning, *Figur 3a*. I mätningarna syns det tydligt att effektfördelningen för multimodlaserkällor ofta har en ojämn strålprofil, med flera ojämnt utspridda energitoppar, medan single mode lasrar har en betydligt jämnare profil som dessutom är mindre och mer energität.

I studien utfördes även tester för att se om det blir fokalskiften om laserstrålen är aktiv under en viss tid. Fokalskifte innebär att fokuspunkten för laserstrålen ändras, ofta på grund av att fokuseringslins deformeras på grund av värme. Vid svetsning innebär det att om optiken är på ett inställt avstånd kommer den i praktiken behöva flyttas närmare för att erhålla samma resultat längs med en svets. Detta kan vara problematiskt vid autonom lasersvetsning, men vid HLBW blir det än mer problematiskt eftersom svetspistolen ska ligga an mot ytan och inte kan ändras under pågående svets. Resultaten visar att fokalskiften frekvent förekommer och det tar olika lång tid för olika system, ibland även av samma modell från samma tillverkare. I ett extremfall var det för ett system i testet hela 150 mm svetslängd innan laserstrålen stabiliserats, vilket påverkar svetskvaliteten längs svetsen, både geometri och processtabilitet och uppkomst av porer.



Figur 2: Förslag för utformning av tilläggsmodul för IWS utbildning för Handhållen lasersvetsning presenterades.

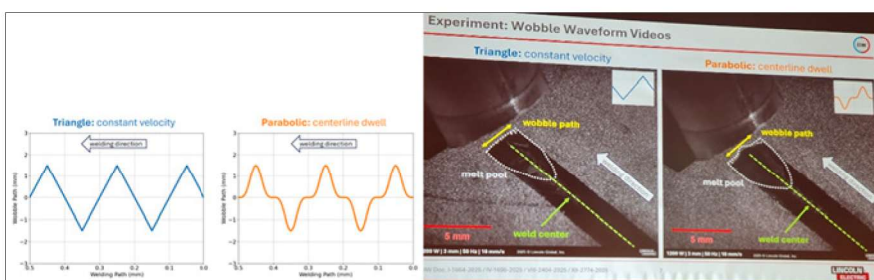


Figur 3: T.v. Handhållen lasersvetsning och exempel för b) uppmätt strålprofil för multimod och single mod laserkällor. T.h. oscillering av laserstråle längs ytan och exempel på svetsar där hastigheten i rörelsen inte kompenseras för, vilket resulterar i svetsgeometri kallad ”hajtänder” (eng. shark tooth).

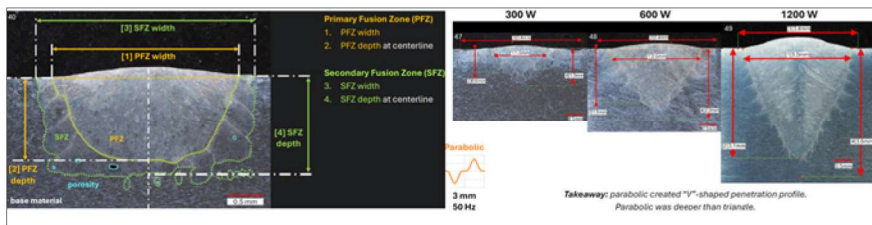
De uppmätte även skillnader i likadana system som kommer från samma tillverkare. Detta är anmärkningsvärt då det visar att prestandan och resulterande svetskvalitet kan vara maskinberoende fast att det är samma modell. Vad detta beror på är oklart, men något i tillverkningsprocessen eller ingående komponenter varierar. Vilken tillverkare detta var framkom inte. Detta kan dock innebära i praktiken att svetskvalificering kan behöva göras för respektive svetsmaskin. Smuts på optiken sågs försämra resultaten avsevärt för alla system och det hör till rekommendationer att kontrollera skyddsglas och optik regelbundet. De olika systemen använder sig också av olika typer av skanningssystem, vissa har en spegel som oscillerar fram och tillbaka, vilket resulterar i djupare svets i ändlägena tvärs igenom svetsgeometrin och ger så kallade ”hajtänder (shark teeth)” i svetsprofilens tvärsnitt. Vissa system kompenserar för detta och gör skanningshastigheten långsammare i mitten och snabbare mot sidorna för att erhålla en med rektangel

eller u-formad svetsgeometri, *Figur 3b*. Single-mode laserkällor visar sig vara stabilare och ger mindre uppkomst av porer. Som skyddsgas rekommenderas kvävgas för kolstål för att inte få porer i svetsen, men med rätt inställningar på laserkälla kan även argon fungera, men kräver mycket justering och kunskap.

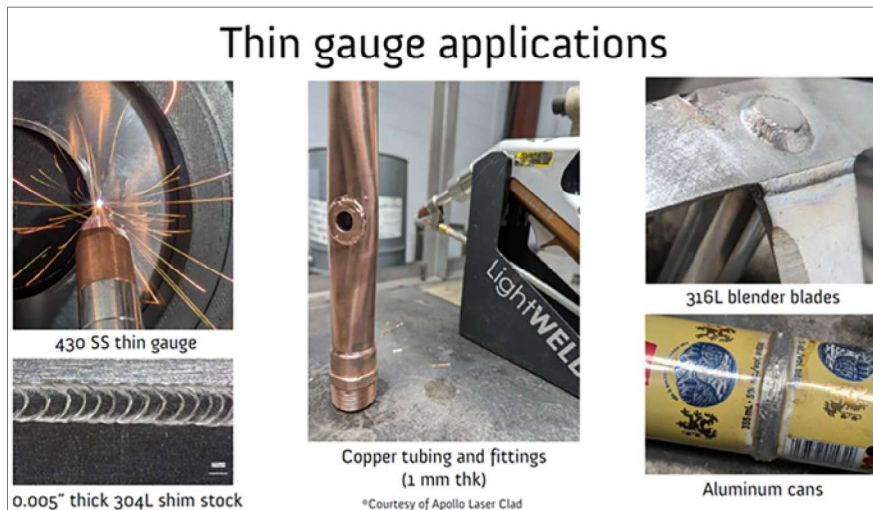
Corey Cox vid Lincoln Electric (Cleveland, Ohio, USA) presenterade “Optimizing hand held laser welding: Analyzing the effects of laser power and Wobble optic parameters”, där wobblingen för HLBW har analyserats två olika lägen, triangelformat eller en mer anpassad skanning, som är snabbare mot kanterna och långsammare i mitten (parabolisk), *Figur 4*. Den senare ger profiler som är djupare och därmed möjliggör snabbare svetsning med samma effekt. Svetsningen utfördes i S304L och ett intressant fynd är att det blir en sekundär smältzon, smälta inträngningar runt själva svetsen in i den värmepåverkade zonen. Dessa beror troligen på vinkeln hos laserstrålen, frekvensen i oscilleringen och hastigheten vid svets-



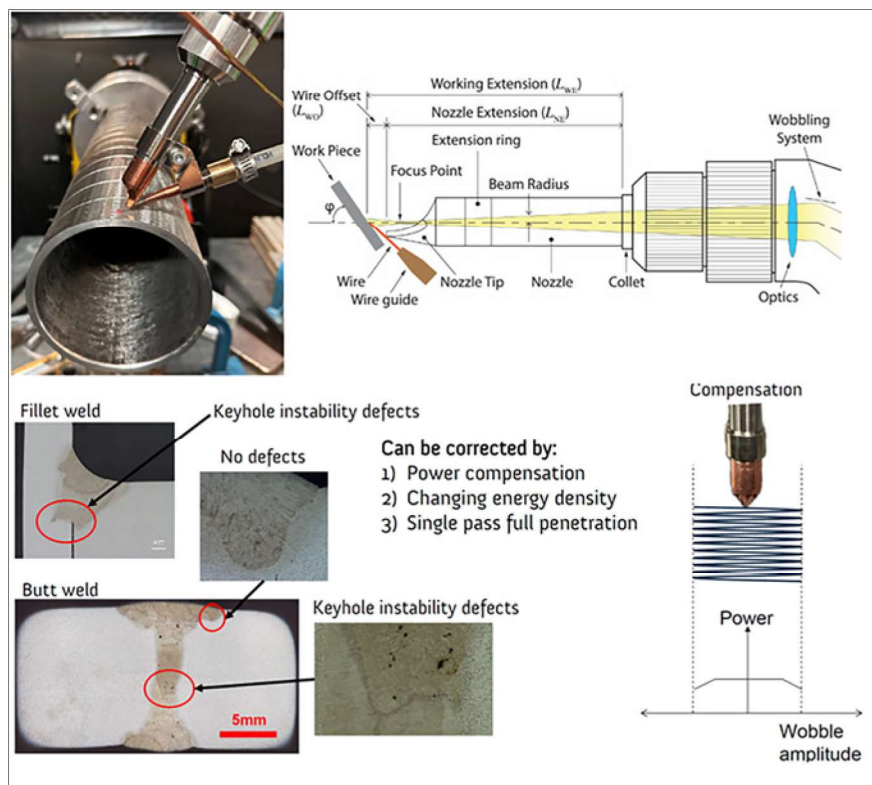
Figur 4: Skanningsmönster och bilder från höghastighetsfilmer resulterande smältpöl vid svetsning med respektive.



Figur 5: T.v. Tvärsnitt som visar sekundära smältor (fusion zone, FZ) mellan svets och värmepåverkad zon. Denna kan uppstå vid HHL med felaktiga wobblingsinställningar. T.h. form på svets i S304L vid justerad oscillering och olika lasereffekter.



Figur 6: Exempel på tunnplåtsvetsning i olika material.



Figur 7: Handhållen lasersvetsning med multi-pass och sidoförflyttning, resulterar i god mikrostruktur i svets och i värmepåverkad zon (med undantag från viss uppkomst av porer).

ning, Figur 5. Han presenterade också riktlinjer för wobbling för att erhålla önskad form på svetsens tvärsnittsprofil, och hur de sekundära FZ kan mitigeras

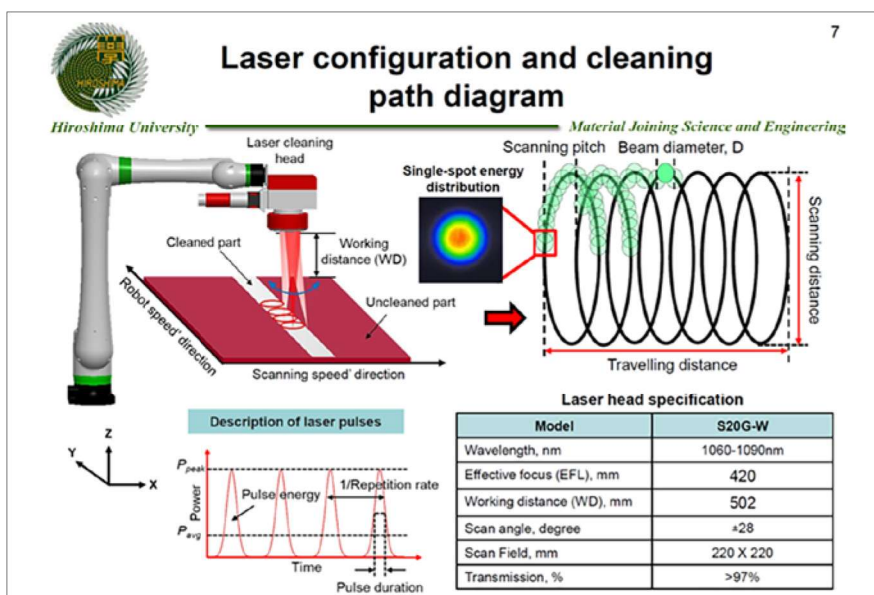
med rätt skanningsmönster och parametrar, vilket också mitigerar uppkomst av "hajtänder" och porer som också visades av Simon Jahn vid IFW Jena.

Att svetsa i tunna material är en utmaning med traditionella svetsmetoder, något som går avsevärt lättare med handhållen lasersvetsning. I Figur 6 visas exempel på applikationer och även det som anses vara en svetsares eldprov, att svetsa ihop två aluminiumburkar, något som en relativ nybörjare klarar av efter endast några försök med de nya handhållna lasersvetssystemen. Att svetsa i tjocka material är däremot en utmaning och något som inte rekommenderas, men något som Apollo Clad och University of Alberta tagit sig an. Eduardo Alvarez Rocha (University of Alberta, Kanada) presenterade en studie om att använda HLBW för att svetsa tjocka material, med många svetsrepetitioner (multi-pass). För att lösa detta har först laserstrålen karakteriserats och ett system valts som har en tillräckligt lång duty cycle. Vissa HLBW system kan inte svetsa länge utan behöver stanna och kylas av efter kortare svetsar, fast att de är ibland vattenkylda producerar de för mycket värme. Valet föll på IPG LightWeld XC som inte har denna problematik. För att kunna svetsa i en spalt användes parametrar för att hålla processen under gränsen för nyckelhålsvetsning, men så att tillräckligt värme tillförs för att smälta både tråd och säkerställa att bindfel uteblir. De lyckas svetsa 12,5mm tjocka plåtar med multi-pass för både svetsning från två håll samt från ett håll, Figur 7. I mikrostrukturundersökning hittades ingen CGHAZ, dvs värmen från processen är så pass låg att den grovkorniga värmepåverkade zonen som normalt blir vid traditionell MIG/MAG eller TIG/TAG uteblir. Dock är det oklart om det är kostnadseffektivt att svetsa så många strängar även om hastigheten är hög. Jag skulle dock personligen troligen välja annan metod att svetsa så tjocka material, om det inte är så att materialkraven är höga och att ett fullskaligt lasersvetssystem är otillgängligt.

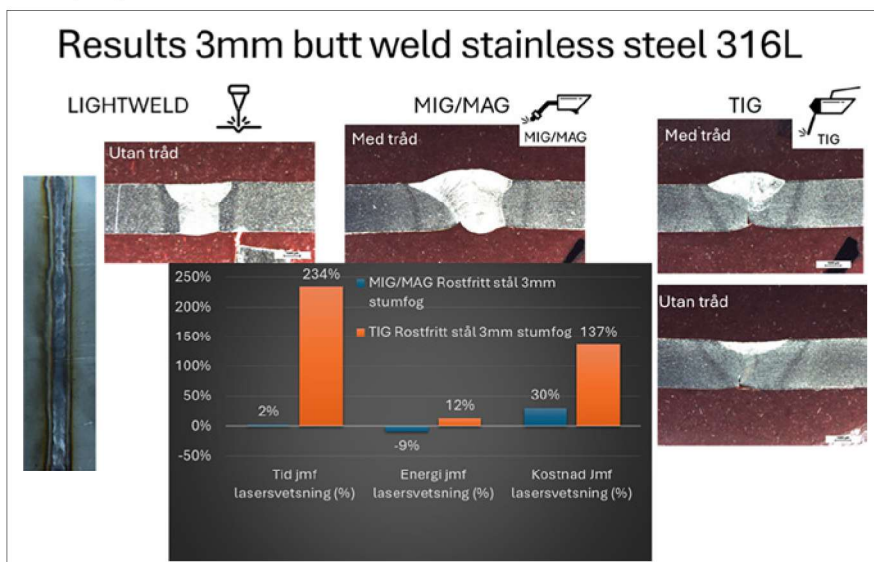
En annan process relaterat HLBW är även laserrengöring, som nu också ser ett uppsving i användande. För tillverkning är det viktigt att kunna rengöra ytor skonsamt, snabbt och effektivt. Thongchuea Nutchanat vid Hiroshima University (Japan) presenterade "Process parameter influence on pulsed laser cleaning of high-thickness painted coatings". I denna studie undersöktes om det istället för att blåstra yta är bättre att laserren-

göra före laserpåsvetsning. Studien visade att oscillerande elliptisk rörelse ger positiva resultat, överlapp mellan pulser är också bra. I studien har det sökts ett optimum för att rengöra lack och smuts på ytan men samtidigt inte skada ytan mer än nödvändigt. Avlägsnandet behöver göras med intensiva laserpulser, men hanteras så att de inte skadar ytan och samtidigt ger en jämn tvärsnittsprofil utan lokala omsmältningsområden, *Figur 8*. I studien fanns det att för noggrann laserrengöring är det mycket viktigt att anpassa alla parametrar (pulseffekttopp, pulslängd, frekvens, cirkulationshastighet och överlapp) för att erhålla bra resultat eftersom de hänger ihop.

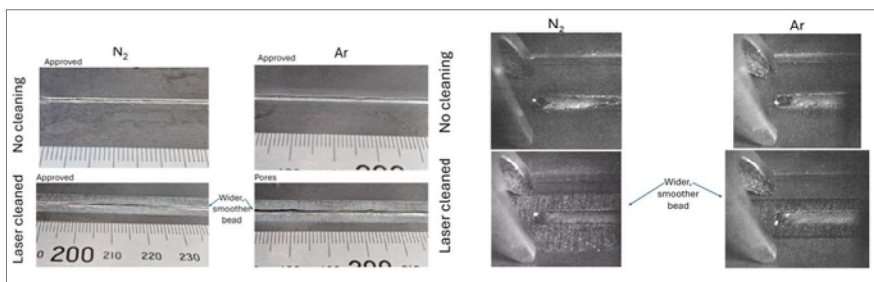
Min egen presentation är resultat från några av mina avslutande projekt vid LTU, finansierade av Tillväxtverket och från Norrlandsnavet, med stöd av lokala kommuner och Luleå tekniska universitet. Jag visade på marknadsanalys och svetsresultat från en pågående benchmarkingstudie för HLBW. Det är viktigt att vara uppriktig i vad HLBW är och vad det inte är, dvs när vi ser att det är fördelaktigt att använda jämfört med när andra metoder bör tillämpas för att sammanfoga plåtar. Det är till exempel en metod där fixturering och fogförberedelser är viktiga eftersom det inte går tillföra så mycket material för att överbrygga spalter. Det är en metod där särskilda säkerhetsåtaganden krävs, men om dessa uppfylls kan en betydligt renare och bättre arbetsmiljö för svetsare erhållas då både ergonomi förbättras och det är i princip sprutfritt och det är endast lite svetsrök som bildas. Det är en metod som väl lämpar sig för tunna material och många annars svårsvetsade material, exempelvis rostfritt och aluminium är lätt att svetsa, och även koppar och mässing går att svetsa. I förstudie framkom det att uppkomst av sprut och porer ger en stor tids och kostnadspost för efterbearbetning hos en stor majoritet av tillfrågade företag. HLBW kan hjälpa till att minska detta. En stor majoritet av företagen anger också att det finns stora rekryteringsproblem av svetsare, satsningar på utbildning och kompetensutveckling är kritiskt. Ny teknik såsom HLBW kan bidra till att förbättra detta genom att svetsning förenklas och att det kan ge ett ökat intresse. I ett tidigare examensarbete av William Holmström jag ledde utförde vi en första benchmarking av handhållen lasersvetsning jämfört



Figur 8: Anpassning av rörelsemönster och parameterinställningar för att erhålla önskade resultat vid laserrengöring.



Figur 9: Den tidigare benchmarkingstudien där William Holmström svetsade med handhållen lasersvets i 3mm rostfri plåt med klippta kanter, jämfört med MIG/MAG och TIG



Figur 10: HLBW svetsade prover i kolstål SSAB Artuf, resulterande ytor och motsvarande bilder från höghastighetsfilmning.

fört andra metoder. Denna studie har jag tidigare skrivit om i Lasernytt nr 2 2023, och arbetet kan hittas via länk. [1] Det var roligt att höra att under IIW att det arbetet översatts till både Tyska och Spanska eftersom det var en av de första som gjorts inom området. Här provades

olika fogar för att testa effektiviteten och vilken typ av resultat som kan nås. William hade aldrig svetsat innan han svetsade med HLBW och jämförande prover utfördes av T2 i Skellefteå. I Figur 9 visas jämförande resultat för HLBW svetsat i 3mm rostfritt stål och svetsar med sam-



Figur 11: Mitt anteckningsblock.

ma fogutformning svetsat med MIG/MAG och med TIG.

I den nyare studien ingår även en jämförande studie där svetsresultat gjorda i fyra olika material jämförs (två kolstål från SSAB, ett rostfritt och ett aluminium). Det som testas är skillnad i resultat där ytorna har rengjorts eller inte med inbyggda laserrengöringsfunktionen, samt med både argon och kvävgas som skyddsgas för båda fallen och alla fyra material. Dessa har även höghastighetsfilmats för att kunna se hur processen skiljer sig för de olika materialen. Kiwa har assisterat med analys och bedömningar av svetsarna. Resultaten visar generellt att det är bättre att använda kväv-

gas som skyddsgas jämfört med argon som oftast används vid autonom laser-svetsning. Det är kanske inte förvånande att det ofta är fördelaktigt att rengöra ytan före svetsning, men däremot såg vi att det inte alltid så är fallet. Ett exempel på detta är för SSAB Artuf erhålls i alla gjorda svetsar goda resultat, med undantag när yta rengjorts, *Figur 10*. Detta kan vara en avvikelse, men vid höghastighetsfilmning går det att se att smältan har en mer gynnsam form och är stabilare, jämfört med när ytan är rengjord. SSAB Artuf, visade sig vara väl lämpligt att använda för handhållen lasersvetsning då det varit minst problematiskt och mer lättsvetsat av alla av mig hittills provade material.

Den 79:e årliga IIW kommer att hållas den 12–17 juli 2026 på Salzburg Congress (Salzburg, Österrike), där IIW ser fram emot att samla samhället för svetsning, fogning och relaterade processer. Österrike är en bra destination för affärer, fritid och underhållning.

Slutord

Som resultat av de arbeten som gjorts finns det nu ramar för att kunna erbjuda kurser i Handhållen lasersvetsning

(HLBW), på både IWS (tillägg) och specialist EWF ELW-B nivå. Är ni intresserade så håll utkik eller kontakta mig.

Det finns många fler presentationer vid detta största IIW sammanträde hittills. Jag har deltagit denna gång som representant för både svenska Lasergruppen, Luleå tekniska universitet och i min nya tjänst som teknikchef vid Duroc Laser Coating. Roligt då att det varit särskilt många presentationer i år om både laserpåsvetsning och handhållen lasersvetsning som jag bygger upp kunskap om. Jag har fört många anteckningar från presentationerna här och fått många nya kontakter, *Figur 11*. Jag ser fram emot att fortsätta lära mig om laserbearbetning och nu särskilt påsvetsning. Ser också fram emot fler möjligheter att vara med på detta event. ■

Läs mer

[1] ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1789242/FULLTEXT01.pdf

[2] EWF nyskapade riktlinjer för handhållen lasersvetsning som slutfördes efter dessadagar: european-welding.org/wp-content/uploads/2025/07/Brochure-handheld-laser.pdf

Kalendarium

2026

Mars

17-19 Nordic Welding Expo, Tammerfors, Finland, (www.nordicweldingexpo.fi)

April

21-23 The 6th Smart Laser Processing Conference 2026, Yokohama, Japan
(www.jlps.gr.jp/slpc2026)

Maj

Årsmöte Lasergruppen – Laserdag I, (www.lasergruppen.eu/aktiviteter)
19-22 Elmia Svets & Fogningsteknik, Jönköping, (www.elmia.se/svets)

Juli

12-17 IIW – 79th Annual Assembly and International Conf., Salzburg, Österrike (www.iw2026.com)

September

21-25 Lane 2026, Erlangen, Tyskland, (www.lane-conference.org)

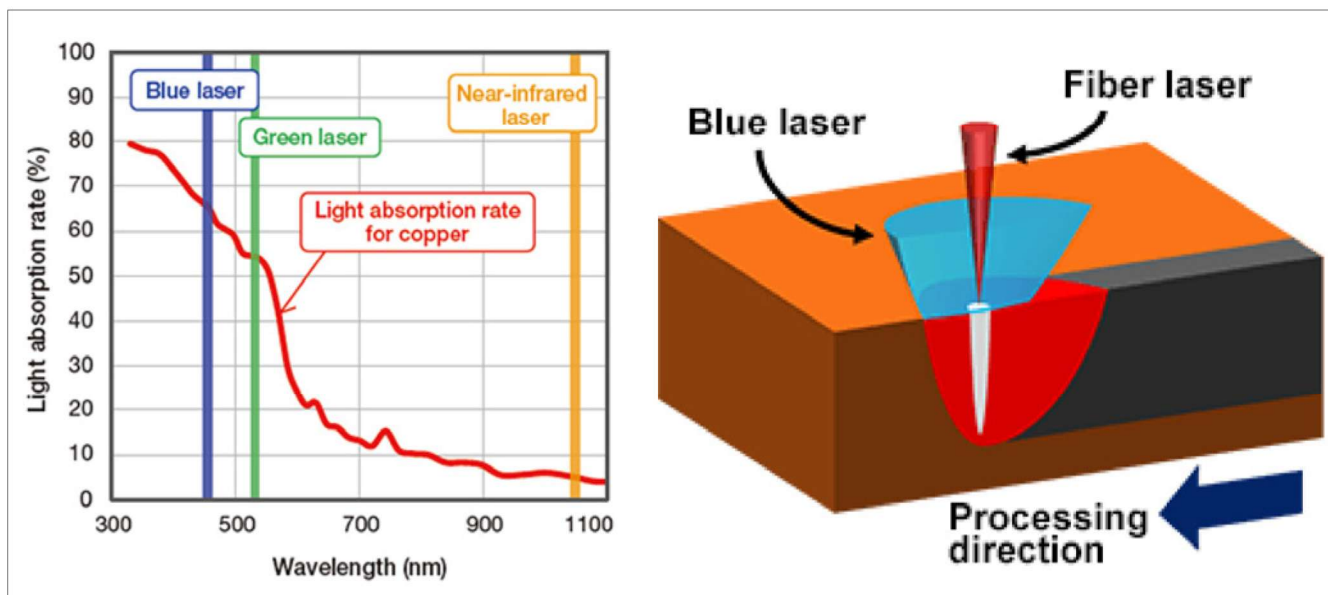
Oktober

5-8 45th Annual ICALEO 2026, Denver, Colorado, USA, (www.icaleo.org)

2027

Juni

22-25 LiM, München, Tyskland, (www.wlt.de/lim-conference)



Figur 1: (t v) Absorption mot ljusets våglängd. (t h) Laserkonceptet med sammanstrålande blått och IR-lasrar. (Bilder <https://www.furukawa.co.jp/fiber-laser/en/product/tech/blue.html>)

Internationella Svetskommissionens årsmöte (IIW) – kombinerat blått + infrarött lasersystem

Ett japanskt företag presenterade en proof-of-concept för ett kombinerat blått + infrarött lasersystem. Bakgrunden till denna utveckling var att allt tjockare koppar används för mer krävande elektriska applikationer. Till exempel, för att minska tiden för snabbbladdning av elbilar måste strömmen genom batterierna ökas, vilket möjliggörs genom tjockare samlingsskenor i koppar. Koppars absorptionsgrad av vanligt IR-laserljus (~1070 nm våglängd) är låg, vilket gör att mycket sprut bildas under svetsning. I och med att sprut lämnar smältbadet minskas svetsens snittarea och resistansen över svetsen ökas. Sprut kan även eventuellt orsaka kortslutningar i sammankopplade strömöverförande förband. Därför måste sprut helst elimineras i sådana applikationer.

Trots problemen med sprut har svetsning av koppar med IR-lasrar en fördel, vilket är att ett djup nyckelhål och därmed djup penetration kan åstadkommas. Blått laserljus (450 nm våglängd) å andra sidan absorberas till mycket högre grad av koppar vilket ger bred och grund penetration men smältbadet blir samtidigt stabilare med minskad sprutbildning.

För att utnyttja fördelarna med båda våglängderna tog företagen NICHIA

och Furukawa Electric Group fram ett nytt lasersystem med kombinerat blått + IR-ljus. Med den nya laserkällan kan den blå respektive den IR-lasereffekten styras oberoende av varandra, och med optimerade svetsdata (IR 6kW, blå 3 kW) lyckades man uppnå en sprutfri svets i ren koppar med 3,7 mm djup penetration.

På ett annat föredrag hade forskare från BAM i Tyskland undersökt både CFD-beräkningar och experimentella



Ethan Sullivan
Swerim

lasersvetsförsök för att förstå hur ändringar i laserns energifördelning längs nyckelhålets djup under mycket kort tid kan påverka svetsens makroegenskaper. Man simulerade även olika framföringshastigheter samt fokalavstånd och med hjälp av CFD-simuleringar beräknade man hur många gånger nyckelhålet kollapsade, vilket kan användas för att prediktera vilka svetsdata kommer leda till porositet i svetsen. Försöken och beräkningarna visade att nyckelhålet tenderar att kollapsa oftare ju högre framföringshastigheten är. Att lägga fokalpunkten inuti arbetsstycket hjälpte till att minska kollapsfrekvensen i nyckelhålets botten, vilket ledde till mindre porositet i den färdiga svetsen. ■

LAMP conference – Laser news from Japan



Jörg Volpp
Biträdande Professor
Högskolan Väst



Figure 1: Masahiro Tsukamoto, chair of HPL.

The International Congress on Laser Advanced Materials Processing (LAMP) is organized by Japan Laser Processing Society in Japan every four years. LAMP was hosted in Osaka, Kyoto, Kobe, Niigata, Kitakyushu and Hiroshima. In 2025, the conference was held at Sinfonia Technology Hibiki Hall Ise, Ise-city, Mie-prefecture, Japan.

LAMP consists of the International Symposia on Laser Precision Microfabrication (LPM) and High Power Laser Processing (HPL) and aims for discussing fundamental aspects of laser-matter interaction, laser materials processing, and next-generation topics with scientists, end-users and laser manufacturers in both micro-processing and macro-processing.

Thanks to Masahiro Tsukamoto for hosting us as chair of HPL in entertaining and traditional evening events (Figure 1) and at Toba Aquarium (Figure 2).

Keynotes

Three keynote talks were held showing the wide use of lasers for other applications other than manufacturing. Henry Helvajian showed the use of photonics technologies for the development of a sustainable eco-system in outer space, which will not be possible without laser light. A practical application of Additive Manufacturing was shown by Fernando Lasagni who presented the approaches to bring laser manufacturing from earth to space. First ideas and approaches regarding implementation of laser based Additive Manufacturing for the development of high value applications were shown. Newest developments of laser fusion for energy purposes were presented by Keisuke Shigemori.

Copper applications for e-mobility

The long-time guest of HPL Andreas Heider opened the session about copper processing showing challenges and limits for laser welding with a focus on the pore formation mechanism. A big



Figure 2: Evening event at Toba Aquarium.

topic at HPL was the use of blue laser light for material processing. As if the aquarium knew, there was a blue lobster honoring the blue laser approaches (Fig. 3). Sumika Sano showed that with a blue 5kW-laser with near-infrared fiber laser support can be used for high-quality copper processing.

Since power density of blue lasers increases, new processes are possible. Yoshiya Miyamoto used high power blue lasers for insulation removal of rectangular magnet wires, while Kazuya Hatakeyama showed that kW-class high-power and high-brightness blue lasers are possible to manufacture using wavelength beam combining technology. Martin Weiler presented new applications of those high-power blue lasers. Yuji Sato, one of the co-organizers of HPL, showed that Additive Manufacturing of pure copper is possible with blue diode lasers, while Tim Pasang showed robust hairpin welding using infrared and hybrid laser methods. In addition, the use of a rectangular beam for pure copper coating using multibeam laser metal deposition with blue diode lasers was shown by Tamaki Yoshida.

Beam shaping

Also, beam shaping was a dominant topic at HPL. Dynamic beam shaping for laser welding was presented by Christian Hagenlocher. Felix Zaiß presented a special case that vapor flow from a laser-generated keyhole can be optimized using coherent beam combining beam shaping strategies to reduce spatter in laser welding. Iurii Markushov added newest findings regarding keyhole stabilization for spatter-free welding using adjustable mode beam fiber lasers. Avinash Kumar presented a multi-physics simulation and a strategy to find optimal tailored beam-shaping solutions for applications in industrial laser welding to actually know which beam shape to use.

Directed Energy Deposition

Within Directed Energy Deposition (DED) Leonie Düfert evaluated the influence of protection and carrier gas flow on the melt pool temperature and the mechanical properties of stainless steel 316L. The extreme high-speed laser material deposition (EHLA) was described by Kim Julia Kallies with the capabilities for the repair of large-scale



Figure 3: Blue lobster in Toba Aquarium.



Figure 4: Arnoldas during his presentation at HPL.

cast iron components using adaptive path planning.

Monitoring

For DED applications, also smart sensor solutions were presented. Cedric Hauschopp correlated defects to process monitoring data by integrating sensor data for enhanced quality control and defect prediction. Frank Brückner gave an overview of the current status of sensor-based fabrication of large parts in laser-based Additive Manufacturing. Markus Kogel-Hollacher added on by showing newest developments in the field of optical coherence tomography (OCT) as a sensor technology that enables high quality and first-time-right production. Klaus Loeffler showed the use of combining AI and Photonics for battery production with zero defects.

Advanced process observation techniques were presented using X-Ray imaging of keyhole behavior during laser beam welding by Klaus Schricker. Hongze Wang could even observe

powder mode differences in laser DED by in-situ X-ray imaging, while Carola Forster showed fluid flow characterization possibilities in laser beam welding using synchrotron imaging. Tobias Florian presented simulation of the unseen combining modeling with synchrotron data investigations.

New processes and approaches

Arnoldas Sasnauskas presented a new Additive Manufacturing idea using powder sheets instead of loose powder. The impact of the used polymer binder for making the sheets were observed and in-process polymer laser ablation were investigated (Fig. 4). Another interesting approach was shown by Kiwamu Suzuki, who used a 5-kW CW single-mode fiber laser for industrial high-speed CFRP cutting. Joerg Volpp showed a method to use the laser for measuring surface tension. High temperature surface tension was determined using laser-pulse induced surface waves. ■

Copenhagen meets laser

– The 20th Nordic Laser Materials Processing Conference



Jörg Volpp
Högskolan Väst

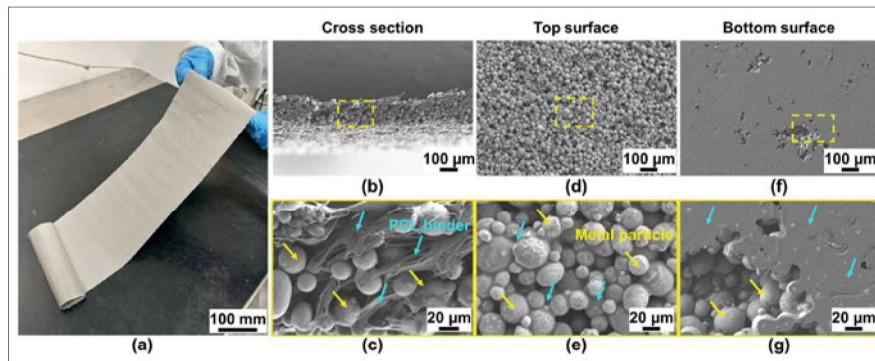


Figure 1: Powder sheets for AM.

The tradition of NOLAMP continued for the 20th time from August 26–28, 2025. It was established in 1987 in Oslo and was hosted in 2025 at the Technical University of Denmark. Seven keynotes and 42 accepted papers were presented in the fields of laser welding, additive manufacturing, surface treatment, microstructure engineering, laser-material interaction, integration of sensing, data analytics, and intelligent feedback. Participants could even enjoy a talk from Lawrence Livermore National Laboratory about the lasers used for fusion systems. We experienced two very nice dinners. For one, we needed to work and ‘safe the world’ in an activity game in Copenhagen.

A new Additive Manufacturing (AM) process was introduced. Abbott et al. (doi:10.1088/1757-899X/1332/1/012001) showed the potential of Metal

Additive Manufacturing using powder sheets (MAPS), which showed the capability of printing a wide variety of metals (Fig. 1). Due to its ability to utilize irre-

gularly shaped powder stock, MAPS has the potential to increase the affordability of PBF processes in the marketplace.

In addition, Kaplan et al. (doi:10.1088/1757-899X/1332/1/012004) showed the application of powder sheet manufacturing (MAPS) including the roller design (Fig. 2). The powder sheet is placed on top of the part for building by a scanning laser beam that generates tracks layer by layer. For a laser beam power of up to 300 W, the process has been studied for AlSi10Mg aluminum powder sheets. The study of laser remelting and cleaning steps of previous layers has led to smoother, reproducible surfaces and less porosity.

One of the hot topics in laser materials processing is beam shaping technology. Beam shaping was utilized by Schroder et al. (doi:10.1088/1757-899X/1332/1/012034) to control weld pool oscillations with the aim of reducing porosity with asymmetric beam shapes to introduce keyhole oscillation (Fig. 3). The findings suggest that quasi-static beam shaping can decrease porosity though keyhole wobbling induced by beam shaping, and it is assumed that these results can be generalized to static beam shapes as well.

Another beam shaping technique is beam oscillation. Bunaziv et al. (doi:10.1088/1757-899X/1332/1/012016) showed that beam oscillation can enable welding of 5xxx aluminum alloys in T-joint configuration (Fig. 4).

Since deformations during thermal impacts can lead to defective parts (Fig. 5), Westman et al. (doi:10.1088/1757-899X/1332/1/012031) used thermo-mechanical simulation to assess part deformations during laser-wire DED and its impact on the process stability and print quality. Results may be used to help predict possible points of failure and help the process planning to mitigate problems.

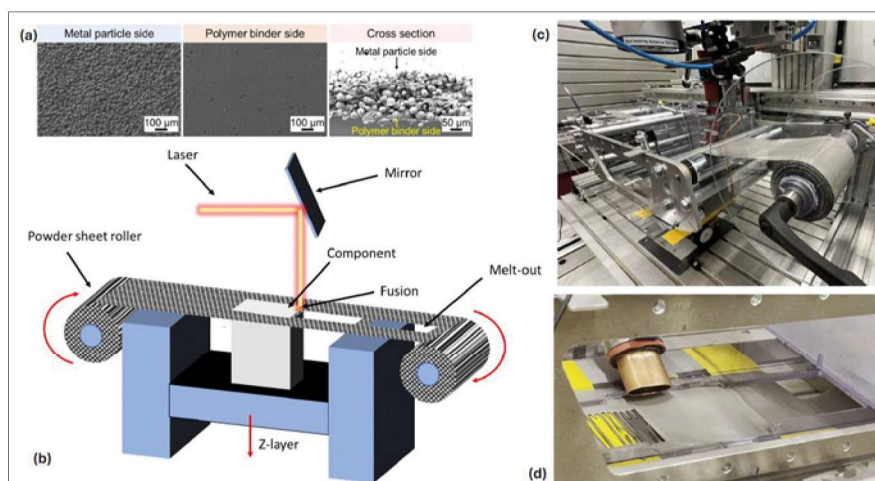


Figure 2: Powder sheet processing system.

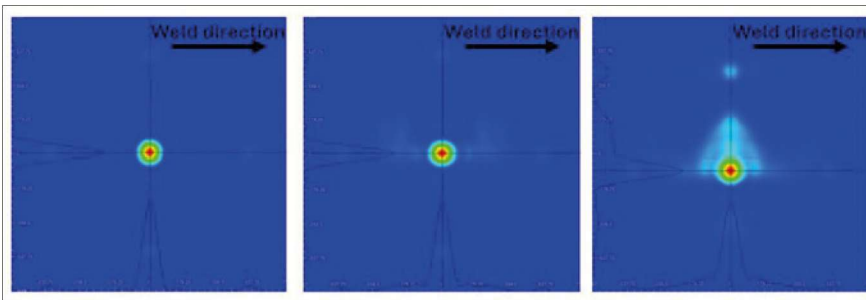


Figure 3: Beam shapes.

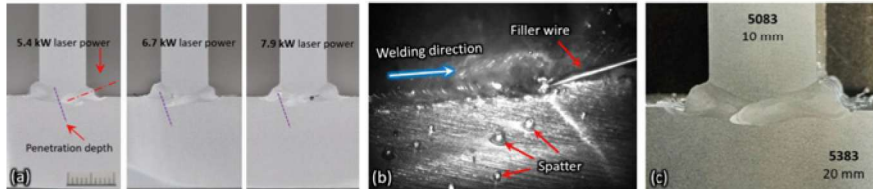


Figure 4: T-joint laser beam oscillation welding.

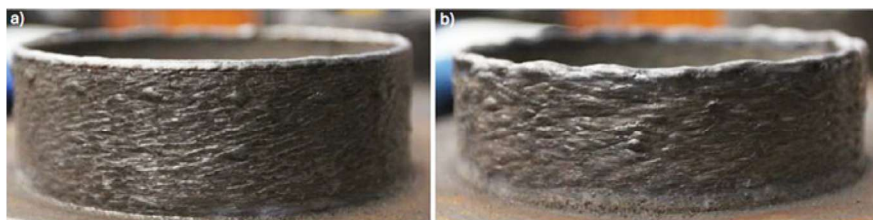


Figure 5: Manufactured specimens.

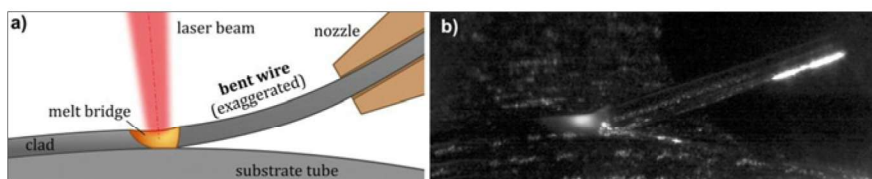


Figure 6: Wire bending for stable wire feeding of small wires.

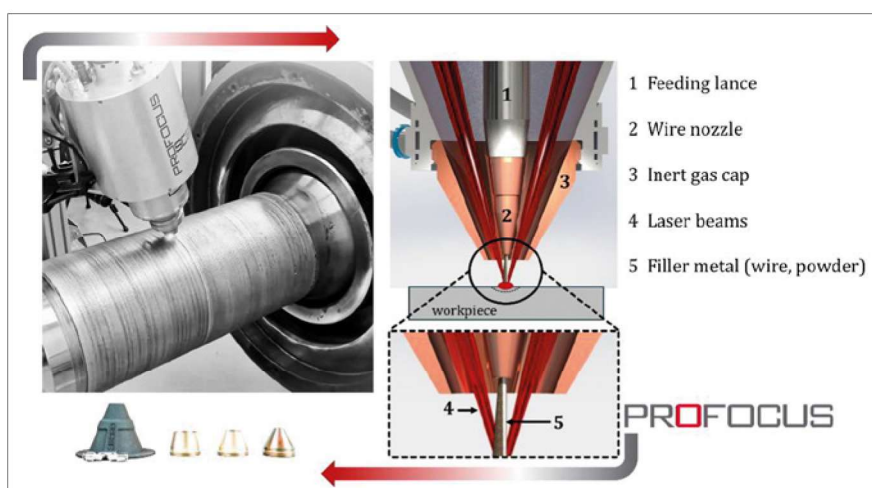


Figure 7: Integrated laser head for additive repair.

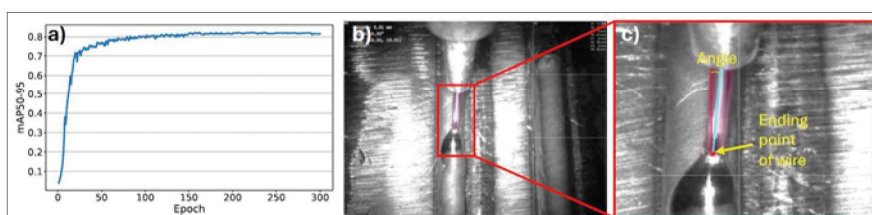


Figure 8: Detection of wire position.

Typically, wires for AM are in the range of 1 mm diameter, which enables the proper feeding. Much smaller desired depositions require smaller dimensions of the wire and laser beam. Gruber et al. (doi:10.1088/1757-899X/1332/1/012013) demonstrated laser cladding using very thin wires (200 μm) to create a thin layer at minimum distortion. A wire-bending support method (Fig. 6) was used to enable high process stability and minimize wire movement during deposition. Thin layers of 135 μm height could be produced defect-free clad layers onto thin (500 μm) substrates at low-dilution (< 7%). Characterization indicates that the coatings meet demanding requirements for nuclear applications.

Repair applications are becoming increasingly relevant. Gustmann et al. (doi:10.1088/1757-899X/1332/1/012009) showed the possibility to use a compact diode laser system with coaxial wire feed for additive repair (Fig. 7). In this process, the heat input is mainly dissipated in the filler metal during processing, which leads to a low dilution and minimal martensite formation in the transition zone using NiTi4 and FeCrMoVC. The gained flexibility in cast-iron repair addresses the potential for future concepts in the field of industrial remanufacturing.

For first-time-right production, process monitoring and control are needed. Asadi et al. (doi:10.1088/1757-899X/1332/1/012039) showed a real-time wire monitoring approach for multilayer LW-DED of Inconel 625 to predict surface waviness (Fig. 8). A convolutional neural network model achieved 81.11% mAP50-95 and over 59 frame per second for wire detection, while an artificial neural network was trained using wire features and process parameters.

Besides visual methods, thermal emissions can be used for monitoring. Baranzka et al. (doi:10.1088/1757-899X/1332/1/012033) investigated the possibility to make use of measured thermal emissions. Thermal simulation model was developed (Fig. 9) that takes into account the immediate environment (approx. 1 mm) of a single scan vector. Subsequently, a model was developed that predicts the thermal emission within the measuring spot of the pyrometer based on the simulated temperature. The results show that the thermal

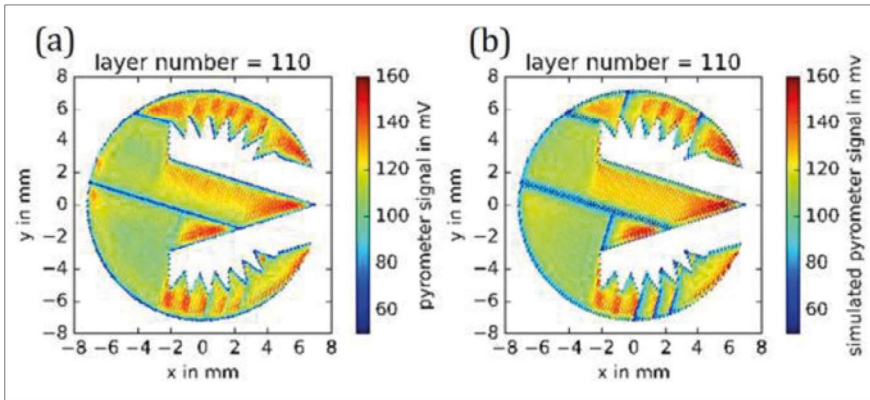


Figure 9: Measured (a) and simulated (b) thermal emissions.

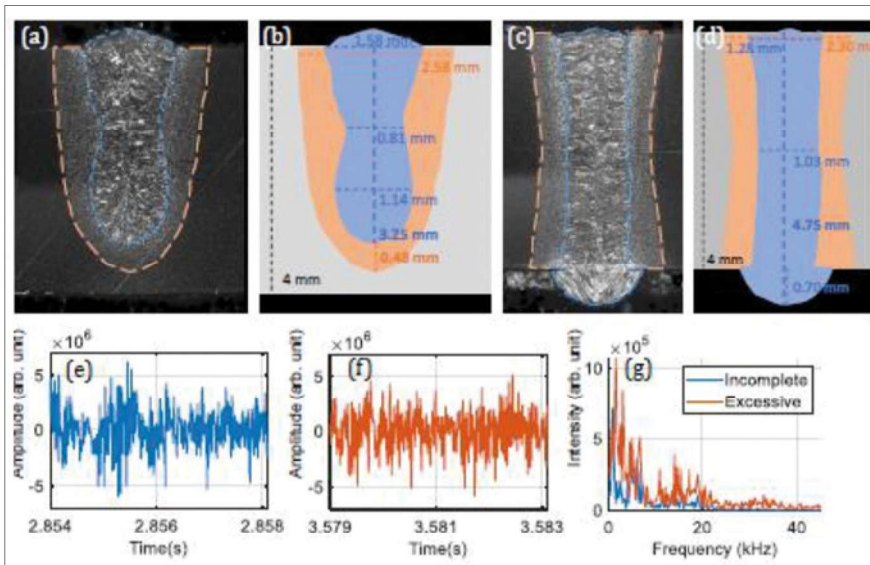


Figure 10: Examples of cross sections and measurements.

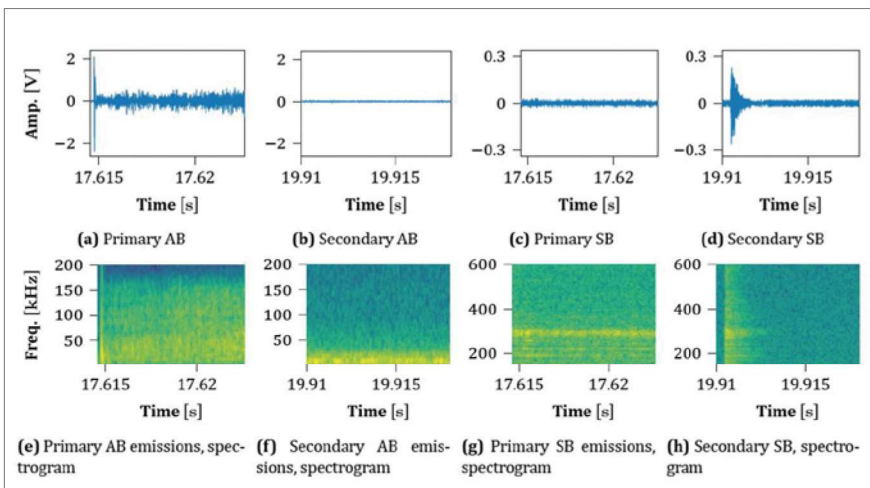


Figure 11: Examples of acoustic emissions.

emission prediction model provides an accurate prediction

Acoustic emissions become more interesting for process monitoring. Hsu et al. (doi:10.1088/1757-899X/1332/1/012037) used an optical microphone to monitor airborne acoustic emissions

generated during a bead-on-plate laser welding process. In parallel, optical coherence tomography was used to measure the keyhole depth. With this multi-sensor monitoring approach, the correlation between process parameters, keyhole depth and weld profile was

investigated (Fig. 10). The results have shown a direct relationship between laser power changes in both acoustic emission characteristics and keyhole depth.

Acoustic emissions were also used by Richter et al. (doi:10.1088/1757-899X/1332/1/012032). They integrated a dual-sensor system integrating airborne and structure-borne sensors to leverage their complementary strengths for predicting both the process state of a PBF-LB/M-machine and defects (e.g. cracks or delamination, visible via secondary process emissions) occurring during the build (Fig. 11).

A benchmark study of industrial technologies for sheet metal parts was conducted by Kristiansen (doi:10.1088/1757-899X/1332/1/012027). The proposed Laser Integrated Manufacturing was demonstrated with integrated laser measurement and automation streamlines production by eliminating intermediate positioning, reducing both footprint and capital investment (Fig. 12). This approach offers a flexible and efficient solution, particularly suited for prototyping and small to medium batch production, where conventional methods may fall short in speed or adaptability.

Machine Learning a spart of Artificial Intelligence becomes a relevant approach to analyze laser processing. Mi et al. (doi:10.1088/1757-899X/1332/1/012036) presented an approach to use transfer learning and lightweight CNNs for enhancing gap classification in laser welding. Beam shaping was used for the adaptations (Fig. 13). Images captured from varying joint gaps allowed evaluation under dynamic conditions.

CNNs were also used to detect beam offset in laser welding of T-joint by Nilsen et al. (doi:10.1088/1757-899X/1332/1/012035). It was assumed that variations in melt pool geometry are indicative of beam misalignment. However, this relationship is complex and non-linear. Therefore, a data-driven approach was needed. A convolutional neural network was developed and trained to classify melt pool images into categories representing correct alignment and beam offset conditions (Fig. 14). Experimental validation was conducted using image datasets obtained from controlled laser welding trials. The proposed method demonstrates high classification accuracy and holds significant

potential for in-process quality assurance and defect prevention in laser stake welding of T-joints.

Lasers can be also used to measure material properties. Volpp et al. (doi: 10.1088/1757-899X/1332/1/012003) suggested a surface tension measurement method based on surface wave analysis induced by an intense laser pulse. The results show lower surface tension values than expected from extrapolations just below boiling temperature (Fig. 15). The surface tension is stagnating and not decreasing as typically expected. Based on a simplified estimation of broken bonds in the surface at different temperatures, the results showed that extensive vaporization can lead to increased surface tension coefficients

All papers are published in IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1332 (2025) 011001. The next NO-LAMP will be organized in Trondheim, Norway in 2027. See you there. ■

Ordlista?

MAPS - Additive Manufacturing using powder sheets

Additiv tillverkning med pulverark

PBF – Powder Bed Fusion

Pulverbädd Additiv tillverkning

Beam shaping

Strålformning

Keyhole (vapor channel)

Nyckelhål (ångkanal)

DED – Directed Energy

Deposition

Riktad energideponering Additiv tillverkning

LW - Laser-wire

Laser-tråd

OCT – optical coherence

tomography

Optisk koherenstomografi

LB – laser beam

Laserstråle

Crack

Spricka

Delamination

Delaminering

CNN - convolutional neural network

Faltningsneuralt nätverk

Surface tension

Ytspänning



Figure 12: Examples of integrated laser processing approach applications.

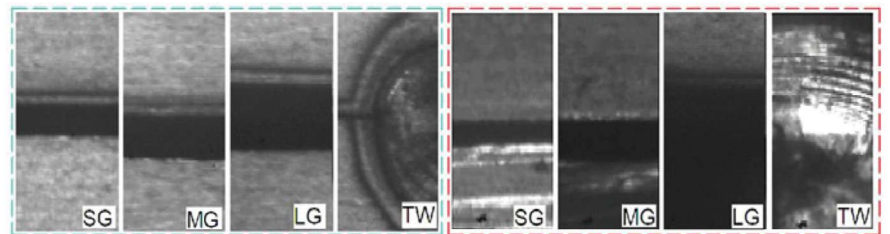


Figure 13: Examples of four classes and disturbances.

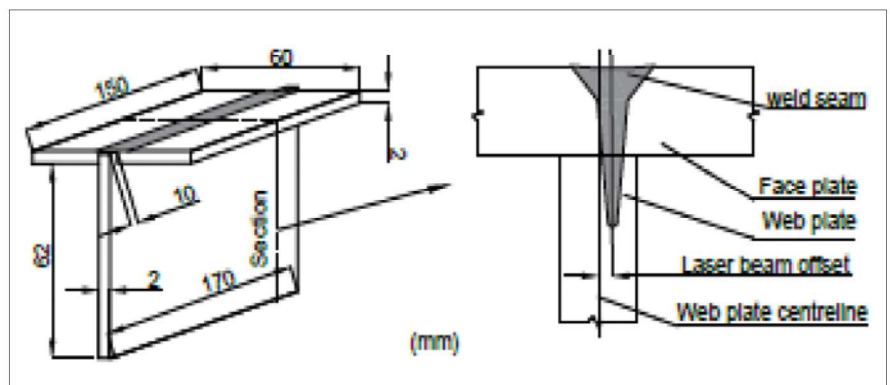


Figure 14: Schematic sketches of a T-joint and beam offset.

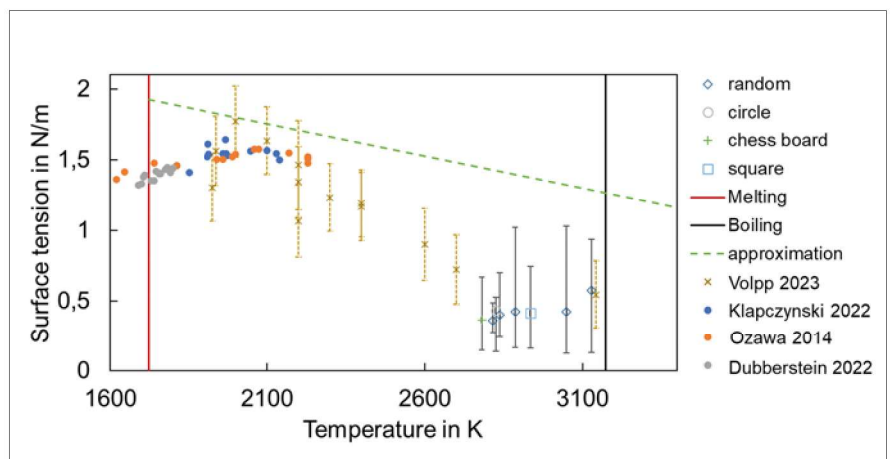


Figure 15: Surface tension measurements at high temperatures.



Konferensdeltagare IIW Intermediate meeting + Cracking Phenomena Conference.

Rapport från internationellt svetsmöte i Trollhättan

Tidigt i våras (12-14 mars) arrangerades två internationella svetsmöten hos Högskolan Väst i Trollhättan i regi av International Institute of Welding (IIW). Runt 170 personer från 19 länder samlades för utbyta kunskaper och erfarenheter på temat sprickbildning vid svetsning och Additiv Tillverkning (engelsk förkortning "AM").

Högskolan Väst var i år värd för de internationella konferenserna IIW Intermediate Meeting och Cracking Phenomena in Welding and Additive Manufacturing; två återkommande event där tekniska framsteg och ny forskning inom svetssteknik presenteras och diskuteras.

Konferenserna samlar forskare och industrins experter från hela världen. Det är viktiga forum där såväl aktuella problemställningar inom svetsning tas upp såväl som de senaste svetsproces-

serna. I år låg stort fokus även på additiv tillverkning (AM) som blir mer och mer intressant för industrin. Vad gäller AM kan det konstateras att Laser är den helt dominerande smältprocessen vid sidan av Elektronstråle (EB).

Det kan inte nog poängteras att konferenserna även är utmärkta tillfällen för nätverkande mellan industriföretag, doktorander och seniora forskare. Något som ofta leder till nya idéer om gemensamma forskningsprojekt och samarbeten i framtiden.



Peter Nerman
Traton AB

Som framgår av själva titeln på konferensen var huvudtemat sprickbildning i samband med svetsning och additiv tillverkning. För att uppnå optimal prestanda hos ett svetsat förband och för den delen en AM-tillverkad komponent har det alltid varit och kommer fortsätta att vara av stor vikt att ha god kontroll

på de sprickor och andra typer av defekter som ofrånkomligen uppstår vid dessa processer. Speciellt för AM kan detta bli kritiskt då AM ofta används för legeringar som är erkänt svårsvetsade och sprickbenägna.

Det var därför inte så förvånande att flertalet presentationer under själva konferensen gavs under temat "additiv tillverkningsprocess + någon svårsvetsad legering" även om mer konventionell smältsvetsning också hade sin givna plats.

Vid diskussioner med andra delegater under konferensen framkom också att avancerad oförstörande provning typ 3D-röntgen (CT) troligen kommer att ha mycket stor betydelse för en bredare användning och ökad implementering av additiv tillverkning (AM) inom industrin.

Slutligen förtjänar att nämnas att IIW:s ordförande, Thomas Böllinghaus, inledde konferensen genom att presentera en serie handböcker som tagits fram av kommission II och IX inom IIW inom ämnet varmsprickning vid svetsning, se bild 5.

Varmsprickning är ofta problematiskt vid svetsning av många nickelbaslegeringar och vissa höglegerade austenitiska rostfria stål vilket tenderar att begränsa dessa legeringars användning trots deras i övrigt goda tekniska egenskaper (bl.a. hög varmhållfasthet).

Tack vare sin låga värmetillförsel är dock lasersvetsning ofta ett alternativ vid svetsning av ovan nämnda varmsprickkänsliga legeringar där mer konventionella smältsvetsprocesser inte fungerar tillfredställande. ■

Läs mer på Internet

www.iiwelding.org

FAKTA:

- IIW Intermediate meetings arrangeras av International Institute of Welding (IIW) – en världsomspännande organisation med drygt 50 länder representerade. Sverige representeras här av Svetskommissionen.
- Konferensen Cracking Phenomena in Welding and Additive Manufacturing arrangerades för femte gången av Höskolan Väst, Voestalpine Böhler Welding och Ohio State University.



Bild 2: IIW:s ordförande, Thomas Böllinghaus, presenterar IIW:s certifierings- och kvalificeringsverksamhet.

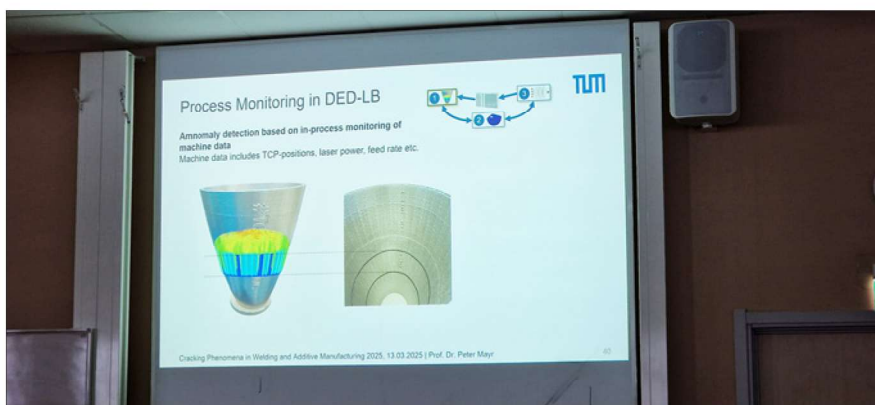


Bild 3: Beskrivning av hur avancerad processövervakning kan användas för att förutsäga var i en viss AM-tillverkad detalj svetsdefekter kan förväntas uppstå.



Bild 4: IIW:s handböcker om varmsprickning vid svetsning som tagits fram inom IIW-kommissionerna II och IX.



Bild 5: Intressanta och engagerade diskussioner uppstod ofta, även under konferensmiddagen.

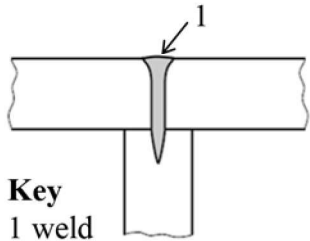
Termer och definitioner

lasersvetsning – del 2

International Institute of Welding, IIW, Commission VI Terminology, har ett pågående standardiseringsprojekt för terminologi för lasersvetsning. Standardförslaget betecknas ISO/WD 25901-5 "Svetsning och besläktade förfaranden – Terminologi – Del 5: Lasersvetsning" och innehåller ett drygt 100-tal termer med definitioner. Ett urval av termerna och definitionerna kommer att översättas till svenska och presenteras löpande i Lasernytt. Återkom gärna om ni har synpunkter på översättningarna.

English term: Laser	Definition
Laser	Device having an energized amplifying medium within an optical resonator that generates coherent electromagnetic radiation with wavelengths up to 1 mm by means of amplified stimulated emission <i>Note 1 to entry:</i> The term "laser" is an acronym for "light amplification by stimulated emission of radiation", which is a physical phenomenon for amplifying or generating coherent radiation (laser radiation).
Svensk term:	Definition
Laser	Enhet med ett exciterat (eller aktivt) förstärkande medium i en optisk resonator som genererar koherent elektromagnetisk strålning med våglängder upp till 1 mm genom stimulerad och förstärkt emission. <i>Anmärkning 1 till posten:</i> Termen "laser" är en akronym för "light amplification by stimulated emission of radiation" (ljusförstärkning genom stimulerad emission av strålning), vilket är ett fysikaliskt fenomen för att förstärka eller generera koherent strålning (laserstrålning).
Källa	ISO 11145:2018, 3.19.1 modified by deleting Note 1 to entry and changing Note 2 to entry to Note 1 to entry

English term:	Definition
Laser beam	spatially directed laser radiation <i>Note 1 to entry:</i> laser beam is also simply referred to as laser or beam
Svensk term:	Definition
Laserstråle	Rumsligt riktad laserstrålning <i>Anmärkning 1 till posten:</i> Laserstråle kallas även enkelt för laser eller stråle.
Källa	ISO 11145:2018, 3.19.5 modified by adding Note 1 to entry

English term:	Definition	
Stake weld	<laser welding> weld in a T-joint or lap joint in which the laser beam is irradiated through an upper part into a part beneath to form a welded joint <i>Note 1 to entry:</i> Vertical plates are various form, such as a corrugated panel and a folded plate.	
Svensk term:	Definition	
Pålsvets	<lasersvetsad> svets i en T-skarv eller överlappsfog där laserstrålen bestrålar genom den övre delen in i den underliggande delen för att bilda en svetsfog	Figure Example of stake weld in a T-joint
Källa	ISO 2553, 5.13	

English term	Definition
Pass Run	Single operation of welding that is part of the production of a completed weld <i>Note 1 to entry:</i> The term “pass” is commonly used in beam welding.
Svensk term	Definition
Sträng Varv	Enskilt svetsmoment som ingår i framställningen av en färdig svets <i>Anmärkning 1 till posten:</i> Termen ”sträng” används ofta vid strålsvetsning.
Källa	ISO 15609-4:2009, 3.5 modified by replacing Note 1 to entry with Note 2 to entry in the English definition ISO/TR 25901-1:2016(en), 2.1.8.4

English term	Definition
Tacking pass	pass made to hold the parts to be welded in proper alignment until the final welds are made <i>Note 1 to entry:</i> This may be produced by a continuous or discontinuous pass with partial penetration.
Svensk term	Definition
Häftsvets / Häftsvetssträng	Svetsvarv som utförs för att hålla de delar som ska svetsas i rätt position tills den slutliga svetsningen utförs <i>Anmärkning 1 till posten:</i> Detta kan utföras som en kontinuerlig eller diskontinuerlig sträng med partiell inträngning.
Källa	ISO 15609-4:2009, 3.4 modified by replacing Note 1 to entry with Note 2 to entry

English term:	Definition
Cosmetic pass	Pass for superficial remelting of the weld in order to enhance appearance <i>Note 1 to entry:</i> This pass can be performed with a defocused or oscillating beam.
Svensk term:	Definition
Kosmetisk svetssträng	Svetssträng för ytlig omsmältning av svetsen i syfte att förbättra utseendet <i>Anmärkning 1 till posten:</i> Detta svetsvarv kan utföras med en defokuserad eller oscillerande stråle.
Källa	ISO 15609-4:2009, 3.6 modified by replacing Note 1 to entry with Note 2 to entry

English term:	Definition
Overlap	<laser> portion of the weld pass remelted prior to the slope down <i>Note 1 to entry:</i> For overlay welding, portion of a welding pass remelted by the adjoining pass.
Svensk term:	Definition
Överlapp	<laser>del av svetssträngen som omsmälts före svetsavslutning/avtrappning <i>Anmärkning 1 till posten:</i> Vid påläggssvetsning är det den del av ett svetsvarv som omsmälts av det intilliggande varvet.
Källa	ISO 15609-4:2009, 3.7

English term:	Definition
Keyhole	<laser welding> hole formed when the laser beam of sufficient power density is irradiated to evaporate material
Svensk term:	Definition
Nyckelhål	<lasersvetsnings>hål som uppstår när laserstråle med tillräcklig effekttäthet bestrålar materialet så att materialet förångas
Källa	Translated from JIS Z 3001-5:57011 modified by deleting “which is” and “and which is surrounded by molten metal”

Fiberoptik till bearbetningslasrar

Av Sven-Olov Roos, Rofin Sinar GmbH, Hamburg.

Sven-Olov Roos är tjänstledig från Permana Lasersystem AB och arbetar åt Rofin Sinar GmbH med att utveckla fiberoptiska system. Han ansvarar också för marknadsföringen av Permanovas fibersystem i Tyskland.

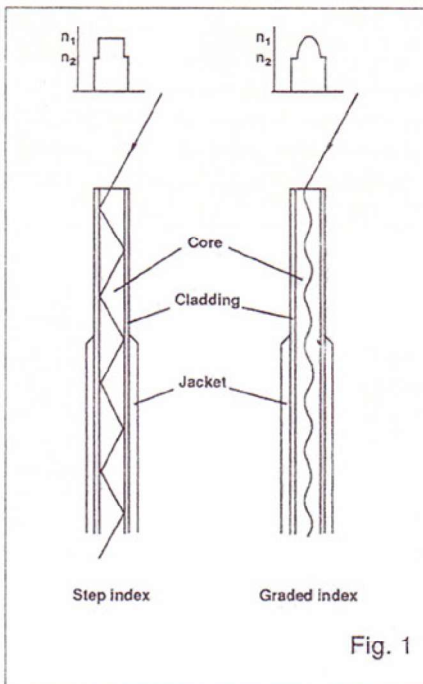
Sedan urminnes tider har diskussionens vågor gått höga om det är CO₂-lasrar eller Nd:YAG-lasrar man skall använda vid bearbetning. CO₂-lasrarna har haft ett klart övertag när det gäller den grövre bearbetningen, medan Nd:YAG-lasrarna har haft lättare att konkurrera i precisionsbearbetning i små dimensioner. Under senare år har dock Nd:YAG-lasrarna börjat dyka upp även vid typiska CO₂-applikationer. Mycket resurser läggs ned på att bygga även Nd:YAG-lasrar med hög medeleffekt. Kommersiella lasrar på upp till 2 kW finns redan på marknaden. Vad är då anledningen till detta plötsliga intresse för Nd:YAG-lasrar. Skälet är faktiskt bara ett enda - fiberoptik. Den kortare våglängden i Nd:YAG-lasern (1.06 μm) gör det möjligt att överföra denna strålning i konventionella optiska fibrer av kvarts. Det finns för tillfället inga fibrer lämpade för CO₂-lasrar (10.6 μm våglängd)

Hur fungerar en optisk fiber?

En optisk fiber består av en kärna (core) som är transparent för strålningen. För att strålningen inte skall lämna kärnan är denna försedd med ett hölje (cladding) som har ett brytningsindex som är lägre än kärnan. Då strålning går från ett material med högt brytningsindex till ett med lägre sådant, kan man vid flacka vinklar få totalreflektion. Gränsvinkeln för totalreflektion bestäms av hur stor brytningsindexskillnaden är. Genom att skicka in strålning som ger tillräckligt flacka vinklar mot claddingen, kommer strålningen att föras vidare med mycket låga förluster. Förlusterna i en fiber kan vara så små som 0.02% per meter. Eftersom man normalt använder fibrer upp till 25-50 m saknar dessa förluster betydelse. I stället är det reflektionsförlusterna i fibrers ändtytor som ger upphov till de förluster man har i ett fibersystem. De uppgår teoretiskt till 6.7%.

I stället för att göra en fiber med en

språngartad förändring i brytningsindex (step index fiber) kan man göra en gradvis förändring av brytningsindexet (Graded index fiber). Strålningen reflekteras då inte mot en gränssyta utan beskriver en vågform inne i fibern (se fig 1).



Principer för stålöverföring i step index- och graded index fibrer.



Sven-Olov Roos

Det är viktigt vid bearbetning att man har en så god strålkvalite som möjligt. Strålkvaliten från en step index fiber är kärndiametern, d_c , multiplicerad med den ur fibern utgående vinkeln, α_0 . Normalt utformas ett fibersystem så att man utnyttjar hela den tillåtna vinkel som fibern accepterar (Numeriska aperturen NA). På så vis får man ett system okänsligt för fibrers böjning och längd.

Kärnan och claddingen är alltså de delar som är optiskt väsentliga för fibrers funktion. Om man bara hade dessa två skikt skulle däremot fibern vara mycket spröd. Därför finns ytterligare lager av polymermaterial utanför claddingen. En sådan fiber kan böjas till en radie ca 20 gånger sin egen diameter.

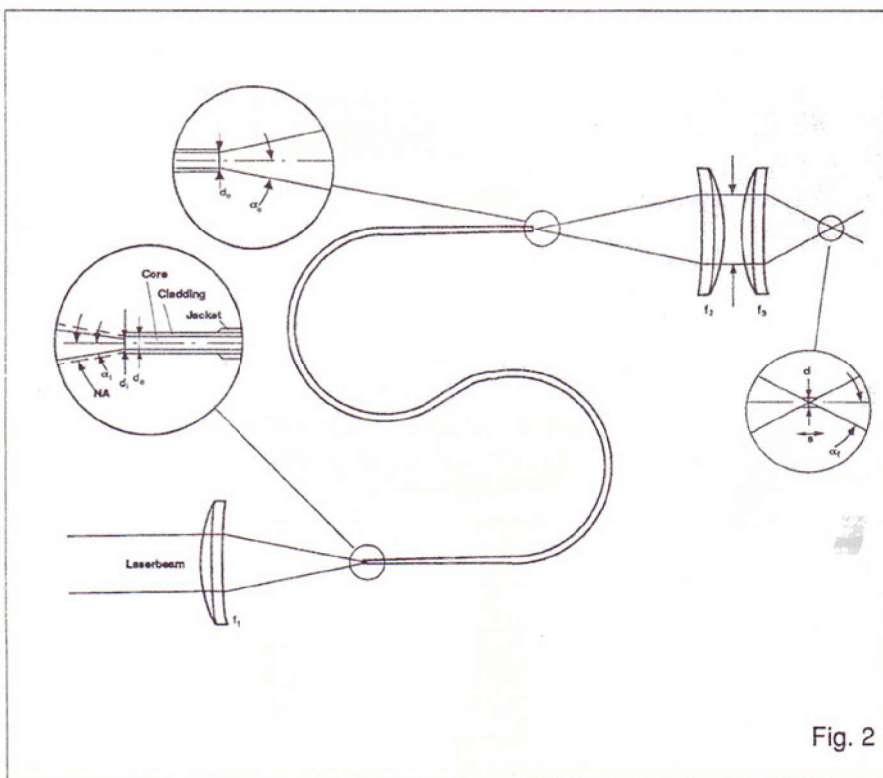


Fig. 2

Principen för uppbyggnad av ett fiberoptiksystem.

Hur är ett fiberoptiskt bearbetningslasersystem uppbyggt?

Principen är skisserad i fig 2. Strålningen från lasern fokuseras mot fiberändytan. Strålningen, med diameter d_f , måste helt falla inom fiberns kärndiameter, d_c , samt ligga inom den tillåtna vinkeln, NA. I detta läge har man säkerställt en god transmission genom fibern till små förluster. Strålningen kommer att lämna fibern genom hela ändytan, dvs med en diameter som är lika med kärndiameteren d_c . Utträdesvinkeln är större än inträdesvinkeln, men mindre än den Numeriska aperturen, NA. Vid transmission genom fibern har alltså produkten stråldiameter • vinkel ökat, vilket innebär en försämrad strålkvalité. För att bibehålla strålkvaliteten bör man alltså anpassa fiberns diameter så nära laserns fokusdiameter som möjligt. Å andra sidan är det viktigt att, i produktion, kunna byta fiber utan särskilda justeringar vilket i sin tur kräver visst spel mellan stråldiameter och kärndiameter. Det gäller hela tiden att balansera mellan tekniska prestanda och driftsäkerhet.

Den utgående strålen kollimeras med en lins (f_2) för att få ett parallellt strålnippe. Detta strålnippe kan sedan fokuseras med slutfokuseringslinsen (f_3) mot arbetsstycket. Vid behov kan man montera in en avvinklinskub mellan kollimeringsoptiken och fokuseringsoptiken för att få en "on line"-observation av bearbetningen. I fig 3 visas ett enkelt fibersystem med infokuserings-

optik, fiber, kollimeringsenhet, avvinklinskub med videokamera, samt fokuseringsoptik med svetsnozzle.

Till detta grundsystem finns även möjlighet att ansluta en strålswitch, för att snabbt kunna koppla in strålningen till olika fibrer. Det finns även energidelare, där man kan dela upp strålningen i flera fibrer samtidigt.

Vilka begränsningar har man i ett fiberoptiksystem?

När det gäller effektivitet, vet man i dag inte var gränsen går. De lasrar som finns på marknaden kan samtliga försees med fiberoptisk utgång. De huvudsakliga problemen ligger i dag i att hantera den strålning som återreflekteras från arbetsstycket. När det gäller detta problem har varje laserfabrikant sina ideer och lösningar; en konkurrensfaktor på marknaden.

I övrigt skiljer sig inte fiberoptiska lösningar nämnvärt från vanliga fast-optiktillämpningar. De stora skillnaderna är:

- Att använda fiberoptik innebär alltid att man till viss del försämrar strålkvaliteten hos lasern, vilket i sin tur påverkar fokuseringsegenskaperna.
- Vid fiberoptikanvändning har man konstanta fokusegenskaper oberoende av medeleffekt i lasern, vilket inte är fallet vid fast optik.

De egenskaper som man från användarsidan önskar är ofta:

- Mycket liten fokusfläck.
- Mycket stort bearbetningsavstånd.
- Liten diameter på min fokuseringsoptik.

Dessa egenskaper står i kontrast till varandra och kan inte förenas på en och samma gång. Det kan lättast illustreras med följande formel för vad man teoretiskt kan uppnå med ett optimerat fibersystem.

$$d_c \cdot NA = (d_f \cdot D_{coll}) / (2 \cdot f_3)$$

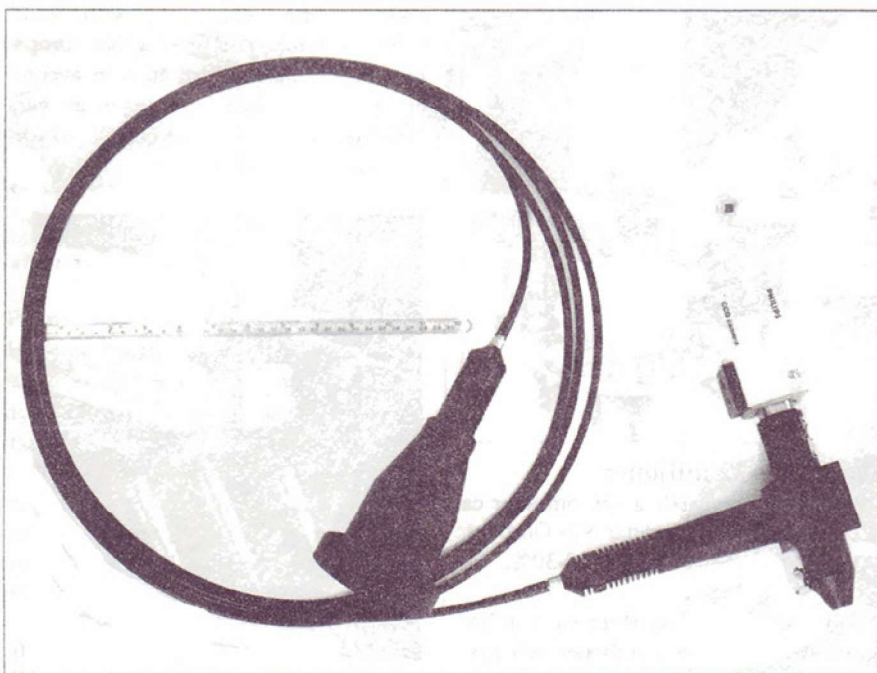
där

- d_c är fiberns kärndiameter
- NA är fiberns numeriska apertur. (Halva utträdesvinkeln)
- D_{coll} är optikens minsta tänkbara diameter
- f_3 är fokuseringslinsens brännvid vilken är ungefär lika med arbetsavståndet.
- d_f är fokusfläckens diameter.

I denna formel kan man direkt se att våra tre önskemål hela tiden står i konflikt med varandra. Produkten $d_c \cdot NA$ är enbart beroende av fibern, och i förlängningen av laserns strålkvalité, och kan inte påverkas av vårt optikval. Vi ser då att kravet på en liten fokusfläck (d_f) omedelbart leder till stor diameter på fokuseringsoptiken (D_{coll}) eller ett litet bearbetningsavstånd (f_3). Det blir alltså till att kompromissa. Typiska fibersystem i dag arbetar med strålfäckor på ca 0.5 mm för skärning och ca 1mm för svetsning. Bearbetningsavstånd ligger mellan 50 och 150 mm, och fokuseringsoptikens diameter varierar från 30-70 mm diameter.

Tillämpningar

Kort sagt överallt där YAG-lasrar används. Fibertekniken har visat så stora fördelar att den absoluta merparten av högeffekt YAG-lasrar i produktion i dag är fiberförsedda. I fig 4 visas en svetsmaskin där strålningen är uppdelad i två fokuseringsenheter för symmetrisk svetsning. Men det är inte bara i "gamla" Yag-lasertillämpningar som fibertekniken kommer in. Kombinationen mellan Lasrar-Fibrer-Roboter är en utsökt produktionskombination. YAG-lasrar för skärning och svetsning i bilindustrin är i dag inte framtid utan nutid. "Glas-snöret" har kommit för att stanna!



Fiberoptiksystem.

3M 0241-624 00 Ernst Hedlunds väg 35 785 30 Gagnef	Linde Gas AB 08-706 95 00 Products & Applications Box 30193, 104 25 Solna	TeknikCentrum i Gnosjö 037-927 29 Gunnarsvägen 1 335 31 Gnosjö
AB Alvenius Industrier 016-16 65 00 Kungsgatan 75 681 07 Eskilstuna	Luleå Tekniska Universitet 0920-49 10 00 Avd. för produktionsutveckling 971 87 Luleå	Tetra Pak Dairy & Beverage Systems AB 046-36 55 59 Ruben Rausings gata 221 86 Lund
Alfa Laval Corporate AB 046-36 65 00 Rudeboksvägen 1 226 55 Lund	Nippon Gases Sverige AB 076-501 08 00 Box 51 731 22 Köping	Trumpf Maskin AB 0322-66 97 00 Box 606 441 17 Alingsås
Cummins-Meritor 0581-840 00 Meritor HVS AB Ishockeygatan 3 711 34 Lindesberg	NKC Manufacturing Sweden AB 031-337 11 39 Kvibergs Broväg 10 402 52 Göteborg	Volvo Construction Equipment AB 016-15 10 00 631 85 Eskilstuna
Ferruform AB 092-07 65 94 Box 815 971 25 Luleå	Oerlikon Metco Europe GmbH 070-683 84 11 Metco Norden Filial Gesällvägen 6, 145 63 Norsborg	Volvo Lastvagnar AB 090-70 74 77 Bölevägen Box 1416 901 24 Umeå
GKN Aerospace Sweden AB 052-09 38 33 461 81 Trollhättan	Pepab Produktionspartner AB 0270-42 91 51 Bröksmyravägen 33 826 40 Söderhamn	Volvo Powertrain Corporation AB 073-902 33 51 405 08 Göteborg
Högskolan Skövde 0500-44 80 00 Institutionen för Ingenjörsvetenskap 541 28 Skövde	Permanova Lasersystem AB 031-706 19 80 Krokslättsfabriker 30 431 37 Mölndal	Norska sektionen GKN Aerospace Engine Systems Norway +47 32 72 84 00 PO Box 1004 N-3601 Kongsberg Norge
Högskolan Väst 0520-223 000 461 86 Trollhättan	Scania CV AB 08-553 704 10 151 87 Södertälje	Hedersmedlemmar Johnny K Larsson Övre Fogelbergsgatan 6, lgh 1504 411 28 Göteborg
JE RobotTeknik Automatik AB 070-567 33 40 Kungsgatan 4 335 31 Gnosjö	SSAB Emea AB 024-37 00 00 781 84 BORLÄNGE	Claes Magnusson 044-10 05 61 Kanalgatan 38 291 34 Kristianstad
Laser Machining Inc. LMI AB 028-13 07 16 Storbygatan 7 780 53 Nås	SSAB Oxelösund AB 0155-25 40 00 613 80 Oxelösund	Bertil Pekkari 070-550 91 15 Vendergatan 1 442 47 Kungälv
Lasernova AB 063-18 08 80 Odenskogsvägen 1 831 48 Östersund	Strandmöllen AB 037-21 55 40 Nasvägen 22 341 34 Ljungby	
Lasertech LSH AB 058-68 48 00 Bofors Industriområde 691 80 Karlskoga	Swerim AB 08-440 48 70 Isafjordsgatan 28A Box 7047 164 07 Kista	