

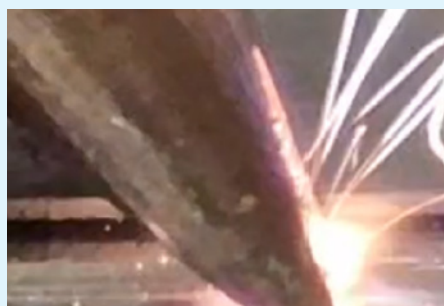
Lasernytt



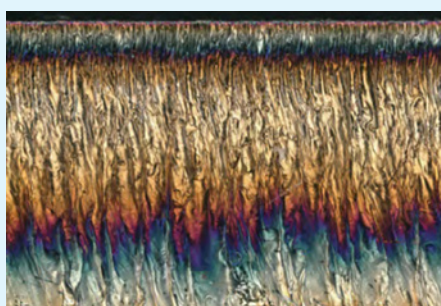
2-2023



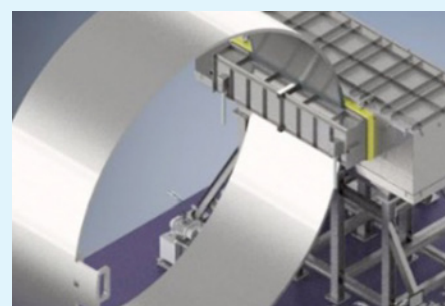
- NOLAMP19 – 2023
- Rapporter från Laserdag I och II



Handhållen lasersvetsning



Allt om fotoner i München



Svetsning förenar världen
tillsammans

EWF - SPECIALKURS LASERSKÄRNING

Laserskärning är en högproduktiv kapningsmetod för den moderna tillverkande industrin. Laserskärning förekommer idag på många organisationer och är relativt enkel att använda. För mer avancerade material, felsökning eller svårare applikationer eller utvecklingsarbeten krävs oftast mer ingående processkunskap

European Welding Federation, EWF, har utvecklat ramarna för en fristående specialkurs inom laserskärning som Luleå tekniska universitet nu kan ge på svenska. Ett internationellt diplom, EWF-diplomet, garanterar utbildning av hög kvalitet

Kursen, nivå B, omfattar totalt 40-48 timmar och ger Dig goda teoretiska och praktiska kunskaper om laserskärning, men även en överblick över andra laserbearbetningsmetoder

Kursen vänder sig till

Ingenjörer, tekniker, konstruktörer, produktionstekniker, utvecklingsingenjörer och utbildare m.fl. som vill skaffa sig kunskap om metodens möjligheter för rationell och effektiv skärning

För mer kursinformation:
<https://www.ltu.se/EWF>

*Vi erbjuder även anpassade kortare kurser
(utan diplom), intresseanmäl för mer info*

**Datum: Kurs planeras för
2024, anmäl intresse för
uppdatering av kursdatum**

**För intresseanmälan, kontakta:
Jan Frostevarg, Luleå tekniska universitet
jan.frostevarg@ltu.se, 0920 - 49 1675**



EWF - SPECIALKURS LASERSVETSNING / LASERHYBRIDSVETSNING

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

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

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

Kursen vänder sig till

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

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

**Datum: Kurs planeras för
2024, anmäl intresse för
uppdatering av kursdatum**

**För intresseanmälan, kontakta:
Jan Frostevarg, Luleå tekniska universitet
jan.frostevarg@ltu.se, 0920 - 49 1675**



Lasernytt utkommer med 3 nummer/år och ges ut av

Lasergruppen c/o Svetskommissionen
Grev Turegatan 12 A, 114 46 Stockholm
Telefon: 08-120 304 03

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

Layout: Marcus Dahlin, Dahlin grafisk design.

Tryck: Haninge Tryckeri



INNEHÅLL

TANKAR FRÅN STYRELSEN	3
Handhållen lasersvetsning	4
– introduktion och benchmarkingstudie	
Svetsning – Förenar världen tillsammans	8
Laserquizz	13
Laserdag I – Permanova, Mölndal	14
Kalendarium	17
Laserdag II – Lasertech, Karlskoga	18
Allt om fotoner i München	24
Kort referat från NOLAMP19 – 2023	30
Satsade på framtidens teknik	32
blev ledande inom lasersvetsning	
Medlemssida	35

Tankar från styrelsen

Högtryck i industrin trots orosmoln

Efter en ovanligt regnig sommar så har hösten passerat och övergått i en ovanligt tidig vinter med snö i stora delar av landet. Många har kanske passat på att besöka den stora mässan Schweissen & Schneiden i Essen. Jag har inte ännu riktigt vant mig vid tanken på att man efter lång tid med Teamsmöten och reserestriktioner nu faktiskt kan åka på aktiviteter som denna och träffa branschkollegor och se aktuell teknik. Teams i all ära, men det behövs även riktiga personliga möten och att se och känna på utrustning. Men det förekommer fortfarande reserestriktioner hos en del företag. Återstår att se om vi någonsin kommer helt tillbaka till samma läge som före pandemin.

Trots många orosmoln så är trycket i industrin fortfarande högt, även om tendenser på en avmattning börjar anas på sina håll. Svårt att veta var detta landar, men arbetsmarknaden är fortfarande glödhet och personalomsättningen på många företag är högre än jag någonsin upplevt. Kompetens av olika slag är hårdvaluta idag.

Senaste tiden har visat att vi nog inte kan räkna med de låga energipriser vi länge haft och vant oss vid. Energiförbrukning, miljöavtryck och viktoptimering seglar alltmer upp som mycket viktigare faktorer än tidigare vid val av design, tillverkningsprocess och produktionsutrustning. Här borde möjligheten öppnas för till exempel mer laser- eller laserhybridsvetsning. Hittills har tuffa krav på Pay-off ofta stoppat investeringar i lasersvetsning till förmån för konventionell smältsvetsning, men med de nya förutsättningarna så kanske

kalkylen väger över mot att välja lasersvetsning, speciellt i nya konstruktioner. Det gäller att välja rätt teknik för långsiktig konkurrenskraft.

Ett annat intressant område för lasertekniken är rengöring. Kan man till exempel ersätta blästring av en hel artikel med laserrengöring på endast de ytor som behöver rengöras från glödska, olja etc och därmed få en effektiv och snabb rengöring som optimerar förutsättningarna för till exempel efterföljande svetsning eller ytbehandling? Tekniken finns, men det är inte helt enkelt att tolka resultatet. När är det tillräckligt rent? Här behövs mer utveckling och standardisering.

Intresset är stort för handhållen laser, speciellt bland mindre företag. Utvecklingen blir intressant att följa. Möjligheterna är stora till exempel att med samma utrustning både kunna svetsa och rengöra. Men det finns farhågor om att medvetenheten kring säkerhetsaspekterna inte är tillräckligt stor bland användare som inte är vana med lasertekniken och de risker som finns. Här är det viktigt att vi försöker sprida kunskap på alla sätt vi kan.



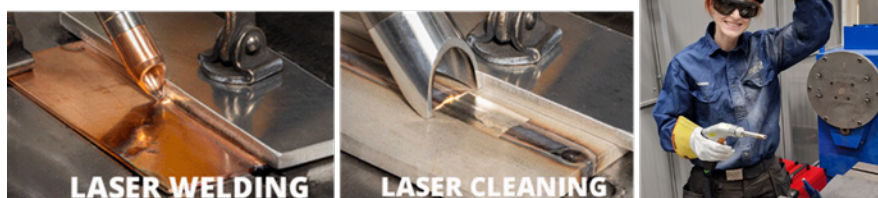
Författare
Mikael Juntti

Handhållen lasersvetsning – introduktion och benchmarkingstudie



Jan Frostevarg
LTU

Vid laserdag två för året (2023-10-18) så höll jag en presentation om handhållen lasersvetsning där jag berättade om pågående trender och den benchmarkingstudie som har utförts av William Holmberg vid LTU i sitt examensarbete i sina högskoleingenjör i maskinteknik. Vi testade i ett mindre fördelaktigt case för lasersvetsning och kunde konstatera att handhållen lasersvetsning även då är effektivitetsmässigt som minst jämförbart med moderna MIG/MAG eller TIG, ofta mycket bättre och med högre kvalitet. Dessutom var lasersvetsarna utförda av en nybörjare (William själv) som aldrig svetsat förut, medan för jämförda processer var det utfört av utbildare. Vi ser också en marknadsutveckling där fler aktörer börjar finnas och säkerhetsmedvetenheten är ofta inte hög, vilket vi behöver verka för att öka medvetenhet kring.



Figur 1: Bilder från användande av LightWeld och demonstration vid LTU November 2022.

Sedan i april 2022 finns det CE-klas-sat (säkerhet) system för handhållen svetsning och rengöring, IPG Lightweld XC. För att få en fungerande process för handhållen svetsning har det under många år provats olika koncept, såsom defokuserad stråle eller pulsad laser, men det har varit svårt att få bra resultat. Lösningen ligger i vobblande optik, dvs en spegel som för laserstrålen sidledes svetsriktningen längs ytan samt att pistolen har precis rätt längd för kontakt med ytan och fokus för laserstråle, vilket också löser gastillförsel och i det här fallet också säkerhetsaspekt – laserstrålen stängs av om munstycket in ligger mot ytan. En annan säkerhetsfunktion är

mätning av bakreflektion i munstycket, vilket gör att säkerhetsfunktionerna är dubbla och då kan säkerhetsklassas. Dessutom måste varje operatör genomgå en utbildning för att få kod för att kunna starta maskinen. För miljö runt stationen där svetsare utför arbete behöver det vara ljustätt, dvs från utrymmet där svetsning utförs ska inget ljus komma ut. Om någon tar sig in i utrymmet behöver laser omedelbart stängas av, ex magnetlås på dörr som skickar nödstoppsignal till laserkällan. I November 2022 höll vi ett seminarium vid LTU där den första i landet att använda detta system var min ungdomskompis Therese (som varit florist men senare

vidareutbildat sig till svetsare), *Figur 1*.

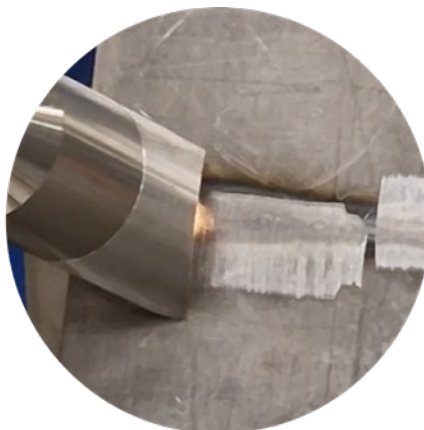
Det finns andra system för lasersvetsning, på engelska kallat "Laser welder", där merparten är från Kina. Det finns även oseriösa aktörer men också andra seriösa. Dock är för tillfället IPG LightWeld det enda systemet som idag är CE säkerhetscertifierat.

När övriga säkerheten för operatör och omgivande miljö är godkänd så möjliggör svetsning med detta system snabbare svetsning, mindre svetsrök, mindre värmepåverkan vilket leder till mindre distortion och värmepåverkad zon (HAZ). Det kan bli stora energivinster jämfört med traditionell svetsning, speciellt i kälfogar och i aluminium ökar svetskvaliteten märkvärt. Det går dessutom förhållandevis lätt att lära sig och ger mindre belastning för den som svetsar. För de som är vana användare av laser för svetsning är det inte någon nyhet, men för de som är van ljusbågsteknik så ger denna metod nya möjligheter vad gäller fogar som går att svetsa. Det behövs exempelvis inte "fästytor" om en fyrkantprofil ska svetsas, det går svetsa direkt i skarven mellan plåtarna när de läggs mot varandra. Även genombränning, så kallad överlappsfog möjliggörs vilket ger nya konstruktionsmöjligheter jämfört med MIG/MAG och TIG. LightWeld och dess kringutrustning visas i *Figur 2*.

Dessutom finns det en inbyggd rengöringsfunktion, vilket tillåter svetsare att innan svetsning ta bort rost, olja eller annan smuts, samt efter svetsning ta bort ev sot på ytan (utsug rekommenderas både för svetsning och rengöring). Särskilt för rengöring av rostfritt stål är detta lämpligt, eftersom korrosiva medel och betning inte behöver användas för



Figur 2: LightWeld XC från IPG och några exempel på medföljande utrustning.



Figur 3: Sprut och rök vid användande av LightWeld för svetsning och rengöring.

Svetsmetod	Material	Materialbeteckning
MIG/MAG	Rostfritt stål	AISI 304
	Kolstål	Domex 240
	Aluminium	EN AW-5052
TIG	Rostfritt stål	AISI 304
	Kolstål	Domex 240
	Aluminium	EN AW-5052
Laser	Rostfritt stål	SS 2333
	Kolstål	Domex 350
	Aluminium	EN AW-6082

Tabell 1: Materialbeteckningar som användes under samtliga tester.

att avlägsna oxidlager på ytorna. I *Figur 3* visas bild på det sprut som bildas vid svetsning och rengöring av rostfri plåt. Rökplymen går dock knappt att se i denna bild.

Om en del av alla dessa företag övergår till denna nya process kan stora energibesparingar göra och konkurrenskraft öka, samt att vi går mot bättre hälsoaspekter vid industri och kan även bidra till att öka jämställdhet (minskad belastning).

Nackdel med systemet är att det egentligen bäst lämpar sig för fogning av tunna material och med små spalter, upp till 4-6mm (ca 8mm om svetsning

utförs från båda sidor) och upp till ca 15-25% plåttjocklek spalt. Om trådmatare används minskar svetshastigheten eftersom laserljus behövs för att smälta tråd. Ska flera repetitioner utföras för att fylla en spalt kan det vara möjligt att ta fram ett sekundärt svetsprogram av svetsare för att endast smälta tråd för att fylla spalt (förinställda parametrar finns inte med i leveransutförandet).

Under våren 2023 utförde William Holmström (*Figur 4*) inom sitt högskoleingenjörarbete (15hp) en benchmarkingstudie om handhållen lasersvetsning, där vi även hade samarbete med T2 i Skellefteå. William har ingen tidi-



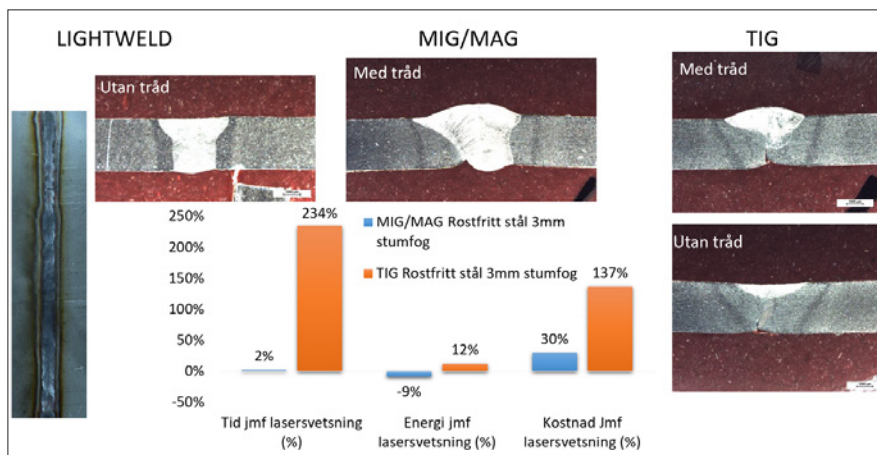
Figur 4: William Holmström som genomfört denna benchmarkingstudie (jämförelsestudie) mot konventionella svetsmetoder.

gare erfarenhet som svetsare.

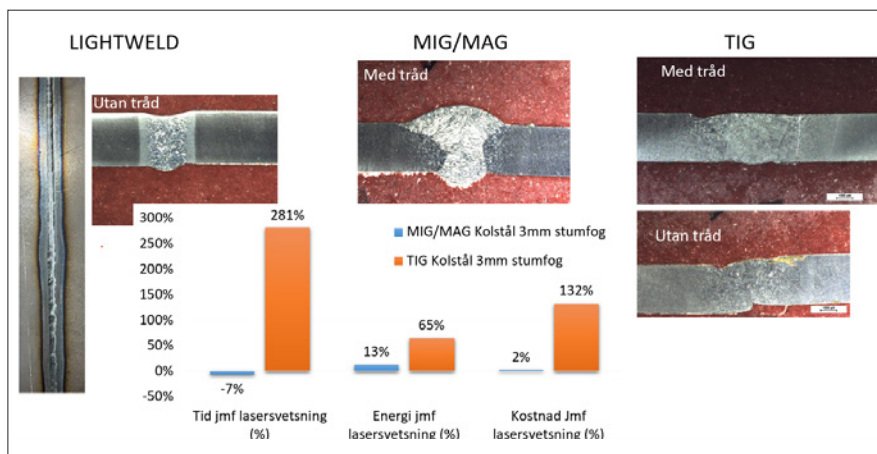
I denna studie genomfördes först en serie svetsar vid LTU, där strömåtgång för olika svetsprogram mättes upp, vid utförande av en definierad sträcka svets. På så sätt fås även förbrukning för kylare och andra förluster med. Under svetsning användes även en partikelanalysator som fångade upp delar av den svetsplym som uppstår vid svetsning, samt en tag efteråt (totalt 180 sekunder och lokal ventilerades mellan körningar). Det finns många olika material att svetsa i och många olika spalttyper, fogförberedelser, godstjocklekar, mm. I denna studie begränsades materialen till svetsning 3mm Rostfritt stål och ett kolstål, samt 4mm aluminium (se Tabell 1). Svetsarna utfördes då i stumfog samt kälfog. För lasersvetsar användes endast tillsatsmaterial (tråd) när kälfogar skulle sammanfogas.

Gasflöde uppmättes till 18L/min, men detta behöver inte stämma om man använder en tryckregulator för skyddsgasen som maskinen är konstruerad för, snarare än en flödesregulator. Energieffektiviteten för LightWeld mättes för olika program ligga mellan 34-41%, vilket kan anses vara i det förväntade området. För jämförande MIG/MAG blev det fel vid mätning, så den angivna effektiviteten på 80% användes. För jämförande svetsar så utförde T2 tester på liknande material för att se vad kvalitetsskillnader är. Även här användes partikelanalysator för att mäta partikelstorlek. För alla tester utfördes 100mm svets och tid för svets loggades.

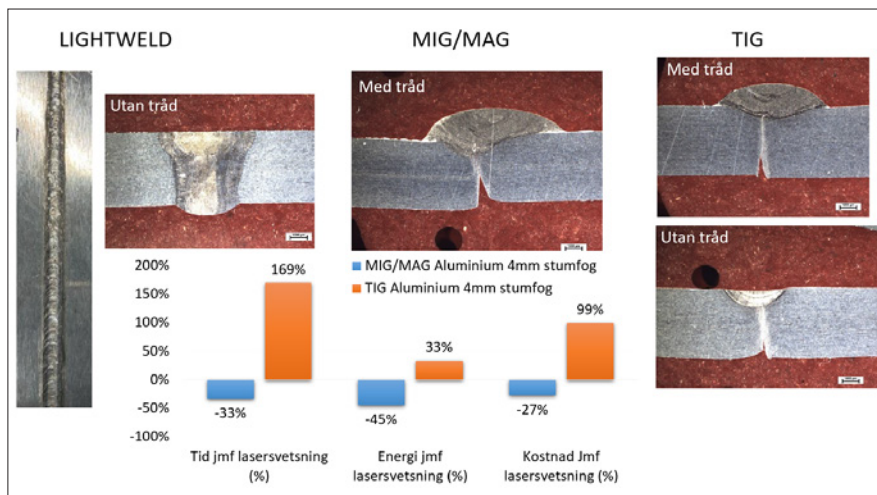
3mm tjocklek på plåtar är inte laser till fördel, som är snabbast i tunna material (samt mer kapabel till det jämfört andra källor) och inte heller har fördelen med att svetsa så djupt att de jämförda



Figur 5: Jämförelse resultat för stumfog i 3mm tjockt rostfritt stål för LightWeld mot MIG/MAG och TIG.



Figur 6: Jämförelse resultat för stumfog i 3mm tjockt kolstål för LightWeld mot MIG/MAG och TIG.



Figur 7: Jämförelse resultat för stumfog i 4mm tjockt aluminium för LightWeld mot MIG/MAG och TIG.

svetsmetoderna behöver utföra multipa svetsar. Eftersom det är just hastighet som ofta lyfts fram valde vi att jämföra i det tuffaste segmentet för LightWeld jämfört med de andra svetsmetoderna. Dessutom att lasersvetsarna är utförda av en nybörjare på svetsning utan någon utbildning i det utan endast en kort introduktion. I denna studie har inte mikrostruktur analyserats, utan endast svetsförmåga i de utvalda svetsfogarna.

Figur 5 visar resultat att jämföra i rostfritt stål, där tvärsnitt för de olika svetsmetoderna visar, samt ett foto av svetsen för LightWeld. Williams svets med LightWeld har jämn yta vid både över- och undersida jämfört med MIG/MAG och vid jämförelse mot TIG så är genombränningen väsentligt djupare. Vad gäller den värmepåverkade zonen (HAZ) bredvid svetsarna så är den för LightWeld betydligt mindre och tydligt

mindre kornstorlek vilket innebär att den inte heller är lika uppmjukad. I Figur 5 kan även jämförelse för LightWeld mot MIG/MAG och TIG, med avseende på tid för svetsning total energiåtgång samt kostnad att utföra svets. Jämförs Williams nybörjarsvets mot MIG/MAG så är det inte stora skillnader men mot TIG (som dessutom inte svetsat igenom) så är det stor skillnad i både tid och kostnad.

I Figur 6 visas resultat för svetsning i 3mm stumfog i kolstål. Även här syns skillnader i svetsens form och värmepåverkade zon. Här har även TIG svetsat helt igenom och skillnad i svetskvalitet är mindre, dock fortfarande mindre för LightWeld. Vad gäller tid, energi och kostnad så är det i denna tjocklek fogar inte stora skillnader för laser jämfört med MIG/MAG. Jämfört med TIG så går det nära 3ggr så fort med LightWeld samt att både energiförbrukning och kostnad per 100mm svets är betydligt lägre.

Vid svetsning i Aluminium, som ofta är svårsvetsat, syns tydliga skillnader mellan svetsmetoderna (Figur 7). Att titta på siffrorna för genomförda svetsar ger inte en tydlig bild, eftersom kvalitet i svetsarna är väldigt olika. LightWeld svetsar rakt igenom och har jämn både ovan- och undersida, medan MIG/MAG och TIG inte har svetsat mer än på ytan.

I figur 8 visas resultat för kälffog i 3 mm tjockt rostfritt stål. För kälffogar brukar ofta a-mått användas i konstruktionsritningar, men det är inte det som avgör styrkan i svets utan hur djup svetsen är (ankarlängd) och tåradierna av svetsen mot kringliggande ytorna. Williams svets har bra genombränning men vi ser också att vinkel skulle ha varit närmare 30 grader mot underliggande plåt istället för 45 grader, för att svetsen ska svetsa skarven och inte in i materialet. Detta är normalt vid vanlig lasersvetsning men vid vanlig svetsning är det ofta 45 graders lutning som används. Även här ser vi skillnad på HAZ för lasersvetsen jämfört de övriga. Här bedöms hållbarheten i svetsen vara likvärdig för LightWeld och MIG/MAG. Att lasersvetsa denna fog är med LightWeld ca tre gånger så snabb som MIG/MAG och sex gånger så snabb som TIG. Energiförbrukningen och fogkostnad är nära en tredjedel.

För kälffog i 3mm kolstål (Figur 9) är resultaten liknande som för rostfritt

stål, förutom att vidhäftningen är något sämre för MIG/MAG. Vad gäller svetsastigheter, energiförbrukning och kostnader är relation mellan laser och MIG/MAG ca dubbla, medan mot TIG är det liknande som jämförelse för rostfritt stål.

Vad gäller jämförelser av svetsrök så mättes halterna till siffrorna redovisade i *Tabell 2* och innebörd av fraktionsstorlekar visas i *Tabell 3*. Generellt är små partiklar farligare för luftvägar. De uppmätta fraktionerna visar att det för lasersvetsning uppstår mestadels små partiklar medan det för TIG är större andel av större partiklar, medan MIG/MAG producerade störst mängd små, men även vissa fraktioner av större partiklar. Vid visuell inspektion så framkommer det att totala mängden partiklar är betydligt lägre för LightWeld och dessutom skjuts röken ifrån svetsområdet, *Figur 10*. För de andra metoderna är det betydligt mer rök och den stiger från processområdet, vilket resulterar i en sämre arbetsmiljö för svetsaren.

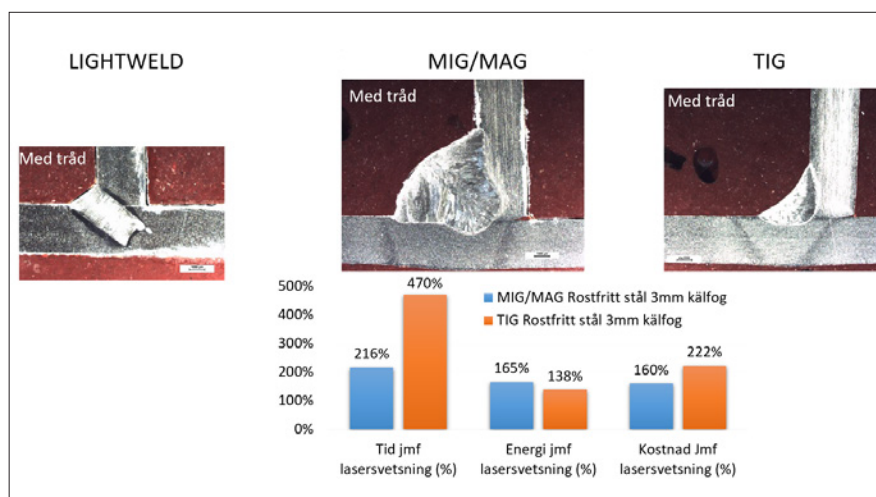
Vi ser med glädje fram emot att ta del av fler studier liknande denna, för att få tydligare bild om styrkor och svagheter för de olika metoderna.

De som idag införskaffar system för lasersvetsning är alla pionjärer, vilket är både en fördel och nackdel. Fördel eftersom kvalitet kan öka och energiförbrukning kan minska, men även bättre hälsa för arbetare och nya konstruktionsmöjligheter jämfört traditionell svetsning. Det är en nackdel eftersom det inte finns så mycket exempel på hur man bäst kan svetsa och vad gäller material, fogar mm. Dvs det finns ett behov av att skapa utbildningar för detta. Det finns många frågor vad gäller regulatoriska aspekter, konstruktionskrav, säkerhet, fogning av vissa material och fogar. Många aspekter att reda ut! Dock vad gäller standarder så finns det på Lasergruppens hemsida (www.lasergruppen.eu) en lista på standarder som hör till laserbearbetning. Likt traditionell svetsning så skiljer standarder inte på om svetsar är utförda för hand eller av maskin. ■

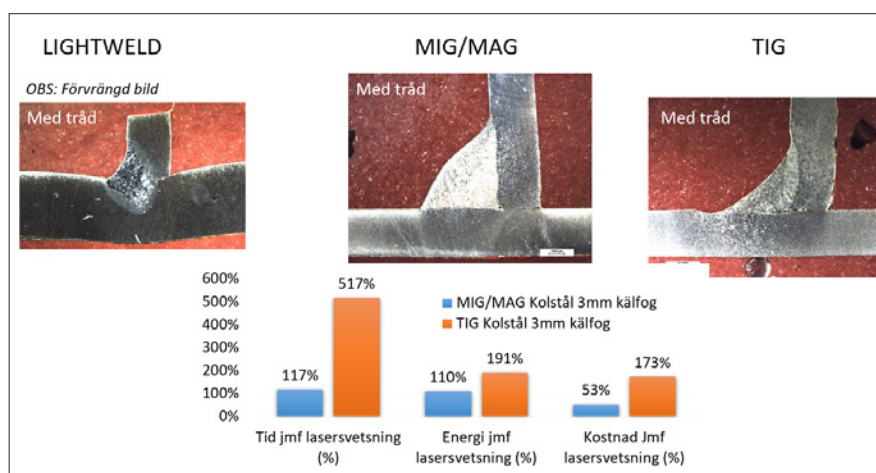
Läs mer på LTU:



Examensarbetet:



Figur 8: Jämförelse resultat för kälfog i 3mm tjockt rostfritt stål för LightWeld mot MIG/MAG och TIG.



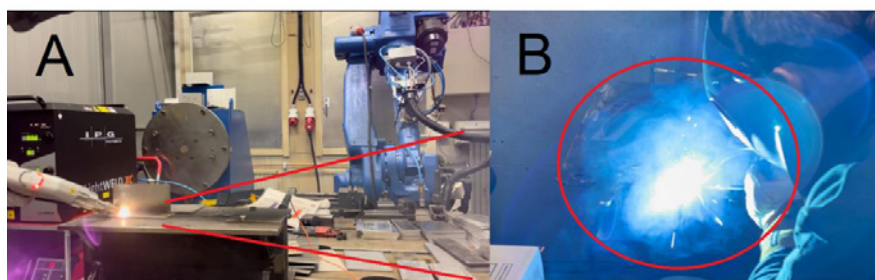
Figur 9: Jämförelse resultat för kälfog i 3mm tjockt kolstål för LightWeld mot MIG/MAG och TIG.

Tabell 2: Partikelstorlek och dess fraktioner som vid svetsning fångades av partikelanalysator.

Metod	PM1 [%]	PM2.5 [%]	RESP [%]	PM10 [%]	PM-TOTAL [%]
Laser	98,07	0,18	0,12	0,46	1,17
MIG/MAG	55,72	1,47	0,89	6,00	35,92
TIG	21,37	0,62	1,16	10,93	65,92

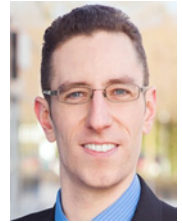
Partikelgrupp	Beskrivning
PM TOTAL	Fraktioner upp till 15 µm. Det totala omfånget av partikelfraktioner
PM10	Fraktioner upp till 10 µm.
RESP	Fraktioner upp till 5 µm. Dessa kan nå hela vägen till lungblåsorna [23]
PM2.5	Fraktioner upp till 2,5 µm.
PM1	Fraktioner upp till 1 µm.

Tabell 3: Fraktioner av storlekar av partiklar och dess innebörd.



Figur 10: Svetsrök som bildas vid svetsning med A) Lightweld) och B) ljusbågssvetsning (MIG/MAG, TIG).

Svetsning – Förenar världen tillsammans



Jörg Volpp

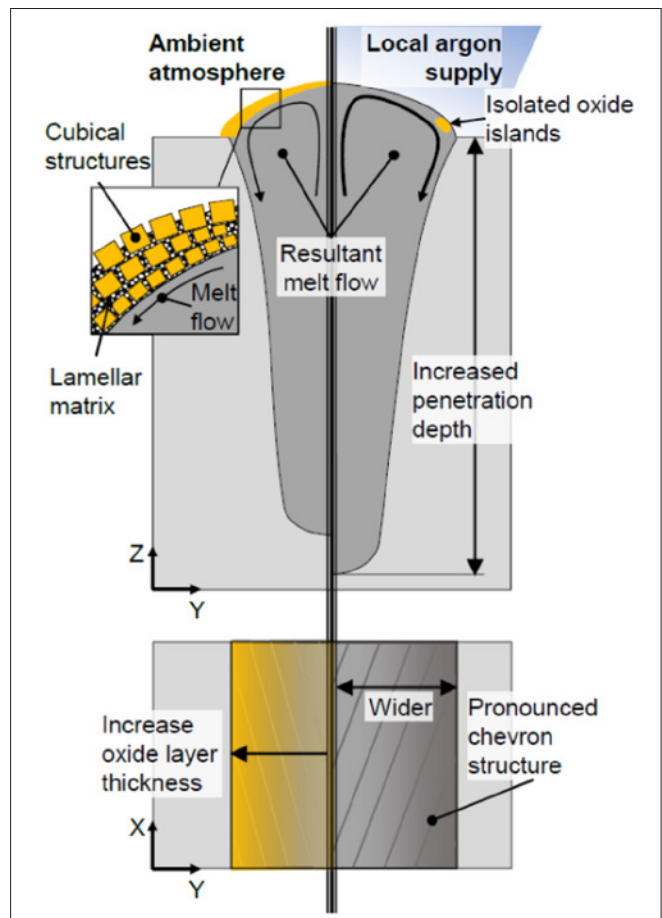
Biträdande professor, Avdelningen för
Produkt- och produktionsutveckling
Luleå tekniska universitet

Termisk svetsning är en het process. Därför var årets plats väl vald för att arrangera den årliga församlingen och konferensen för International Institute of Welding (IIW). Inte bara med tanke på när det gäller att smälta material, utan även smältande deltagare i det varma tropiska klimatet.

Som Sorin Keller motiverade, är mötets syfte att ”foga världen samman” och att möjliggöra framgångsrik utveckling i global skala. Mer än 800 deltagare delade med sig av kunskap vid konferensen och inom de olika arbetsgrupperna, som var och en specialiserar sig på olika områden inom svetsning. Denna gång hölls IIW för första gången sedan covid-19 utbröt fysiskt så det var välkommet att mötas i person.

Det fanns flera sessioner som innehöll laserbearbetning, vari kommission IV (Power beam processes) innehöll totalt 21 bidrag. Det hölls även gemensamma möten mellan arbetsgrupperna, exempelvis det mellan kommissionen I, IV och XII kallat ”Welding/joining and additive manufacturing technology” med ytterligare 19 bidrag.

Utvalda bidrag av särskilt intresse från kommission IV sammanfattas här.



Figur 1: Illustration av effekt av luft och en lokal argontillförsel på oxidtillväxt och resulterande svetsfogsgeometri.

Röntgenövervakning

Schmidt et al. (Doc.IV-1560-2023) använde in-situ röntgenövervakning av lasersvetsprocessen för att analysera påverkan av omgivande syre för utseendet av svetsfogarna. På grund av en effekt från gasinducerat dynamiskt tryck är avskärmningen av syre också mycket relevant för dynamiken i svetsmältan och stänkbildning. Detta på grund av tillväxt av oxider och dess påverkan på ytspänningen. Därför utvärderades effekten av

lokalt tillfört argon på oxidtillväxt och svetspogografi medan lasersvetsning utfördes i höglegerat stål (AISI 304). Hög-hastighetssynkrotronröntgenavbildning utfördes för att separera de båda effekterna (det gasinducerade trycket och den gasinducerade avskärmningen) av en lokal gastillförsel på nyckelhålsgeometrin. Resultaten visar att en lokal tillförsel av argon bidrar till en skillnad i oxidtillväxt, vilket påverkar svetsmältans konvektion och svetsfogsgeometri

(Figur 1). Det visades även att effekten av lokala gasflöden vid låga flödes hastigheter främst beror på dess förmåga att avskärma syre, eftersom ingen signifikant skillnad i nyckelhålsgeometri hittades vid höghastighetssynkrotronröntgen.

Vidare beskriver Schricker et al. (Doc. IV-1561-2023) en liknande röntgenövervakningsuppsättning som observerade svetsningen av en överlappsfog av AISI 304 höglegerade stålplåtar (X5Cr-

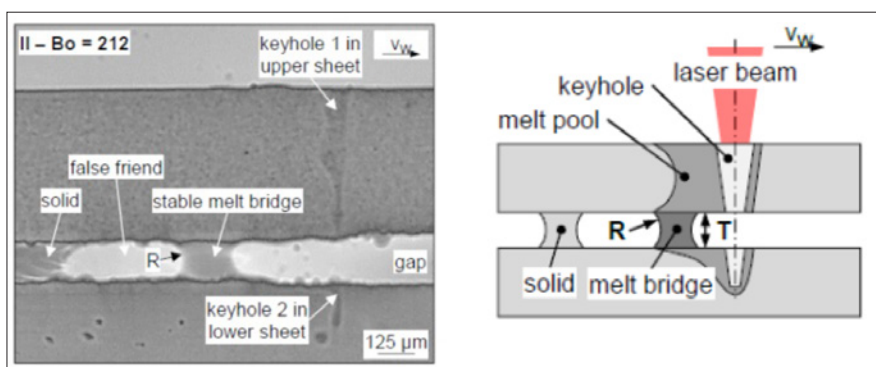
Ni18-10/1.4301). Här med möjligheten att justera olika spalthöjder mellan topp- och bottenplåt (upp till 0,20 mm). En beskrivning av vad de kallar "false friend"-formation gavs genom att visualisera interaktionen mellan nyckelhål och svetsmälta under lasersvetsnings- och steltningsprocesser inom gapområdet. En false-friend innebär att det ser bra ut, men egentligen är en brygga ovanför så att det faktiskt inte är ihopsvetsat där dessa finns. Spaltens bryggharhet var begränsad på grund av spalthöjden och otillräcklig smälttillförsel som ledde till att bron stelnade. Avståndet mellan den stelnade bron och nyckelhålet ökade med tiden, medan nyckelhålets och smältbassängens dynamik initierade bildandet av nya smältbryggor vars stabilitet definierades av smältflödesförhållanden, ytspänning och spalthöjder (Figur 2).

Mellanrubrik

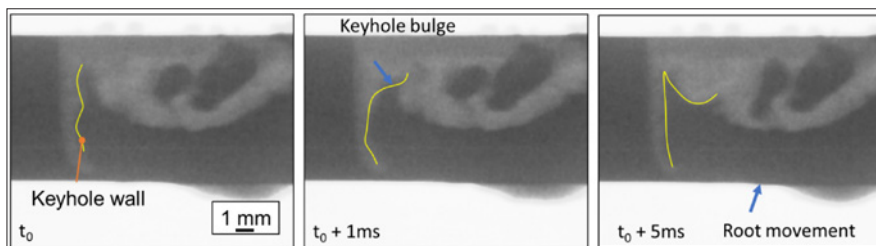
Min presentation (Volpp et al. Doc.IV-1556-2023) handlar om ett liknande tillvägagångssätt. Här användes också röntgenobservation för att observera svetsmältans dynamik på instabilitet vid svetsroten vid lasersvetsning i tjocka plåtar. Det observerades att vid låga lasereffekter blir porbildning vid nyckelhålsspetsen genom nyckelhålets utbuktning och separation. Vid ökande lasereffekt sker utbuktningen och separeringen i zoner högre upp vid nyckelhålet. Efter separation av utbuktning och nyckelhål förblir dessa gasbubblor kvar där de skapas vid låg lasereffekt. Vid högre lasereffekter kan dessa porer tryckas nedåt i smältan (Figur 3), troligen på grund av litet motstånd. Utifrån observationer antas det att nyckelhålets utbuktning påverkar smältflödet. Denna koppling finns genom att relatera de utbuktande händelserna till den något fördröjda rotdynamiska ökningen.

Olika våglängder vid lasersvetsning

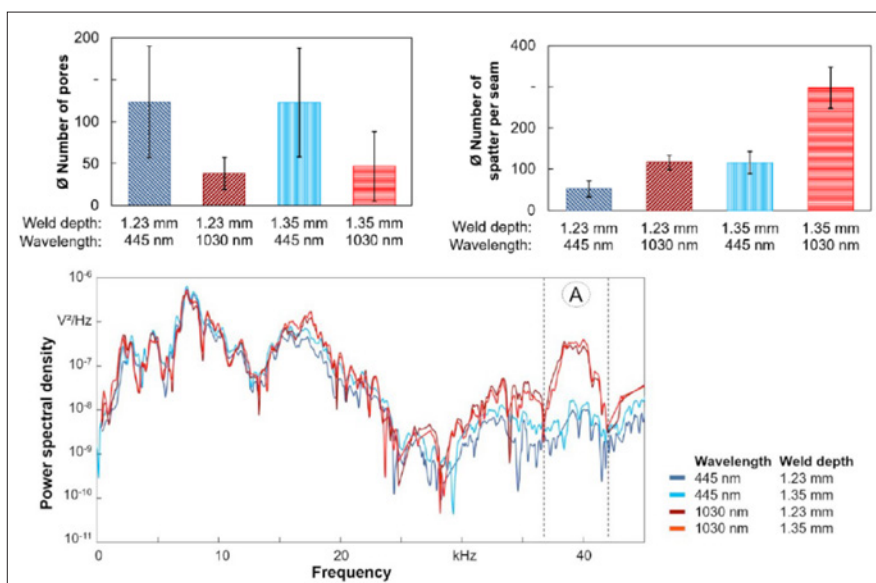
Att våglängd hos laserkälla påverkar processer är känt, men inte alltid vilka effekter det får på smältan och dynamiken i bearbetningsprocessen. Möbus et al. (Dok.IV-1563-2023) presenterade en studie där de undersökt effekten av två olika våglängder vid lasersvetsning. Experiment med full och djup penetrationssvetsning utfördes på 2.4068 rent nickel med användning av en infraröd laserkälla och en blå laserkälla med



Figur 2: Bild och illustration från röntgenövervakning av 'false friends' i röntgenvisualisering och skiss av mekanism för bildande av smältbryggor.



Figur 3: Röntgenbildsekvens som visar utbuktning av nyckelhålet i förhållande till rörelse hos smältan vid roten av svetsen.

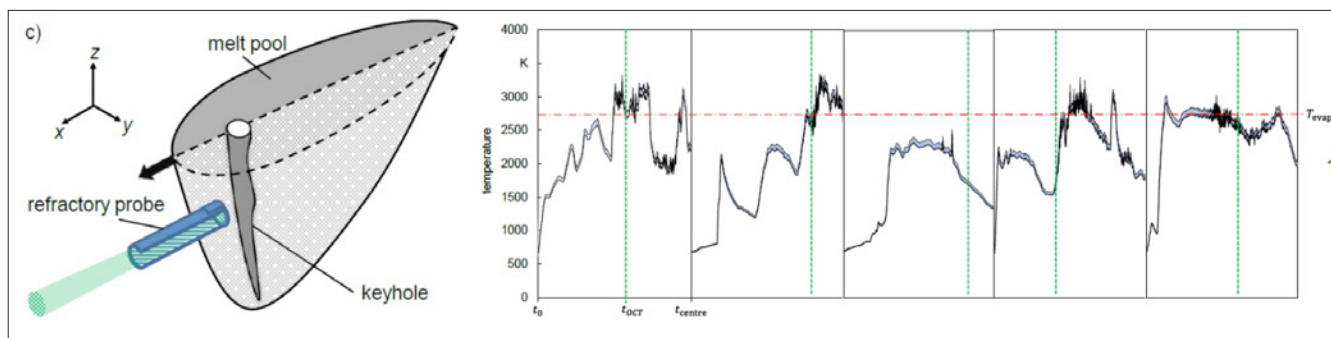


Figur 4: Uppmätta pormängder och sprutbildning för två olika strålkällor (IR och blå) vid lasersvetsning, samt uppmätt akustisk emission (nederst).

jämförbara strålegenskaper. Experimenten övervakades och jämfördes med en multisensoruppsättning och metallografiska analyser. Denna inställning inkluderade mätningar av luftburna akustiska emissioner och två höghastighetsvideokameror för att spåra sprut och storlek hos nyckelhålets område. Användningen av en blå laserstråle ledde till en lägre sprutmängd men däremot en ökning av pormängd. Dessutom noterades en betydande förändring av de akustiska emissionerna (Figur 4).

Mer om nyckelhålets beteende

Ytterligare insikter hos nyckelhålets beteende presenterades av Pordzik et al. (Dok.IV-1564-2023). En innovativ temperaturmätningssyfte utvecklades i syfte att få tillgång till temperaturer i närheten av nyckelhålets frontvägg (Figur 5). Mätningarna utfördes på olika djup för varje kombination av processparametrar i ett försök att registrera en axiellt upplöst temperaturprofil (dvs olika positioner på höjden). Att komplettera temperaturmätningarna med OCT-ba-



Figur 5: Skiss av uppställningen för temperaturmätning med tantalrör (vänster) och exempel på resultat (höger).



Figur 6: Svetsfog mellan en basplåt och en struktur framställd genom additiv tillverkning (AM) med laser powder bed fusion (PBF-LB).

serade djupmätningar i nyckelhålet i kombination med och hög hastighet på registreringar av processzonens yta, möjliggjordes bestämning av den tidpunkt när den eldfasta sonden förstördes. Detta möjliggjorde identifiering av de giltiga mätområdena.

Laser power bed fusion

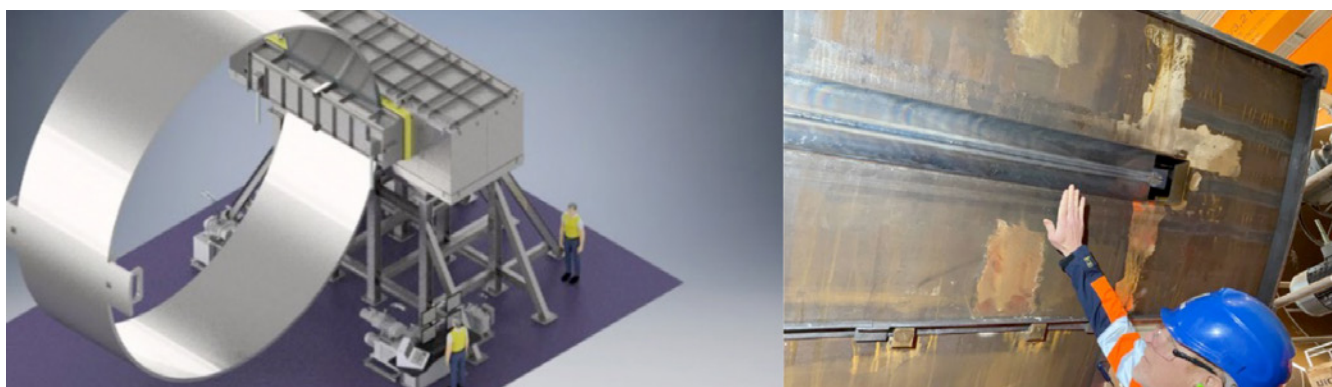
Simón-Muzás et al. (Doc.IV-1565-2023) presenterade resultat från svetskonstruktioner framställda med laser powder bed fusion, PBF-LB (Figur 6), en teknik för additiv tillverkning (AM). Lasersvetsning i Inconel 718 med 7,0 och 2,5 mm tjocka gitterstrukturer med utfördes. Det observerades också att ingen extrem överhettning eller smältning av flänsar och närliggande stag och temperaturfältet skedde. Trots den lokala uppvärmningen av flänsen är kylningshastigheterna betydligt snabbare ($\sim 12\text{ }^{\circ}\text{C/s}$) på den sida som är tillverkad med PBF-LB.

Fönsterskydd vid vakuumsvetsning

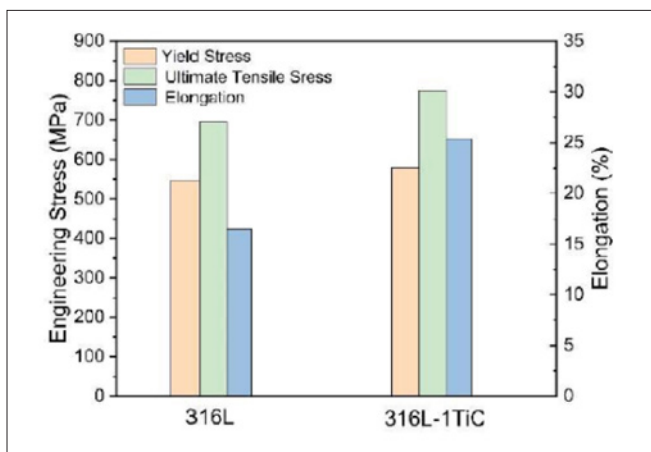
Nentwich (Doc.IV-1574-2023) påpekade vikten av fönsterskydd vid vakuumsvetsning. Därför har ett medelstort vakuumfönsterskyddssystem föreslagits och designats. Partiklarna som genereras av det undersökta lågvakuum systemet och dess nuvarande fönster-



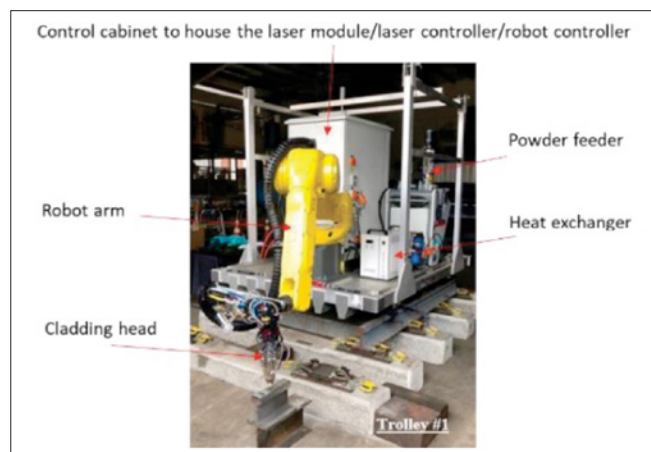
Figur 7: Vakuumkammare med damm som kommer från svetsprocessen.



Figur 8: Design av lokal vakuumuppställning för elektronstrålesvetsning av stora strukturer (vänster) och svetsad fog (höger).



Figur 9: Mekaniska egenskaper hos 316L bearbetad utan och med tillsats av TiC.



Figur 10: Ett mobilt system för DED, här för att reparera räl.

skyddssystem design kan leda till att maskinoperatören utsätts för skadligt metalloxiddamm genom inandning (Figur 7). Det här utvecklade skyddssystemet för medelvakuumsystem genererar mätbart mindre inandningsbara partiklar än skyddssystemet för lågvakuumsystem, även om alla uppmätta kvantiteter från lågvakuumsystemet faktiskt också ligger långt under lagliga gränser.

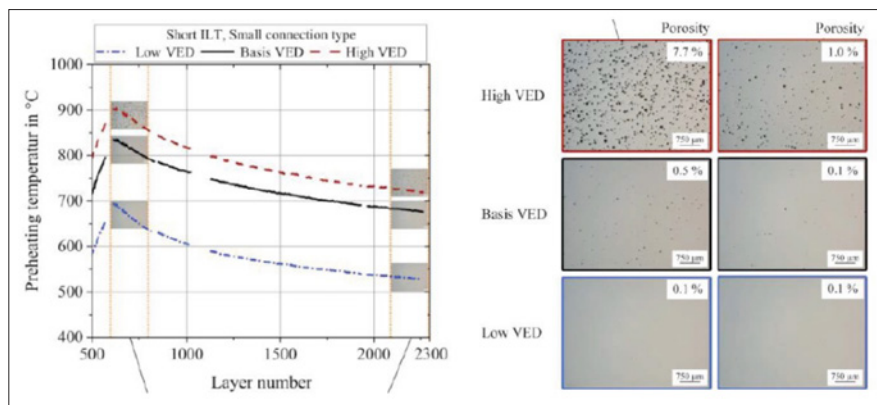
Elektronstrålsvetsning

Även elektronstrålsvetsning (EBW) har diskuterades och presenterats. Punchon et al. (Doc.IV-1587-2023) introducerade ett system för att skapa lokalt vakuum. Det möjliggör portabla svetsssystem med EBW. En avancerad svetsteknik för vindtorn och havsbaserad vindfundament har därigenom realiserats, vilket är en process som kan skapa svetsar över 25 gånger snabbare jämfört med traditionella metoder i tjockplåt. Svetsarna har också de mekaniska och metallurgiska egenskaperna som krävs för att tillfredsställa konstruktionskoder och designkrav, samtidigt som man använder betydligt mindre energi och ingen svetstillsats eller flussmedel.

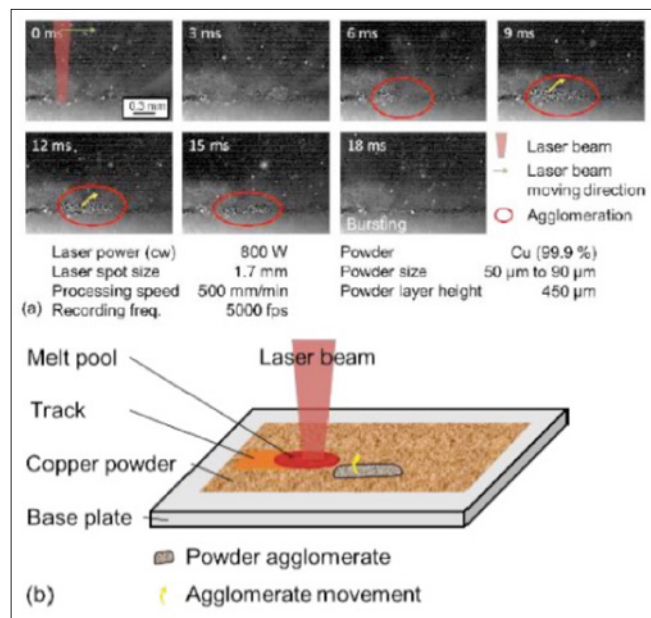
Höjdpunkter från den internationella konferensen

Från den efterföljande internationella konferensen fanns även där många intressanta presentationer. Här är utvalda höjdpunkter med lasersvetsning och AM-tekniker, dvs framförallt direct energy deposition (DED) och laser powder bed fusion (PBF-LB):

Hos DED har det av Zhang et al. (OR-07-0141) rapporterats att Si-Cr-Mn-oxider bildats i 316L-processen. Dessa oxider ger dålig bindning med det påsvetsade materialet. På grund av stora



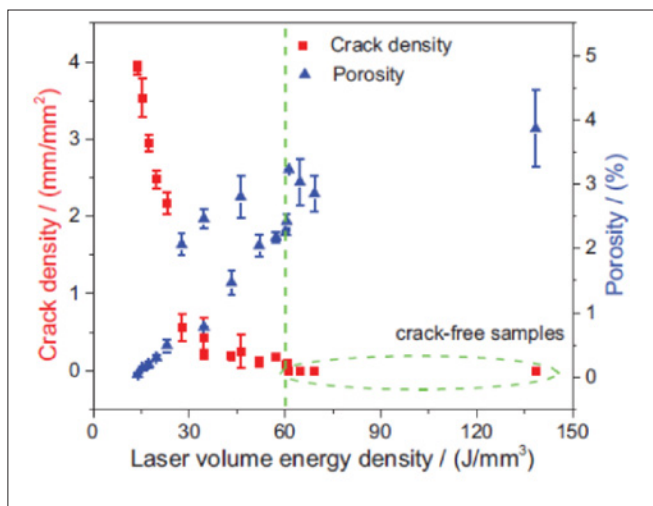
Figur 11: Temperaturmätningar (vänster) och mikrostruktur (höger) hos DED med varierande tid mellan lager och bearbetningsarea.



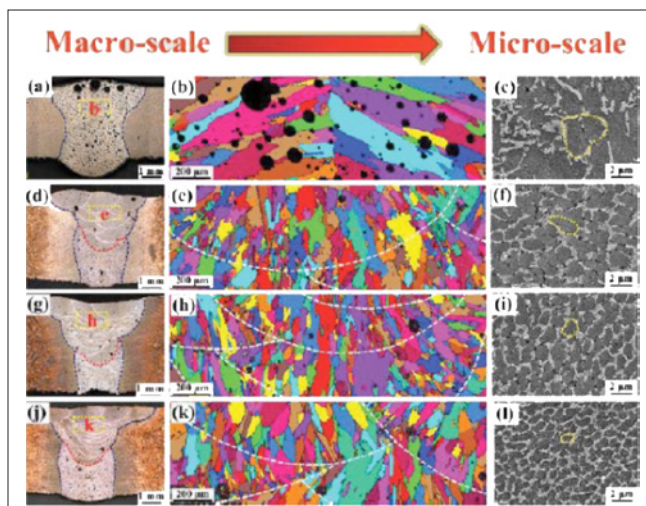
Figur 12: (a) Höghastighetsbildsekvens av PBF-LB som visar agglomerationsrörelsen (ansamling av pulverpartiklar) och skuren och (b) ett schema över agglomeratets rörelse.

fraktioner i storlek och volym av oxiderna ($0,36 \pm 0,31 \mu\text{m}$ respektive 1,4%) är bindningsstyrkan hos 316L svag, vilket leder till låg duktilitet. Tillsats av TiC-partiklar visade sig effektivt förändra oxiderna till över ytan mer jämnt fördelade TiO_2 och i mindre storlek i både yta och volym av oxiderna ($0,24 \pm$

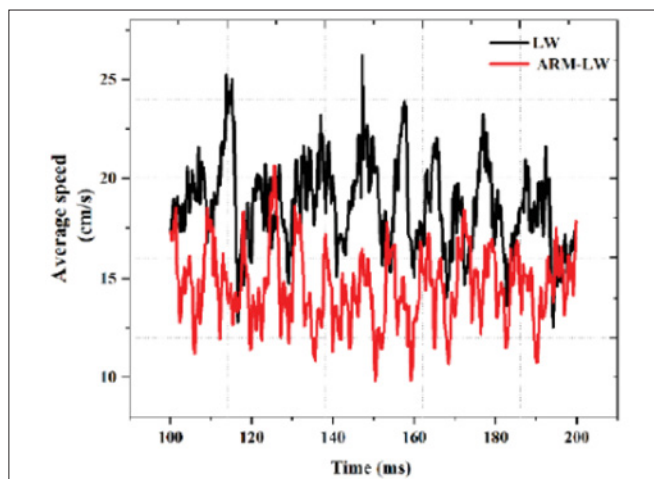
$0,13 \mu\text{m}$ respektive 0,6%). Med förfining och minskning av oxiderna förstärks tydligt bindningsstyrkan hos de påsvetsade materialen, vilket leder till en signifikant ökning av duktiliteten (25,4%, en ökning med 54,1%). Dessutom ökade sträckgränsen och brottgränsen med 5,6% respektive 11,4% (Figur 9).



Figur 13: Sprick- och porositetssutseende vid olika energitillförsel vid PBF-LB, där porer och sprickor förhindras genom att ha hög energitillförsel.



Figur 14: Svetsfogens utseende vid lasersvetsning i material tillverkat med AM (PBF-LB).



Figur 15: Uppmätt hastighet hos prutpartiklar vid lasersvetsning (LBW) med utan och med ringprofil hos laserstrålen.

Ett mobilt system för att DED presenterades av Pang och Nellian (OR-07-0002). De första framgångarna som rapporterats är en reparationsapplikation på rälsstälkomponenter med Stellite 6-pulver (Figur 10).

Inom PBF-LB har Mohr et al. (OR-08-0034) undersökt värmeackumulerings effekter och visat en enorma effekt av ändring av lokala temperaturer på uppkomster av defekter. Här visat på den brett använda rostfria stållegeringen AISI 316L. Värmeackumuleringen triggas av en variation av bearbetningstid mellan lager och minskade tvärsnittareor. Skillnader på uppemot 800 K uppmättes (Figur 11).

Här presenterade jag en studie gjord för PBF-LB, där rörelser hos pulverbädden undersöktes, Volpp et al. (OR-08-0048). Det observerades att förvärmning av pulverbädden kan leda till sintring av pulverpartiklar och rörelse av agglomerationer (ansamlingar av fle-

ra partiklar). Dessa ansamlingar kan till och med leda till bristningar i ytan och en betydande förlust av material och därför bör onödigt förvärmning förhindras innan laserstråle når fram (Figur 12).

Gao et al. (OR-08-0074) undersökte diskontinuiteter hos PBF-LB. När den ingående energin ökar till 61~138 J/mm³ elimineras uppkomst av sprickor och porer. Dessa är de viktigaste och vanligaste diskontinuiteterna hos processen och därför är detta en viktig insikt att beakta vid tillverkning där låg tolerans av dessa föreligger (Figur 13). Dock var dessa provantal lågt och fler studier kring detta bör utföras innan vi vet säkert.

För lasersvetsning så rapporterade Wang et al. (OR-09-0110) om svetsning av strukturer tillverkade med PBF-LB. En ny strategi för tillverkning av Al-Si10Mg svetsfogar med hög hållfasthet och låg porositet demonstrerades. Lasersvetsning i material producerat med

AM förbättrade svetsens mekaniska egenskaper (Figur 14).

Svetsning med justerbar optik, i detta fall så att strålen formas till en ring (adjustable ring mode - ARM), föreslogs av Li et al. (OR-09-0124). Detta visade sig öka möjligheten att erhålla högkvalitativa svetsar i aluminiumlegeringar. På grund av ringlaserns relativt låga energitäthet kan en storleksökning av ringen samtidigt som man ökar den totala effekten göras för att behålla liknande smältdjup. Dessutom observerades en avsevärd minskning av stänk på båda sidor av svetsömmen som producerats genom ringmodesvetsning jämfört med konventionell top-hat eller gaussisk strålfprofil.

Avslutningsvis

Avslutningsvis för konferensen valdes inför nästa mandatperiod en ny ordförande för commission IV (strålbearbetning). Vi önskar Patrick Hohanadel all lycka och en lyckad tid. Dessutom kunde vi tacka Dr Herbert Stauffer, som då även belönades med Arthur Smith Award av IIW för 9 års engagerat arbete och bra samarbete.

IIW kommer snart att lansera en ny hemsida och kommer då även att få en ny logotyp. Nästa IIW årsmöte och konferens är planerad att äga rum i Rhodos, Grekland den 7-12 juli 2024. Abstracts kan skickas in till 1 december 2023. Avslutningsvis för konferensen så vår mångåriga mentor och vän Ernest Levert i sitt sista tal vid C-IV: "Live long and prosper". ■

LaserQuizz

Fråga 1: Vilket material lasersvetsas normalt inte?

- a) Stål
- b) Aluminium
- c) Glas

Fråga 2: Vilken av följande parametrar påverkar inte lasersvetsningen?

- a) Lasereffekt
- b) Spotstorlek
- c) Tryckluftstryck

Fråga 3: Vilket av följande lasersvetsmetoder är vanligast för plåttjocklekar upp till 3 mm?

- a) CO₂-lasersvetsning
- b) Nd:YAG-lasersvetsning
- c) Fiber-lasersvetsning

Fråga 4: Vilken av följande fördelar har lasersvetsning jämfört med konventionell svetsning?

- a) Mindre deformationer
- b) Hög kapacitet
- c) Lägre initiala kostnader

Fråga 5: Vilket av följande påverkar inte svetsresultatet vid lasersvetsning av stål?

- a) Kolhalt
- b) Svavelhalt
- c) Vattentemperatur

Fråga 6: Vilken av följande faktorer är viktigast för att säkerställa kvaliteten på lasersvetsningen?

- a) Rätt inställning av lasern
- b) Rätt materialval
- c) Rätt efterbehandling

Fråga 7: Vilken av följande lasersvetsmetoder är bäst lämpad för svetsning av tjocka material?

- a) Nd:YAG-lasersvetsning
- b) CO₂-lasersvetsning
- c) Fiber-lasersvetsning

Fråga 8: Vilken av följande faktorer kan påverka fogenegenskaperna vid lasersvetsning av aluminium?

- a) Luftfuktighet
- b) Värmeförlust
- c) Oxidbildning

Fråga 9: Vilken av följande lasersvetsmetoder användas normalt för plastsvetsning?

- a) CO₂-lasersvetsning
- b) Nd:YAG-lasersvetsning
- c) Diodlasersvetsning

Fråga 10: Vilken av följande faktorer kan orsaka defekter i lasersvetsningen?

- a) Rätt inställning av lasern
- b) Kontaminerade svetsdelar
- c) Låg luftfuktighet

Rätt svar hittar ni på sidan 23.

Laserdag I

– Permanova, Mölndal



Björn Lekander
Permanova



ter en trevlig lunch fortsatte programmet med ytterligare ett föredrag från Scania om deras arbete med utveckling av nya laserprocesser. Dagen avslutades med en presentation av Permanovas produktionsutrustning av celler och moduler, som möjliggör flexibel och effektiv laserbearbetning i olika miljöer. Det var en mycket givande dag som gav oss nya kunskaper och kontakter inom laservärlden.

Här följer en sammanfattning av några presentationer:



Mattias Olsson, Scania. Driving the shift – battery manufacturing.

Laserdagen hos Permanova i Mölndal var en spännande och lärorik upplevelse för alla som deltog. Vi var ett trettiotal personer som fick lyssna på intressanta föredrag om laserteknik och dess tillämpningar inom industrin.

Dagen började med årsmöte för Lasergruppen, där vi fick ta del av verksamhetsberättelse och ekonomisk rapport. Efter en god fika med registrering hälsade Permanova oss välkomna till deras anläggning, där de visade upp sin mo-

derna utrustning för laserbearbetning av olika material. Vi fick också höra om GKNs resa inom additiv tillverkning, Scantias erfarenheter av laser inom e-bility och Högskolan Skövdes forskning runt simulering för lasersvetsning. Ef-



Deltagare på Laserdag I.



Peter Norman, Scania, Metoudutveckling för spiralpunktsvetsning med laser.

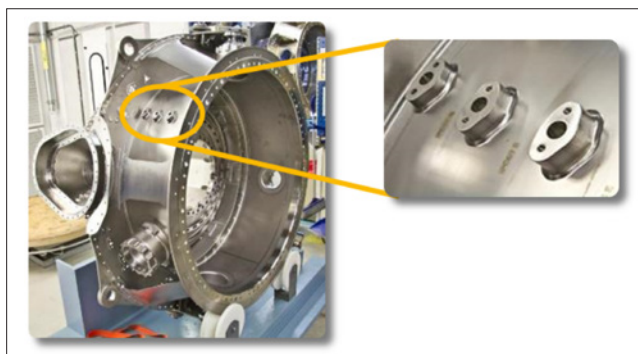
GKN Aerospace utvecklar additiv tillverkning för framtiden



Författare:
Christo Dordlofva
GKN Aerospace Sweden AB

Under Laserdagen I presenterade GKN Aerospace vad de jobbar med inom laserbaserad additiv tillverkning, eller 3D-printning i metall. Med en lång historia av utveckling är nästa steg att föra in teknologierna i mer avancerade produkter där köpet av Permanova Lasersystem är en del av den långsiktiga strategin.

© GKN Aerospace Sweden AB



GKN Aerospace första flygande komponent tillverkad med additiv tillverkning.

GKN Aerospace har utvecklat additiv tillverkning, eller AM (additive manufacturing), sedan tidigt 2000-tal vid sin anläggning i Trollhättan. Idag har företaget komponenter tillverkade med AM i flygmotorer som dagligen flyger passagerare världen över. Under Laserdagen I presenterade Christo Dordlofva, projektledare på GKN Aerospace, hur de kontinuerligt jobbar med utveckling av olika AM-teknologier parallellt med att

de införs i produktutveckling och produktion. I en bransch där säkerhet går först har GKN Aerospace strategi varit att först visa teknologin i vad som kallas låg- eller icke-kritiska produkter. Redan 2012 introducerades den första flygande komponenten, en boss på en större strukturell flygmotorkomponent, tillverkad med laser och tråd, även kallat LMD-w (Laser Metal Deposition with wire)

© GKN Aerospace Sweden AB



Raketmotormunstycke och fläkthusring till flygmotor tillverkade med additiv tillverkning.

© GKN Aerospace Sweden AB



Fabricerad turbinstruktur till flygmotor samt komplett turbin till Prometheus, båda tillverkade med pulverbädd.

Som leverantör av stora strukturella komponenter till flyg- och raketmotorer har nästa steg varit att föra in AM i större och mer lastbärande produkter. Europas nästa bärraket Ariane 6, som har första flygning planerad 2024, har ett munstycke konstruerat och tillverkat av GKN Aerospace där AM används som en av tillverkningsmetoderna. För civila flygmotorer blir nästa applikation med AM en fläkthusring där de första seriehårdvarorna har passerat genom fabriken i Trollhättan.

Både munstycket och fläkthusringen är exempel på hur AM och fabricering (svetsning av mindre delkomponenter till en stor komponent) kombineras för att maximalt utnyttja potentialen som dessa teknologier möjliggör. Pågående teknologiprogram på GKN Aerospace syftar nu till att använda fabricering och AM i mer komplexa produkter. En av AM-teknologierna som utvecklas är pulverbädd, eller LPBF (Laser Powder Bed Fusion), som ger möjlighet att tillverka mer komplexa geometrier än med laser och tråd. Ett exempel är turbinstrukturer till flygmotorer som delas upp i sektorer för att sedan svetsas ihop vilket företaget visat genom olika demonstratorprojekt. Ett annat sätt att använda LPBF är att minska antalet ingående komponenter i en produkt, så kallad konsolidering, för att t.ex. öka prestanda och minska kostnader. Prometheus är ett europeiskt program som syftar till att demonstrera nästa generations raketmotor där GKN Aerospace levererar turbiner tillverkade med pulverbädd. En traditionell turbin innehåller hundratals delar medan den av företaget konstruerade Prometheus-turbinen endast består av två delar!

Genom att kombinera sina kunskaper inom AM med en flora av produkter inom både rymd- och flygindustri, utmanar GKN Aerospace gränserna för vad som är möjligt. Köpet av Permanova Lasersystem 2022 var ett led i att säkerställa rätt kompetens och teknologi finns inom företaget för att utveckla och tillverka framtidens AM-system. På så sätt går man bortom vad som är möjligt idag för att säkerställa att lättare och mer hållbara produkter kan konstrueras och tillverkas till nästa generations motorer.

Läs mer på Internet

www.gknaerospace.com

www.permanova.se »

Demonstration of some laser welding applications



Författare:
Tobias Andersson
Högskolan i Skövde



Författare:
Andreas Andersson Lassila
Högskolan i Skövde

Forskningsgruppen Virtual Manufacturing Processes (VMP) vid högskolan i Skövde visade upp exempel från sin forskning inom lasersvetsning. Gruppen påbörjade sitt arbete inom lasersvetsning 2020, främst kring applikationer inom elektromobilitet. En TRUMPF TruLaser Cell 3000 har införskaffats och används flitigt för detta ändamål.

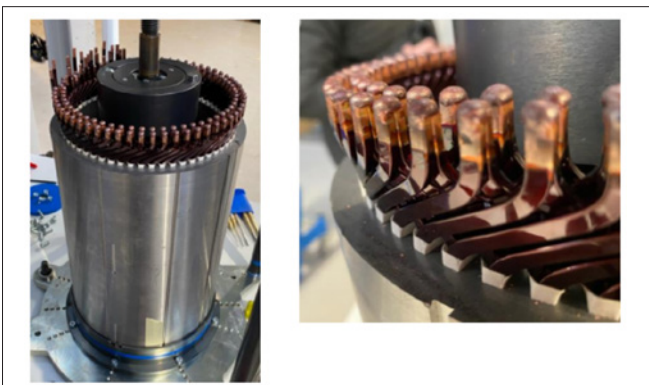
I forskningsprojektet Utmaningsdriven Innovation (UDI3) har svetsning av s.k. kopparhairpins i en stator till en elmaskin undersökts, se *figur 1*. I stället för kopparlindning används kopparstavar (hairpins). Dessa lasersvetsas i en ände för att skapa en sammanhängande strömkrets i statorn. Det finns ett antal krav som måste uppfyllas. Dels måste svetsdjup och svetsarea vara tillräckligt stor för att inte resistansen skall bli för hög vilket ger en sämre verkningsgrad. Vid lasersvetsning av koppar bildas ofta porer så det är viktigt att svetsmönstret tillsammans med processparametrar ställs in så bra som möjligt för att minimera porositeten. Vidare är det ett krav att inte plastbeläggningen på hairpinsen skadas av värmen från svetsprocessen. Även formen på svetsfogen är viktig, samt hållfastheten.

Resultaten i projektet har bidragit till att gruppen nu hjälper både Volvo Cars och Volvo Lastvagnar med prototyp-tillverkning av statorer vid ASSAR Industrial Innovation Arena i Skövde.

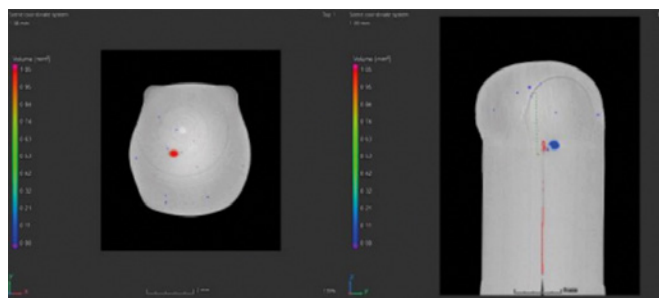
För att studera tidigare nämnda krav används olika sensorer och mätinstrument. Bland annat används en CT-skanner för att studera porositeten i svetsfogarna, se *figur 2*. Filmning med höghastighetskamera utförs också för att studera materialflödet i smältpolen, samt hur sprut/skvätt utvecklas under svetsprocessen.



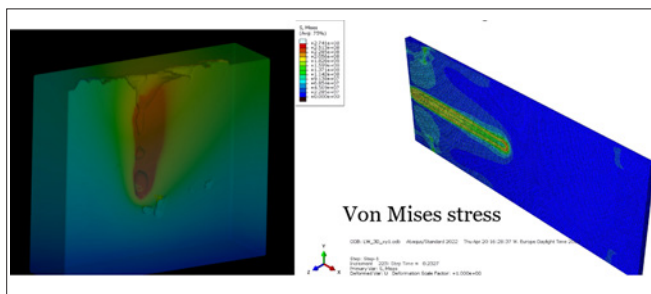
Gruppen använder och utvecklar även simuleringsmodeller – både på processnivå och strukturnivå. För att förstå vad som händer lokalt i svetsprocessen används processsimulering. Med dessa simuleringar kan t ex porbildning studeras och hur keyholet kollapsar mm. Struktursimulering används för att studera hur t ex restspänningar eller temperaturfält utvecklas på en global nivå, dvs här modelleras en större del av komponenten.



Figur 1: Stator till elmaskin med kopparhairpins.



Figur 2: Bilder från CT-skanner av svetsad harpin. Röd och blå färg indikerar porer.



Figur 3: a) Processsimulering för undersökning av tillkomst av porer. b) Struktursimulering som visar spänningar i en plåt under lasersvetsning.



Figur 4: Battericeller monterade i en testfixtur där en busbar används för att sammankoppla cellerna med en så kallad cell-till-busbar fog. På bilden visas även en typ av testgeometri som används vid lasersvetsexperiment.

I forskningsprojektet QWELD arbetar forskningsgruppen med lasersvetsning av batteripaket för elektriska fordon. Ett batteripaket består av många battericeller som sammankopplas till batterimoduler och batterimodulerna sammankopplas till hela batteripack. För batteripaket används både cylindriska och prismatiska celler. I batteripaketen och batterimodulerna är cellerna serie/parallell kopplade med så kallade cell-till-busbar fogar. Dessa fogar måste uppvisa: (1) en låg elektrisk resistans för att inte försämra prestandan på batteripaketet, (2) en låg värmepåverkan på battericellen under sammanfogningen för att inte skada cellen och de kemiska komponenterna inuti den och (3) ett reducerat och kontrollerat svetsdjup för att inte erhålla en full penetration genom cellen och på så sätt förstöra den. För att undersöka hur olika processparametrar påverkar detta utförs både experimentella och numeriska studier. *Figur 4* visar två stycken battericeller monterade i en testfixtur där en busbar används för att sammankoppla cellerna med en så kallad cell-till-busbar fog. På bilden visas även en typ av testgeometri som används vid lasersvetsexperiment för att undersöka olika processparametrars påverkan på fogkvaliteten. ■

Läs mer på Internet

www.his.se/forskning/virtual-engineering/virtual-manufacturing-processes/

Kalendarium 2024

Mars

20-22 **Laser World of Photonics – Shanghai**
www.world-of-photonics-china.com.cn/en-us/

April

v. 14 Utgivning av **Lasernytt 1**
 18 **Laserdag I**
 18 **Årsmöte**

Maj

14-17 **Elmia Svets och Fogningsteknik**
www.elmia.se/svets

Juli

7-12 **IIW 77:e Annual Assembly– Rhodos, Grekland**
www.iiw2024.com

September

v 37 Utgivning av **Lasernytt 2**
 15-19 **LANE – Fürth, Tyskland**
www.lane-conference.org

Oktober

Prel v41 **Laserdag II**
 16-19 **ICALEO, Chicago**
www.icaleo.org

November

4-7 **ICALEO, Hollywood**
www.icaleo.org
 7-9 **Laser World of Photonics – Mumbai**
www.world-of-photonics-india.com/en/

Laserdag II

– Lasertech, Karlskoga



Joakim Ekeröth
Svetskommissionen



Elias Repper.



Kristian Vingerhagen.

Lasergruppen anordnar Laserdag två gånger per år och Laserdag II hölls torsdag 12 oktober i Karlskoga med LaserTech som värd. Laserdagens presentationer genomfördes på Bofors Hotell, och dagen avslutades med en guidad visning av verksamheten på Lasertech LSH AB.



Jan Frostevarg.

Lasergruppens ordförande **Jan Frostevarg** inledde dagen att hälsa välkommen till Laserdag II och berätta om Lasergruppens verksamhet.

Lasertech vd **Jonas Spalin** hälsade välkommen och presenterade dagens värd. Lasertech är ett ledande företag inom

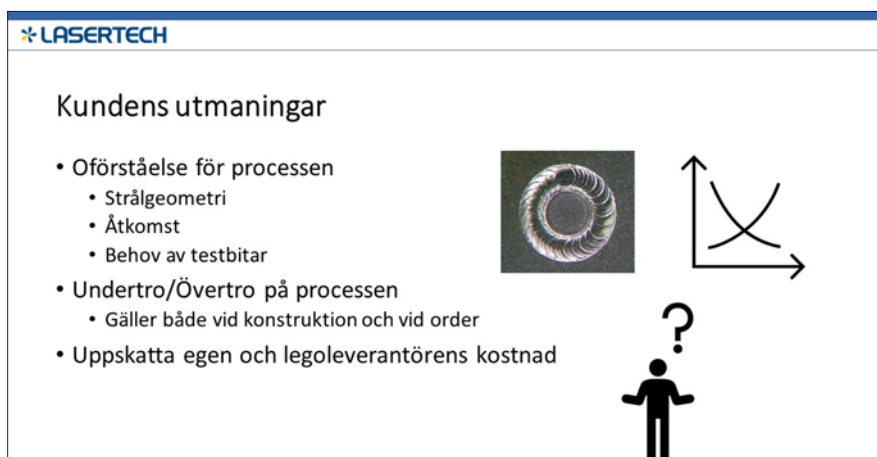


Jonas Spalin.

industriell 3D-printing och lasersvetsning i metall. Tjänsteutbudet omfattar även oförstörande provning, lasermärkning och laserhårdning. Lasertech kunder finns inom branscher som fordon, försvar och medicinteknik. Lasertech utvecklar produkter främst på legobasis.

IWE Svetsingenjören **Elias Repper** berättade tillsammans med 3D-ingenjör **Kristian Vingerhagen** att Lasertech strategi idag är i rollen som underleverantör att försöka anta kundernas kravställningar och utmaningar.

Elias presenterade de största utmaningarna med att leverera lasersvetsning som lego-tjänst. Man kan dela upp utmaningarna i 3 kategorier: Interna, tekniska och kundens utmaningar. Då efterfrågan på lasersvetsning är begränsad har Lasertechs strategi varit att erbjuda tjänsten till en stor variation av kunder och fogtyper. Den tekniska utmaningen blir således att kunna svetsa alltifrån aluminium till nickelbas-material och att med, i många fall begränsade provserier, hitta rätt svetsparametrar för foggeometrin. Utrustningen på Lasertech måste också vara mycket flexibel



för att möjliggöra svetsning av både små och stora serier.

Den stora variationen av kunder ger också varierande krav på kvalitetssäkring etc. Det finns i många fall bristande kunskap hos konstruktörer vilket leder till att tänkta krav och funktioner inte alltid kommer med på ritning. Den tekniska genomgången ihop med kund blir därför mycket viktig för att leverantör och kund ska förstå varandra. Vi hjäl-

per också i många fall kunden att förstå lasersvetsning som process då metoden inte är vida känd. Det finns exempel där kunder både haft en övertro och en undertro på vad processen kan hantera i form av toleranser, restspänningar, åtkomst etc. Man har också varierande uppfattning kring vad en lasersvets kostar att utföra.

Vi är övertygade om att möjligheterna med processen är fler än vad som

görs idag. För att sprida kunskap och hjälpa konstruktörer och utvecklingsavdelningar på företag att introducera processen gör därför Lasertech företagsbesök med seminarier där de viktigaste koncepten går igenom. Detta har varit mycket uppskattat och vi hoppas fortsätta utveckla konceptet under 2024.

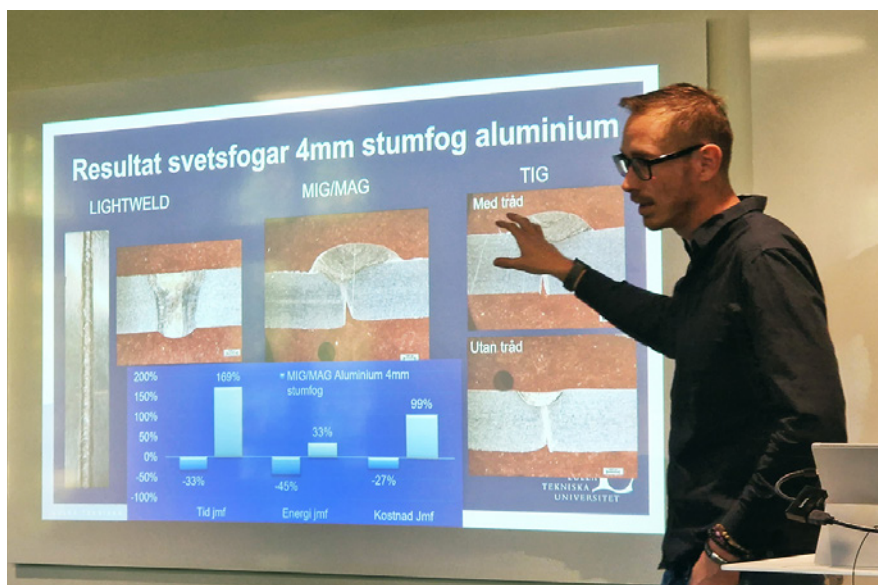
Vid AM tillverkning arbetar Lasertech med olika metalliska material exempelvis Aluminium, Nickel-bas och Titan. **Kristian Vingerhagen** berättade att det ibland kan behövas extra AM-stödstrukturer runt detaljen för att klara kravspecifikationen. Med 3D Printing bör man tänka lite annorlunda jämfört med traditionell tillverkning. Man vill praktiskt printa ett minimum av metalliskt material vilket automatiskt ger en lättare produkt. Vid rätt använd AM tillverkning går det att göra traditionellt ovanliga geometrier samt tillverkningen går ofta snabbare än vid traditionell skärande bearbetning. Relativt ofta är det först när man har gjort en praktisk AM-tillverkad detalj man fullt ut kan se vilka mekaniska- och hållfasthetsegenskaper med tillhörande toleranser den gjorda komponenten har.



Bo Williamsson, Linde Gas AB rapporterade ett omfattande material från NOLAMP 2023 i Åbo (Nordic Laser Material Processing). Du kan läsa en sammanfattande artikel av Bo om NOLAMP på sid 30 i det här numret av Lasernytt.



Jan Frostevarg LTH presenterade en presentation om handhållen lasersvetsning och berättade om pågående tren-



der och den benchmarkingstudie som har utförts av William Holmberg vid LTU i sitt bachelorarbete mot att bli ingenjör. Vi kunde konstatera att handhållen lasersvetsning inte alltid är effektivare, men som minst i samma nivå som

moderna MIG/MAG eller TIG, ofta mycket bättre. Dessutom var lasersvetsarna utförda av en som aldrig svetsat förut, medan för jämförda processer var det utfört av utbildare. Vi ser också en marknadsutveckling där fler okunniga

om laserteknik köper billiga system från bland annat Kina, vilket väcker en del oro för säkerhetsaspekter. På sid 4 i det här numret av Lasernytt kan du läsa en längre artikel om handhållen lasersvetsning.



Laserpåsvetsning - Applikationer för ytbeläggning med laser

Conny Lampa, Höganäs Sweden AB

Laserpåsvetsning med pulver har varit känt i över 40 år men det är först under

de senaste 8-10 åren som det industriella intresset för metoden har accelererat. Incitamentet för att ytbelägga en produkt är oftast att man vill öka en produkts livslängd, antingen vid nytillverkning eller vid reparation och underhåll. De egenskaper som främst eftersträvas är ökat korrosionsmotstånd och/eller bättre nötningsegenskaper.

Utrustning

För att ytbelägga med laser behövs först och främst en laserkälla. Idag är det framförallt diod-, -disk- eller fiberlasrar som används, alla med en våglängd omkring 1 mikrometer. Laserstrålen

transporteras sedan via fiberoptik fram till processverktyget som är monterat på någon typ av hanteringsutrustning. Tillsatsmaterial, dvs pulvret, transporteras från en pulvermatare via slangar eller rör till processverktyget. Processverktyget består dels av erforderlig optik för att kunna fokusera laserstrålen till önskad storlek, samt ett munstycke från vilket pulver och skyddsgas tillförs.

Pulvermunstycken med koaxial pulvermatning är absolut vanligast idag. Här särskiljer man på ringmunstycke, multijetmunstycke och bredstrålemunstycke. Förutom vanliga standardmunstycken finns varianter för exempelvis



Höghastighetslaserpåsvetsning av bromsskiva.



Exempel på laserkälla (diodlaser), hanteringsutrustning (robot och externaxel) med processverktyg samt pulvermatare som används vid laserpåsvetsning.

invändig beläggning av rör och för beläggning av områden med begränsad åtkomst.

Vid användande av ringsmunstycke och multijetmunstycke är laserstrålen cirkulär, normalt med en diameter mellan 1 -12 mm. De kan hantera pulvermatningshastigheter på upp till 10 kg/timme och lasereffekter på över 20 kW. Multijetmunstycken är robusta och kan hantera vinklar på upp till 90 grader. Beläggningseffektiviteten är generellt något högre för ringmunstycken, upp till 95%.

Laserbeläggningsprocesser

Laserbeläggning kan delas in i två olika typer av processer; konventionell laserpåsvetsning (LC) respektive höghastighetslaserpåsvetsning (HSLC).

Applikationsexempel

De nya EURO7 reglerna som är tänkta att träda i kraft 1 juli 2025 innefattar förutom hårdare krav på avgasrening även begränsning av partikelutsläpp från bromssystem i personbilar och lätta transportfordon. För att klara utsläppskraven samtidigt som bromssystemets prestanda ska vara fortsatt opåverkat krävs bromsskivor med ett högt korrosionsmotstånd och ett högt nötningsmotstånd. Den lösning som för närvarande anses vara mest trolig är höghastighetslaser-påsvetsning av bromsskivorna. Processen är snabb och kan användas för att lägga på sprickfria tunna skikt med metallurgisk bindning och en extremt liten värmepåverkan på substratet, i det här fallet gjutjärn.

Andra applikationer för höghastighetslaserpåsvetsning är beläggning av hydraulcylindrar till gruvtruckar och takstöttor i stället för hårdkromatering. För konventionell laserpåsvetsning finns det i det närmaste ett oändligt antal applikationer. Förutom de som nämnts i tidigare artiklar har även glasindustrin fått upp ögonen för tekniken. Här vill man ersätta existerande metoder (plasma, pulversvetsning) med laserpåsvetsning.

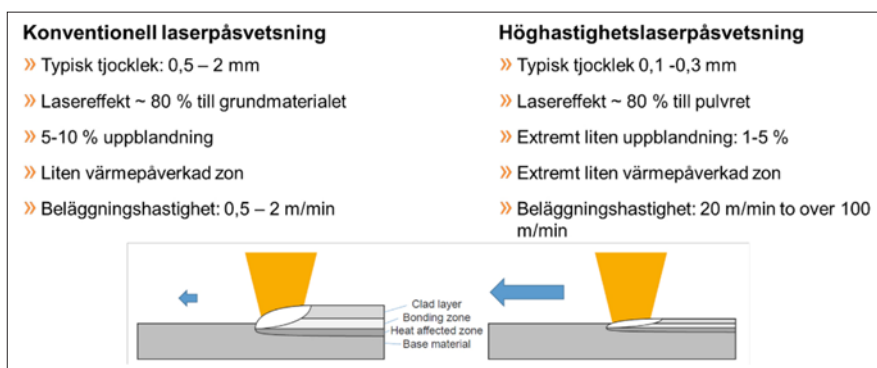
Även inom gruvindustrin har laserpåsvetsning funnit en marknad. Här ett exempel på laserpåsvetsning av på borrkronor där man tidigare använde plasma-, och pulversvets. Genom att använda laserpåsvetsning har man erhållit en hög och jämn kvalitet utan att behöva för- och eftervärma komponenten. »



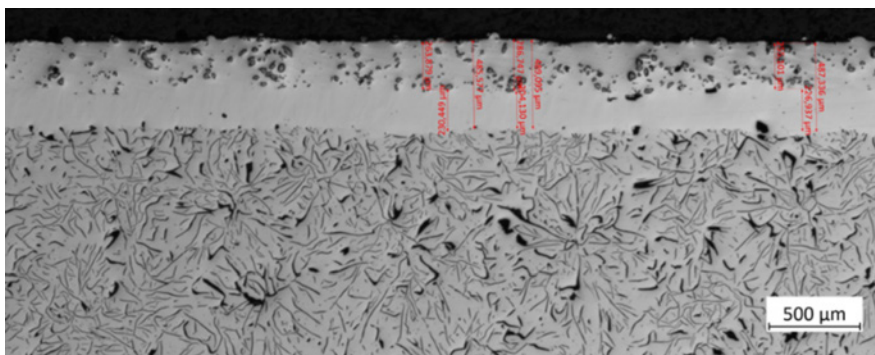
Pulvermunstycken med koaxiell pulvermatning; Ringmunstycke, multijetmunstycke och bredstrålemunstycke.

Tabell 1: Egenskaper på olika typer av pulvermunstycken

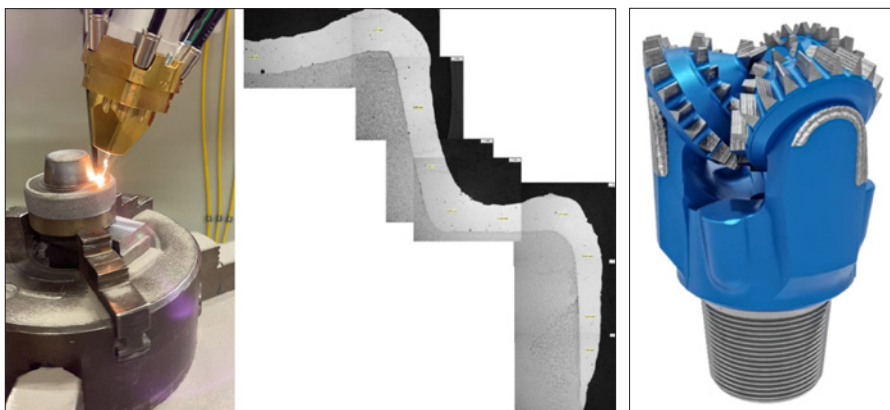
	Ringmunstycke	Multijetmunstycke	Bredstrålemunstycke
Pulvermatning	Max 10 kg/ timme	Max 10 kg/ timme	Max 15 kg/ timme
Fokalpunksgeometri	Cirkulär	Cirkulär	Rektangulär
Fokalpunksstorlek	0,5 – 12 mm	1,0 – 12 mm	12 – 45 mm
Anläggningsvinkel	0° - 30°	0° - 90°	0° - 10°
Beläggningseffektivitet	80 – 95 %	70 – 90 %	80 – 95 %



Schematisk beskrivning av konventionell laserbeläggning och höghastighetslaserbeläggning.



Tvärsnitt av bromsskiva i gjutjärn belagt med ett rostskyddande mellanskikt följt av ett skikt med goda nötningsegenskaper.



Laserbeläggning av detalj för glasindustrin. Bilden till höger visar tvärsnitt av belagd detalj Laserpåsvetsad borrkrona.



Nyheter kring laserskärning – skärning med bland gaser.

Niclas Andersson, Trumpf Maskin AB

- Trenden inom laserskärning med högre effekt möjliggör snabbare skärning samt skärning i tjockare material.
- Laserskärning med en gasmix av Nitrogen och oxygen möjliggör snabbare skärning och minimalt med skärskägg/grader, lättare att plocka detaljer ur plåten
- Gasmix används från 10kW upp till 20-30kW och då med fördel i Aluminium samt Mild steel med högre skärhastighet samt reducerat skärskägg som resultat



- Mixning av skärgaser sker automatiskt med färdiga parametrar, I TRUMPFs 5000 serie av laserskärmaskiner finns en gasmixer integrerad och jobbar i realtime med gasblandningen under skärningen, man kan givetvis ställa parametrar manuellt.

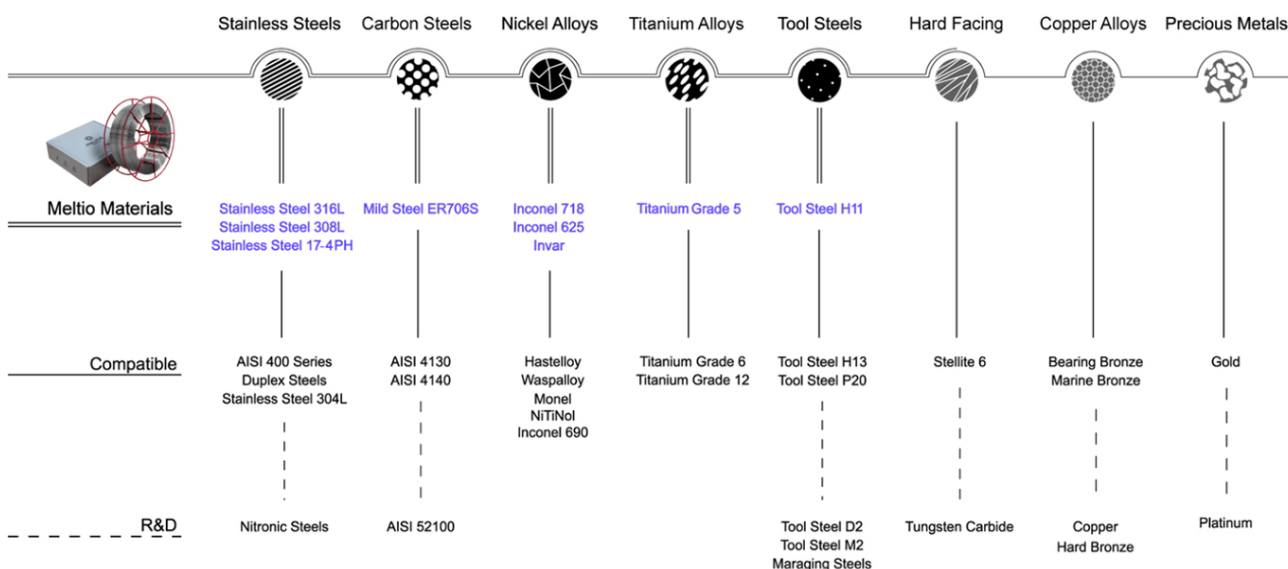
- Gasmix skärning i Aluminium, reducering av grader, ökad skärhastighet med upp till 40% , vid lågvolym skärning av aluminium behövs ingen investering av högtryckskopressor för skärprocessen
- Man slipper efterbearbetning, lättare att plocka detaljer ut nästet



Erik Cederberg, 3dverkstan har nära samarbete med företaget Meltio (som bland annat gör AM i metall, även kallat 3d-printing) och applikationer med det systemet.

I Sverige har 3DVerkstan, ett kontor, utbildningslokal och produktion i Solna. De har mer än 30 års samlad erfarenhet och kunskap av 3D-printing, 3D-scanning och CAD-arbete. Meltio teknologin för AD är oftast trådbaserad. Kan köras med pulver, men ytterst få som tillämpar den metoden. Erik visade för deltagarna på Laserdag II utprintade exempel i olika material och 3D geometrier. »

Unlimited Third-party Material Choice



Guidad visning hos Lasertech

Dagens avslutades med en rundvandring och presentation av Lasertechs verksamhet i sina lokaler i Bofors Industriområde. ■



Uppvisning av en svetsad kopplingskna som Lasertech var med och tog fram. Med laser som svetsprocess kan produkten göras kompaktare och undvika efterföljande bearbetning.



Förevisning av Lasertech:s Lasercell med utbytbar optik för att växla mellan svetsning och additiv tillverkning med LMD.



Kristian Vingerhagen visar några detaljer från AM-delen av Lasertech.

LaserQuizz

Rätt svar:

1:C, 2:C, 3:C, 4:A, 5:C,
6:A, 7:B, 8:C, 9:C, 10:B

**Missa inte Laserdag I 2024
18 april 2024**

Denna gång träffas vi hos
Duroc Laser Coating i Luleå.

Allt om fotoner i München



Jörg Volpp

Yrkestitel och arbetsplats

Inom fotonikbranschen organiseras på stående basis vartannat år i München för World of Photonics-mässan och flera konferenser sedan 1973, där deltagare från hela världen samlas. Sommaren 2023 slog evenemanget upp portarna igen för presentationer av experter, vetenskapliga diskussioner och många nätverkande möjligheter. World of Photonics Congress inkluderade CLEO Europe EQEC 2023, Digital Optical Technologies, Optical Metrology, European Conferences on Biomedical Optics (ECBO), samt Lasers in Manufacturing (LiM 2023).

LiM organiseras av WLT (Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik und Photonik e.V.) och fylls med en mängd olika sessioner kring lasermaterialbearbetning. Några höjdpunkter i bidragen under LiM sammanfattas kort på följande sätt:

Mätningar av absorptions för smälta ståltytor vid höga temperaturer.

När det gäller interaktion mellan laser och material presenterade Prof. Jörg Volpp (Luleå tekniska universitet) mätningar av absorptions för smälta ståltytor vid höga temperaturer. Materialdata för hög temperatur är i allmänhet sällsynt att hitta i litteraturen på grund av de många utmaningar som finns för sådana mätningar. En radiometrisk mätuppställning möjliggjorde dock ett sätt att härleda värden för laserabsorption vid höga temperaturer. Den insamlade datan visade en generell trend för ökande absorption vid stigande temperatur, med ett absorptionsfall strax över koktemperaturen (Figur 1). Det misstänks att ångan ovanför materialytan absorberar laserenergi som minskar absorptionen av den underliggande metallytan. Vid ännu högre temperaturer ökar absorptionen igen. Mätningarna innehåller dock fortfarande osäkerheter om de faktiska värdena för temperatur och ytpänning vid dessa extrema förhållan-

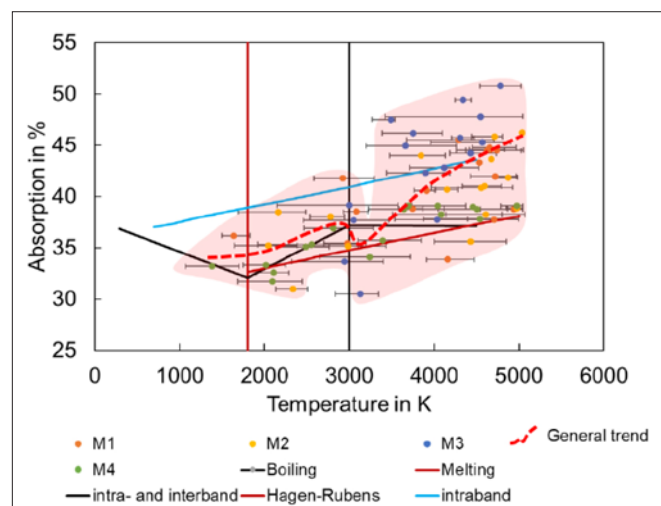
den. Det presenterade arbetet utgår från pågående verksamhet inom anslagsnr. 2020-04250 finansierat av Vetenskapsrådet.

Interaktionen mellan laserljus och metallångplymen

Johannes Wahl och hans kollegor från IFSW (University Stuttgart) har utfört

en grundläggande studie om interaktionen mellan laserljus och metallångplymen. Detta fenomen är särskilt relevant för laserprocesser som producerar ett nyckelhål, såsom laserdjupsvetsning, där plym i varierande storlek finns. Den stigande ångplymen från nyckelhålsöppningen interagerar med laserstrålen, vilket gör att ljuset sprids, men även orsakar absorption av fotoner i laserstrålen och fasfrontdeformation. En mätuppställning med flera mätinstrument ställdes upp för att i högre grad möjliggöra karakterisering av ångplymen, för att bestämma de underliggande interaktionsmekanismerna i olika avstånd och regioner från nyckelhålsöppningen. En höghastighetskamera i kombination med spektrala mätningar användes för att definiera platser för interaktion och dess relaterade spektrala svar. De termiska emissionerna och det spridda ljuset från den infallande laserstrålen mättes och användning av olika optiska filter gjorde det möjligt att skilja mellan spritt ljus och termisk emission. Medelvärden av bilderna från höghastighets-

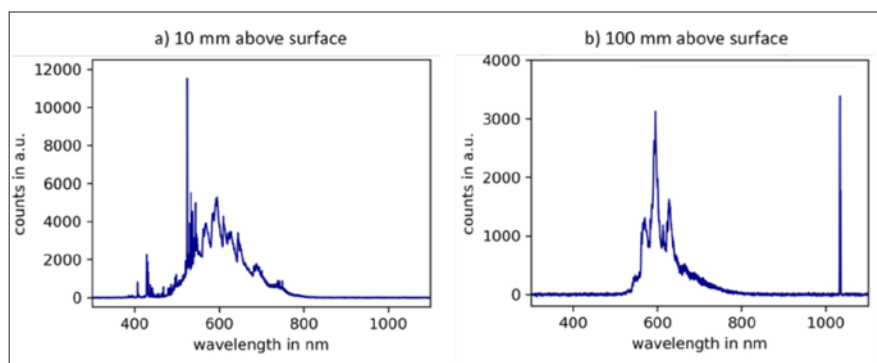
Figur 1: Mätvärden för absorption från fyra inspelningar (M1-M4) och jämförelser med beräknade värden.



kameran visade zoner med olika optisk emissionsbeteende (Figur 2). Detta i sin tur indikerar lokala olika mekanismer för interaktion mellan ångplymen, partikelmolnet och den infallande laserstrålen. Dessutom bekräftade spektrometermätningar en källa till optisk emission. Den termiska emissionen och därmed temperaturen på ångplymen minskar med ökande avstånd till nyckelhålet. Partikelbildningen leder till att ökad spridning av laserljus och når sitt maximum i detta fall cirka 100 mm ovanför nyckelhålet (spetsen i Figur 2b är laserljusets våglängd ca 1070nm).

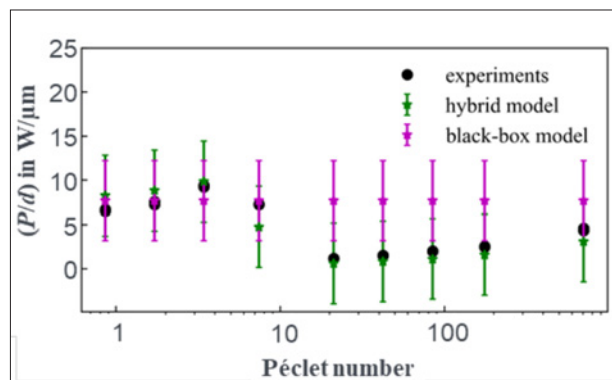
Fysik-baserad hybridmodell för att förutsäga tröskeln för lasersvetsning med djup penetration

Michael Jarwitz och Andreas Michalowski från IFSW (University Stuttgart) presenterade en fysik-baserad hybridmodell för att förutsäga tröskeln för lasersvetsning med djup penetration. En "residual model"-metod användes där en maskininlärningsmodell användes för att lära sig och kompensera för en analytisk modells avvikelser från de experimentella resultaten. Resultaten visar en ökning av modellens noggrannhet genom att använda en sådan hybridmodell jämfört med att endast använda en analytisk modell, Figur 3 (Resultaten för testdatauppsättningen visas med $d = 1680 \mu\text{m}$ och modellerna tränades med data omfattande $d = 100 \mu\text{m} - 600 \mu\text{m}$). I jämförelse med att endast använda en black-box maskininlärningsmodell kan mängden nödvändig träningsdata minskas och förmågan att extrapolera förbättras. Detta indikerar att användning av en hybridmodell avsevärt kan minska mängden nödvändig tränings-



Figur 2: Inspelat spektrum av ljus från plymen vid a) 10 mm och b) 100 mm ovanför nyckelhålet.

Figur 3: Modellresultat för tröskel för djup penetration (given av P/d) vid extrapolering. Svart: experimentella resultat; grön: hybridmodell; lila: black-box modell. Felstaplar representerar standardavvikelsen som erhålls från de Gaussiska processmodellerna.



data och därmed även antalet experiment som krävs för att träna modellen. Detta är särskilt fördelaktigt när det är mycket dyrt att skaffa träningsdata, vilket ofta kan vara fallet vid bearbetning av lasermaterial.

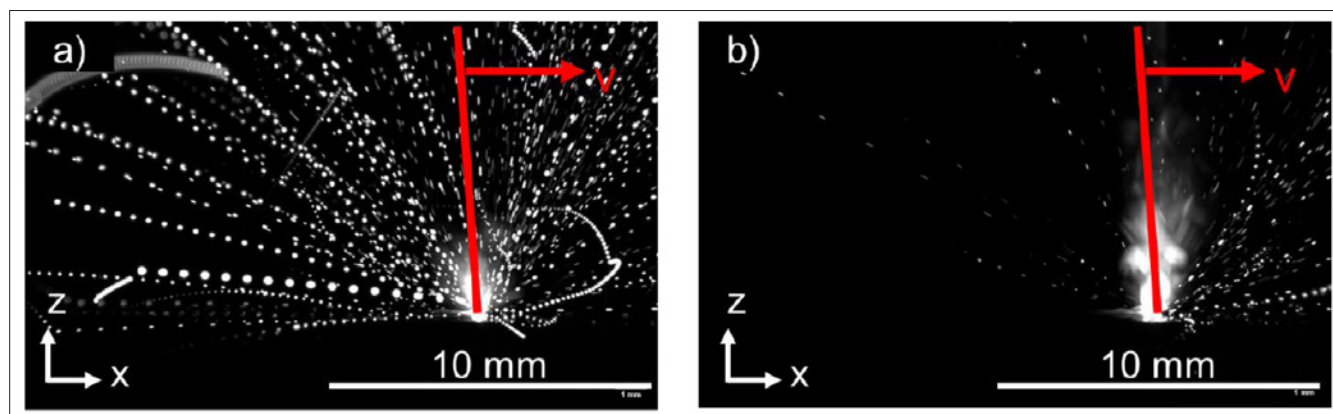
Nyckelhålets stabilitet genom formning av laserstrålen

Felix Zaiß och hans kollegor från IFSW (University Stuttgart) påverkade nyckelhålets stabilitet genom formning av laserstrålen. Intensitetsfördelningen varierades med hjälp av ett fibersystem med ringkärna. Analys av de resulterande

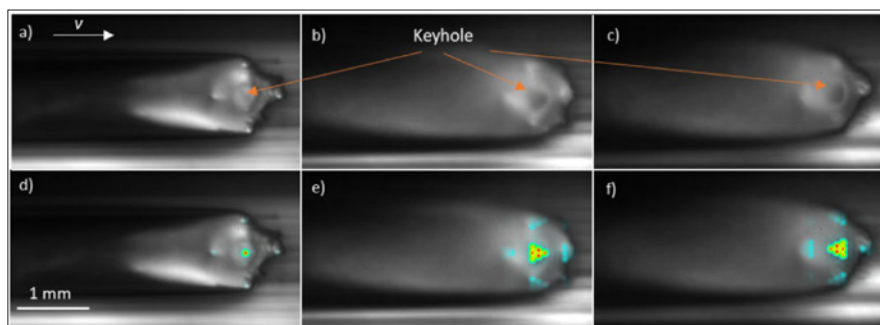
svetsarna visar en signifikant effekt på stabiliteten hos kapillärformen och avsevärda förändringar i smältflödesriktningen och -hastigheten och sprutbildning (Figur 4). I denna studie baserat på dessa resultat identifierades en optimal kapillärform, vilket är ett resultat av en specifik fördelning av effekt i kombination av fiber med ringkärna.

Online-höghastighetsfilmning under svetsning

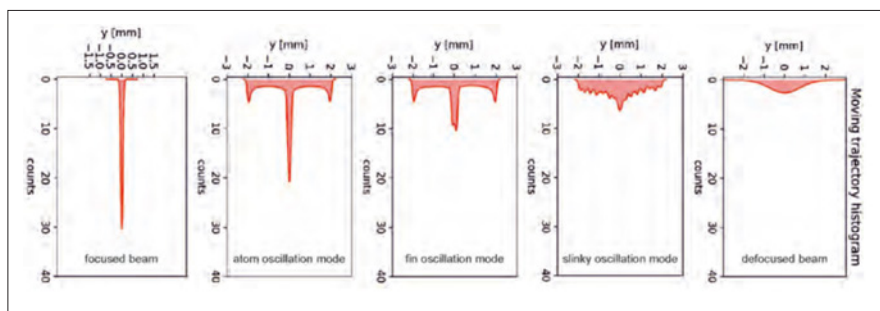
Vidare visade Jonas Wagner och hans kollegor från IFSW (University Stuttgart) påverkan av strålformer på nyckel-



Figur 4: Sammansatta bilder från höghastighetsfilmer visar mängd och riktning av sprut. I a) visas en sådan stackbild med laser på 400 W i vanlig kärnfiber. I b) visas liknande fast för en stråle från en fiber med 390 W i ringkärna och 390 W i kärnfibern.



Figur 5: Sammansatta medelvärdesbilder från höghastighetsfilmning av svetsning med olika strålförhållanden. Nedre raden visar bilder från övre raden fast med de applicerade kombinerade multipla laserstrålarna ($v = 6 \text{ m/min}$, 1.4301 , $PL = 4.5 \text{ kW}$).



Figur 6: Histogram för statisk, oscillerande och statisk defokuserad stråle, där oscilleringsstrategier varierar.

hålsgeometrin med hjälp av online-höghastighetsfilmning under svetsning av aluminium och stål. Därefter analyserades formernas inverkan på smältans strömning experimentellt och nume-

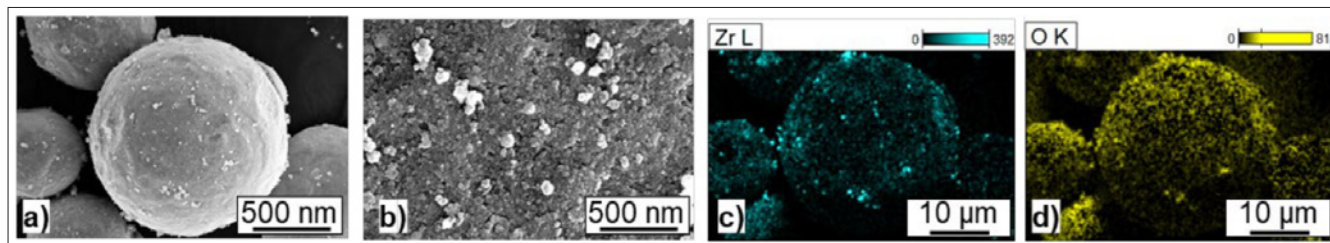
riskt. De erhållna resultaten visar på hög potential hos koherent kombination av laserstrålar för att optimera svetsprocesser med hjälp av godtycklig och oberoende justering av vätskeflödet, *Figur 5*.

Svetsning med tre olika avancerade oscillationslägen

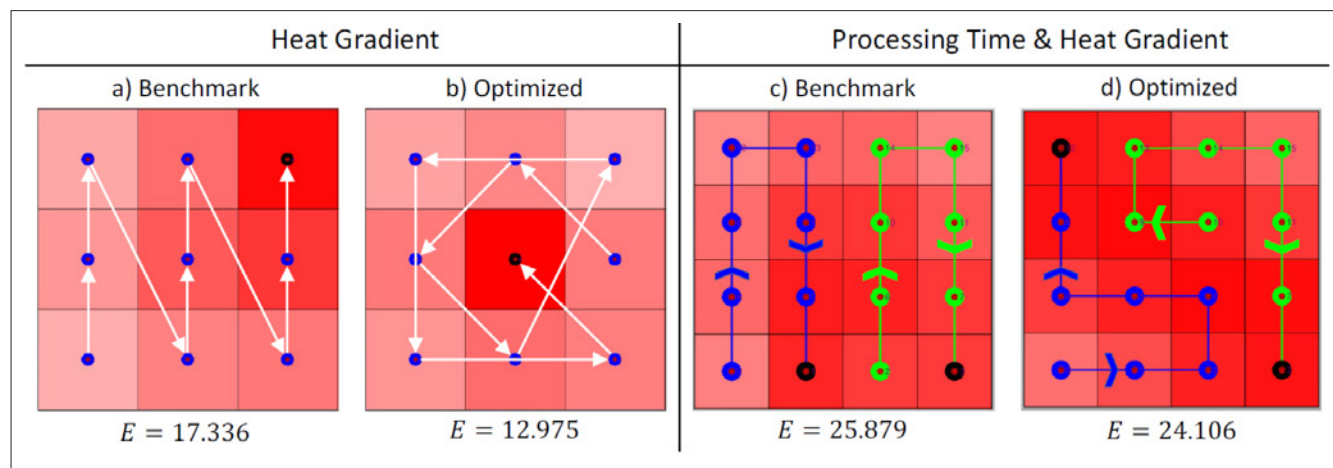
Hana Šebestová (Institute of Scientific Instruments of the Czech Academy of Sciences, Brno) och kollegor undersökte svetsning med tre olika avancerade oscillationslägen, *Figur 6*. I motsats till statisk stråle visade sig lasersvetsar gjorda med stråloscillation vara nästan fria från inre diskontinuiteter och penetrerade även djupare jämfört med svetsen som gjordes med statisk defokuserad stråle. Svetsarna erhöll även mycket smalare HAZ på framsidan tack vare den lokalt snabbare bearbetningshastigheten.

Materialutveckling för additiv tillverkning

Framsteg inom materialutveckling för additiv tillverkning presenterades. Maureen Goßling och kollegor från University of Wuppertal presenterade produktionsprocessen av sfäriska oxidnanopartiklar (ZrO_2), *Figur 7*. Denna utfördes med laserbaserad ablation i vätskor från bulkmaterial och efterföljande avsättning på gasatomiserat stålpulver (Fe-20Cr (vikt %)). Kompositpulvermaterialet verkar vara lämpligt för laserpulverbäddfusion (PBF-LB/M). Därefter presenterades en komplett la-



Figur 7: SEM bilder av oxidstött metallpulver; (a-b) SEM-bild av partikel med olika förstoring; (c) EDS Zr-signal; (d) EDS O-signal.



Figur 8: Benchmark-skanningsstrategier och optimerade skanningsstrategier med värmegradient i åtanke (a, b) och för minimering av bearbetningstid och värmegradient (c, d). De visade temperaturfördelningarna (visualiserade i rött) motsvarar det senaste tidssteget.

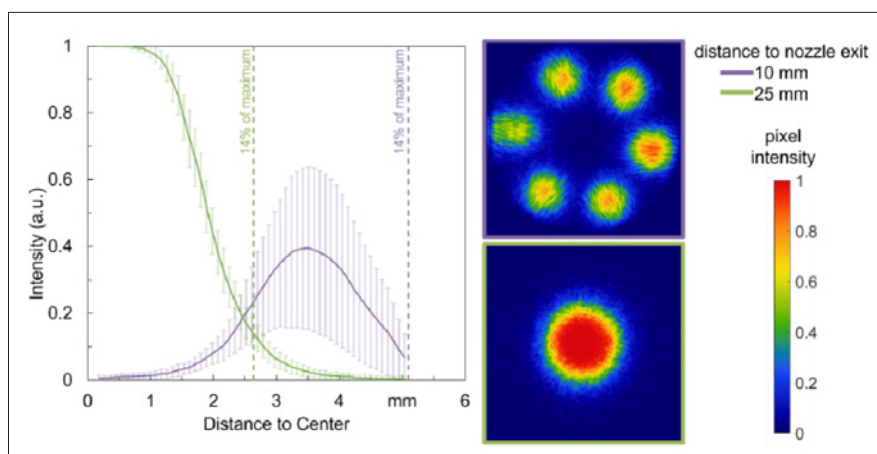
serbaserad additiv tillverknings-kedja för metallkeramiska kompositers från pulverpartiklar till en slutlig komponent.

Skanningsbanor för additiva processer

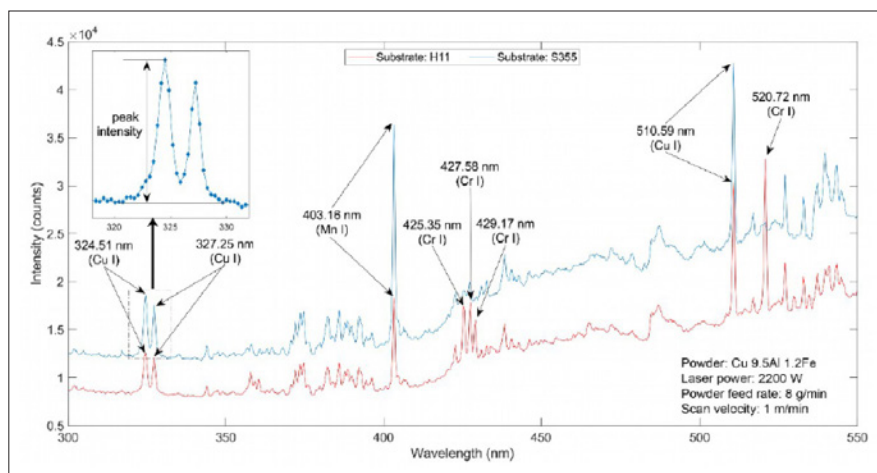
Procedurer för att skanningsbanor för additiva processer diskuterades därefter, där Thomas Bussek och hans kollegor från RWTH Aachen University presenterade en optimeringsstrategi. Vid LP-BF-LB/M används oftast skanningsstrategier i lager-för-lager-uppbyggnaden av arbetsstyckena som är fördefinierade av maskintillverkaren. Men dessa är naturligtvis inte optimerade procedurer och kan leda till att det blir värmeackumulering och resulterande termisk stress. Dessutom kan det leda till långa laseravstängningstider för multiscannersystem. Optimeringen av skanningsstrategier för varje lager är dock dyrt rent beräkningsmässigt och blir svårt att lösa på vanliga datorer inom rimlig tid.

Den senaste tidens framväxt av kvantdatorer kan vara en lösning för att lösa optimeringsproblem med kraftigt reducerad beräkningstid och med ökad kvalitet på beräknade lösningar. För att kunna nyttja dessa fördelar för LP-BF-processen presenterades en anpassning av vägvalsproblematik för multipla fordon. Denna procedur gör det möjligt att minska den totala skanningstiden samtidigt som man tar hänsyn till interaktionen mellan multi-scannersystem, reducerar värmeackumulering, undviker interaktion mellan laser och plym, samt tar hänsyn till riktningen för skyddsgasflödet, vilket är mycket komplext att göra normalt, *Figur 8*.

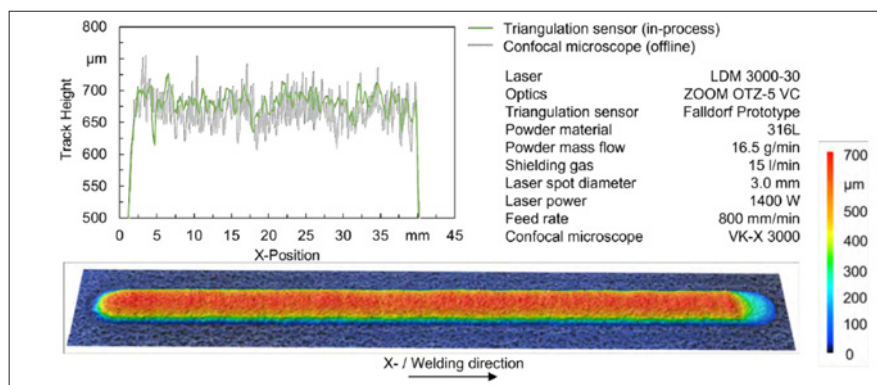
För additiv tillverkningsprocess Directed Energy Deposition (DED) undersöktes effekten av olika pulvermunstycks konstruktioner av Annika Bohlen och hennes kollegor från BIAS i Bremen. En linjelaser användes för att belysa pulverströmmen i olika skikt. De erhållna bilderna per lager gör det möjligt att visualisera och analysera beteendet av flödet av metallpulver från munstycket, *Figur 9*. Den föreslagna karakteriseringsmetoden gör det möjligt att kompensera för olika symmetrier hos vissa munstyckstyper, vilket gör karakteriseringarna mellan munstyckstyper jämförbara. Metoden kan användas för att beräkna pulverfokuspunktens diameter eller bestämma arbetsavståndet för ett munstycke.



Figur 9: Medelintensitet och standardavvikelse för 55 koncentriske cirklar med ett avstånd på 5px (0,1mm).



Figur 10: Exempel på emissionsspektra för substratmaterial H11 och S355 vid lasereffekt på 2200 W, med pulvermatningshastighet på 8 g/min och en förflyttningshastighet på 1 m/min.



Figur 11: Jämförelse av höjdmätning med trianguleringssensor och konfokalmikroskop.

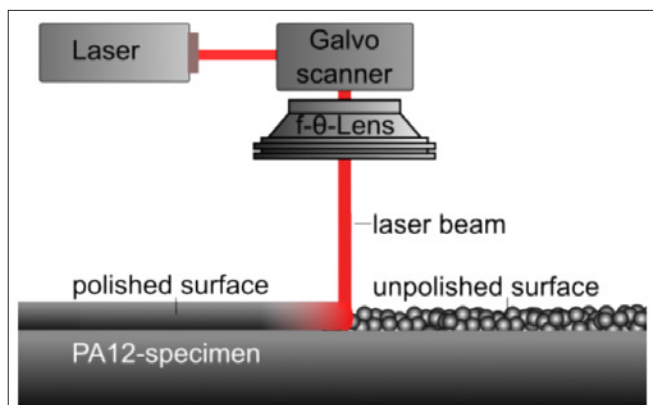
Linjeintensitetsförhållanden

Malte Schmidt från Jade University of Applied Sciences med sina kollegor undersökte linjeintensitetsförhållanden. De jämförde linjeintensiteterna för substrat och det påsvetsade materialet vid DED och korrelerade dem med de metallografiska resultaten (utspädning och kemisk sammansättning). En ökad utspädningsgrad leder till en ökning av blandningsnivåerna för substratet och fyllnadsmaterialet i de deponerade spår

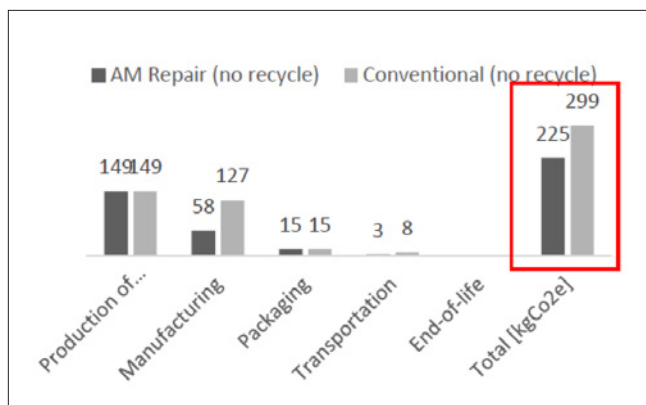
ren, *Figur 10*. Följaktligen ökar linjeintensiteten hos element inuti substratet i förhållande till fyllmedelsmaterialelementen.

Dimensioner för spår gjorda med DED-LB/M

Vidare mättes dimensioner för spår gjorda med DED-LB/M av Andrea Schindlerling (BIAS). En ny processövervakningsmetod presenterades med en nyutvecklad och robust lasertri-



Figur 12: Illustration av schematisk uppställning för laserpolering.



Figur 13: Ett exempel på produktion av CO₂ för nyttillverkning jämför med reparation med AM (DED teknik).

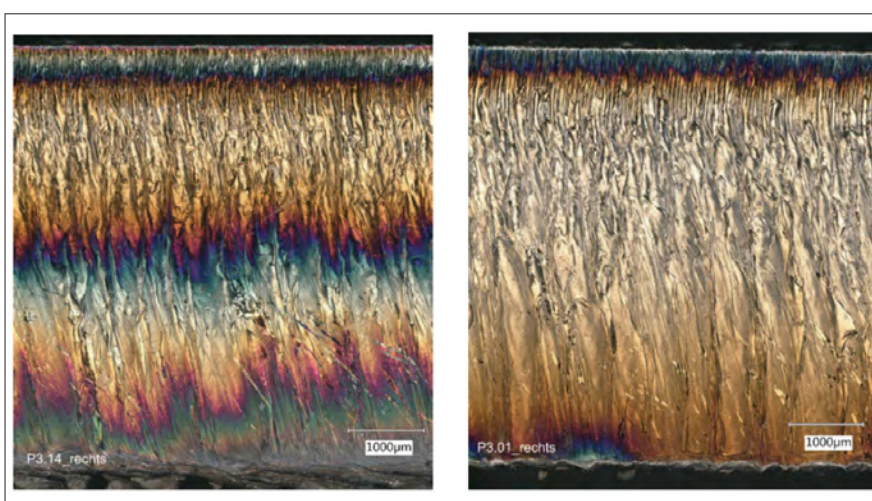
anguleringssensor från Falldorf Sensor GmbH, som har en låg höjdvivkelse jämfört med ett konfokalmikroskop. Resultaten visar att skiktets höjd och bredd med sina toppar och dalar kan övervakas även i tuffa miljöer och med ett litet avstånd (10 mm) till processzonen, *Figur 11*. Dessa aspekter ger en solid grund för ytterligare kontroll av skikttopologin.

Laserpolering som en efterbearbetningsteknik

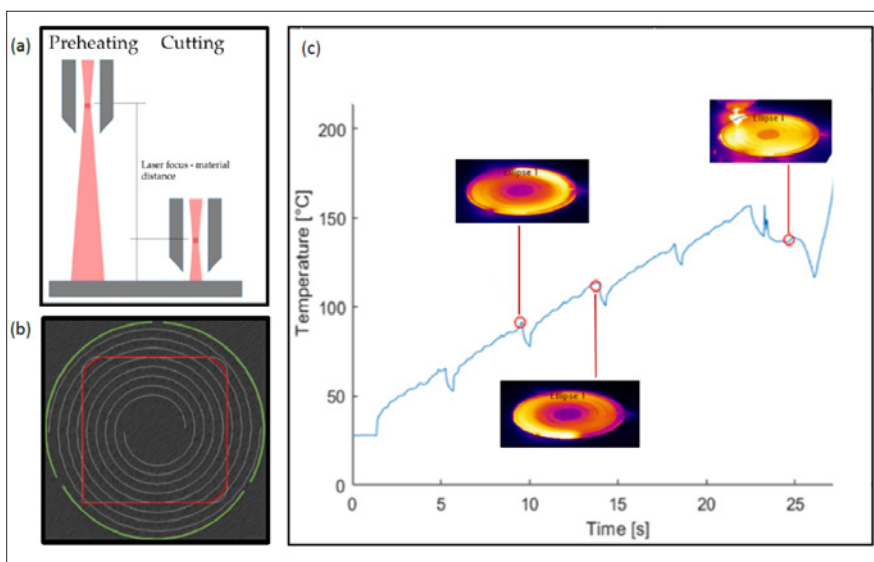
Yunus Kutlua och kollegor från Ruhr-Universität Bochum använde laserpolering som en efterbearbetningsteknik för polyamid 12-prover genererade med DED-LB/P(PA12), *Figur 12*. Effekterna av lasereffekt och antal körningar på ytjämnhet samt mekaniska egenskaper analyserades. Resultaten visar att laserpolering effektivt kan öka ytjämnheten och förbättra den mekaniska prestandan för ytor tillverkade av DED-processen med det materialet.

Additiv tillverkning (AM) – en grön teknik?

Michel Honoré från FORCE Technology i Danmark ställde frågan om additiv tillverkning (AM) verkligen är en grön teknik. Det resulterande CO₂-utsläppet observeras vara starkt beroende av valet av legeringselement i legeringen som används vid bearbetning (tillverkning och reparation), såväl som på det regionala ursprunget för materialets ursprung. Den legering som väljs för AM-reparation påverkar komponentens livslängd vilket gör jämförelser av typen ”mellan äpplen och äpplen” svåra, *Figur 13*. Ett fåtal utvalda scenarier har utförts och presenteras som visar på att koldioxidavtrycksbalansen är till



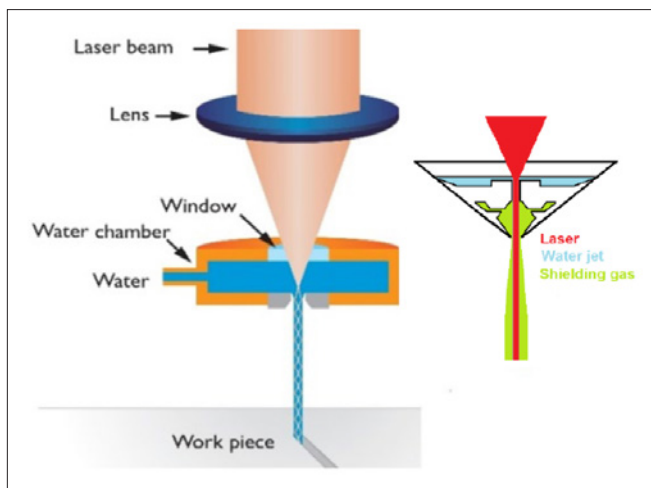
Figur 14: Skärkanter för laserskärning med varm gas (vänster): P3,14 (dN = 1,5 mm, p = 0,2 MPa, I = 125 A, xN = 2 mm); (höger): P3,02 (dN = 2,1 mm, p = 0,4 MPa, I = 125 A, xN = 3,5 mm).



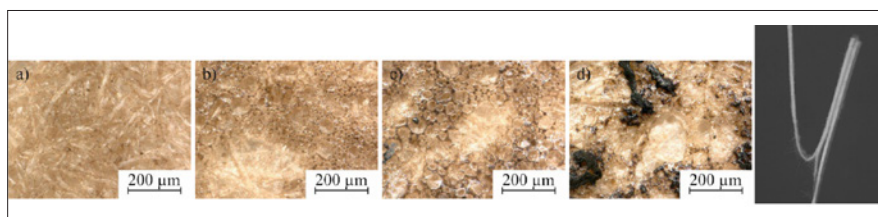
Figur 15: (a) Laserkonfiguration med förvärmning och för standardskärningsprocesser. (b) Illustration av testprovet. (c) Värmekameramätning för provets ytemperatur vid förvärmningsprocessen.

förmån för den additiva reparationstillverkningen med DED, med en fördel till AM på upp till 26 % i termer av CO₂ i det mest gynnsamma scenariot. Utan

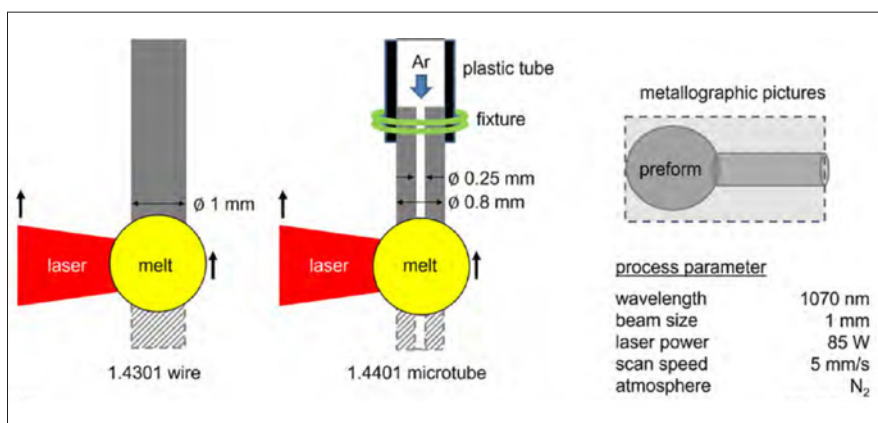
återvinning i beaktande av komponent vid slutet av sin livslängd resulterar det i 74 kg mindre CO₂ för den AM-ombyggda komponenten.



Figur 16: Illustration av vattenstrålestyrd laser.



Figur 17: Vänster: Substrat efter bestrålning med en toppfluens på 1,02 J/cm². a) linters, b) sulfat, c) sulfid, d) CTMP; Höger: Sidovy av sammanfogade papper i T-Peel-testet. Fel i anslutningen i papperet, bredvid skarven..



Figur 18: Illustration av experimentuppställningen för försegling av rörändar av (vänster) trådar och (höger) mikrorör med en laserstråle.

Konventionell kallgaslaserskärning och plasmaassisterad laserskärning – en jämförelse

Franz Urlau (Technical University Dresden) och hans kollegor visade en jämförelse mellan konventionell kallgaslaserskärning och ett nytt tillvägagångssätt, plasmaassisterad laserskärning. Detta utfördes baserat på en 2-nivå faktorsexperimentmatris (design of experiment). Resultaten visade att laserskärning gynnas av att öka temperaturen på hjälpgasen vilket anmärkningsvärt minskar gasförbrukningen. Samtidigt erhålls endast lite av det vidhäftande slagg (skägg/grader) vid den nedre skärkanten för vissa parameterinställningar, Figur 14.

Försämring av skärkvaliteten på grund av värmeackumulering

Busatto (Politecnico di Milano) och kollegor undersökte försämringen av skärkvaliteten på grund av värmeackumulering, vilket avsevärt kan hindra prestanda och effekt hos laserskärningssystem. Försämringen av skärkvaliteten undersöktes genom ett metodiskt ramverk för att koppla resultat till arbetstykets temperatur. Då kan kritiska förhållanden för skärning av tjocka mjuka stålplåtar av olika tjocklek identifieras. In-line-mätning (processövervakning i realtid) av arbetsstyckets yta kunde utföras med hjälp av en kalibrerad MWIR-värmekamera, Figur 15, medan

ytojämnhetsmätningar av den skurna profilen användes för att karakterisera kvaliteten. Slutligen presenteras olika strategier för att undvika eller kompensera bildning av ojämnheter och diskontinuiteter eller defekter.

Skillnaderna mellan termiska och fysikaliska egenskaper hos matrisen och fibern under materialsmältning.

Eftersom applikationer med kolfiberförstärkt polymer (CFRP) blir allt mer intressanta undersökte Helen Elkingtona med kollegor från The Manufacturing Technology Centre (Storbritannien) skillnaderna mellan de termiska och fysikaliska egenskaperna hos matrisen och fibern under materialsmältning. De relaterade utmaningarna kan övervinnas genom att använda en laserstråle styrd av en vattenstråle, Figur 16. Vattenstrålestyrd laserskärning av CFRP, med användning av en högeffektlaser med en medeleffekt på 400 W visade goda resultat för olika processparametrar på skärkvaliteten och skärhastigheten.

Sammanfogning av papper

Florian Lull från Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology i Dresden presenterade sammanfogning av papper. Olika papper bestrålades med lasers från en kolmonoxidlaserkälla (CO), Figur 17. Bestrålning av papperet följt av en värmeförseglingsprocess möjliggör sammanfogning utan behov av tillsatsmaterial för materialet. Fästningens bindningsstyrka verifierades slutligen i ett T-avdragningsstest.

Försegla rörändar hos mikrorör

Yang Lu (BIAS – Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH) och hans kollegor kunde bevisa konceptet att med en laserstråle försegla rörändar hos mikrorör med inre ihåliga strukturer, Figur 18. Mikrorör av rostfritt stål (1,4401) med 0,8 mm ytterdiameter och 0,25 mm innerdiameter användes för att bestämma processfönstret för att forma ihåliga förformar, t.ex. för formning.

Slutligen

Om du inte kan få nog av laserbearbetning, gå gärna med på Additive Manufacturing-konferensen den 10:e och 11:e januari 2024 i Trollhättan som anordnas av Svenska AM Arena och Högscholan Väst. ■

Kort referat från NOLAMP19 – 2023



Bo Williamsson

Application manager Linde Gas AB,
Region Europe North



terial. Med dessa effekter kan laserskärning i vissa fall konkurrera med plasma-skärning.

E-mobility behandlades i några föredrag. Berthold Kessler, IPG visade laserapplikationer i samband med batteri- och elmotortillverkning. Antalet laserapplikationer, (framför allt lasersvetsning) inom detta område upphör aldrig att förvåna.

Laser-hybridsvetsning var ett populärt tema på konferensen. Ett exempel på detta var en presentation från Ömer Üstündag, BAM ("Influence of shielding gas on filler wire mixing at laser hybrid welding of thick high strength steels"). BAM är medlem i ett större projekt (Weldnova) som bl.a. bedriver utveckling av laser-hybridapplikationer vid svetsning av vindkraftstorn. Bland övriga medlemmar i gruppen kan nämnas Technische Universität Berlin, Fraunhofer IPK. För min egen del var

Den 22-24 Augusti avhölls den 19:e Nordiska Laserkonferensen NOLAMP, denna gång i Åbo. Artikeln är ett kort referat med highlights från den tre dagar långa konferensen med utgångspunkt från presentationen jag gjorde under Laserdag 2 i Karlskoga.

Undertecknad hade nöjet att, tillsammans med cirka 100 deltagare få ta del av den senaste utvecklingen inom inom laserteknik och additiv tillverkning. Positivt att notera var att praktiska applikationer och marknadsfrågor utgjorde en signifikant del av programmet. Ett exempel på detta var en presentation från Mikko Vänskä, där företagets erfarenheter från implementering av laserhybrid-svetsning i produktionen beskrevs, *figur 1*.

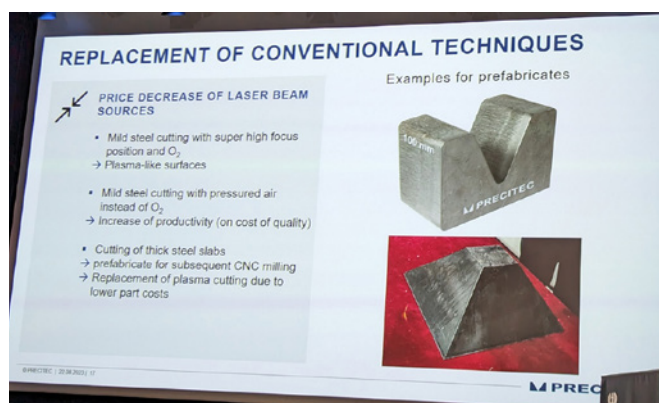
Teemu Tolonen, Pemamek höll ett föredrag på temat "Utilization of Laser-hybrid Process in Heavy Welding Automation -Application examples for different industries". Intressant att även tyngre produktion är ett område där laserteknik kan integreras.

Klaus Löffler, Precitec höll en mycket uppskattad presentation där han gick igenom trender och utveckling inom laserområdet med tonvikt på utvecklingen i Kina, *figur 2*. En kort kommentar till detta är att lasrar upp till 30 kW finns

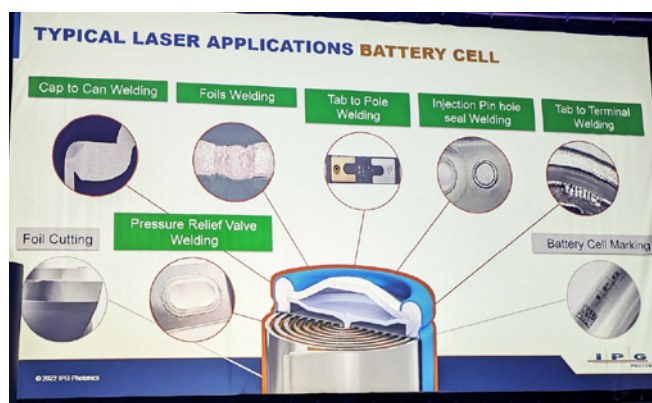
tillgängliga på den nordiska marknaden. I Kina tittar man nu på 50-70 kW lasereffekt för att förbättra prestanda och kvalitet vid skärning av grovt ma-



Figur 1: Meyer Turkey Oy.



Figur 2: "Trender och utveckling inom laserområdet". Klaus Löffler, Precitec



Figur 3: Berthold Kessler, IPG. "Fiber laser tools for highest efficiency in quality-controlled Li-battery and battery module joining."

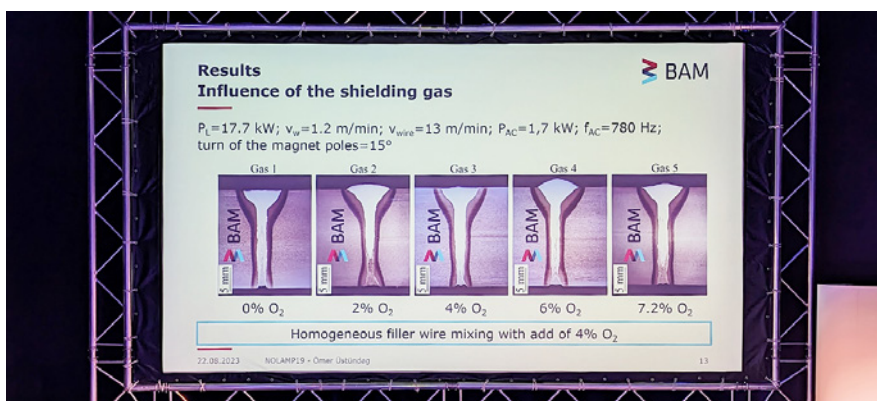
det intressant att få ta del av hur mycket skyddsgasen kan påverka slutresultatet, figur 4.

Etu Kivirasi, Delva höll ett initierat föredrag på temat "The effects of laser welding parameters on weldability and quality of the microstructure of additively manufactured Inconel 718 joints". Ett intressant område där kopplingen mellan applikationsutveckling och industriell användning belystes. Projektet är inte slutfört ännu, jag har diskuterat frågan med Delva och hoppas kunna återkomma med mer information senare.

Övriga presentationer

I övrigt presenterades som alltid mer forskningsinriktade projekt. Ur svensk synvinkel visades en hel del intresse för en presentation från Dorsa Motalebi "Three tracks laser welding for T-Joints". Tre dagars presentationer innebär en stor mängd information, alltför omfattande att återge i detta sammanhang (Abstracts finns dock tillgängliga för den som är intresserad). Listan nedan redovisar en liten del av alla presentationer som gjordes under konfarensen.

- Eduard Hryha, Chalmers University of Technology, Sweden "Powder for Metal Additive Manufacturing: Manufacturing, Properties, Reuse and Degradation"
- Klaus Löffler, Precitec GmbH & Co. KG, Germany. "Will the European Industry suffer from Chinas business model for Lasers and what might be a way out?"
- Teemu Tolonen, Pemamek Ltd., Finland. "Utilization of Laser-hybrid Process in Heavy Welding Automation -Application examples for different industries"
- Shahriar Afkhami. "Effects of laser



Figur 4: Ömer Üstündag, BAM ("Influence of shielding gas on filler wire mixing at laser hybrid welding of thick high strength steels").

welding speed on the microstructure and microhardness of ultra-high strength steel S1100"

- Ömer Üstündag. "Process advantages of laser hybrid welding compared to conventional arc-based welding processes for joining thick steel structures of wind tower (ID-26)"
- Morten Høgseth Danielsen. "Numerical modelling of high-power laser spot melting of thin stainless steel"
- Ömer Üstündag. "Influence of shielding gas on filler wire mixing at laser hybrid welding of thick high strength steels"
- Eetu Kivirasi. "The effects of laser welding parameters on weldability and quality of the microstructure of additively manufactured Inconel 718 joints"
- Bo Williamsson. "Effective gas and equipment supply for laser processing from Linde"
- Jari Tuominen. "High-speed laser cladding: new developments for wear and corrosion protection"
- Jari Tuominen. "The properties of laser-clad coatings made of NiCrBSi alloy and recycled tungsten carbides"

- Berthold Kessler. "Fiber laser tools for highest efficiency in quality controlled Li-battery and battery module joining"
- Dorsa Motalebi. "Three tracks laser welding for T-Joints"
- Johannes Vierling. "Laser Applications in Battery Cell, Module & Pack Production"
- Saeid Parchegani. "Laser welding of additively manufactured parts"
- Eetu Kivirasi. "The effects of laser welding parameters on weldability and quality of the microstructure of additively manufactured Inconel 718-316L joints"
- Dhruv Bhatt, Valmet Automotive Oy. "Laser Material Processing in the EV industry"

Sammanfattningsvis kan sägas att det var tre väl spenderade dagar på konferensen med många givande presentationer. Många PhD-arbeten (som alltid), men också en hel del presentationer med direkt koppling till tillverkande industri.

Nästa NOLAMP-konferens kommer att arrangeras i Köpenhamn 2025. ■

Satsade på framtidens teknik – blev ledande inom lasersvetsning



Brantheim i Tyresö är en komplett, heltäckande legoleverantör inom plåtbearbetning. Här finns kompetens och maskinpark verkligen för hela processkedjan plåt från stansning, laserskärning, bockning, märkning och svetsning. Dessutom gjorde man tidigt en satsning på lasersvetsning och har idag tre stora lasersvetsceller på plats. Vi har genomgående satsat på hög kunskap i hela kedjan,” säger VD Mikael Norlén, för att göra det till vår styrka. Mikael äger företaget tillsammans med Benny Gustavsson.

Unik kunskap inom lasersvetsning

Lasersvetsning blir mer och mer användbart och ersätter ofta konventionell teknik. ”Med laser kan man svetsa i en mängd material, säger Martin Danne- mann, Key Account Manager på Bran- theim och det blir mycket mer hållfast. Man klarar även mer friformning och därmed mer komplexa detaljer, vilket vi specialiserar oss på,” fortsätter Mar- tin. Med lasersvets har man även i en och samma maskin möjlighet att göra fler svetsmoment som punktsvetsning,

hörnsvetsning eller djuppenetrerande svetsning. Man får också en snabbare process med mindre värmepåverkan som i sin tur ger mindre efterbearbet- ning.

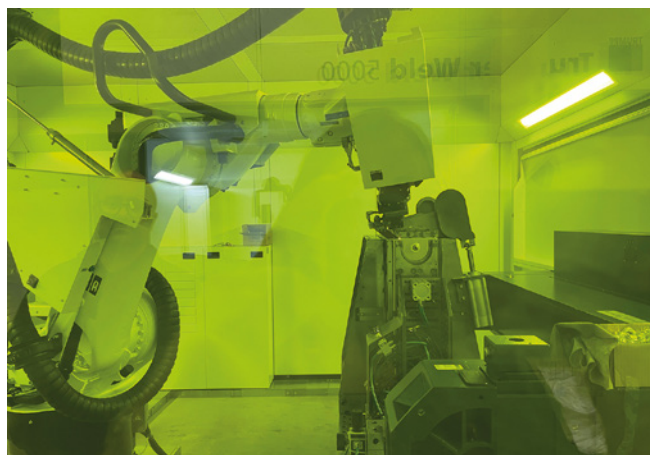
Brantheim har idag tre stycken laser- svetsceller, de två senaste investering- arna är två TruLaser Weld 5000 från TRUMPF. När det gäller lasersvetsning måste man dock komma ihåg att det är mycket mer än detaljer som ska svetsas. Det stora jobbet ligger före svetsningen där man måste kunna se helheten i hur

detaljen ska användas och konstrueras för att kunna avgöra hur den ska produ- ceras på bästa sätt. ”Rätt förutsättningar och kompetens är a och o, säger Mika- el. Det är mer regel än undantag att vi tar fram ett mer eller mindre helt nytt förslag hur vi ska producera en detalj och visar kunden. Det är vår styrka - vi ifrågasätter och vänder och vrider och ändrar på konstruktionen tills vi är nöj- da och vill ta oss an jobbet”

Välja rätt teknik för varje enskilt jobb

Noggrannhet är ledstjärnan och då måste man vara med i hela processen enligt Brantheim. ”Det arbetssättet har vi överlag, men det är ofrånkomligt när det kommer till lasersvetsningen, säger Martin. Ibland behöver vi övertyga kun- den att detaljen blir optimal med just lasersvetsning i stället för traditionell, ibland att vi ska lasersvetsa i stället för att bocka och i vissa fall måste vi med- dela kunden att det de tänkt få lasersvet- sat är bättre att göra på ett annat sätt. Lasersvetsning är väldigt effektivt men långt ifrån alltid den billigaste och bäs- ta metoden.” ”Det finns extremt myck- et möjligheter med lasersvetsning men man måste vara selektiv och veta när det är rätt eller inte, fortsätter Mikael. Idag har vi så mycket kunskap att vi vågar stå på oss här. Det är också vad våra kunder uppskattar mest och gör att de kommer tillbaka om och om igen.”

TRUMPF är ett varumärke Brantheim är väl bekanta med. Stansmaskiner har varit med så länge man kan minnas och idag består maskinparken av 16 stycken maskiner inom stansning, kantpress- ning, laserskärning, lasermärkning och lasersvetsning. De flesta investeringar- na har tagits efter millennieskiftet och trenden har helt igenom varit att Brant-



heim vill ligga i framkant och gärna vara först ut med nya maskiner. Till exempel var man en av de första i Skandinavien att investera i en helautomatiserad kantpress med BendMaster.

Satsade på en tro och utmanade andra

Satsar man inget vinner man inget är ju ett känt uttryck, men det är ofta långt från tal till handling. Benny och Mikael trodde extremt på lasersvets tekniken men hade inga jobb till en sådan maskinen. Deras övertygelse, att det här var framtiden, var dock så stark att de trots allt investerade. Benny hade tittat på tekniken länge och väntat på att en komplett cell skulle tas fram, säger Mikael. Det gjorde TRUMPF 2008 med TruLaser Robot 5020 och även här är Brantheim först ut i Skandinavien igen.

Kunderna var dock inte lika övertyga-

de om den nya tekniken i början, berättar Mikael, vilket blev en rejäl utmaning för oss. Vi började ta fram en mängd olika prover att visa, men det var svårt att nå fram. När vi istället tog befintliga produkter som redan var svetsade och visade hur man kunde göra jobbet både enklare, snabbare, billigare och bättre började det hända saker. Genom ett riktigt lyckat jobb åt en kund med ett komplext problem från början fick vi en fantastisk ambassadör.

Kompetensen har vi fått genom att vi utbildat medarbetare i tekniken på TRUMPF och sen har vi gjort det vi är bäst på, säger Mikael, testat testat och testat. På så sätt har vi upptäckt både ny svetsteknik för flera kunder och nya konstruktionssätt. Vi har vågat experimentera, ifrågasätta, rita om och tänka nytt. I början var ju den första laser-

svetscellen långt ifrån belagd heltid. Nu har vi 3 stora svetsceller som går i stort sett hela tiden, säger Mikael.

Den senaste svetscellen TruLaser Weld 5000 köptes 2021. Dessa har man två stycken av idag samt den från 2008 och en mindre svetscell TruLaser Station 3010. Nummer ett för oss vid valet av dessa är att de är kompletta standard-maskinkoncept – en hel cell med allt från en och samma leverantör

Från avancerad prototyp till massproduktion

Kunderna finns representerade i alla branscher säger Martin, och vi hjälper även fler legoleverantörer att svetsa. En av de största kunderna är Hitachi Energy (ABB) som vi tillverkar en låda åt. Utifrån vad vi kunde göra med den nya lasersvetsningen så ändrade vi faktiskt





- automatisk verktygsväxlare. Den har sänkt vår körtid på småserier med 50%, säger Martin. Det är verkligen produktivt att inte hantera verktygsbyten manuellt längre. Den passar oss perfekt eftersom har många korta jobb.

Kompletta tillsammans med Devex

Idag är produktionsytan hos Brantheim 6000 kvm. Sedan fem år tillbaka har man även förvärvat grannföretaget Devex. Då Brantheim tillhandahåller allt för plåt står Devex för allt inom skärande bearbetning. Martin som är länken mellan företagen och säger att de kompletterar varandra mycket bra och vi arbetar kontinuerligt med att få till den bästa produktionen till rätt bollar för att maximera för båda. På Devex har man nu även börjat arbeta med ljusbågssvetsning och maskinen här är en TruArc Weld.

”Vi har funderat ett tag på en maskin med kollorobativ robot för det är något vi vill lära oss och kunna utveckla den nya robottekniken,” säger Martin. Medarbetarna på Devex är mycket positiva till den nya TruArc Weld som visat sig vara oerhört enkel att både lära sig, använda och programmera. ”För oss är den här maskinen perfekt för enklare svetsjobb i större serier, säger Martin, och här ser jag att vi kommer bli mer konkurrenskraftiga nu.”

Brantheims framgång och styrka bygger alltså på gedigen kompetens genom hela processkedjan och den unika kunskap de har inom området lasersvetsning. Vi har ett rejält försprång då vi har haft lasersvetsning så pass länge och vi fortsätter att ständigt utvecklas hela tiden och testat oss fram, säger Mikael. Vi har blivit mycket framgångsrika att svetsa i aluminium som kan vara mycket komplicerat, och vi är väldigt stora på rostfritt.

En annan styrka vi har, som ofta är en oerhört kritisk faktor, är att vi har egen fixturtillverkning, fortsätter Martin. Fixturer är a och o och måste vara helt korrekta i passform.

Vad gäller Brantheim ser de fram emot många ytterligare utmaningar överlag och framförallt inom lasersvetsning, säger Mikael. ”Framtidsplanerna är att fylla alla maskintimmar och automatisera ännu mer och det kommer ju definitivt bli mer skift i lasersvetsarna. Ingen tvekan. Vi vet att det vi tror på – det blir det.” ■



helt på lådans utgångsläge.. Det är oerhört mycket komplexa detaljer vi får in nu, fortsätter Martin. Vi har gjort oss ett namn här och man blir ofta imponerad av vad vi lyckas ta fram, främst med lasersvetsningen.

Vi har även spännande lasersvetsjobb för en offshoreprodukt där detaljen är så liten att vi får titta i mikroskop. Självklart har vi en mängd mindre komplicerade, återkommande jobb också och vår övriga maskinpark är i stort sett fullbelagd hela tiden där flera av maskinerna går i längre skift. Vår kombimaskin TruMatic 7000 från 2014, en kombinerad stans- och laserskärmaskin, den absolut bästa vi har, säger Mikael. Maskinen är konstant belagd. Det är verkligen möjligheternas maskin, ler Mikael nöjt. Det har ju, som man förstår, varit ett stadigt investeringsflöde under åren. 2021 köpte man även en ny kantpress – TruBend 5130 med en den senaste ToolMaster

Air Liquide Gas AB

031-338 26 48
Wallinsgatan 6
431 41 Mölndal

Alfa Laval Corporate AB

046-36 65 00
Rudeboksvägen 1
226 55 Lund

Autokropolis Engineering

031-774 06 88
Övre Fogelbergatan 6
411 28 Göteborg

Ferruform AB

092-07 65 94
Box 815
971 25 Luleå

GKN Aerospace Engine Systems Sweden

052-09 38 33
461 81 Trollhättan

GKN Automotive AB

0221-76 20 00
Box 961
731 29 Köping

Husqvarna Construction Products Sweden AB

036-570 60 00
Box 2098
550 02 Jönköping

Hydro Extruded Solutions AB

012-28 30 39
612 81 Finspång

Höganäs AB

042-33 80 00
263 83 Höganäs

Högskolan Väst

0520-223 000
461 86 Trollhättan

Laser Machining Inc. LMI AB

028-13 07 16
Storbygatan 7
780 53 Nås

Lasernova AB

063-18 08 80
Odenskogesvägen 1
831 48 Östersund

Lasertech LSH AB

058-68 48 00
Bofors Industriområde
691 80 Karlskoga

Linde Gas AB

08-706 95 00
Products & Applications
Box 30193, 104 25 Solna

Luleå Tekniska Universitet

0920-49 10 00
Avd. för produktionsutveckling
971 87 Luleå

MERITOR HVS AB

058-18 43 86
Ishockygatan 3
711 34 Lindesberg

NKC Manufacturing Sweden AB

031-337 11 39
Kvibergs Broväg 10
402 52 Göteborg

Nippon Gases Sverige AB

076-501 08 00
Box 51
731 22 Köping

Oerlikon Metco Europe GmbH

070-683 84 11
Metco Norden Filial
Gesällvägen 6, 145 63 Norsborg

PG Benson AB

070-6718996
Ryttarvägen 22
132 45 Saltsjö Boo

Pepab Produktionspartner AB

0270-42 91 51
Bröksmyravägen 33
826 40 Söderhamn

Permanova Lasersystem AB

031-706 19 80
Krokslättsfabriker 30
431 37 Mölndal

Scania CV AB

08-553 810 00
151 87 Södertälje

Siemens Industrial Turbomachinery AB

012-28 22 39
612 83 Finspång

SSAB Emea AB

024-37 00 00
781 84 BORLÄNGE

SSAB Oxelösund AB

0155-25 40 00
613 80 Oxelösund

Strandmöllen AB

037-21 55 40
Nasvägen 22
341 34 Ljungby

Swerim AB

08-440 48 70
Isafjordsgatan 28A
Box 7047
164 07 Kista

TeknikCentrum i Gnosjö

037-927 29
Gunnarsvägen 1
335 31 Gnosjö

Tetra Pak Dairy & Beverage Systems AB

046-36 55 59
Ruben Rausings gata
221 86 Lund

Trumpf Maskin AB

0322-66 97 00
Box 606
441 17 Alingsås

Volvo Construction Equipment AB

016-15 10 00
631 85 Eskilstuna

Volvo Car Corporation

Advanced Body Engineering
Dept 93711
Geo. loc. PV2A60
405 31 Göteborg

Volvo Lastvagnar AB Umeverken

090-70 74 77
Bölevägen
Box 1416
901 24 Umeå

Volvo Powertrain Corporation AB

073-902 33 51
405 08 Göteborg
Mikael Nordqvist

Väsman Invest Laserteknik AB

024-01 31 74
Svetsarevägen 1
771 42 Ludvika

Westinghouse Electric Sweden AB

021-34 70 00
SE-721 63 Västerås

Wugang Tailored Blanks Sweden AB

0454-57 47 50
VCBC Norra Industriområde
293 80 Olofström

Making our world more productive



Ny laser, vad händer nu?

Linde guidar dig genom processen från A till Ö.

En säker, pålitlig och effektiv gasförsörjning är en av de viktigaste faktorerna vid en investering i en ny lasermaskin eller när du vill optimera din nuvarande laserbearbetning. Linde hjälper dig igenom processen på bästa möjliga sätt.

Gaser utvecklade för laserbearbetning

Högkvalitativa gaser utvecklade för laserbearbetning garanterar optimal kvalitet och prestanda i din produktion.

Flexibla lösningar för din gasförsörjning

Få tillgång till ett omfattande program med gasförsörjningslösningar från gasflaskor och paket, till helautomatiska system med flytande gas för problemfri gasförsörjning.

Resonatorgaser

Laser Helium, Laser Nitrogen och Laser CO₂ tillsammans med LASERMIX® resonatorgasblandningar ger en optimal och pålitlig laserfunktion.

Fullt utrustningsprogram

Vi erbjuder ett komplett utrustningsprogram för gasförsörjning. Alla regulatorer, gascentraler och tillbehör är utvecklade för laserbearbetning.

Underhåll och teknisk service

Vi hjälper dig med design, installation och underhåll av ditt gasförsörjningssystem enligt gällande krav och regler.

Uveckling och informationsspridning

Vi är aktiva när det gäller utveckling av alla former av laserbearbetning, ofta i samarbete med ledande institut och lasertillverkare. Vi strävar alltid efter att ge dig de bästa möjliga och mest långsiktiga lösningarna för din laserverksamhet.

Vill du veta mer?

För support och mer information, kontakta oss på laserhelp@linde.com

www.linde.se