

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

Redaktör
Peter Norman

Redaktionellt arbete och kansli
Peter Norman
Telefon: 08-120 304 09
E-post: peter.norman@svets.se

Ansvarig utgivare
Peter Norman

Lasernytt på Internet
www.lasergruppen.eu

Omslagsbild
Pyramidstruktur
Pikosekundlaser
Bild: Johnny K. Larsson

Produktion: BrandFactory

Tryck: BrandFactory, Stockholm
www.brandfactory.se

LASER
LASERGRUPPEN

INNEHÅLL

TANKAR FRÅN STYRELSEN	1
LASERNS FRAMTID	2
SAMTAL KRING LASERTRENDER	4
LASER PROCESSING AROUND THE WORLD DEL 16	7
LASER PROCESSING AROUND THE WORLD DEL 17	9
LANE	11
ICALEO	19
LASERSVETSNING AV HÄRNÅLAR	32
ACHIEVING HOMOGENOUS HARDENED	35

Tankar från styrelsen



TANKAR FRÅN STYRELSEN

MIKAEL JUNTTI

Som ny medlem i styrelsen så är en presentation på sin plats. Jag heter Mikael Juntti och jobbar som svetsansvarig på Scania Ferruform i Luleå. Har även rollen som LSO (Laser Safety Officer) som handlar om att övervaka lasersäkerheten på företaget. Svetsansvaret omfattar huvudsakligen MAG-svetsning, men även lasersvetsning där Scania Ferruform lasersvetsat bakaxeltappar i närmare 20 år nu.

Ibland är det kul att reflektera över teknikutvecklingen. Med erfarenhet följer perspektiv. Mina första erfarenheter av lasertekniken var när jag som nyutexaminerad civilingenjör för ca 30 år sedan fick anställning på ett mindre verkstadsföretag och där fick jobba med installation och driftsättning av en anläggning med kombinerad stansning/nibbling och laserskärning med en 1,5kW koldioxidlaser och hanteringssystem. Allt styrdes mha CAD/CAM. Minns att det var oerhört spännande med den nya tekniken som skar som smör i plåten med oerhörd hastighet och alldeles ljudlöst dessutom! Kombinationen med stansning/laser var då klockren för företagets behov.

Idag är både laserskärning och CAD/CAM-system sedan länge vardagsmat. Behovet av att stansa starthål för lasern finns inte längre. Nya lasertekniker med högre effekter och bättre prestanda har ersatt de flesta av de gamla CO2-lasrarna. Däremot så har lasersvetsning eller laserhybridsvetsning fortfarande svårt att etablera sig fullt ut som fogningsmetod, trots alla fördelar med 100% genomsvetsning, minimal värmepåverkan osv. Höga investeringskostnader, hårda krav på pay-off och en viss rädsla för processens känslighet och komplexitet följt av höga kompetenskrav väger nog också in. Men, det tekniksprång som nu görs

inom bl.a. fordonsindustrin med elektrifiering, nya material som ska fogas, viktsnåla konstruktioner osv. kommer sannolikt att driva fram investeringar i lasersvetsningens olika varianter. Det blir en spännande utveckling.

Därmed kommer vi in på en av de avgörande framtidsfaktorererna; hur ska vi säkra tillgång till kompetens för att använda lasertekniken optimalt? Kompetens är en nyckelfaktor för framgång och den kanske inte alltid ligger i första fokus när en anläggning införskaffas. Det räcker inte med duktiga ingenjörer utan kompetenta medarbetare behövs i hela kedjan. Inte minst behövs duktiga operatörer med fingertoppskänsla som snabbt ser eller hör om något i processen behöver åtgärdas och vet hur det ska göras. Lasersvetsning för dessutom ofta med sig krav på ultraljudskontroll, som kräver sina särskilda kompetenser enligt t.ex. ISO 9712. Det är inte kompetenser som man bygger upp på kort tid utan det är ett långsiktigt arbete. Här har utbildarna en viktig roll att fylla. Inte bara att hålla utbildningar utan förhoppningsvis att skapa ett intresse till vidareutveckling så att eleverna stannar kvar inom gebitet. Rörligheten bland personal är större idag än tidigare, så detta kommer att bli än viktigare.

Tidningen Lasernytt kan här med sina artiklar bidra till att utveckla kunskap om vad som händer i branschen, väcka nyfikenhet om nya möjligheter och förhoppningsvis bidra till att nya förmågor stannar kvar inom området för att så småningom själva bli äldre gråhåriga seniorer som agerar som mentorer till nästa generationer.

Mikael Juntti
mikael.juntti@scania.com

Laserns framtid är ljus

Mikael Olsson
TRUMPF Maskin AB

Efter många år av försök att nå den maximala potentialen för lasertekniken är nu lasern ungefär som smarttelefonen av industriella verktyg. Precis som lasrar är smartphones små tekniska underverk, men få är förvånade över dem längre och vi tar dem för givet. De har helt enkelt blivit ett normalt inslag i många olika sammanhang. Trots det händer mycket inom laserteknikområdet just nu. Laseranvändare lär sig att tänka annorlunda. Detta beror på att nya produktivitetsvinster i framtiden endast är möjliga om vi börjar se laserbearbetning som en del av en större process. Låt oss nu titta på de mest spännande och lovande trenderna och branscherna när det gäller framtiden för laserteknik.

Optik och strålgång

När laserexperter äntligen lyckades använda ultrakorta laserpulser för att borra små, tätt placerade hål i snabb följd för några år sedan var det en otrolig bedrift. Så vad händer nu? Vi kommer naturligtvis snart att kunna borra tusen hål på en gång. Men detta enorma produktivitetsskritt kommer att kräva en grundläggande förändring av uppfattningen av processen. Vi brukade prata om en laserstråle som träffar ett material i fokuspunkten, men experter föredrar nu en mer exakt definition av en laservåg som genereras i materialet och ett fokus som är en rumslig fördelning av intensiteter. Detta nya sätt att tänka på kallas för vågoptik. Den tidigare dominerande modellen för stråloptik beskriver fortplantningen av laserljus som en stråle, den mycket mer komplexa modellen för vågoptik ser laserljus som en våg. Detta är inte bara en teoretisk övning. Den drivs av vad vissa material och specifika applikationer faktiskt kräver från laserljus. Glas kan till exempel modifieras i sig själv på detta sätt och därför delas av en laser (detta har då inte längre något att göra med skärning). Tack vare vågoptik är det till och med möjligt att dela laserstrålar i tusen delar. Resultatet? Processer som är tusen gånger snabbare. Uppgiften i framtiden kommer därför vara att forma, böja, och sträcka ut detta sammanhängande vågpaket, att dela det i bitar och leverera det till den exakta platsen där vi vill att den ska agera överallt samtidigt. Det kräver många olika saker både gällande processutveckling och optik. Enkelt uttryckt, fokusering är standard, men de närmaste tio åren kommer det verkliga intresset att ligga i diffraktion. Att konstruera modeller för detta är en mycket komplex uppgift som kräver stora matematiska insatser. Men när systemen är igång kommer laseroperatörer att dra nytta av enorma produktivitetsvinster och användningsområden som tidigare var omöjliga att föreställa sig.

Sensorer och processövervakning

Den första femaxliga maskinen var toppen av precisionsteknik: den höll detaljen under optiken i exakt rätt läge och i exakt rätt vinkel, med mikrometernoggrannhet. Så vad händer nu? I framtiden, när vi lägger in del X i maskinen, kommer sensorer i

optiken omedelbart att identifiera typen av del, material, position och svetspunkter, och lasern kommer att göra svetsarna på exakt rätt ställen. Hela komplexiteten med högprecisionsfixturering kommer plötsligt att bli så mycket enklare när maskiner automatiskt kan justera sig självt. Sensorer är det logiska svaret på ett antal frågor som branschen för närvarande ställer sig: Hur kan vi hantera allt strängare standarder för kvalitet och precision? Hur kan vi verifiera resultaten? Vad är det bästa sättet att få data för simuleringar eller artificiell intelligens? Hur kan vi öka automatiseringsnivån för att öka produktiviteten? Svaret på alla dessa frågor är att ge maskiner förmågan att känna sin miljö, att uppfatta och tolka världen runt dem. Så i framtiden, när en komponent matas in i en lasermaskin, kommer den automatiskt att upptäcka vad som behöver göras tack vare ett stort antal sensorer och påbörja processen omedelbart. Vi är förmodligen redan nära att uppnå detta inom lasermärkning och andra laserapplikationer kommer sannolikt i framtiden att följa efter.

Digitalisering och artificiell intelligens

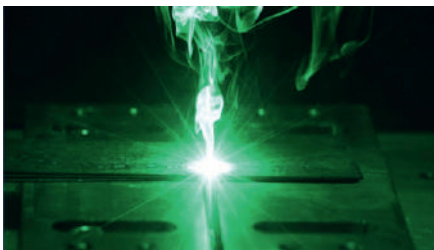
Uppkopplad tillverkning har börjat etablera sig så smått, men omvandlingen av verkstads- och produktionshallar till smarta fabriker är fortfarande bara i början av sin utveckling. Detta blir till exempel uppenbart när man tittar på områden som fjärrunderhåll och fjärrövervakning av maskinparken. Den viktiga frågan är alltså tillgänglighet och drifttid. Självlärt vill varje användare att deras lasersystem ska fungera pålitligt hela tiden. Saker och ting har ökat i takt sedan halvledarindustrin och konsumentelektroniken tog lasertekniken under sina armar. Dessa två industrier tar systemkrav till en väldigt hög nivå, så deras förväntningar driver hela laserteknologisektorn framåt. Det är goda nyheter för alla branscher. Samtidigt har artificiell intelligens (AI) tagit sig in på fabriksgolvet. Medan AI:s styrkor tidigare låg mer i angränsande processer som till exempel produktionsplanering, rör sig den nu närmare själva maskinerna och tillverknings-



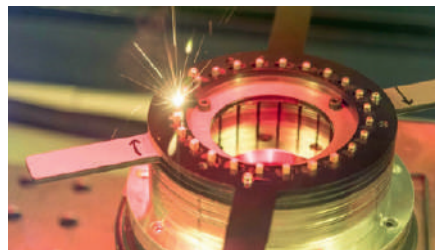
Det pågår en intressant utveckling inom laserteknologi
© Andreas Weise/factum



Digitaliserad produktion används med fördel i kombination med laserljus. Snabbt, direkt och flexibelt. © Ralf Kreuels/Gernot Walter



Vid användande av grönt laserljus blir koppar-svetsning mer energieffektivt och resultatet av bättre kvalitet oberoende av materialets ytegenskaper. © Oliver Graf



Elfordonstillverkare använder sig av hårnålstekniken vid tillverkning av statorproduktion. © Martin Stollberg

processen. Under de närmaste åren kommer dessa elektroniska hjärnor - matade med data från sensorer och simuleringar - att komma med helt nya typer av laserbearbetningsstrategier, förfina varje steg i processen när de lär sig mer och så småningom ta över programmeringen av anslutna maskiner själva. Detta kommer att leda till enorma produktivitetsvinster.

Nya strålkällor

De grundläggande koncepten för laserkällor har alla varit allmänt kända sedan 1970-talet - CO₂, disk, diod, fiber, etc. Men det finns fortfarande gott om utrymme för förbättringar. Ingenjörer hittar ständigt nya sätt att få ut mer av sina lasersystem, från högre pulsenergi och högre genomsnittlig effekt till kortare pulser och bättre strålkvalitet. Det ser ut att fortsätta under de kommande åren. Men bortsett från loppet att sätta nya rekord gällande vissa aspekter av industriella lasrar, vilken är då den viktigaste utvecklingen som användarna bör hålla ett öga på? För det första blir möjligheterna att använda fler våglängder större. I teorin har vi redan tillgång till laserljus vid alla möjliga våglängder, det är helt enkelt en fråga om att hitta tillräcklig kraft och effekt. Detta hinder övervinns gradvis i alla våglängder. Tillförlitligheten hos disklasern har gett oss de verktyg vi behöver för att generera högeffektivt laserljus i fler färger för industriell användning. Ett av de senaste exemplen är grönt laserljus, som lätt absorberas av icke-järnmetaller, vilket gör det till det perfekta valet för applikationer inom e-mobilitet. Snart är det möjligt att generera kraftfulla strålkällor med exakt rätt våglängd för alla tänkbara applikationer. För det andra blir lasrar mindre. Halvledarlasrar, direktdiodlasrar och andra lasrar krymper stadigt till miniatyrformat. Detta gör dem enklare att använda i alla typer av system, från mobiltelefoner till operationssalen. Det banar också vägen för helt nya applikationer som laserbaserad skanning av miljö i autonoma fordon och för kvalitetskontroll. De forskas redan på olika möjligheter att packa lasermediet i en optisk fiber, så att laserljus kan genereras "på språng". Även om sådana strålkällor inte är fundamentalt nya så illustrerar de hur gamla koncept visar en nivå av flexibilitet som de flesta inte trodde vara möjligt.

Elektriska fordon

Strukturomvandlingen av fordonsindustrin från förbränningsmotorn till eldrivna fordon skapar en mängd nya applikationer, och det är naturligtvis lasrar som möjliggör en mycket effektiv massproduktion av de nya komponenterna. Först och främst batteriet. Även om det kallas "batteri" så rör det sig om en komplex struktur som består av en battericell, batterimodul och batteripaket. Batterier för elbilar består av flera lager wafer-tunn koppar och aluminiumfolie som kan ha kapats och svetsats med en laser. Därefter tillsätts flytande elektrolyt och sedan svetsas cellen samman med ett lock. Dessa svetsar måste täta hela cellen för att

minimera risken för brand och personskador. För det andra elmotorn. Här går tillverkarna alltmer mot vad som kallas hårnålsteknik (hair pins). Normalt är statorerna i elmotorer utrustade med spolar av koppartråd som skapar ett roterande magnetfält som får motorn att gå. Varje enskild slits i statorn är insvept i en spole som går in och ut om vartannat. Men på grund av de tjocka koppartrådarna skulle processen vara för tidskrävande och bli för dyr för kraftfulla elmotorer som måste flytta ett helt fordon. Detta förklarar varför tillverkare förlitar sig på så kallade "hair pins". Detta innebär att man använder en tryckluftspistol för att skjuta en rektangulär koppartråd, som liknar en hårnål, i varje spår. De utskjutande delarna av tråden sätts sedan ihop och svetsas med en laser, vilket också skapar en spole. Och för det tredje de högpresterande elektroniska komponenterna. Med laddningskontakter, transformatorer och likriktare har elfordon ett stort utbud av ny kraftelektronik. Medan ett 24-voltsbatteri räcker för att driva all elektronik i ett fordon med förbränningsmotor, kan elbilar lätt slå 800 volt eller mer. Detta innebär att extremt robusta anslutningar krävs. Som en utmärkt ledare för värme och elektricitet är koppar det material som gäller. Koppar svetsas mest effektivt med en grön laser, vilken minimerar stänk och risken för kortslutning. I dagsläget används främst IR-lasrar då maxeffekten hos de gröna lasrarna än är för låg.

Kvantteknik

Elementpartiklar finns överallt, men hur de beter sig är något som det mänskliga sinnet kämpar med att förstå. I kvantmekanik är det till exempel möjligt att något existerar samtidigt i två ömsesidigt exklusiva tillstånd eller intar två olika positioner samtidigt. Detta är förvirrande, men det öppnar spännande möjligheter. Elementpartiklar bär specifik information kodad i sig, till exempel om deras inneboende vinkelmoment eller rotation. För att kunna läsa denna information och använda den för beräkningar och andra ändamål måste vi göra den synlig, med andra ord förstärka den till en viss grad. Detta är möjligt med ljus, dvs fotoner. Men inte vilka fotoner som helst. Beroende på vad du försöker mäta måste dessa fotoner uppvisa vissa egenskaper, till exempel en exakt definierad våglängd eller polarisering. Detta kräver en strålkälla som gör exakt det, nämligen producerar fotoner med en exakt definierad våglängd och med en mycket specifik polarisering. TRUMPF:s dotterbolag Q. ANT utvecklar och producerar industriella lösningar med dessa typer av strålkällor. Dess potentiella tillämpningsområden är praktiskt taget oändliga. Kvantteknik kommer att spela en nyckelroll inom många olika områden, från nya sensorsystem för medicin och autonom körning av fordon till nya typer av datakryptering, nya mikroskop och utrustning som vi inte ens kan föreställa oss ännu. ■



Ultrakortpuls-lasrar är på väg att bli en helt digitaliserad form av produktionsteknologi, menar Dr. Arnold Gillner

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering

En av "äldermännen" i laserbranschen får man väl anse Dr. Arnold **Gillner** vid ILT [Institut für Lasertechnik, Aachen] vara. Denne tyske gentleman startade sin akademiska karriär vid Technische Universität Darmstadt 1979 varpå han anslöt till forskargruppen vid ILT i januari 1985. Där arbetade han inledningsvis med sammanfogning och materialavverkning av plaster med hjälp av laser, och det var i sådana sammanhang jag först stötte på Arnold. Under senare år har han specialiserat sig på mikro- och nano-bearbetning med laser, och eftersom detta sker med s.k. ultrakortpuls-lasrar, som uppenbarligen är en växande produktgrupp, tyckte jag att det var på sin plats att få diskutera detta område med honom. Hur ser han på det allt större antalet applikationer för kortpuls-lasrar som nu börjar förekomma i industriella processer?

Ultrakortpuls-lasrar representerar en ny typ av laserkällor för industriella applikationer då de har utomordentliga egenskaper med hänsyn till ljusintensitet, fotondensitet och pulslängder. Vare sig dessa laserkällor arbetar i pikosekund [10-12 sek] eller femtosekund [10-15 sek] -området kan energin från en ultrakortpuls [USP = Ultra Short Pulse] -laser vid materialbearbetning koncentreras med yttersta precision på arbetsytan inom något hundratal nanometer [nm = 10-9 m]. Vid ablationsprocesser kan termiska skador undvikas om material bearbetas med USP-lasrar. Detta beror på att absorberad energi försvinner med det avverkade materialet, samtidigt som värmeförlusten är minimal tack vare de extremt korta laserpulserna.

Från mikro till makro

P.g.a. den utveckling som pågår beträffande USP-lasrar med målet att öka lasereffekten hos dessa upp till kW-kapacitet – sålunda har en Fraunhofer-gruppering [Advanced Photon Sources] med spetskompetens, som målsättning att utveckla en ny generation av USP-lasrar med medeleffekter upp till 20 kW inom de närmaste tre åren – är det möjligt att dylika fördelar kan appliceras på makrobearbetning i framtiden. Detta skulle öppna upp för nya marknader för teknologin utanför det traditionella mikrobearbetningsområdet, inom vilket många USP-lasrar används redan idag.

Applikationer för sådan makrobearbetning kan exempelvis vara att använda USP-lasrar med hög effekt för att behandla stora ytor av fiberförstärkt kompositmaterial, utan att orsaka termisk

påverkan, och skapa mikrostrukturer på dessa ytor för att därigenom minimera friktionen hos komponenten.

En sådan materialgrupp är kolfiberförstärkta, höghållfasta kompositmaterial vilka spelar en alltmer viktig roll i bil-, rymd- och flygindustrierna. Om man försöker bearbeta kolfibrer mekaniskt leder detta snabbt till verktygsförslitning p.g.a. fibermaterialens höga hållfasthet, men detta är inget problem vid laserbearbetning då vi här talar om en kontaktfri process.

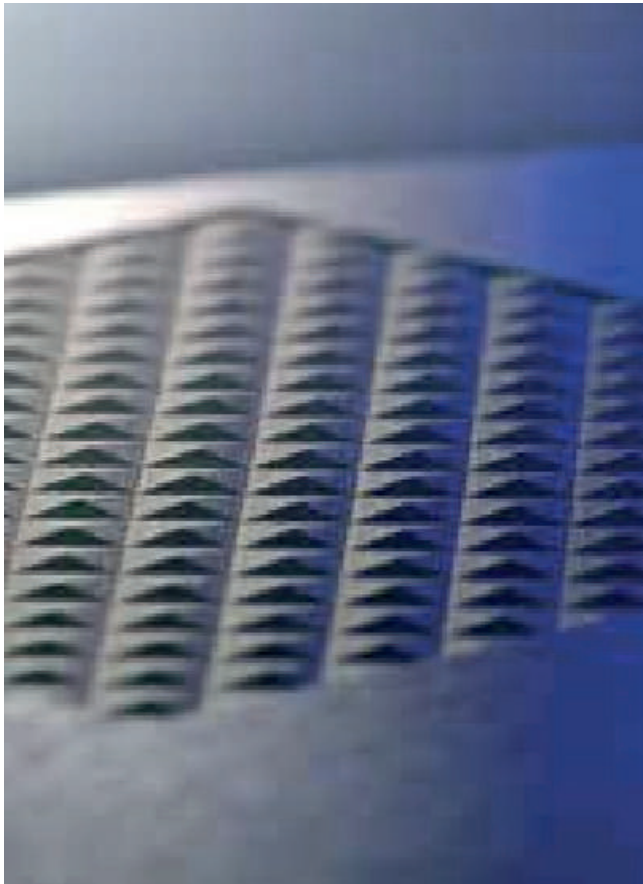
Vid optimala förhållanden blir värmepåverkan vid bearbetning av kolfibrer med USP-lasrar minimal, ty även om fibrerna har en god värmeledningsförmåga, så minimeras den termiska påverkan genom de korta pulstiderna. Detta gör att matrismaterial lämnas opåverkat och därmed bibehålls den bearbetade komponentens struktur intakt.

Ett exempel på detta är att om en pulslängd på 15 ps och en pulsenergi av 30 µJ används vid 1 MHz frekvens kan man nå en avverkningsgrad på 80 mm³/min vid bearbetning av en kolfiberförstärkt komposit, samtidigt som den värmepåverkade zonen [HAZ = Heat-Affected Zone] är nästintill noll! Ännu högre avverkningsstärkor för stora polymera ytor kan förväntas i framtiden i och med de högre effekter som man vid ILT hoppas kommer att bli tillgängliga.

Andra applikationsexempel för USP-lasrar kan handla om att skapa s.k. funktionella ytor [Fig. 1]. Hög laserintensitet i kombination med icke-linjära absorptionseffekter går att åstadkomma med USP-lasrar, något som gör att det uppstår en form av repetitiv materialavverkning som resulterar i att ytstrukturer i mikro- eller nano-skala skapas på komponenterna. Dessa extremt fina strukturer kan användas till att skapa superhydrofila ytor eller mikro-optiska funktioner. Liknande ytmodifieringar är också lämpliga vid sammanfogning av polymera och metalliska material som ingår i lättviktskonstruktioner inom bilindustrin [se samtal kring lasertrender i LaserNytt 1-2018].

Behovet av högre effekter

Problem som kan uppstå vid användning av USP-lasrar med hög effekt och frekvenser i MHz-området är olika oönskade termiska effekter såsom överhettning, uppkomsten av smältprodukter och dålig ytkvalitet vid materialavverkning. Därför måste hänsyn tas till valet av vissa processparametrar och laserljusets intensitetsvidd. Hög ablationskvalitet kan endast åstadkommas



Figur 1. En pyramidstruktur skapad på ytan av ett verktygsstål med hjälp av en pikosekund-laser.

då intensiteten ligger nära tröskelvärdet för ablation, varför det kommer att krävas nya bearbetningsstrategier och utveckling av innovativa systemkomponenter.

En av de viktigaste slutsatserna från den nyligen genomförda femte "Ultra Short Pulsed Laser Workshop" vid Fraunhofer ILT var att de mest nödvändiga utvecklingarna måste ske inom området systemteknologi. En kontrollerad belysning av arbetsstyckets yta, snabb strålmanipulering och -modulering, liksom en flexibel strålform är nödvändigt för att ta tillvara fördelarna vid utveckling av mer kraftfulla USP-lasrar.

Förutom att använda sig av polygona skannrar för att uppnå extremt höga bearbetningshastigheter kan flerstråleteknik vara den bästa och mest mångsidiga lösningen för ablation vid höga lasereffekter. Genom rumslig omställningen av den enskilda laserstrålen via ett skanner-verktyg eller stråluppdelning med hjälp av diffraktiva optiker går det att nå höga avverkningstal samtidigt som USP-laserns höga ablationskvalitet bibehålls. Med ett sådant angreppssätt kan nästa steg bereda väg för en helt optiskt baserad tillverkning.

Utöver nödvändig utveckling av systemkomponenter kommer nya laserkällor, baserade på fiberlasrar och särskilt anpassade ljusförstärkare, att möjliggöra en ökning av såväl medeleffekten som pulsenergin hos USP-lasrar. Principen för den förstärkare som används i en s.k. InnoSlab-laser [Fig. 2], som redan idag erbjuder höga medeleffekter, möjliggör att fördelarna med sådana system kan transfereras till makro-bearbetning. Andra systemlösningar, såsom disklasrar med mycket små fasförskjutningar och låga icke-linjära effekter vid hög strålintensitet, kommer att möjliggöra ytterligare höjning av lasereffekt och energitillförsel och därmed hitta nya applikationsområden.

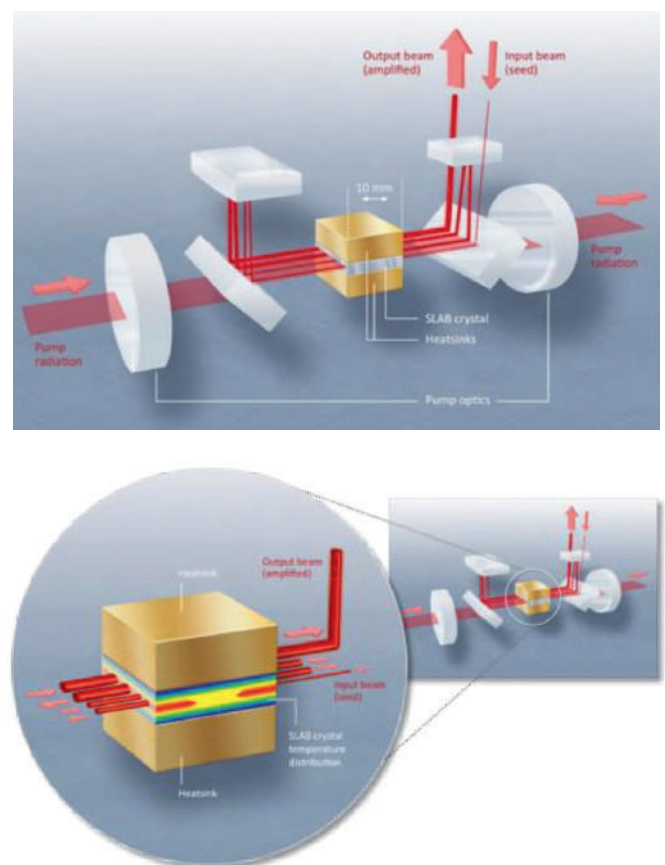
Mekaniska bearbetningsverktyg försvinner ur processkedjan

Det ultimate målet för USP-lasrar är att använda dessa i form av helt flexibla "digitala" verktyg, som ett alternativ till bearbetning med konventionella "hårda" verktyg. Teknologin har redan visat upp sina fördelar inom en rad olika branscher:

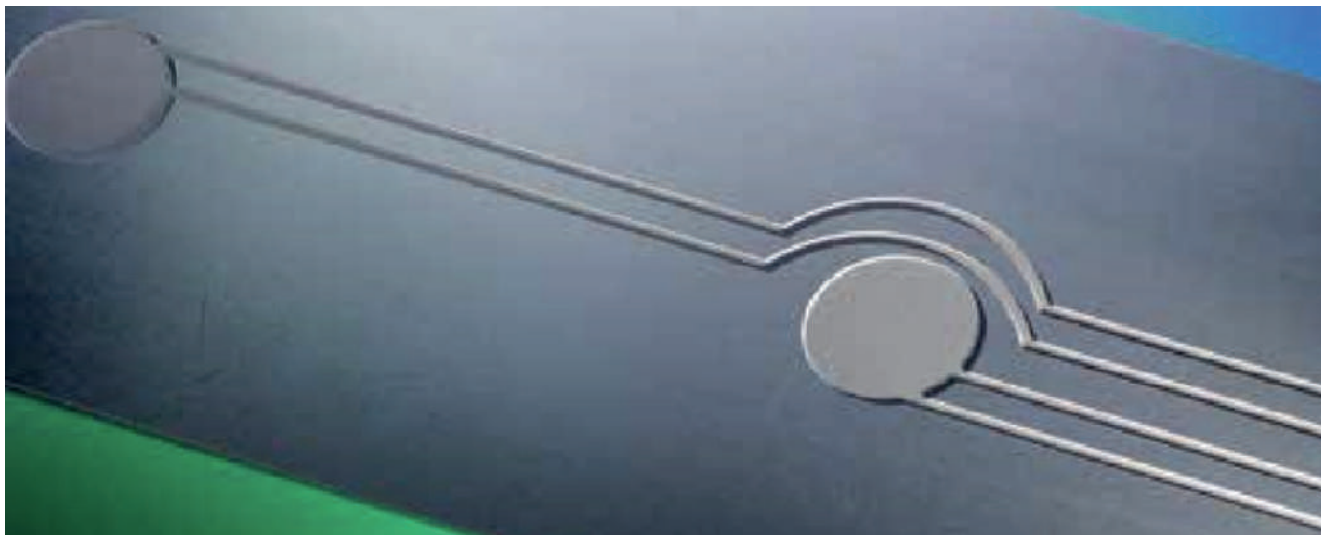
- Bildskärmsindustrin; skärning av flexibla skikt för OLED [Organic Light Emitting Diode] -displayer, borrar och skärning av glas, ytstrukturering av tunna filmer
- Bilindustrin; bearbetning av komponenter för hydraulik och bränsleinsprutning
- Tryckeriindustrin; gravering av valsar för tryckning och gravering
- Medicinsektorn; tillverkning av kardiovaskulära blodkärlsförstärkare
- Flygindustrin; bearbetning av kolfiberförstärkta kompositer
- Verktygstillverkning; utföra präglingar samt tillverkning av formsprutningsverktyg
- Solcellstillverkning; strukturering av konduktiva och di-elektriska skikt på tunna filmer eller kristallina solceller
- Elektronikindustrin; borrar och skärning av kretskort

Laserskärning av bildskärmar

Vid bearbetning med traditionella laserkällor med låg effekt bestäms mängden tillförd energi av en linjär absorption av laserenergin. Vid bearbetning med USP-lasrar däremot kan en mycket hög fotondensitet skapas i fokuspunkten via specifikt anpassade optiker vilket möjliggör att icke-linjära absorptionsmekanismer uppstår. Detta betyder att även transparenta material kan bearbetas med laservåglängder för vilka materialen normalt sett inte uppvisar någon absorptionsförmåga.



Figur 2. Principupbyggnad av en InnoSlab-laser med dess förstärkarkrystall.



Figur 3. En schablon för tryckning iordningställd med en USP-laser.

Därför har tillverkning av bildskärmar i alla former och storlekar blivit ett av de snabbast växande applikationsområdena för USP-lasrar med hög effekt, vilket naturligtvis ytterligare stärks av det stora genomslaget på marknaden för ”smarta telefoner” och läsplattor. Genom att använda sig av icke-linjära absorptionsmekanismer och specialdesignade metodprinciper, såsom fiberkapning och avlånga fokuspunktsgeometrier, kan energin från en USP-laser koncentreras och fördelas i form av en mycket tunn linje vid bearbetning av transparenta material. Detta skapar termiska och mekaniska spänningar i materialet och leder till separation av de delar som skall skäras bort.

USP-lasrar används speciellt vid borrar och skärning av härdade display-glas med härddjup över 40 μm . Öppningar i displayer för kameralinser, högtalare och mikrofoner, liksom manöverpaneler, är vanligtvis skurna på detta sätt. Emellertid är en USP-laser i princip även lämplig vid formatskärning av bildskärmsglas, men kräver då högre skärhastighet för att säkerställa en hög snittkvalitet. I framtiden finns potential för ytterligare USP-laser-baserade skärsystem. Detta om framtidens displayglas ur viktoptimeringssynpunkt kommer att tillverkas av safir, vilket är ett material som inte låter sig bearbetas med konventionella metoder.

Ett nytt fält för USP-lasrarna i bildskärmsindustrin är sönderdelningen av polymerbaserade OLED-displayer. För ”smart-phones” och läsplattor tillverkas nämligen OLED-displayen på polymera filmer i storformat p.g.a. höga produktivitetskrav. Dessa måste sedan skäras till mindre display-format utan termisk påverkan, missfärgning eller att avverkat material i form av pulverpartiklar fastnar på substratet. Därför använder man här med fördel USP-lasrar i det ultraviolette våglängdsområdet, vilka ger ett litet absorptionsdjup och därmed en låg värmepåverkan ner till ett djup på högst 50 μm .

Bearbetning av metaller

Även inom metallbearbetning vinner USP-lasrarna mark, där man med pulslängder på 10 ps eller kortare får en överlägsen processkvalitet i jämförelse med när längre pulstider används.

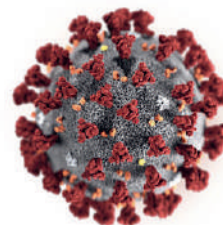
Faktum är att den här teknologin har en lång historia då det gäller metallbearbetning. En av de första applikationer där USP-lasrarnas användbarhet undersöktes var att borra hål i insprutningsmunstycken till dieselmotorer. Även om inte just denna applikation, som kräver borrhål kring 1 mm med en

diameter på 70 μm , har implementerats i produktion, har hålbörning med USP-lasrar av insprutningsmunstycken till bensinmotorer redan införts i produktion hos många biltillverkare. Här är väggjockleken i munstyckena mindre och skär djupen ligger därför normalt kring 0,3 mm med håldiametrar mellan 70-200 μm . Jämfört med konventionella metoder för materialavverkning kan man med USP-lasrar nå högre borrhålskvalitet och processhastigheter. Nya optiska arrangemang, som exempelvis för spiralformad borrar, kan användas för att åstadkomma högkvalitativa borrhål med valfri geometri.

Vid tillverkning av formsprutningsverktyg för medicinsk utrustning och optiska komponenter i mikroskala används piko- eller femto-sekund-lasrar p.g.a. sin höga precision och processflexibilitet, vilket minimerar behovet av ytterligare verktyg.

Lägg därtill industrier som sysslar med tryckeriverksamhet i form av gravering eller relieftryck [Fig. 3], t.ex. teknologier för säkerhetsprintning, printning av kretskort, prägling av folier till vågledare och filtrerande folier till displayer, där den höga precision och upplösning som USP-lasrarna erbjuder kommer att möjliggöra ytterligare nya applikationer.

Nya högeffekts USP-laserkällor som arbetar med höga frekvenser används nu för bearbetning av metaller med en avverkningsgrad på mer än 20 mm³/min, och med en upplösning i horisontalplanet under 3 μm och motsvarande 100 nm på djupet. Självklart kommer det att bli intressant att följa den vidare utvecklingen av USP-lasrar med cw [continuous wave] -effekter på flera kW, och det är uppenbart att teknologin fått en av sina största förespråkare i Dr. Arnold Gillner. ■



Corona-pandemin medförde ett uppsving för laserskurna artiklar hos Mill Finish Industries

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering

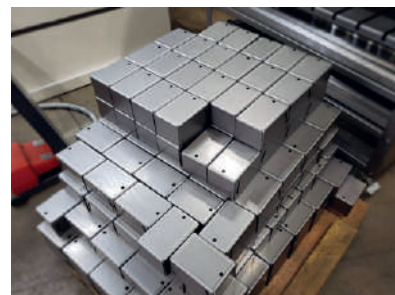
Under senare tid har fiberlaserbaserade skärmaskiner vidareutvecklats i så motto att det idag är möjligt att investera i denna typ av laserkällor som har hela 12 kW uteffekt. Med växande lasereffekt kan tillverkande företag öka skärhastigheten, men den högre effekten möjliggör också att ett större urval av material kan bearbetas utan omfattande efterföljande arbetsmoment. Men många gånger ställer sig den potentielle köparen frågan: "Är den här utrustningen nödvändig i min verksamhet, eller är det bara något av typen 'bra-att-ha'?" I dessa termer tänkte säkert **Junior Sehmbi**, ägaren till Mill Finish Industries baserat i Brampton, ON, i Kanada, innan han beslöt om inköpet av en 3 kW-maskin som verkligen kändes vara helt rätt med avseende på vad han sökte. Ibland är det nämligen så att den stora potentialen ligger i vad man kan göra med maskinen, inte hur många kilowatt den erbjuder.

Mr. **Sehmbi** utvecklade sina kunskaper i metallbearbetning hos företaget Millomat, en verksamhet som grundats av hans far och som nu sköts av Juniors storebror Mani. Under många år har bröderna tillsammans byggt upp en alltmer förfinad tillverkning vid det här företaget. Emellertid har Junior **Sehmbi** alltid haft ett starkt intresse för bilar och entreprenörskap och därför bestämde han sig för cirka ett år sedan att börja på egen hand genom att starta företaget Mill Finish vars initiala fokus låg på att tillverka reservdelar till bilindustrin [Fig. 1]. Idag producerar man ett brett sortiment till branschens eftermarknad som t.ex. dekoralistser, dornbockade rör, konsoler och hylsor. Just nu står bilindustrin för 40% av omsättningen, men därutöver har Mr. **Sehmbi** värvat nya kunder inom aerospace och hisstillverkande

företag, något som visat sig vara värdefullt. Han tänker om sina kunder att de "använder sidenvantar" då de hanterar de produkter som han levererar. Då det exempelvis gäller artiklar i rostfritt stål till en hissleverantör måste kornorienteringen i svetsgodset vara perfekt och svetsarna skall vara exakt och noggrant placerade. "Det är den här typen av precisionsarbete som vi har som målsättning att specialisera oss inom", tillägger han.

I början av Mill Finishs självständiga verksamhet fortsatte Mr. **Sehmbi** med att lägga ut all laserskärning hos Millomat medan man själv fokuserade på formning och slutbehandling av produkterna. För detta hade företaget tillgång till två kvalificerade svetsoperatörer, en 130 tons kantpress från företaget Baykal samt en 4-axlig CNC [Computer Numerical Control] -maskin från Haas. Efter hand som kundportföljen växte insåg Junior att man måste investera i mer "in-house"-utrustning, men att denna måste anpassas med hänsyn till både tillgängliga lokaler och behovet hos kunderna. Eftersom han hade arbetat med laserkällor från Mitsubishi under flera år och alltid haft en bra arbetsrelation med företaget blev det naturligt att vända sig till dem. Mr. **Sehmbi** investerade därför i en Mitsubishi 3015 SR-F30 fiberlaser med tillhörande kabinett som mäter 3,0x1,5 meter [Fig. 2]. "Såväl priset som storleken var viktigt för mig", säger Junior, "eftersom vi har tillgång till två verkstadslokaler om vardera 325 m². Formning och montering upptar den ena, medan lasermaskinen dominerar den andra som även fungerar som materiallager."

Beträffande valet av en 3 kW-laser menar han att den uppfyller de behov man för närvarande har. "Vi skär rostfri plåt i tjocklekar mellan 1-3 mm och 12 mm tjock mjuk stålplåt utgör



Figur 1. Junior Sehmbi (t.v.) tillsammans med storebror Mani framför den senaste investeringen, en fiber-baserad planskärmaskin på 3 kW. Verksamheten innefattar såväl skärning, bockning och slutfinish av produkter i material som rostfria eller lågkolhaltiga stål (t.h.).

den övre gränsen för vad vi tillverkar ”in-house”, så för dessa ändamål är 3 kW lasereffekt alldeles tillräckligt. Även om vi alltid kan använda oss av en laserkälla med högre effekt, något som vi säkert kommer att behöva investera i om några år, är det alltid viktigt att titta på lönsamheten och ta ett beslut som förefaller meningsfullt för den framtida verksamheten.” Ytterligare en fördel är att Mill Finish får tillgång till Mitsubishi's mjukvara ”Remote 360”, med vars hjälp det går att övervaka och diagnostisera lasermaskinens status så att den arbetar kontinuerligt och underhålls när behov föreligger. Den andra stora investering som Mr. Sehmbi gjorde, samtidigt med lasern, var i en 50 tons servo-elektrisk kantpress som även den tillhandahölls av Mitsubishi North America. ”90% av allt som vi formar är små konsoler,” säger han, ”varför det inte är meningsfullt att använda den stora Baykal-pressen. Med den mindre elektriska maskinen kan vi bocka snabbare samtidigt som det krävs lägre krafter”.

Den nya fiberlasern togs i bruk strax efter att man fått in ett antal jobb som var relaterade till den pågående Coronapandemin. Den användes vid tillverkningen av transparenta skyddsskivor, skyltar som uppmanar till social distansering samt medicintankar i rostfritt stål [Fig. 3]. Skyddsskivorna började tillverkas redan i mars då ett lokalt sjukhus efterfrågade sådana. Därefter har man kommit att producera 80 skivor i veckan till återförsäljare, restauranger och läkarmottagningar i både USA och Kanada. Lasern från Mitsubishi används vid tillverkningen av skyddsskivornas stödben som tillverkas i stål [Fig. 4].

Uppmaningsskyltarna för social distansering, tillverkade i aluminium alternativt rostfritt stål och tillskurna med fiberlasern, har blivit så populära i matbutiker och på läkarmottagningar att de 100 enheter som man producerar varje vecka nätt och jämnt möter efterfrågan [Fig. 5]. Mill Finish har också tillverkat ett stort antal rostfria tankar åt läkemedelsbolag i Kanada där fiberlasern skär samtliga detaljer som ingår tankkonstruktionen. Mr. Sehmbi berömmar användarvänligheten hos lasern som har möjliggjort att så många olika produkter kan tillverkas omedelbart efter att den hade installerats i fabriken. ”Mitsubishi's engagemang i installationen och vårt långvariga samarbete med dem kan inte nog överskattas, och deras fortsatta stöd har varit ett stort säljargument för oss,” säger Junior Sehmbi. ”Lasern är en verklig ’arbetshäst’, processen är stabil och jag behöver aldrig bekymra mig med att behöva justera dess kondition. Jag kan växla mellan skärning av 1 mm tjockt rostfritt ända upp till 12 mm och maskinen fortsätter att skära felfritt. Handhavandet av laserskärmaskinen var väldigt lätt att lära sig, och jag får uppfattningen att den var så väl förberedd och kalibrerad vid leveransen att det för operatören bara återstod att ’trycka på startknappen’”.

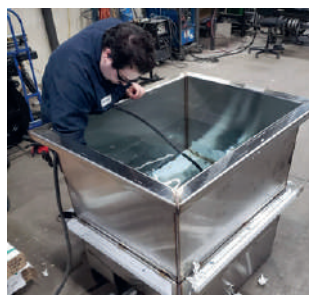
Mill Finish har i dagsläget sex anställda som arbetar i ett skift, men Mr. Sehmbi har redan planer på en utökad verksamhet. Snart kommer man att ta emot leveransen av ytterligare en CNC-styrd fräsmaskin, och företaget avser också att effektivisera produktionen genom att införa ett skräddarsytt, mjukvarubaserat flödes-schema. Detta finns redan på plats, är baserat på en s.k. app, men befinner sig fortfarande på provstadiet. Junior Sehmbi fortsätter: ”Vi försöker att accelerera införandet då ett effektivt produktionsflöde är viktigt för oss som tillverkare av en stor produktmix och låga volymer. Om en av våra kunder har en produkt som skall laserskäras, kantbockas, svetsas, poleras och slutligen pulverlackeras, något som involverar flera av våra anställda, är det lätt att förstå att något kan gå snett. Att installera ett program som optimerar flödet kan vara nog så svårt, men sedan det väl är gjort och börjat fungera kommer det att förbättra vår konkur-



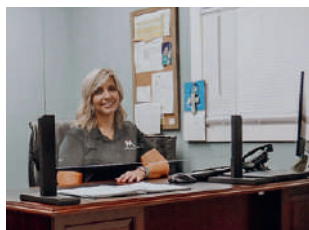
Figur 2. För majoriteten av företagets produkter räcker 3 kW lasereffekt gott och väl, och t.h. ser vi hur maskinen skär 2,6 mm tjock stålplåt.



Figur 3. En medarbetare vid Mill Finish lägger sista handen vid en rostfri medicintank, vilken laser-skurits ur ett plant plåtämne och sedan bockats till färdig design.

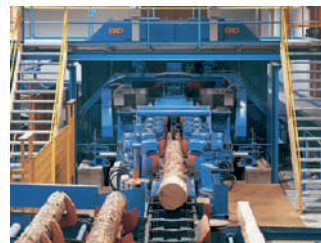


Figur 4. Skyddsskivorna av plexiglas monteras i laser-skurna stödben av stål.



Figur 5. Mill Finish har svårt att möta efterfrågan på de oerhört populära, laserskurna skyltarna med uppmaning om social distansering. Observera att det senare specificeras som ”en älg-längd” (= 2 meter) i Kanada (t.h.).

renskraft ytterligare.” Att kunna hantera produktionsflödet på ett effektivt sätt är också viktigt för företag som Mill Finish som har en begränsad verkstadsyta. ”Vi kan helt enkelt inte ha en omfattande lagerhållning”, fortsätter Mr. Sehmbi. ”Vi behöver ha ett visst lager för våra ordinarie jobb, och samtidigt låta pågående arbeten löpa friktionsfritt så att det inte uppstår några flaskhalsar i verkstaden.” Mill Finish har också som mål att investera i en ny och större verkstadslokal så snart som möjligt. ”Det ultimata vore en yta som kan rymma en andra laserinstallation men också kunna öka lagerhållningen av råmaterial. Orderstocken ser lovande ut och bör kunna hjälpa oss att nå de tillväxtmål som vi har satt upp”, avslutar Junior Sehmbi. ■



Laserpåläggning ökar slitmotstånd och livslängd hos knivfästen

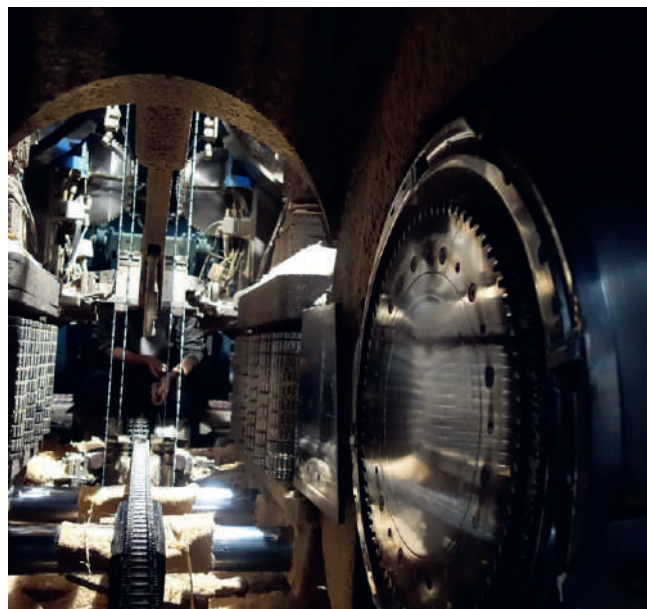
En process som innebär en kostnadsbesparing på 80% för tyskt sågverk

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering

Inom träindustrin bearbetas dagligen otaliga stockar vilka kan ha en längd upp till 22 meter. De avbarkas, mäts och förädlas till olika virkesprodukter. Att produktionslinjer, och de verktyg som används för dessa processer, är utsatta för extrema påkänningar är något som de anställda vid Gebr. Eigelshoven GmbH & Co. KG, ett sågverk i tyska Würselen, kan intyga. För att reparera de kraftigt förslitna roterande fixturer som knivbladen är fästa till har man valt laserpåläggning, en process som utförs av Pallas GmbH & Co. KG, vilka specialiserat sig på denna form av reparation av högt påkända komponenter. Företaget Eigelshoven grundades 1897 och hanterar en daglig produktionstakt på 1.000 kubikmeter granvirke. Cirka 50% av sågverkets kunder finns i Tyskland, 30% i Benelux-länderna och resterande 20% i Frankrike och Storbritannien. Man har ett rykte om sig att leverera hög kvalitet med snäva dimensionstoleranser och en genomgående hög finish.

När stockarna anländer till Eigelshoven separeras de från varandra och de trumpetformade ändarna mals ned. Därefter avbarkas de och inspekteras så att de inte innehåller metallflisor, spikar eller ammunitionsrester! Sedan mäts stockarnas längd och diameter och avvikelser som snedhet och ovalitet registreras. Dessa mätdata återförs sedan till kundordern inför nästa processteg som är uppkapningen till timmer. Den datorstyrda processen bestämmer vilka längder från vilka stockar som skall kapas åt de olika kunderna. De går sedan vidare till själva sågverkslinjen, som mäter 80 meter i längd och 15 meter i bredd, där den slutliga tillsågningen sker i ett fyraxligt verk bestående av fyra fräsar med ett magnetiskt styrsystem. Här roteras stocken automatiskt till rätt läge varpå två motstående runda sidor fräses bort. Knivarna som används för detta sitter monterade i cirkulära fixturer [Fig. 1]. I nästa processteg roteras stocken 90° och de resterande runda sidorna fräses bort så att man får ett rektangulärt träblock. Detta delas sedan i bräder och läkt med hjälp av en variabel cirkelsåg som har en horisontell och sex vertikala axlar. Slutligen utsätts de tillskurna virkesdelarna för ett antal efteroperationer, såsom tillskärning med millimeterprecision, impregnering, torkning etc.

Med ett genomlopp på 1.000 kubikmeter stockar om dagen utsätts knivhållarna i de cirkulära fixturerna för extrema påkänningar. Det är här som stockarnas grova yta med kvarsittande



Figur 1. Knivhållarna i de fyra cirkulära, roterande fixturerna utsätts för extremt slitage då bark och ojämnheter, liksom stockens runda sidor, fräses ner så att man till slut erhåller ett rektangulärt träblock.

bark, ojämnheter, grenar och kvistar fräses ner till en slät yta. Detta sker med fyra stycken knivar som mäter 15×28 cm och som är monterade i en rotor av gjutjärn som har en diameter på 750 mm och är 300 mm tjock. Ytterligare fyra mindre knivar med måtten 7×7 cm är utplacerade för att jämna till stockens yta. Samtliga knivar är fästa till rotorn i rektangulära fästen i form av verktygshållare [Fig. 2]. Knivarna, liksom samtliga sågblad, byts ut varje dag och slipas skarpa på nytt i Eigelshovens egen verkstad. Då det gäller skärkvalitet och hastighet är de fästen som håller knivarna på plats i rotorbladet av kritisk betydelse. Förslitning p.g.a. konstant friktion tenderar att över tid ge skador på höger- och vänstersida på verktygshållarna. Trä hamnar i dessa fickor och gör att skärverktyget blir oanvändbart p.g.a. utdragna bitar av träfibrer. Samtidigt försämras maskinens prestanda och akut underhåll riskerar att äventyra produktionskapaciteten.

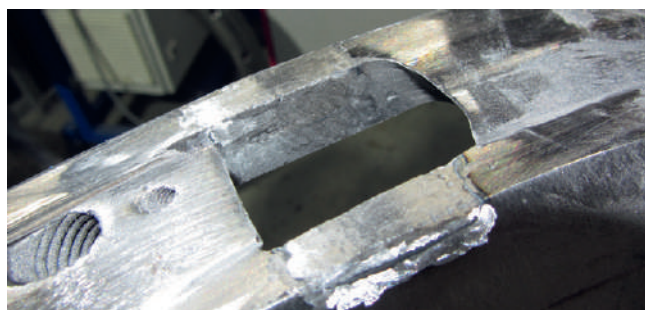
I beaktande av att ett utbyte av dessa verktygshållare blir kostsamt har Herrn Rainer **Oprei**, som är teknisk direktör vid Eigelshoven, länge eftersökt en hållbar reparationsmetod, särskilt som man har fyra sådana roterande skärenheter i bruk samtidigt. Han var emellertid skeptisk till att en sådan reparationsmetod överhuvudtaget existerade då han upplevt ett flertal misslyckande med olika reparationsförsök. Men då han blev informerad om den succé som företaget Pallas haft då de reparerade drivaxlar som fått lagerskador uppmuntrades han till att göra ett nytt försök. Därför vände han sig till Pallas då en av verktygshållarna måste bytas ut p.g.a. förslitningsskador, som då föreslog att göra en rekonstruktion av ytan i det skadade området genom att använda laserpåläggning [LMD = Laser Metal Deposition]. Värmetillförseln vid LMD sker mycket lokalt och exakt varför den generativa processen resulterar i en uppbyggnad med hög precision och minimal distorsion. Det metalliska pulvret tillförs genom ett koncentriskt munstycke och smälts av en laserstråle samman med grundmaterialet i det skadade området [Fig. 3]. De båda materialen får en metallurgisk bindning och påläggningen har en nästintill 100%-ig densitet med mycket låg inblandning i grundmaterialet. Dessutom blir påläggningen ”nära-färdig-form”, varför kostnaderna för efterbearbetning kan hållas på ett minimum.

En särskild utmaning som Pallas ställdes inför var att verktygshållarna var förslitna i varierande omfattning, och att hårdheten i de nötta områdena var mycket ojämnt fördelad med skillnader på upp till 40 HRC [Hardness Rockwell C-scale]. Därför beslöt man att experimentera med olika pulvermaterial som skilde i såväl korrosionsbeständighet som hårdhet mellan 50-63 HRC [Fig. 4]. Att använda traditionella pålägningsprocesser var svårt p.g.a. den varierande förslitningen hos infästningspunkterna varför Rodion **Honish**, som är chef vid laseravdelningen på Pallas, utvecklade ett modulärt mjukvaruprogram för uppgiften. Reparationen skedde sedan med en 6 kW diodlaser från Laserline GmbH med en infraröd våglängd på $900-1.030 \pm 10$ nm, som kan arbeta i såväl cw [continuous wave] som pulsad drift. Det senare gjorde att laserpulserna kunde anpassas till den specifika geometrin i det förslitna området. Pålägningsprocessen gick att påbörja antingen på flänsen eller på hållarurtagets vägg. Laserpulserna har en varaktighet kring 200 ms och dess energi riktar selektivt mot skadeområdet så att även komplexa geometrier kan repareras ”punkt för punkt”. Tack vare den styrda pålägningsprocessen kräver de reparerade områdena minimal efterbearbetning. Sammantaget ligger den totala reparationstiden för en verktygshållare kring åtta timmar.

Rainer **Oprei** installerade den reparerade, roterande knivhållarfixturen i en av sågverkets flismaskiner för att utvärdera livslängden hos laserpåläggningen under de tuffa förhållanden som maskinen dagligen utsätts för. Ett år senare inspekterades verktygshållarna och han kunde då konstatera att en av dem var totalt opåverkad medan övriga tre uppvisade försumbara skador. Vanligtvis är verktygshållarna helt nedslitna efter ett års användning. Därför beställdes reparation av en ännu mer försliten fixtur, men denna gång med det pulvermaterial som visat ge de bästa egenskaperna vid den basala provningen med LMD. Denna följdbeställning gjorde att företaget Pallas måste hitta en metod att minska det manuella efterarbetet för att processen skulle bli så kostnadseffektiv som möjligt. Problemet låg i att knivfästena hade en sådan utformning att de hindrade en optimal positionering av laserstråle och -verktyg. Lösningen blev därför enligt Rodion **Honish** att likforma de ytor som skulle beläggas genom att först fräsa ur de skadade områdena. Dessa urtag, som kunde

vara upp till 7 mm djupa, utformades på ett sådant sätt att det tillförda pulvret smälte samman med grundmaterialet och gav en god vidhäftning till detta.

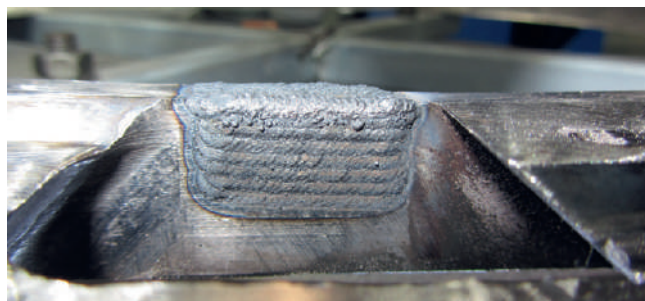
Eftersom verktygshållarna i det här fallet var extremt slitna fick man först bygga upp en stödvägg i rostfritt 316L-stål mot vilken den nya strukturen byggdes upp med LMD och ett pulvermaterial som gav en hårdhet på 63 HRC. Den här reparerade gjutjärnsrotorn har nu varit i drift i Eigelshoven under ett halvår. Herrn **Oprei** är förvissad om att reparationen kommer att överträffa hans förväntningar om en lång livslängd hos verktygshållarna, och han lovordar den entusiasm med vilken Pallas tog på sig utmaningen och de risker som eliminerades genom god ingenjörskonst. Det positiva utfallet och en kostnadsbesparing på 80% jämfört med om man tvingats investera i nya komponenter visar att Eigelshoven valde den rätta lösningen. Därför blir nästa applikation, enligt Herrn **Oprei**, att laserpålägga knivarna i företagets sönderdelningsbädd med ett varaktigt slitskydd. ■



Figur 2. En av fördelarna med laserpåläggning vid reparationen av knivhållarna är den precisa värmetillförseln, vilket resulterar i en uppbyggnad ”nära-färdig-form” och minimal distorsion.



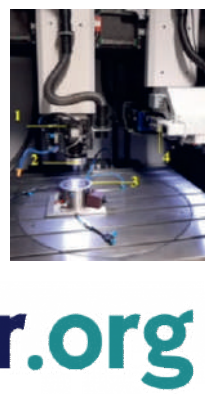
Figur 3. Rainer Oprei, som är teknisk direktör vid Eigelshoven, var initialt skeptisk till laserprocessen. Numera är han emellertid övertygad om LMD-metodens förträfflighet där det koncentriskt tillförda pulvret smälts samman med grundmaterialet i det skadade området.



Figur 4. Hos samarbetspartnern Pallas applicerades ett pulver med hårdheten 63 HRC, vilket avsevärt höjer slitmotståndet i knivhållarna

Traditionella laserprocesser visar på en fortsatt utvecklingspotential

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering



iChair.org

I den här andra delen av min rapportering från den digitala upplagan av LANE2020 kommer jag huvudsakligen att fokusera på de mer traditionella och industriellt implementerade metoderna för laserbearbetning. Urvalet är gjort utifrån en bedömning av nyhetsvärde och nytta för Lasergruppens medlemsföretag, och jag väljer att börja med...

Laserskärning

Även om laserskärning måste anses vara en väl etablerad teknik inom verkstadsindustrin bedrivs fortfarande en hel del utveckling inom området som syftar till att öka skärhastigheten, förbättra snittkantskvaliteten eller skapa snittkanter med en speciell geometri. Ett sådant exempel presenterades av **Hao Pang** från Trumpf GmbH, och tillika doktorandstuderande vid IFSW [Institut für Strahlwerkzeuge] i Stuttgart, som hade utvärderat skärning med en ringformad energifördelning. Vid

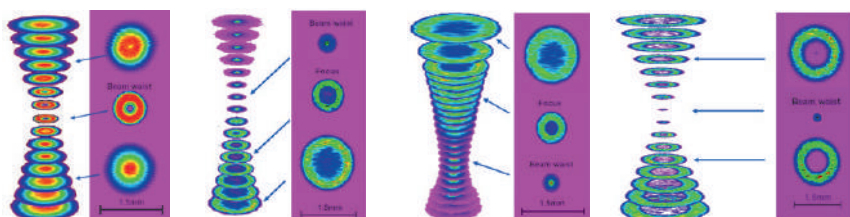
laserskärning av tjockare plåtar vill man åstadkomma en bredare skärspalt för att assistgasflödet skall kunna nyttjas optimalt. Detta kan åstadkommas om laserkällan har ett högt BPP [Beam Parameter Product] -värde eller laserstrålens defokuseras på plåtytan. Båda dessa angreppssätt innebär emellertid att energidensiteten i fokuspunkten minskar och därmed krävs en laserälla med hög effekt. Om man däremot använder en ringformad energifördelning på plåtytan kan man upprätthålla en bred skärspalt men samtidigt ha

en hög energiintensitet riktad mot själva processområdet.

Därefter presenterade Herrn **Pang** några olika koncept för att kunna skapa en ringformad energifördelning [Fig. 1]. En sådan kan skapas med hjälp av;

- Optisk fiber med en ringformad kärna typ Trumpf-konceptet "BrightLine"
- Diffraktiva optiska element där den maximala energin i ringen begränsas till max. 90% av totalenergin
- "Axicon" eller "Inverse Axicon", koncept som vanligtvis används vid laserskärning av transparenta material
- "Axicon Telescope"

Den senare bedömde Herrn **Pang** som den mest lovande då "Axicon"- och "Inverse Axicon"-varianterna inte innebar bättre snittkvalitet jämfört med konventionell laserskärning med en singular fokuspunkt, men påpekade samtidigt att konceptet är extremt känsligt för fellinjering som exempelvis parallellförskjutning



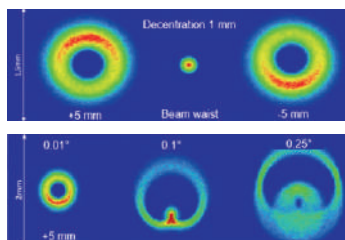
Figur 1. Strålkastiken vid olika optiklösningar för att skapa en ringformad energifördelning; frv. optisk fiber eller diffraktiv optik, "Axicon", "Inverse Axicon" samt "Axicon Telescope".

eller vinkelavvikelse mellan laserstråle och teleskopets längdaxel [Fig. 2], samt för placeringen av kollimeringslinsen.

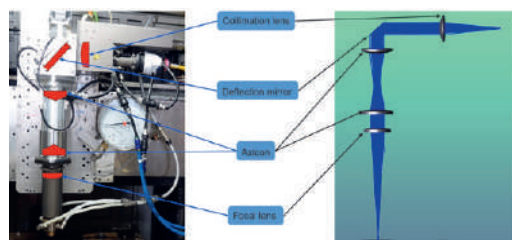
Laserskarningen med "Axicon Telescope"-varianten hade utförts på 10 mm tjockt rostfritt material med 8 kW lasereffekt, distribuerad genom en 200 µm grov fiber, och med Nitrogen som assistgas med ett tryck på 22 bar. Avståndet mellan skärmunstycket och plåten var 300 µm och skärnittskvaliteten hade bedömts i förhållande till skärhastigheten. Med fokalpunkten placerad 6 mm ner i materialet erhöles helt gradfria skärnitt. Vid en fokalpunktspositionering strax ovanför plåtytan låg Rz-värdet under 50 µm med grader <200 µm, medan då fokalpunkten låg 4 mm ovanför plåtytan fick man det lägsta Rz-värdet på 37 µm [Fig. 3]. Presentationen avslutades med några simuleringar ur vilka Herrn Pang drog slutsatsen att den branta skärfronten i kombination med en hög smälttemperatur, som leder till en lägre viskositet hos det smälta materialet, bidrog till de gradfria skärnitten.

Att använda sig av laserskarning då man skall montera ner delarna hos uttjänta kärnkraftanläggningar har vi hört berättas om tidigare genom TWI [The Welding Institute, Abington] -kollegorna Dr. Paul Hilton och Ali Khan. Mer än 600 kärnkraftverk över hela världen är planerade att nedmonteras, och bara i Tyskland skall 21 sådana vara demonterade redan 2021. Nu har forskarna vid LZH [Laser-Zentrum Hannover] gått ett steg vidare genom att utföra skärprocessen under vatten för att minimera miljöskadliga emissionsutsläpp, något som Jan Leschke berättade om. Skärförsök hade genomförts på rostfritt 304-material med en tjocklek av 3 mm. Här för använde man en 16 kW Yb:YAG-disklaser med en strålkvalitet på 8 mm*mrad, kollimerings- och fokuseringslinser med vardera 200 mm brännvidd, samt en distributionsfiber med 200 µm diameter. Laserskarningen skedde i en vattentank med ett vattendjup kring 70 cm [Fig. 4]. Arbetsavståndet låg på 2 mm och såväl luft som Nitrogen användes som assistgas. Man hade upprättat en DOE [Design Of Experiments] med 4 variabler och 4 responsparametrar [Tab. 1].

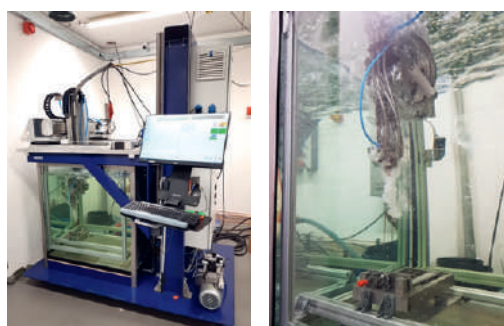
Från resultaten kunde Herrn Leschke dra slutsatsen att effekt och gastryck har störst påverkan på mängden avverkat material medan inverkan av munstycksdiameter för assistgastillförseln var av underordnad betydelse. Sålunda gav hög lasereffekt och lågt gastryck den minsta mängden avverkat material, men å andra



Figur 2. Experimentell uppställning och princip för "Axicon Telescope", där upplinjerings av de båda "Axicon"-linserna i förhållande till teleskopets längdaxel är viktig. Vid parallellförskjutning eller vinkelavvikelse (t.h.) förändras den ringformade energifördelningen.



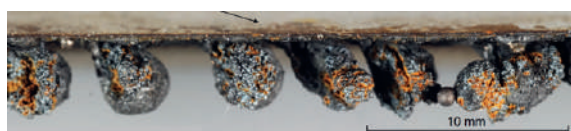
Figur 3. Några gradfria skärnitt på 10 mm tjock rostfri plåt utförda med "Axicon Telescope" och en ringformad energifördelning. Placeringen av fokalpunkten påverkar snittkantens ytjämnhet, och bäst resultat ($R_z = 37 \mu\text{m}$) erhöles med densamma placerad 4 mm ovanför plåtytan.



Figur 4. Försöksutrustningen vid LZH som användes vid skärförsöken under vatten, och närmast en detaljbild av vattentanken under pågående laserskarning.

Variabel		Responsparameter
Lasereffekt	2-4 kW	Vikten avverkat material per meter
Assistgastryck	0,25-3,75 bar	Mängden kvarstående slagg per meter
Skärhastighet	0,3-0,9 m/min	Skuren yta över 140 mm skärlängd
Munstycksdiameter	1,4 och 2,7 mm	Slaggtyp

Tabell 1. Variabler och responsparametrar för den DOE som upprättades inför försöken att laserskära rostfritt material under vatten.



Figur 5a. En hög andel fastsittande slaggprodukter blir resultatet vid skärning med hög lasereffekt (4 kW) och lågt gastryck (0,5 bar).



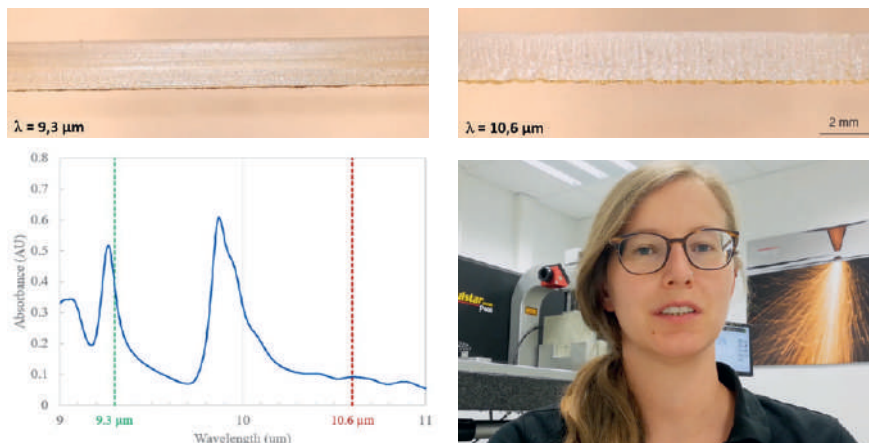
Figur 5b. För att minimera slaggformering bör laser-skärningen ske med hög effekt (4 kW) och högt gastryck (3,5 bar).

sidan mycket fastsittande slaggprodukter [Fig. 5a]. Dessutom, i fallet då Nitrogen användes som assistgas, vilket i motsats till att använda luft inte ger någon exotermisk reaktion, gick det inte att nå full penetration vid gastryck under 0,75 bar. Om huvudsaken är att undvika slaggformering bör såväl effekt som gastryck sättas högt [Fig. 5b]. Motsvarande ger en hög skärhastighet minst materialavverkning, medan en låg hastighet är bäst om man vill undvika uppkomsten av slagg. I jämförelse

med andra metoder var laserskarning den som gav avsevärt minst föroreningar eller 1,6 g per skuren meter, att jämföras med 35,5 g/m om en bandsåg används och 445-1.110 g/m för vattenstråleprocessen, vilket för den sistnämnda då inkluderar det abrasiva pulver som metoden kräver. CO2-lasrar har inom industrin succesivt kommit att ersättas av disk- eller fiberlasrar. Dock finns fortfarande områden där denna gasbaserade lasertyp har uppenbara fördelar, och en dessa är vid laserskarning

av polymera material. Detta var något som framgick av den presentation som gavs av Dr. Julia Janik från Novanta. I denna företagsgrupp ingår också Synrad, ett företag som den minnes gode läsaren flitigt konfronterades med i den artikelserie om mikrobearbetning som förekom i LaserNytt för några år sedan. Synrad har specialiserat sig på CO₂-lasrar med relativt låga effekter och våglängder kring 9,3 µm, vilken visat sig ha hög absorption i polymera material som exempelvis polykarbonater [PC, **Fig. 6**] som förekommer i många produkter avsedda för bil- och medicinindustrin. Den mer ”normala” CO₂-våglängden 10,6 µm har avsevärt lägre absorption i PC vilket leder till missfärgning av materialet och en låg snittkantskvalitet p.g.a. en ökande uppsmältning då skärhastigheten måste sättas låg för att få full penetration! Detta innebär därmed att skärhastigheten blir 30% lägre jämfört med den kortare våglängden. Materialets huvudsakliga fördelar är dess höga slagtalighet och -seghet, hög värmeresistens samtidigt som det är transparent.

Frau Janik redogjorde för en parameterstudie där man utfört skärförsök på tre varianter av materialet Makrolon®; basvariant, en UV [UltraViolet] -stabil version och en brandsäker dito, med en tjocklek på 2 mm. Vid de experimentella försök som genomfördes vid utvecklingslaboratoriet i Garching använde man en laserkälla av typen ”Pulsar p400” med 9,3 µm våglängd och en 3,75” fokuseringslins som gav en fokuspunkt med 160 µm diameter. Medel-effekten hölls konstant på 100 W medan pulsfrekvens, skärhastighet och assistgastryck utgjorde variabler. Såväl tryckluft som Nitrogen utvärderades som assistgas. Under försöken varierades endast en parameter åt gången, varför olika samverkans-effekter inte gick att registrera. Vad gäller assistgasen, som varierades mellan 1-4 bar, kunde man fastlägga att högre gastryck gav ett renare skärnitt då smält material lättare drivs ut ur skärspalten. Däremot gick det inte att se någon skillnad beträffande den använda assistgastypen. Då det gällde puls-frekvensen, som varierades upp till 50 kHz, såg man att snittkantens missfärgning i princip försvann vid den högsta frekvensen [**Fig. 7a**]. Detta förklaras av att kyleffekten från assistgasen förbättras och leder till en snabbare stelning av det smälta materialet. Högre skärhastighet gav en bättre snittkvalitet [**Fig. 7b**], vilket förklarades med att vid låga hastigheter får gasen längre tid att interagera med smältan samtidigt som materialet exponeras för laserstrålen under en längre tid vilket ökar uppsmältningen



Figur 6. Applikationsingenjör Julia Janik från Novanta berättade om försök med laserskärning av polykarbonater utförda i laboratoriet i Garching (München) med en CO₂-laser med våglängden 9,3 µm, vilken har en överlägsen absorptionsförmåga i nämnda material.



Figur 7a. Frekvensens inverkan på skärnittskvaliteten; fr.v. 1, 10 och 50 kHz. Konstanta parametrar var 100 W effekt, 4 bar assistgastryck och 70 mm/sek skärhastighet.



Figur 7b. Skärhastighetens inverkan på skärnittskvaliteten; fr. v. 70, 30 och 20 mm/sek. Konstanta parametrar var 100 W effekt, 4 bar assistgastryck och 50 kHz frekvens.



Figur 7c. Skärnitten för de tre Makrolon®-varianterna; fr.v. bas, UV-stabil och brandsäker, där den sistnämnda får en sämre snittkvalitet p.g.a. karbonisering av ingående additiv. Konstanta parametrar var 100 W effekt, 4 bar assistgastryck, 50 kHz frekvens och 70 mm/sek skärhastighet.

av detsamma, något som resulterar i en ackumulering av missfärgat material i skärnittets nederkant. De tre versionerna av Makrolon® uppvisar likvärdig absorption av laserljuset, men för den brandsäkra versionen lyckades man inte nå acceptabel snittkantskvalitet beroende på karbonisering av de additiv som ingår i detta material [**Fig. 7c**]. Fortsatta experiment är avsedda att kartlägga om de här vunna kunskaperna kan överföras på grövre materialtjocklekar mellan 3-5 mm, samt om lämpliga tillsatser i PC-materialet kan göra att snittkantskvaliteten vid laserskärning kan förbättras ytterligare.

Lasersvetsning

Några intressanta presentationer kring lasersvetsning förekom också, och låt mig börja med den som gjordes av Goran Jovic, en industridoktorand hos Robert

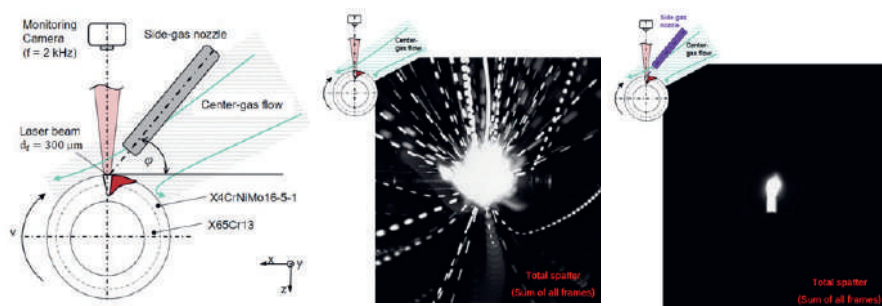
Bosch GmbH, som handletts av min gode vän professor Stefan Böhm vid Universität Kassel. Han hade studerat hur man kunde reducera svetssprutet vid djup penetrationssvetsning genom att förutom den normala skyddsgasen applicera ett riktat gasflöde från sidan, något som är betydligt gynnsammare ur kostnadssynpunkt jämfört med andra möjliga lösningar för svetssprutreduktion. Den riktade gasstrålen skjuter smältan bakåt i svetsriktningen och på så sätt vidgas nyckelhålet. I försöken användes en TruDisc1000-laser från Trumpf där laserstrålen fokuserades till en 300 µm stor brännfläck. Variabler var lasereffekt [525-975 W], svets-hastighet [1,5-5,0 m/min] och fr det extra gasflödet; gastyp [N₂, He, Ar, luft] och tryck [0-8 kPa]. Detta extra gasmunstycke hade en utlopps-diameter på 800 µm och var placerat i en vinkel på 50°

relativt laserstrålen och på ett avstånd av cirka 5 mm. Provkropparna utgjordes av ett mindre rör i X65Cr-material placerat inuti ett större sådant där materialet i det senare var X4CrNiMo 16-5-1. På så sätt kunde svetsningen utföras med en stationär laserstråle och ett medurs roterande provobjekt [Fig. 8]. Med ökat gastryck minskade svetssprutet men på bekostnad av penetrationsdjupet då smältan pressas bakåt och den tillförda laserenergin utnyttjas sämre i smältprocessen. Dock krävs en kombination av de två gasflödena ty då endast det riktade gasflödet användes fick man en hög andel sprutpartiklar och dessutom s.k. humping.

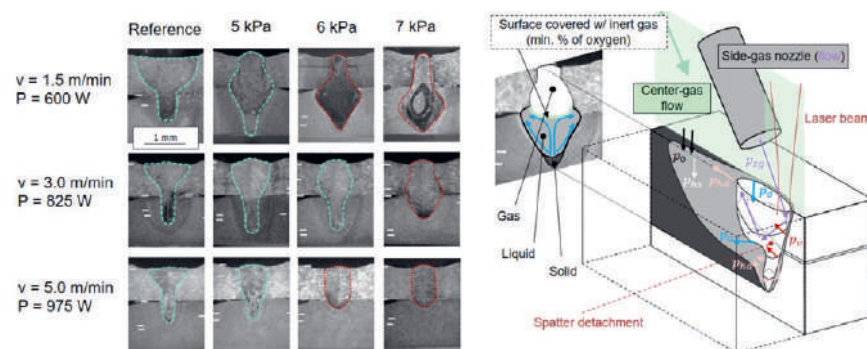
Tvärssnittsanalysen gav vid handen att man fick en utbuktning i mitten av svetsprofilen i motsats till den mer vanliga nålformen [Fig. 9]. Någon uppenbar skillnad mellan de inerta gastyperna kunde inte upptäckas, medan om luft användes som riktad gas fick man avsevärt mera svetssprut. Avslutningsvis presenterade doktorand Jovic en avancerad simuleringsmodell där man kunde se att det under processen bildades ett hålrum i nyckelhålets botten, något som han menade var ett skäl till att svetssprutet kunde reduceras.

Laserhybridsvetsning av tjocka plåtar har ju varit ett tema för BAM [Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung], med huvudsäte i Berlin, i många år under överinseende av professor Michael Rethmeier. Nu fick vi en uppdatering i ämnet från en av hans forskarkollegor, diplomingenjören Ömer Üstündag. Hans redogörelse handlade om rörsvetsning där det klassiska problemet är svetsavslutet som vanligtvis sker överlappande i förhållande till den punkt där svetsningen påbörjas. Om lasereffekten slås av abruptt uppstår ett hål i svetsen, medan om man använder sig av s.k. ramp down av densamma får man en grundare penetration vilket i sin tur kan leda till varmsprickor p.g.a. temperaturskillnaderna mellan smältan och underliggande och opåverkat kallare grundmaterial [Fig. 10].

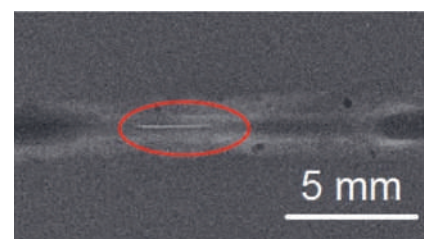
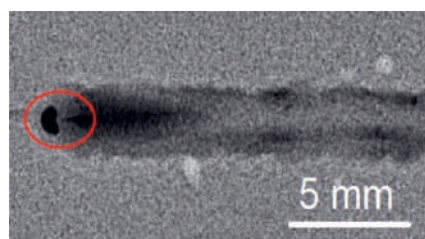
I försöken hade svetsdefekternas position delats in i tre områden; vid svetsens toppyta, i roten samt mitt i svetsen. Den första dominerades av ljusbågsprocessen medan de övriga påverkades mest av laserens processparametrar. Försöksutrustningen bestod av en TruDisc16002-laser medan strömkällan för MAG [Metal Active Gas]-processdelen var av typen Qineo Pulse 600. Vidare ingick svetsverktyget BIMO från HighYag II-VI och tillsatstråden var i material G3Ni med en diameter på 1,2



Figur 8. T.v. den schematiska uppställningen för svetsförsöken där det extra riktade gasflödet medför betydligt mindre svetssprut (längst t.h.)



Figur 9. Med det extra gasflödet får man en utbuktning i mitten av svetsprofilen, något som kunde valideras i en avancerad simuleringsmodell där man också kan se att det bildas ett hålrum i nyckelhålets botten, vilket skulle kunna vara en förklaring till det minskade svetssprutet.



Figur 10. Typiska svetsavslutsdefekter vid laserhybridsvetsning av 8 mm tjocka rör i material X70. De hål som uppstår i svetsen då lasereffekten stängs av abruptt (t.v.) kan undvikas genom s.k. ramp down av densamma. Dock kan det avtagande penetrationsdjup som då uppstår leda till varmsprickor (t.h.).

mm. Rörmaterialen var dels X100Q med en vägg tjocklek på 9,5 mm, dels S460NH i vägg tjocklekarna 12 och 15 mm. Strålprofilen hade uppmätts vid 2 kW effekt med Ophir Spiricons verktyg BeamWatch®. Olika fokuspunktslägen hade utvärderats såsom $z = 0$ som gav en fokuspunktsdiameter på 560 μm på arbetsstycket, samt olika grader av defokusering upp till $z = +80$ mm. Typiska parametervärden vid hybridsvetsning av rören med 12 mm vägg tjocklek var 12,5 kW lasereffekt, 2 m/min i svetshastighet, en trådmätning kring 10 m/min och en defokusering på 60 mm. De bästa resultaten erhöles vid en kombination av neddrampning av lasereffekten och defokusering av laserstrålen. Då kunde helt por- och sprickfria svetsar åstadkommas vilka kunde klassificeras som kvalitetsnivå "B" enligt EN ISO 12932 [Fig. 11]. Andra slutsatser och rekommendationer

var att tiden för neddrampning av effekten skall hållas kort [200-300 μs] för att inte få droppformering på rotsidan, och att överlappslängden vid svetslutet bör ligga inom intervallet 10-20 mm för att undvika att varmsprickor uppstår [Fig. 12].

En annan presentation om laserhybridsvetsning av tjocka plåtar genomfördes av professor Alexandre Mathieu från Universitet Bourgogne, men här hade laserstrålen defokuserats till en 6 mm brännfläck på ytan och användes enbart för att förvärma substratyten. Själva svetsningen utfördes med en DCEP [Direct Current Electrode Positive]-pulsad bågsvetsmetod där transferingsmoden var av typen "Streaming Spray Free Flight". Provmaterialet var ett solitt block i 18MND5-stål i vilket man gjort ett urtag som mätte 12x50 mm. I varje skikt av svetsen lades två strängar som innebar en tjocklek på 3 mm och

totalt utfördes 5 skikt. Tillsatsstråden, som hade en diameter på 1,2 mm, var av en ferritisk legering bestående av bl.a. Mangan, Molybden samt Vanadin, och själva svetsprocessen höghastighetsfilmades med 4.000 fps [frames per second]. Konstanta parametrar var skyddsgasblandning [Ar/CO₂ 82/18%], trådutstick [18 mm] och trådmattningshastighet [12 m/min]. Variabler var fokalpunkts position i förhållande till urtagets vertikala vägg och dess läge i förhållande till trådutsticket, samt det senares position relativt vertikalgväggen [Fig. 13]. Lasereffekten varierades mellan 1-6 kW och framföringshastigheten mellan 0,7-1,0 m/min. Olika samverkansfaktorer hade bedömts och bland de mest intressanta var att med ökande trådutstick, och därmed kortare båglängd, krävs lägre laserenergi samtidigt som svetshastigheten ökar [Fig. 14], samt att smältans bredd ökade vid ett tilltagande avstånd mellan trådutsticket och den vertikala väggen i urtaget [L2].

Laserlödning

Laserlödning har blivit allt vanligare bland bilindustrins aktörer, och detta gäller inte minst inom Volkswagen-koncernen, där man nu även börjat införa laserlödning på sina transportmodeller vilka bl.a. tillverkas i Hannover. Nu berättade deras representant Steffen Wachsmuth om de undersökningar kring laserlödda fogars utmattningssegenskaper som man gjort. Två huvudsakliga krav föreligger; dels att fogen skall ha ett visuellt tilltalande utseende, men också att den skall kunna utföras inom föreskriven cykeltid, vilket kräver en relativt hög framföringshastighet. VW applicerar denna fogningslösning vid bl.a. takpanelens koppling till karossidorna, och ur kostnadssynvinkel eftersträvar man att byta ut det elektrolytiskt applicerade korrosionsskyddande zinksiktet på karosstaket mot billigare varmförzinkningsalternativ. Detta har emellertid medfört svårigheter att innehålla utseendekravet på lödfogen, och i de nu redovisade försöken hade man jämfört en s.k. MagiZinc [MZ]-beläggning, som appliceras genom en varmförzinkningsprocess där zinkbadet innehåller små tillsatser av Magnesium, med en elförzinkad beläggning. Utmattningsprovet hade utförts som böjbelastning [R = 0,1] på en speciellt utformad geometri bestående av två stycken vinkelformiga plåtar i mjukt stål med en tjocklek på 0,75 mm och den lodtråd som användes vid provstavstillverkningen var av legeringstyp CuSi3Mn med en diameter på 1,2 mm. Det

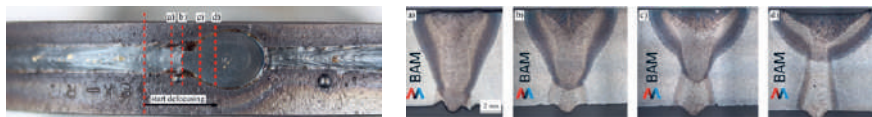


Figure 11. Effekten av defokusering av laserstrålen från $z = 0$ till $z = +40$ i kombination med "ramp down" av lasereffekten över en avslutande svetslängd på 15 mm ger helt defektfria svetsar i 9,5 mm grovt rörmaterial.

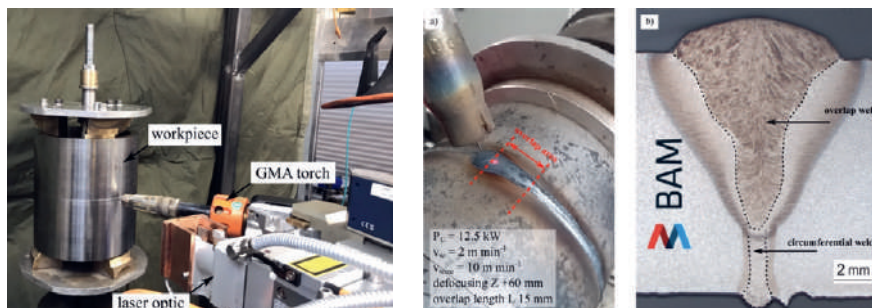


Figure 12. T.v. försökupställningen vid BAM och t.h. detalj från ett laserhybridsvetsat rör med 12 mm vägg tjocklek. Den använda lasereffekten uppgick till 12,5 kW, framföringshastigheten var 2 m/min och laserstrålen hade defokuserats till +60 mm under den 15 mm avslutande svetslängden.

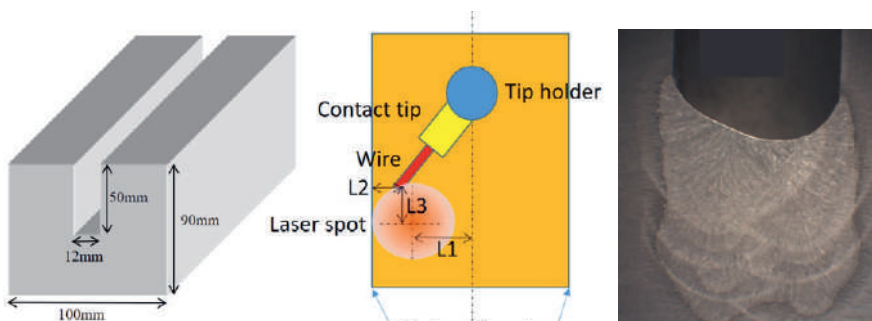


Figure 13. T.v. provobjektets geometri med det urtag som simulerade svetsfogen. I mitten ses de tre lägesmätt som varierades för trådutstick och laserstrålens fokalpunkt, och t.h. ett tvärsnitt genom urtaget med ett antal lagda svetssträngar.

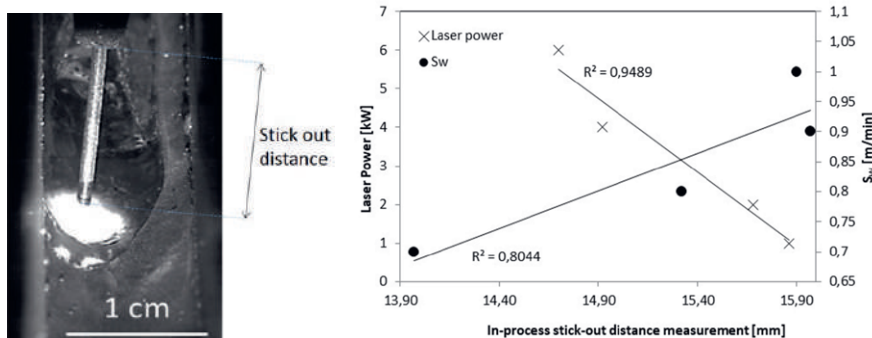


Figure 14. Diagrammet visar hur en variation av trådutsticket påverkar lasereffekt och processhastighet vid laserhybrid-svetsning.

som bestämmer lastöverföringen mellan de båda plåtarna är tjockleken [SN, Fig. 15] på lödfogen och det finns en relation mellan detta värde och den använda lasereffekten.

Lasereffekten hade därför varierats i försöken utifrån ett startvärde som resulterade i en visuellt acceptabel lödfog, och detta värde visade sig vara lägre för de elförzinkade plåtarna jämfört med de MZ-belagda, eller 2,3 kW mot 3,5 kW, beroende på den mer reflektiva ytan hos de senare. För startvärdena var kvaliteten likvärdig för de två ytbeläggningarna, men då lasereffekten

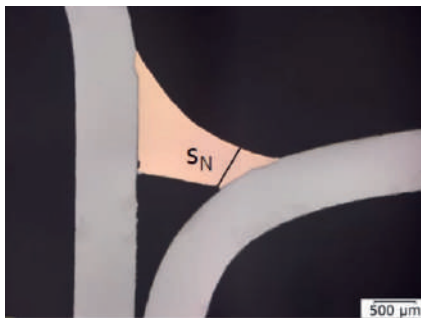
ökades eller sänktes visade sig MZ-beläggningen ge ett sämre synintryck jämfört med el.zink-varianten, och vid högre effekter fick man även sporadisk genombränning. Vad gäller den lastöverförande tjockleken hos lödfogen ökar den med tilltagande lasereffekt för el.zink-alternativet medan den tycks vara i stort sett konstant för MZ-tytan [Fig. 16]. Utmattningshållfastheten ökar med tilltagande lasereffekt för båda ytbeläggningarna men blir mer uttalad för den elektrolytiska då denna ju uppvisade ett starkare samband mellan

effekt och lödfogens tjocklek. I samtliga fall skedde utmattningsbrottet i själva fogen! Herrn **Wachsmuth** menade att ett sätt att förbättra hållfastheten i fogen kan vara att använda en grövre tillsatsråd [Ø 1,6 mm] för att därigenom öka tjockleken hos den lastöverförande lödfogen [SN].

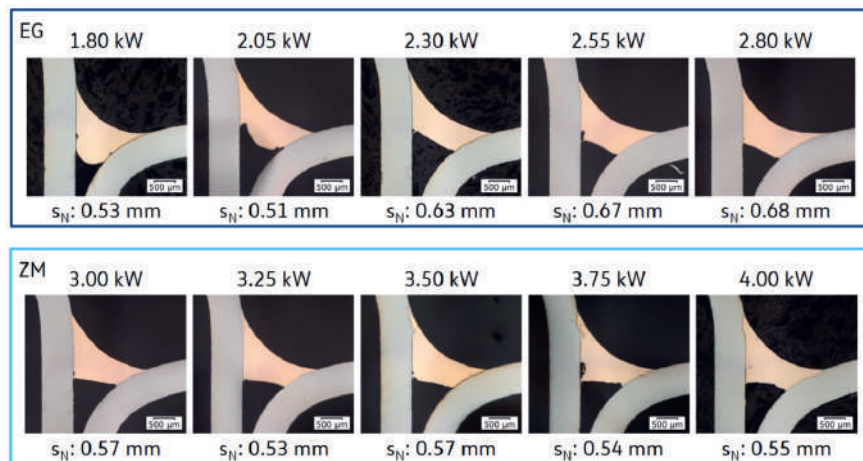
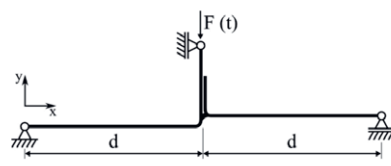
Vid EALA [European Automotive Laser Applications Workshop] -konferensen 2018 visade Christoph Mittelstädt från BIAS [Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik] upp några lovande resultat från laserlödning av zinkbelagda plåtar där trådtillförseln reverserats enligt CMT [Cold Metal Transfer] -principen. Detta gjorde att lödfogens kvalitet förbättrades i så motto att fogens kanter blev betydligt jämnare i jämförelse med då en kontinuerlig trådmattning används vid laserlödning av varmförzinkade plåtar. Denna något svårförklarliga effekt gjorde att jag föreslog **Christoph** att studera fenomenet i detalj, vilket ledde till att man under hösten kunde starta det IGF [Industrielle GemeinschaftsForschung] -finansierade projektet "LoKal" [Laserstrahlloten mit oszillierendem Kaltdraht zur Verbesserung der Nahtqualität]. Projektet befann sig nu i sin slutfas varför det var lämpligt att presentera uppnådda resultat vid LANE-konferensen, en uppgift som fallit på den nuvarande projektledaren Herrn Thorsten **Mattulat**.

Den experimentella utrustningen utgjordes av en TruDisc12002-laser från Trumpf, Scansonics lödverktyg ALO3 och en trådmatarenhet från Dinse med beteckningen HDD. Den longitudinella oscilleringen av tråden skedde med olika frekvenser mellan 62-250 Hz och varierande amplitud varpå jämnheten hos lödfogens kanter mättes kvantitativt med hjälp av ett ljusmikroskop [Fig. 17]. Konstanta parametrar vid försöken var 2,75 kW lasereffekt, framföringshastighet och trådmattning 3 m/min, samt fokuspunktens diameter som var satt till 2,4 mm. Det representativa plåtmaterialet var en mjuk kvalitet [DX56D] med en zinkbeläggning på 100 g/m². Lödförsöken utfördes i form av BOP [Bead-On-Plate] med en 1,2 mm grov tillsatsråd av den vanligtvis använda kvaliteten CuSi3Mn1.

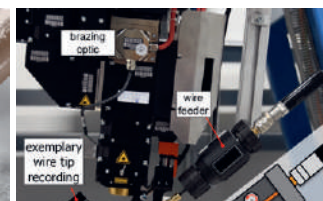
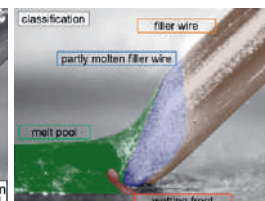
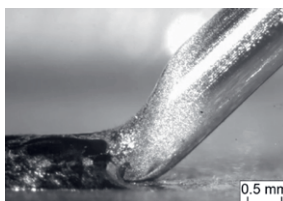
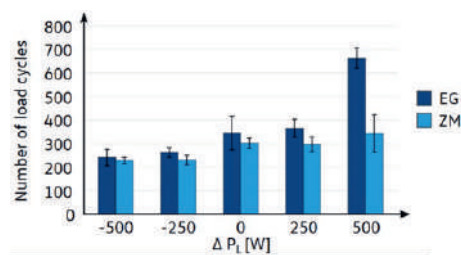
Oscillering tycks medföra en mer homogen vätning av substratyten, men det är viktigt att påpeka att denna vättningsprocess måste överensstämma med framföringshastigheten varför oscilleringsfrekvens och -amplitud måste korreleras. D.v.s. vid höga frekvenser måste amplituden sättas låg och vice versa. Den bästa kantkvali-



Figur 15. T.v. den speciellt utformade provstavgeometri som VW utvecklat för att utmattningsprova laserlödda fogar, och t.h. tvärsnitt genom en sådan där lastöverföringen beror på tjockleken hos lödfogen (SN).



Figur 16. Lödfogens lastöverförande tjocklek tilltar med ökande lasereffekt för elförzinkade plåtar, medan sammalunda inte tycks gälla för de ZM-belagda, där en ytterligare ökning av effekten enbart leder till uppsmältning av grundmaterialet. Denna skillnad visade sig också vid utmattningsprovningen (t.h.).



Figur 17. Bilder från höghastighetsfilmning av en laserlödningsprocess med reverserad trådtillförsel, och t.h. den använda försökuppställningen med en principskiss över den longitudinella oscilleringen av tillsatsråden.

tén erhöll man vid den högsta frekvensen på 250 Hz och en rimligt låg amplitud av 0,11 mm [Fig. 18], vilket innebar en 26%ig kvalitetsförbättring i jämförelse med en kontinuerligt matad tråd.

Herrn **Mattulat** fick några frågor kring sprutbenägenheten vid denna form av trådoscillering, och här var svaret att visst sprut förekom, vilket kanske inte var förvånande då man använt varmförzinkat material, men detta var något som inte varit fokus i "LoKal"-projektet. Johannes **Heberle** från blz [Bayerisches LaserZentrum] undrade om oscilleringsfrekvenser över 250 Hz kunde ge ännu bättre kant-

kvalitet, men Herrn **Mattulat** menade att då måste amplituden sättas så låg att detta fick en negativ inverkan på kvaliteten.

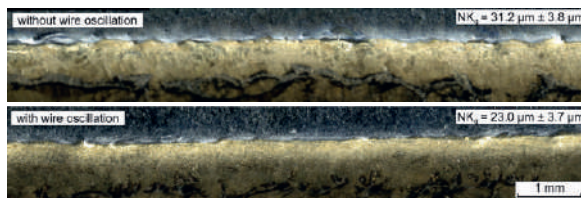
Andra laserprocesser och -utrustningar

Utöver de ovannämnda, välbekanta industriella laserprocesserna visades på några andra intressanta användningsområden, och här vill jag börja med den redogörelse som **Junfeng** Wu från AVIC Manufacturing Technology Institute i Peking presenterade kring penning med kortpuls-laser. Applikationen utgjordes av en komponent till en flygplansvinge i materialet AA2024-T351 med en godstjocklek på 25

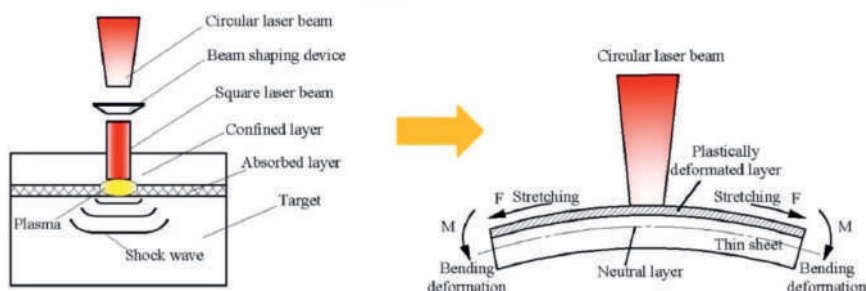
mm. En sådan kulpenas vanligtvis för att forma komponenten och öka dess styvhet och styrka, men då en sådan process är oregelbunden resulterar den samtidigt i oönskade formförändringar och en grov ytsstruktur. Därför hade en laserbaserad lösning studerats, där laserpulser genererade chockvågor i materialet så att man istället kunde skapa en korrekt form och en mycket slät yta [Fig. 19]. Energin i laserpulserna var 30 J och de utfördes med en frekvens på 2 Hz och en pulslängd på 15 ns.

I de basala försöken flyttades den 4×4 mm stora fokuspunkten över substratet i steg om 3,8 mm. Intrycksdjupet från laserpulserna låg mellan 49–53 µm, vilket innebar att Ra-värdet ökade från 0,187 till 0,416 µm. En efterföljande hårdhetsmätning gav vid handen att materialet påverkades ner till ett djup på 2,1 mm [Fig. 20], och mikrohardheten på ytan ökade med 18,6%, från grundmaterialets 140 Hv till 166 Hv. Däremot gick det inte att upptäcka några förändringar i mikrostrukturens kornstorlek. Böjdeformationen registrerades upp till 10 repetitioner av den laserbaserade penformningsprocessen då ett mättnadsvärde tycktes uppstå. Då hade provobjektets globala radie minskat från 10.500 mm till 5.000 mm, vilket indikerar en bredare användningspotential av metoden jämfört med den traditionella kulpeningen som ger en begränsad formbarhet.

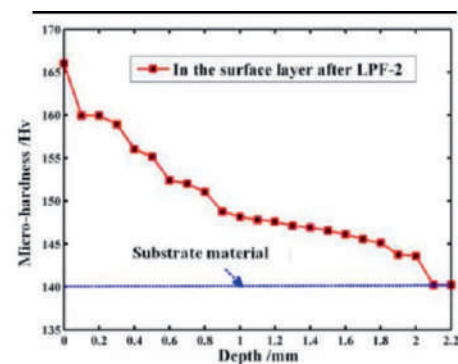
På senare tid har vi sett ett antal s.k. kombinationsprocesser som baseras på olika former av laserbearbetning, och här presenterade doktorandstudenten Endalkachew **Aragaw** från Chemnitz Universität och Fraunhofer IWU [Institut fr Werkzeugmaschinen und Umformtechnik] en sådan. Det rörde sig om laserhrdning och efterföljande texturering av ett formverktyg tillverkat i verktygsstål 1.2379 [X153CrMoV12]. Den första åtgärden gr för att förlänga verktygets livslängd och den sistnämnda med avsikt att förbättra smörjningen genom att skapa vad Herrn **Aragaw** kallade mikroreservoarer som kan hålla smörjmedlet på plats i verktyget. Under härdningsprocessen r det viktigt att temperaturen hlls strax under det bearbetade materialets smältpunkt men över dess austenitiserings-temperatur, varpå ytan fr sjlvhrda under avsvälning. Fr denna process användes en fiberlaser med 1.064 nm våglängd med kapacitet för pulsfrekvenser upp till 1 MHz. Strål kvalitt var M2 = 1,5 och i kombination med en fokallängd på 160 mm skapades en 43 µm stor fokuspunkt på substratyten.



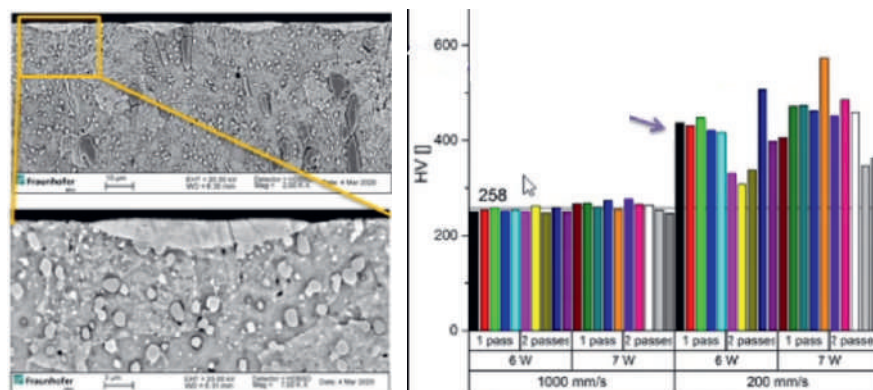
Figur 18. Den uppenbara kvalitetskillnaden mellan en ldfog som utfrds utan oscillering (verst) och den nedre där tillsatsstrden oscillerats med 250 Hz frekvens och en framfringsamplitud på 0,11mm.



Figur 19. Denna typ av penformning med laser kan sägas vara en vidareutveckling av den redan etablerade tekniken med laser-chockpening (t.v.).



Figur 20. Vid pening med laserpulser som har ett energiinnehåll kring 30 J påverkades den använda legeringen AA2024-T351 ned till ett djup av 2,1 mm då processen upprepas två gånger, samtidigt som ythårdheten ökade från 140 till 166 Hv.



Figur 21. Med 6 W lasereffekt och en processhastighet på 200 mm/sek fick man den mest stabila hrdhetskningen, men den egenskapen sjönk drastiskt vid en andra passage. T.h. SEM-bilder tagna genom materialet vid den optimala parameterinställningen.

Den experimentella delen av hrdhetsunderskningen föregicks av avancerade simuleringar för att hitta de mest optimala processparametrarna. Två olika effektnivr [6 och 7 W] och två processhastigheter [200 resp. 1.000 mm/sek] provades vid en pulslängd kring 200 ns [nano-sekund = 10⁻⁹ sekund]. Den högre framföringshastigheten gav inget tillskott till materialets ursprungliga hårdhet på 258 Hv, medan den lägre effekten vid låg processhastighet gav den mest stabila hrdhetskningen

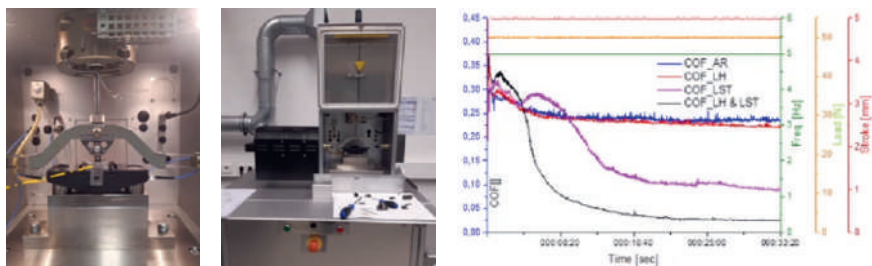
vilken uppmättes till 430 Hv. Detta var resultatet vid en singular passage. Om en sekundär sådan utfrds sjönk hårdheten på substratyten [Fig. 21].

Samma fokuspunktstorlek, 43 µm, hade använts vid textureringen av formverktygets kontaktyta men då i kombination med betydligt kortare pulser på 10,1 ps [piko-sekund = 10⁻¹² sekund]. För den operationen användes en fiberlaser med 532 nm våglängd, en nominell lasereffekt på 2 W, 200 mm/sek i processhastighet och

606 kHz pulsfrekvens, vilket resulterade i en energidensitet på 6,9 J/cm². De på så sätt skapade intrycken i kontaktytan mätte 200 µm i diameter och djupet på dem uppgick till 12 µm. Vid tribologiproven användes ett smörjmedel med beteckningen "Beruform STE 5023". Då hårdning och yttexturering kombinerades kunde friktionskoefficienten vid den genomförda förslitningsprovet, i form av "pin on disc"-test [Fig. 22], sänkas från initiala 0,25 till blott 0,02!

Företaget ERLAS Erlanger Lasertechnik GmbH och dess verksamhet har ju beskrivits tidigare i olika nummer av LaserNytt [1-2011 och 3-2018]. Bland annat konstruerar och tillverkar man nyckelfärdiga arbetsstationer för olika typer av laserbearbetning, och vid LANE2020 presenterade Florian Seiler det senaste tillskottet i produktfamiljen; ERLASER® Universal. Det är en modulärt uppbyggd maskin med inte mindre än 13(!) numeriska axlar för positionering av arbetsstycke och laserstråle. Den senare kan manipuleras med en adaptiv teleskoplösning med tre sekventiella optiska element, och för svetsoperationer finns möjlighet att integrera ett numeriskt kontrollerat skanner-verktyg för svetsning "on-the-fly". Vidare finns en OCT [Optical Coherence Tomography] -skanner av typen "pre-objective" från företaget Lessmüller GmbH integrerad i teleskopverktöget [Fig. 23]. Denna fungerar som fogföljare och kan autonomt justera fokuspunktens läge, varför en mer exakt programmering av svetsbanan inte är nödvändig. Då denna återkoppling fortfarande är långsam, och gärna vill överkompensera vid den nya positioneringen, kan man idag inte utföra lasersvetsning med hastigheter som överstiger 4 m/min. Särskilt då verktöget skall följa en cirkulär bana blir OCT-signalen väldigt instabil [Fig. 24], något som man hoppas kunna begränsa genom att införa filter som exkluderar de mindre lägesavvikelserna. Ett annat problem som identifierats är att OCT-strålen i vissa positioner kan skugga fogen.

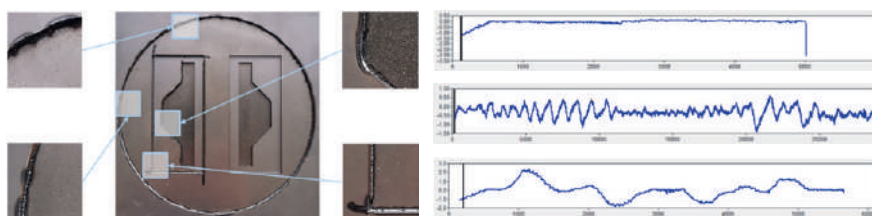
Avslutningsvis vill jag nämna några nyheter från Prima Power Laserdyne som presenterades av tidigare Lumonics-medarbetaren Mohammed [Mo] Naeem. En av dessa var SmartRampTM som kombinerar rampning av effekt och svets hastighet för att undvika stopphål och anvisningar i slutet av en svets, defekter som avsevärt kan försämma dess kryp- eller utmattningssegenskaper [Fig. 25]. Dylika defekter är ej heller önskvärda då täthetskrav på svetsen före-



Figur 22. T.v. utrustningen för "pin on disc"-test med vars hjälp det går att mäta friktion och förslitning av en verktygsyta. Diagrammet t.h. visar lägst friktionskoefficient då laserhårdning och -texturering kombineras (svart kurva). Övriga kurvor anger friktionen för "as received"-material (blå), enbart laserhårdad (röd) samt enbart lasertexturerad (rosa).



Figur 23. Den modulärt uppbyggda arbetsstationen ERLASER® Universal med 13 numeriska axlar för manipulering av laserstråle och arbetsstycke. T.h. det adaptiva svetsverktöget med integrerad OCT-funktion för fogföljning.



Figur 24. OCT-signalen blir instabil vid vissa geometrier såsom vid cirkulära fogar (signalen i mitten t.h.) och i hörn då OCT-strålen inte faller in vinkelrätt mot fogen (nederst t.h.). Då vill systemet gärna överkompensera fokuspunktsläget, något som ERLAS hoppas lösa genom att filtrera bort signalen vid ytterst små lägesavvikelser.



Figur 25. Ovan Prima Powers SmartRampTM med vars hjälp det går att undvika s.k. stopphål vid cirkulära svetsgeometrier, och t.h. SmartShieldTM som ger ett effektivt gasskydd via två separata gasflöden.

ligger. SmartRampTM är en del i företagets styrprogram LASERDYNE S94P som finns integrerat i de fleraxliga arbetsstationerna LASERDYNE 795, LASERDYNE 430BD och LASERDYNE606D, och säkerställer ett konstant penetrationsdjup över hela svetsens längd.

Den andra innovationen har man valt att kalla SmartShieldTM och handlar om munstycksutformningen hos ett nytt svetsverktyg med två separata gasflöden som skyddar såväl smälta som optik utan att störa varandra. [Fig. 25] Genomförda försök visar på ett effektivt gasskydd vid svetsning av oxidationskänsliga material

såsom aluminium-, koppar- och titanlegeringar, samt nickelbaserade superlegeringar och rostfria stål i kvaliteterna 304 och 316. En viktig fördel med SmartShieldTM är att fokuspunktens storlek kan varieras och verktöget ställas om från svetsning till laserskärning eller -börning. ■

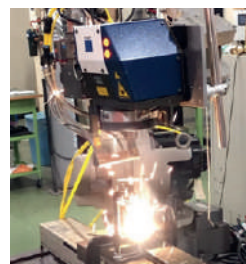
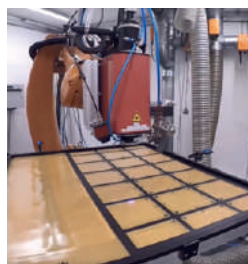


Även ICALEO-konferensen 2020 fick genomföras i en virtuell miljö

Rapport från 39th ICALEO, 19-20/10 2020



Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering



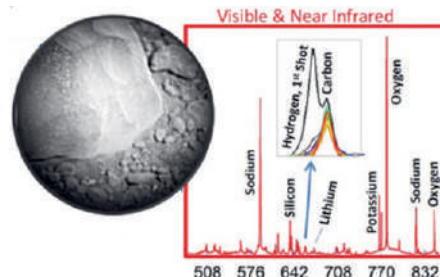
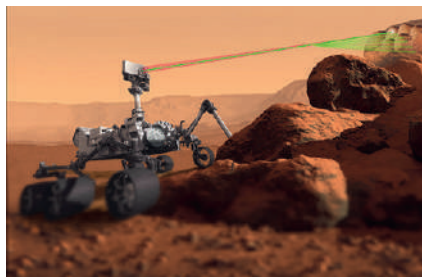
ICALEO [International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics] -konferensen är traditionellt ett fyradagarsevenemang där laserforskare från hela världen ges möjlighet att fysiskt mötas för att utbyta erfarenheter och idéer. Av förklarliga skäl gick detta inte att genomföra 2020 då viruset covid-19 och Corona-epidemin kom att prägla hela samhällslivet. Detta gjorde att ICALEO detta år, som var den 39:e upplagan i ordningen, fick göras om så att deltagarna kunde träffas virtuellt, något som LIA [Laser Institute of America], i samarbete med Omnipress, kunde genomföra på ett utmärkt sätt. Visserligen fick man banta ner programmet till två dagar, men dessa var fullpackade med intressanta föredrag och paneldiskussioner. Konferensen var indelad i fem huvudteman:

- LAM [Laser Additive Manufacturing]
- MACRO [Laser Macro Processing]
- MICRO [Laser Micro Processing]
- NANO [Laser Nano Manufacturing]
- FLA [Frontiers in Laser Applications]

Dessa teman genomfördes parallellt och var i sin tur uppdelade i olika sessioner. Det totala antalet presentationer uppgick till 124 stycken. 854 registrerade konferensdeltagare från 44 länder hade tillgång till i förväg inspelade presentationer, vilket gjorde att man inte riskerade att missa några föredrag i händelse av att de skulle ske parallellt i live-versionen. Det höga antalet delegater går att härleda till att konferensdeltagandet var gratis, då Trumpf GmbH + Co. KG generöst nog erbjöd detta som en marknadsföringsaktivitet för koncernen.

Plenar-sessionen inleddes av Dr. Ty **Olmstead** [Ocean Insight] som berättade om de framgångar som lasertekniken rönt inom s.k. biofotonik och vilka nya möjligheter som finns inom området i framtiden. Han följdes av Dr. Abdalla Nassar [Penn State University] vars föredrag handlade om kvalitetssäkring vid additiv tillverkning med metalliska pulvermaterial. Sessionens siste talare var professor Kenichi Ishikawa [The University of Tokyo] som diskuterade hur man med hjälp av vetenskapen kan utveckla samhället, och där han hade en personlig teori kring vad han kallade "smart lasertillverkning". Vid konferensens avslutning kunde vi lyssna till professor Jyoti Mazumder [Sensigma LLC] som i sin presentation diskuterade dåtid, nutid och framtiden för ämnesområdet additiv tillverkning. Till sist delade Dr. Nina Lanza [Los Alamos National Lab] resultaten från sin rymdforskning som innefattade hur man med laserbaserade analystekniker kan utforska planeten Mars [Fig. 1].

Två av dessa plenar-talare dök också upp i en av ICALEO-konferensens höjdpunkter, nämligen den live-sända paneldiskussion som modererades av en verklig laserpionjär, nämligen Dr. William **Steen** [University of Liverpool]. Han kunde leda en synnerligen engagerande diskussion tillsammans med sina gäster Dr. Aravinda Kar [University of Central Florida, CREOL (The College of Optics and Photonics)], Dr. Islam Salama [Intel Corporation], Dr. **Olmstead** och Dr. **Lanza**. Var och en av dessa är experter inom vitt skilda verksamheter med kopplingar till lasertekniken och kunde delge oss sina speciella kunskaper och perspektiv på framtiden,



Figur 1. Dr. Nina Lanza från Los Alamos National Lab berättade initierat om hur man med hjälp av LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy) och Raman-spektroskopi funnit rester av såväl väte som syre i bergarter på månen!

samt svara på frågor från övriga konferensdeltagare. Inledningsvis diskuterade man hur arbetet med lasrar har utvecklats under de senaste decennierna. Var och en beskrev sedan hur lasertekniken utvecklats inom sitt specialområde, varpå det hela avslutades med en intressant diskussion kring hur artificiell intelligens kan komma att spela en viktig roll i framtida laserbaserade tillverkningskedjor.

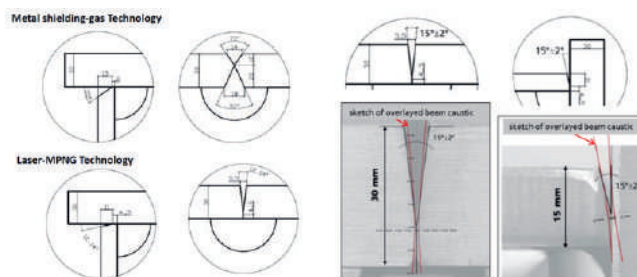
Jag kommer att begränsa min rapportering till de i mitt tycke mest intressanta presentationerna i temat "Laser Macro Processing". Denna del av konferensen sponsrades av Amplitude, Ekspla och Light Conversion, och som huvudordföranden agerade Dr. Masahiro Tsukamoto [Osaka University] och Verena Wippo [Laser Zentrum Hannover e.V.].

Laser Multi-Pass Narrow-Gap Welding of Large Steel Structures with Modern Diode Lasers

Dirk Dittrich, Fraunhofer Institute für Werkstoff und Strahltechnik

Vid svetsning av grövre stålstrukturer används idag vanligtvis olika bågsvetsmetoder såsom MAG [Metal Active Gas] eller SMAW [Shielded Metal Arc Welding]. Nackdelen med dessa tekniker är att de oftast fordrar någon form av förvärmning av arbetsstyckena, samt att de p.g.a. den höga värmetillförseln kräver efterföljande riktningsoperationer. Därför hade potentialen med Laser-MPNG [Multi-Pass Narrow Gap] undersökts. Förutom en lägre värmetillförsel kan fogberedningen förenklas och vid stumfogar behöver svetsningen enbart ske från en sida [Fig. 2]! Laserkällan som användes var en diodlaser från Laserline GmbH [LDF-10000-40] med 40 mm*mrad i strålkvalitet. Ett särskilt verktyg hade utvecklats hos samarbetspartnern Oscar-PLT [Plasma-Laser-Technology] GmbH som avskärmar laserstrålningen på ett säkert sätt vid arbete i öppna verkstadslokaler. Verktöget är försett med en trianguleringssensor som identifierar läge och utseende på fogen [Fig. 3]. Fokallängden uppgick till 250 mm och tillsatsstrådar upp till 2 mm diameter användes i de initiala försöken. Materialet utgjordes av konstruktionsstålet S355J2 med en tjocklek på 15 mm och såväl stum- som T-fogar hade svetsats framgångsrikt med 10 kW effekt från laserkällan [kvalitetsklass "B" enligt DIN 13919-1]. En intressant observation var den att hårdheten i svetsgodset ökade ju längre ner i svetsen den mättes, något som förklarades med; att för att fylla fogen åtgår mer tillsatsmaterial i den övre delen av svetsen, vilket då reducerar hårdheten i denna.

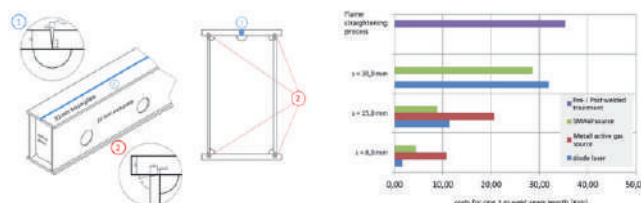
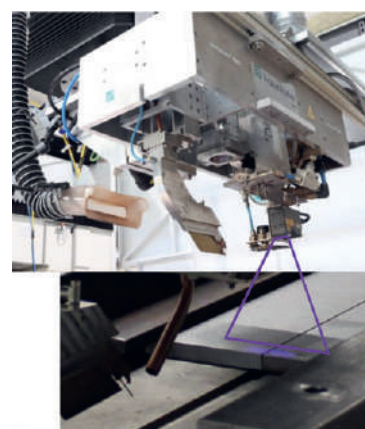
En demonstrator som efterliknade geometrin hos en kranarm hade tagits fram där såväl stum- som T-fogar utfördes med en processhastighet på 1 m/min, vilket är cirka 3(!) gånger snabbare jämfört med de bågsvetsmetoder som används för dylika applikationer. Plåttjockleken vid stumfogarna var 30 mm och här lyckades man fylla fogen med blott 7 passager, vilket innebär en besparing på 80% av tillsatsmaterial jämfört med MAG eller SMAW. En kostnadsjämförelse mellan olika svetsmetoder visade att vid plåttjocklekar kring 8-10 mm är Laser-MPNG den överlägset



Figur 2. En av de stora fördelarna med Laser-MPNG jämfört med olika bågsvetsmetoder är den enklare fogberedningen varav också följer en avsevärt mindre förbrukning av tillsatsmaterial.



Figur 3. T.h. det specialutvecklade verktöget som möjliggör säker lasersvetsning i öppna verkstadslokaler. Det är försett med en trianguleringssensor som identifierar såväl fogens läge som dess utseende.



Figur 4. Övan den kranarmsliknande demonstratorn där såväl stum- som T-fogar utfördes med Laser-MPNG. Kostnadsjämförelsen t.h. indikerar att upp till 10 mm godstjocklek är den här svetsmetoden den mest ekonomiska.

gynnsammaste metoden. När man kommer till plåttjocklekar från 15 mm och grövre är kostnaden för svetsoperationen jämbördig med SMAW-metoden, men för den senare tillkommer en avsevärd kostnad för efterföljande flamriktning [Fig. 4]. Projektet hade delvis finansierats av delstaten Sachsens "Ministerium für ekonomi, arbeitsmarknad och transport".

The Challenge of Welding Mixed Material. Strategies for Joining Copper and Aluminium with a Single Mode Laser

Evangelos Papastathopoulos, Trumpf Laser und Systemtechnik GmbH

Genom den ökade s.k. elektrifieringen inom bilindustrin har intresset för effektiva fogningsmetoder vid tillverkning av battericeller ökat väsentligt. Vid kontaktering handlar det om att skapa en koppling mellan koppar- och aluminiummembran vilken uppvisar såväl god elektrisk ledningsförmåga som hög mekanisk hållfasthet. Det finns många utmaningar vid lasersvetsning av en dylik materialmix som att koppar har en cirka 400 °C högre smälttemperatur än aluminium. Vidare har materialen olika absorptionsförmåga av laserljuset, vilket leder till olika värmeackumulering, samt att svetsen kommer att bestå av ett flertal intermetalliska faser, vilka är spröda och därmed leder till en sämre hållfasthet. Försöksutrustningen bestod i det här fallet av en single-mode [SM]-laser från Trumpf [TruFiber2000] med 1.075 nm våglängd och en strålkvalitet $M2 = 1,2$. Genom en distributionsfiber med 26 µm diameter skickades laserstrålen till skanner-verktyget PFO 20-2 [Programmable Focus Optics], och med fokallängden 160 mm skapades en 37 µm stor brännfläck på arbetsstycket [Fig. 5]. Laserstrålen manipulerades i tre alternativa mönster; "zig-zag", "spiral" och "hatching", där de två förstnämnda skapas genom att oscillera laserstrålen medan man vid "hatching" utför ett antal koncentriske cirklar. Med alla tre strategierna fabricerades cirkulära svetsar med en ytterdiameter på 4 mm och en svetsbredd på 0,8 mm, vilket i storlek motsvarar det skruvförband [M4] som idag används vid montering av battericellerna.

Svetsningen utfördes på kuponger med 0,3 mm tjocklek där koppar- [Cu-OF (Oxide Free)] och aluminiummaterialet [Al99,5] ömsevis positionerades som topp- respektive bottenplåt [Fig. 6]. Aluminium som topplåt är den mest gynnsamma positioneringen då detta material har den lägsta smälttemperaturen varför man kan skapa en förhållandevis stor smälta som på ett kontrollerbart sätt penetrerar in i den underliggande kopparn. För denna kombination användes 240 W lasereffekt för det s.k. "zig-zag"-mönstret. I det omvända fallet krävs mera effekt [520 W] för att kunna smälta kopparmaterialet, och om en oscillerande stråle används blir värmeackumuleringen för hög och man får genombränning. Därför hade svetsningen i detta fall utförts med "hatching"-mönster, vilket gjorde att tjockleken på det intermetalliska skiktet understeg 20 µm.

Genom att använda den lilla fokuspunkt som möjliggörs med en SM-laser i kombinationen med hög skanning-hastighet går det att kontrollera mängden aluminium som blandas med kopparn i svetssmältan [Fig. 7]. Vid mekanisk provning låg hållfastheten något högre för de provstavar som svetsats med aluminium som topplåt; 240 N mot 200 N i skjuvhållfasthet och 100 N mot 90 N vid kryssdragprov. Den elektriska ledningsförmågan provades genom att mäta spänningsfallet då en strömstyrka på 285 A leddes över fogen. Konduktiviteten för de lasersvetsade varianterna visade sig vara högre jämfört med de mekaniskt sammanfogade.

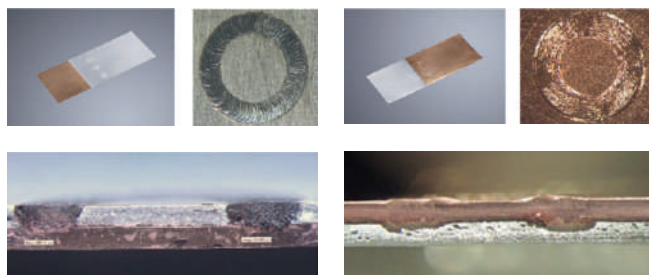
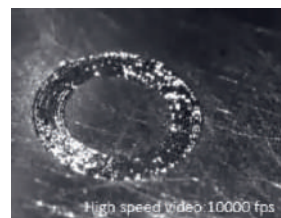
Applying Optical Coherence Tomography for Weld Depth Monitoring in Remote Laser Welding of Automotive Battery Tab Connectors

Dr. Mikhail Sokolov, WMG [Warwick Manufacturing Group], University of Warwick

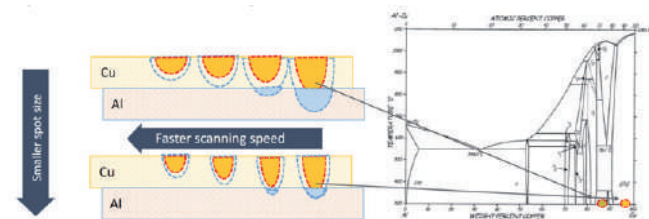
Redan nu används fjärrlasersvetsning eller RLW [Remote Laser Welding] i stor omfattning inom bilindustrin, men är då i första



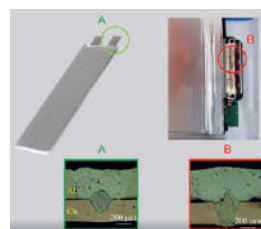
Figur 5. T.v. den SM-laser med tillhörande PFO 20-2-optik som användes vid cirkelsvetsningen, vilken utfördes i tre olika mönster; "zig-zag", "spiral" och "hatching".



Figur 6. Aluminium/koppar-kombinationer går utmärkt att lasersvetsa med "zig-zag"-mönster om topplåten är i aluminium (t.v.), men vid det omvända förhållandet (t.h) måste s.k. "hatching"-mönster användas för att minska värmeackumuleringen då koppar har en betydligt högre smältpunkt.



Figur 7. Hög energidensitet och svets hastighet gör att de intermetalliska faserna minimeras vid lasersvetsning av koppar/aluminium-kombinationer särskilt i de fall som topplåten utgörs av koppar.



Figur 8. Vid lasersvetsning av bi-polära kontakter i aluminium/koppar avsedda för batterier är det viktigt att ha ett precist penetrationsdjup. Samtidigt som en god hållfasthet är nödvändig måste genombränning av bottenplåten (B) undvikas då detta reducerar den elektriska ledningsförmågan.

hand riktad mot karosapplikationer. Metodens fördelar består av enkelsidig kontaktlös bearbetning, kontrollerad och reducerad värmetillförsel samt korta processtider. Dessa positiva egenskaper kan även utnyttjas vid batteritillverkning som exempelvis då bi-polära kontakter i aluminium/koppar, som består av tunna membran med tjocklekar mellan 0,3-0,5 mm, skall tillverkas. Vid lasersvetsning av så tunna material är det viktigt att kunna kontrollera penetrationsdjupet vid överlappssvetsning, och därför hade OCT [Optical Coherence Tomography] studerats som ett hjälpmedel för detta ändamål. Såväl den elektriska ledningsförmågan som fogens mekaniska egenskaper är avhängig av ett precist penetrationsdjup där man undviker genombränning av bottenplåten [Fig. 8].

OCT-tekniken bygger på att en sekundär laserstrålen med blott några mW effekt riktas mot nyckelhålets botten varpå man jämför längden på den återreflekterade strålen mot en i förväg kalibrerad referenslängd. Störst noggrannhet i denna mätning får man om laserstrålen verkligen träffar botten på nyckelhålet, men om svetsprocessen är instabil får man stor spridning i mätdata, som då måste filtreras för att få ett någorlunda tolkbart resultat. Det finns tre åtgärder som kan förbättra noggrannheten i mätdata. Den första är att kalibrera in mätstrålen i förhållande till den svetsande processtrålen, något som nödvändigtvis inte behöver innebära att de båda fokalpunkterna måste ligga koncentriskt orienterade, men dock inte mer åtskilda än 20 μm [Fig. 9].

Den andra åtgärden för att mäta verkligt penetrationsdjup är att introducera en andra mätstråle, s.k. TwinTec, som då har sitt fokus på den övre plåtens toppyta. Detta angreppssätt gör att man kommer att ta hänsyn till vågigheter hos plåtarna, men kan samtidigt ge missvisande indikationer beträffande penetrationsdjupet om det förekommer en spalt mellan plåtarna. Slutligen kan man försöka stabilisera nyckelhålsbeteendet genom en optimerad energifördelning i fokalpunkten. I försöken hade därför Coherents ARM [Adjustable Ring Mode] -koncept använts, där man har en hög energitäthet i kärnan kompletterad med en omslutande ring med lägre energitäthet. Därigenom skapas nyckelhålet med energin i kärnpunkten, medan den ringformade energifördelningen endast används för att stabilisera värmedistributionen och därmed uppnå en lugnare svetsprocess.

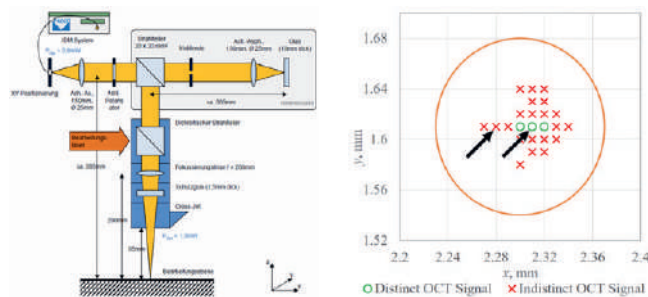
I svetsförsöken användes membran av en aluminiumlegering i 1000-serien och nickelpläterat koppar i tjocklekarna 450 resp. 300 μm . Framföringshastigheten låg kring 175 mm/sek med 650 W effekt i kärnpunkten som hade en diameter på 140 μm och 900 W i ringfokus vars ytterdiameter mätte 360 μm . Med denna energifördelning fick man den stabilaste svetsprocessen. En mer orolig sådan observerades då all lasereffekt riktades mot kärnpunkten, vilket visserligen gav den högsta penetrationen, eller mot ringfokus [Fig. 10]. Även effekterna av att använda sig av "TwinTec" hade studerats och här såg man en avsevärd förbättring i mätdata med en 50 %-ig lägre spridning.

Just How (In)Efficient Is My Laser System? Identifying Opportunities for Theoretical and Auxiliary Energy Optimization

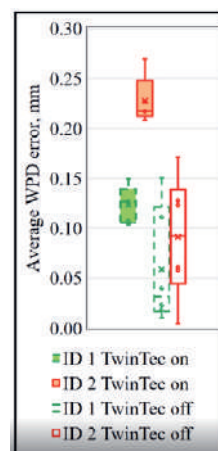
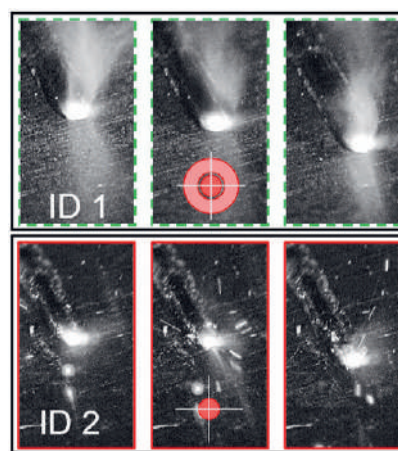
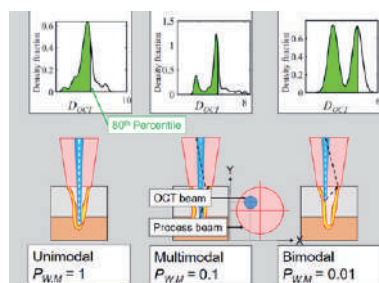
Dr. Nick Goffin, Loughborough University

Inom tillverkningsindustrin riktas idag ett stort fokus på hållbara och miljövänliga processer med låga CO₂-"fotavtryck" och optimalt energiutnyttjande. Detta gäller även vid laserbearbetning, men det är då viktigt att titta på hela processkedjan eftersom laserstrålens interaktion med substratmaterialet, i form av skärning eller svetsning, endast utgör en bråkdel av den elektriska energi som åtgår för operationen i stort. Det krävs nämligen en mängd andra teknologier och aktiviteter för att nå ett framgångsrikt resultat vid laserbearbetning [Fig. 11]. Med ett holistiskt synsätt kan energiförbrukningen delas upp i fyra kategorier:

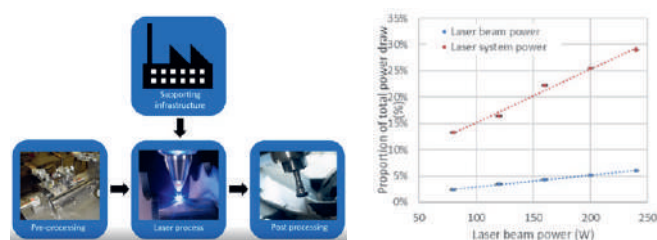
- Laserkällan [Effektförsörjning, kylsystem, gasförbrukning, kontrollsystem etc.]
- Distributionen av laserenergi [Strålmanipulering, optik komponenter och stråldiagnostik]
- Processen [Materialförsörjning, för- och efterbehandlingar, verktygsmanipulering, utsug, effektmätning, säkerhetssystem etc.]
- Bemanning och miljö [Uppvärmning, belysning m.m.]



Figur 9. Kalibrering av OCT-strålens position i förhållande till den svetsande processtrålen tillåter endast en avvikelse på 20 μm om man vill ha en tillförlitlig övervakning av penetrationsdjupet.



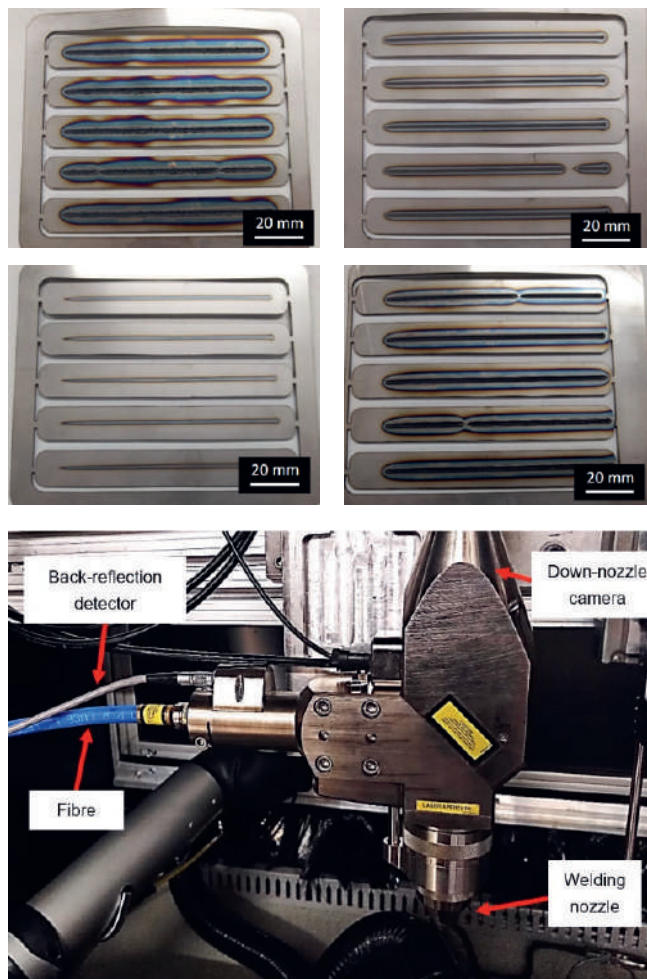
Figur 10. Närmast höghastighetsfilm av den stabila svetsprocess man får med ARM-teknologin (ID 1), att jämföras med det svetspsprut som uppstår då all lasereffekt riktas mot kärnpunkten (ID 2). Längst t.h. ser man effekten av OCT med "TwinTec" (fyllda rektanglar) som ger mer än 50% lägre spridning i mätdata.



Figur 11. Då man skall beräkna den totala energiåtgången vid laserbearbetning är det viktigt att inkludera samtliga stödjande teknologier och kringaktiviteter.

Den experimentella delen bestod av BOP [Bead-On-Plate] -svetsning med en fiberlaser av typ JK300FL med en maximal effekt på 300 W och våglängden 1.075 nm. Man använde ett standardiserat svetsverktyg från JK™ Fiber Lasers med 76 mm brännvidd, och den Gaussiska energifördelningen på substrattan mätte 1 mm i diameter. Skyddsgasen utgjordes av Argon med ett flöde av 2 l/min och ett tryck på 4 bar. 5 variabler av såväl lasereffekt som svetshastighet gjorde att den totala försöksmatrisen omfattande 25 kombinationer där svetslängden var satt till 80 mm. Materialet var 0,8 mm tjockt rostfritt 316L och 5 svetsar utfördes av varje kombination [Fig. 12].

Den verkliga elektriska energi som gick åt för att försörja laserkällan, som hade en verkningsgrad på 20,3%, mättes med så hög frekvens som 1.200 gånger per sekund, vilket krävs då man använder sig av växelströmssvetsning [AC = Alternating Current]. Resultaten från svetsförsöken var ganska väntade, nämligen när svetshastigheten ökade vid konstant lasereffekt sjönk sträckenergin, och vid konstant framföringshastighet ökade sträckenergin vid tilltagande effekt. Energiåtgången för kylsystemet kan delas upp i pumpning och kylning där den förstnämnda moden enbart pumpar medan kyl-moden både pumpar och kyler. Energiåtgången är tämligen jämnt fördelad mellan de båda och uppgick i det här fallet totalt till cirka 1,3 kVA. De stegmotorer som användes för att driva de linjära axlarna i portalroboten var i princip opåverkade av svetsverktygets vikt, ej heller av svetshastigheten. Annan kringutrustning som belysning, CNC [Computer Numerical Control] -kontroll, kontrollsystemet för lasern och den använda PC [Personal Computer] -utrustningen krävde minimal energiförsörjning. Analysen bröts sedan ner från det totala elektriska energiuttaget i de olika tidigare nämnda kategorierna och deras underliggande system. Där kunde man konstatera att vid 240 W lasereffekt användes blott 0,240 kVA för själva uppsmältningen av materialet att jämföras med ett totalt energiuttag på 3,997 kVA, alltså endast 6% [Fig. 13]!! 1,236 kVA var rena energiförluster baserat på verkningsgraden hos de olika systemen, medan laser- och övrig utrustning förbrukade totalt 2,521 kVA. Sammantaget innebär detta att själva laserkällan står för 28% av det totala energiuttaget medan resterande 72% förbrukas av all kringutrustning inklusive kylsystemet. Budskapet blev därmed att de största energibesparingarna kan göras inom kringutrustningarna snarare än med laserkällan.

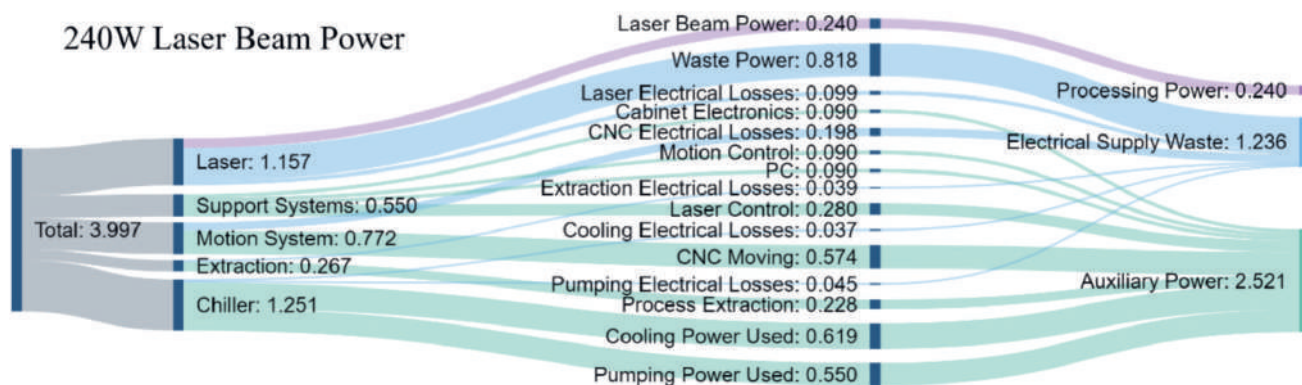


Figur 12. T.v. experimentell försökupställning med vilken fem laser-svetsar utfördes med samma parametrar (ovan). De två t.v. är svetsade med samma effekt (160 W) men olika hastighet; 2 resp. 6 mm/sek. T.h. provkuponger utförda med samma hastighet (4 mm/sek) men med olika effekt; 80 resp. 240 W.

Latest Update of Laser Welding Applications Using kW-Class Beam Sources in the Visible Wavelength Area

Tracey Ryba, Trumpf Laser Technology Center

I samband med den ökade trenden för "e-mobility" har vi sett ett växande intresse för laserbearbetning av de koppar- och aluminiumdetaljer som ingår i batterier. Här har det visat sig att den



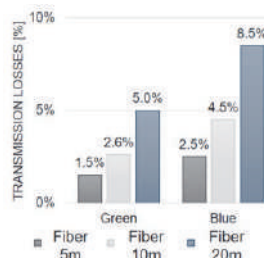
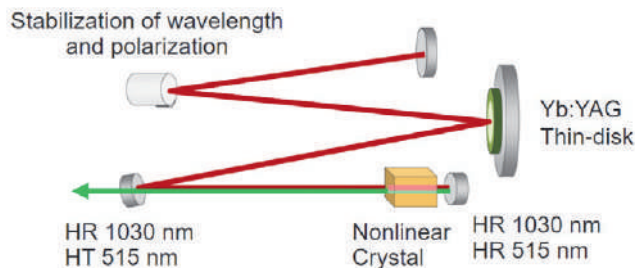
Figur 13. En intressant graf som visar att den energi som behövs för själva svetsprocess, d.v.s. laserstrålens uppsmältning av materialet endast utgör 6% av den totala energi som krävs för hela operationen..

vanligtvis använda IR [InfraRed] -våglängden kring 1 μm , p.g.a. låg absorptivitet i koppar [$\sim 5\%$], är mindre lämplig vid exempelvis svetsning. Däremot har kortare våglängder i det synliga ljusspektret visat sig ha en mycket hög absorption [$\sim 40\%$] i just koppar, varför s.k. gröna [$\lambda = 515 \text{ nm}$] och blå [$\lambda = 450 \text{ nm}$] laserkällor prognosticeras ha en stor tillväxtpotential då det gäller batteritillverkning.

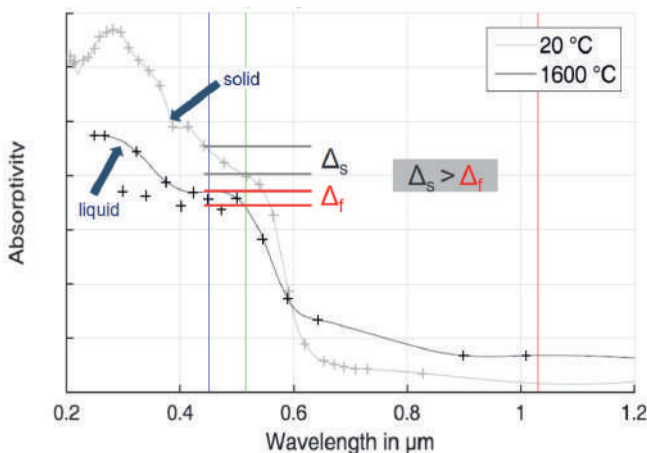
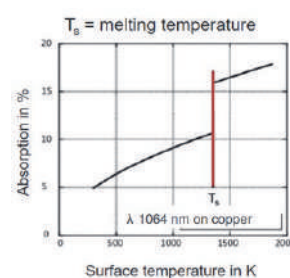
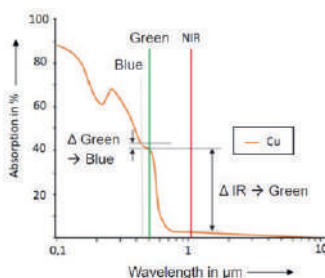
I Trumpfs produktfamilj ingår såväl ”gröna” som ”blå” laserkällor med effekter upp till 3 respektive 1 kW, men man håller på att utveckla en ”grön” laser med en strålkvalitet [BPP = Beam Parameter Product] strax under 3,5 mm $\cdot$ mrad! Fördelen med de förstnämnda, som är av typen disk-laser, är att de i dagsläget erbjuder högre effekter och en avsevärt bättre strålkvalitet jämfört med de ”blå” varianterna, som bygger på direktverkande diod-pack. Med en bättre strålkvalitet följer möjligheten att arbeta med en liten fokuspunkt över ett större arbetsområde vid fjärrlaser-svetsning. Den ”gröna” våglängden genereras från den tunna Yb-dysken och har då en våglängd på 1.030 nm. För att konvertera denna till 515 nm används s.k. frekvens-dubbling, vilket man åstadkommer genom att låta den ursprungliga laserstrålen passera genom en icke-linjär kristall [Fig. 14]. Denna typ av laserkälla har en extremt stabil uteffekt och en verkningsgrad [WPE = Wall Plug Efficiency] på över 45%. Distributionsfibern kan vara ända upp till 20 m utan några nämnvärda effektförluster, medan 5 m är den längsta rekommenderade längden för ”blå” laserkällor, vilka i genomsnitt har 70% högre förluster i fibern.

Beträffande absorptionsförmåga gäller de tidigare nämnda värdena för solitt material. Så fort det uppstår en smälta vid svetsning blir absorptionsförhållandena andra [Fig. 15]. Sålunda är absorptionen i smält koppar sämre än i solitt material medan förhållandet är det omvända för IR-våglängden, och brytpunkten tycks ligga någonstans kring 600 μm våglängd. Detta innebär att ”gröna” och ”blå” lasrar är mycket lämpliga vid värmelednings-svetsning, medan den processen blir mer instabil vid svetsning med en IR-laser där man tenderar att växla mellan värmelednings- och nyckelhålssvetsning. Däremot är såväl 1 μm -lasrar och ”gröna” dito lämpliga för nyckelhålssvetsning, medan en ”blå” laser passar sämre för detta ändamål p.g.a. sin sämre strålkvalitet. Med den ”gröna” laserns bättre strålkvalitet kan man fokusera laserstrålen till ett minimum kring 50 μm medan gränsen för ett ”blå” laser med likvärdig effekt ligger kring 400 μm .

Dock är det vid svetsning av batteriapplikationer önskvärt med en relativt bred bindzon, både beträffande hållfasthet men kanske framför allt för att skapa en god elektrisk ledningsförmåga. Därför är det rekommendabelt att sikta mot en fokuspunktsstorlek på max. 300 μm . I jämförelse med IR-lasern är strålens inkopplingsmekanism betydligt stabilare och mer repeterbar för den ”gröna” våglängden och mindre känslig för olika förbehandlings- eller kopparytan såsom slipning, polering eller syrabehandling [Fig. 16]. Ytterligare en fördel med ”grön” våglängd är att övergången mellan

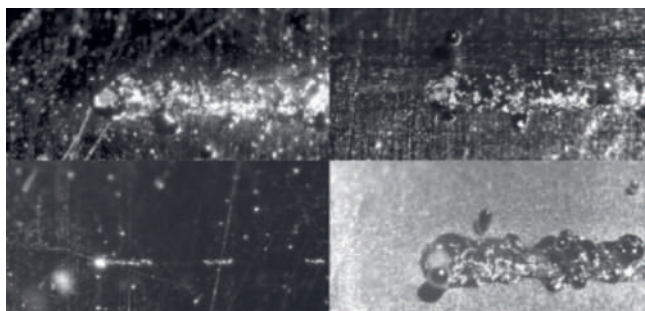
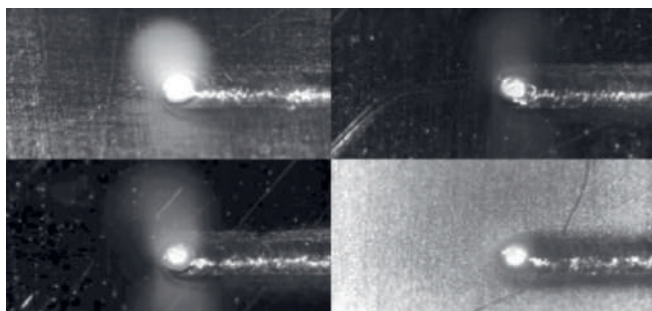


Figur 14. T.v. principen för hur ”grönt” laserljus genereras i en disk-laser där den utmärkta strålkvaliteten gör att man får mindre effektförluster i distributionsfibern jämfört med laserljus i det blå våglängdsområdet.



Figur 15. Absorptionsschemat (ovan t.v.) för koppar vid olika våglängder hos laserljuset beskriver förhållandena vid solitt material. I smält koppar blir absorptionen lägre men dock högre jämfört med IR-våglängden som lämpar sig mindre för värmelednings-svetsning p.g.a. instabilitet i absorptionsgraden (ovan.).

Figur 16. Inkopplingen i kopparmaterial med olika ytillstånd (frv. ovan och nedan); slipad, obehandlad, kemiskt rengjord och polerad är betydligt bättre för ”grönt” laserljus (t.v.) än för 1 μm -våglängden (t.h.).



värmeledningssvetsning och ”keyhole”-dito är betydligt mjukare och saknar det abrupta steget i penetration som är fallet med en 1 μm -laser. Bland praktikfallen kan nämnas två applikationer hos företaget Nexans som bl.a. svetsar små rör i rostfritt och koppar med ytterdiametrar mellan 2,0-8,0 mm där väggjocklekarna mäter 60-200 μm [Fig. 17]. Det andra handlar om kopparrör till värmeväxlare där man kunnat gå ner i rördimension från 9,5 till 5,0 mm diameter och därmed reducerat vikten med 50%, men även minskat tillverkningskostnaden för värmeväxlarna med 40%.

Några exempel på batteriapplikationer visades också där två kontaktmembran i tjocklekarna 0,5 och 2,0 mm sammanfogats med cirkulära svetsar med hjälp av en TruDisc2021. Svets hastigheten låg på 3 m/min vilket innebar att en cirkulär svets kunde utföras inom loppet av 0,42 sekunder. Penetrationsdjupet var 0,75 mm och svetsbredden i gränssnittet låg på 0,55 mm. Ett imponerande praktikfall var det där inte mindre än 100 stycken 6 μm tunna kopparmembran svetsats till två stycken 0,5 mm tjocka kopparplåtar med 2 kW effekt från ovannämnda laserkälla. Svetslängden var 10 mm och processtiden för det hela hamnade på 477 ms. Även blandkombinationer mellan 0,3 mm tjocka koppar- och aluminiummembran hade utförts med 1 kW lasereffekt och Nitrogen som skyddsgas. Penetrationsdjupet var $0,45 \pm 0,04$ mm och svetstiden för att utföra ett s.k. meander-mönster var 645 ms med kopparpartnern som topplåt och 330 ms när aluminiummembranet placerades överst. Den ”gröna” våglängden kan också användas för additiv tillverkning och vi fick se några sådana exempel på ”printade” komponenter i CuNi2-material men också i 18 karats guld med en uppmätt densitet på 99,9% hos företaget C.HAFNER GmbH & Co. KG!

Development of Hybrid Laser Welding System with Blue Diode Laser and Single Mode Fiber Laser

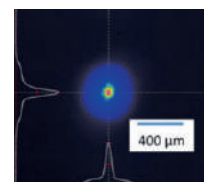
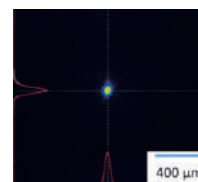
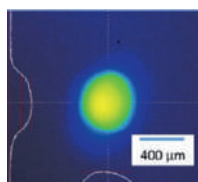
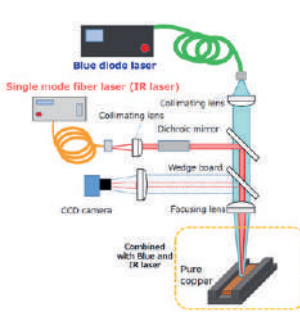
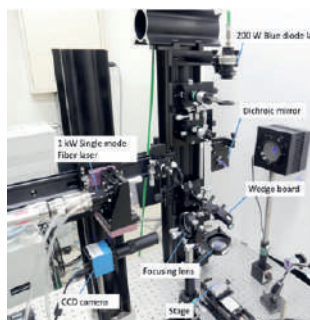
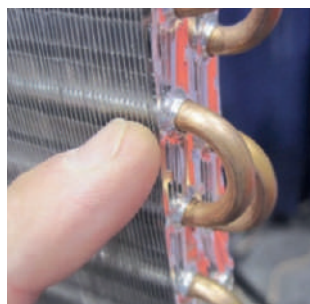
Yuji Sato, Osaka University, JWRI [Joining and Welding Research Institute]

Ett annan välbeprövad lösning för att stabilisera process och penetrationsdjup vid lasersvetsning av koppar är att superpositionera två strålar, en från en IR-laser i kombination med en stråle från en laserkälla i det blå våglängdsområdet, som då har en 6 gånger högre absorptionsförmåga. Här används den senare endast för att värma substratyten, och med förhöjd temperatur på denna ökar också absorptionsgraden för 1 μm -våglängden. Om man vid kopparsvetsning enbart använder en IR-laserkälla resulterar detta i omfattande svetssprut och en hög porandel i svetsgodset.

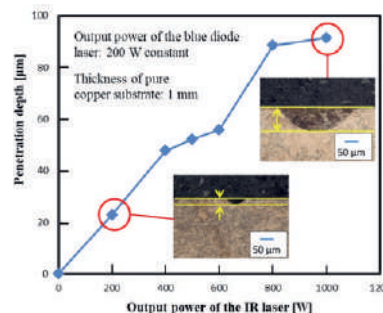
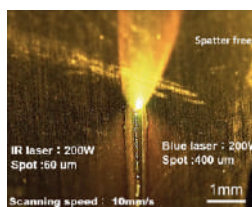
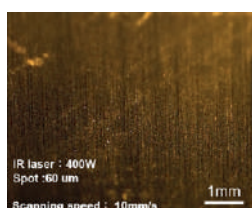
Vid initiala svetsförsök hade en diodlaser i det blå våglängdsområdet använts med en effekt på 200 W och där fokuspunkten mätte 100 μm i diameter. Vid svetsning av 100 μm tjocka kopparmembran nåddes full genombränning vid 100 W lasereffekt, men när man ökade membrantjockleken till 200 μm fick man överhuvudtaget ingen penetration, och om effekten ökas till 200 W endast en mycket grund sådan. För att få en acceptabel penetration var det därför nödvändigt att kombinera diodlasern med en 1 kW single-mode laser med 1.070 nm våglängd och högre effekt. Strålen från den ”blå” diodlasern har en ”tophat”-profil och kunde fokuseras till en brännfläck med 400 μm diameter, medan den bättre strålkvaliteten från IR-lasern gjorde att dess fokuspunkt endast mätte 50 μm samtidigt som energifördelningen i denna var Gaussisk. Energidensiteten i de båda foki var $1,6 \times 10^5$ respektive $1,4 \times 10^7$ W/cm² [Fig. 18]. Vid BOP-svetsning av 1 mm tjocka syrefria kopparkuponger [OFC = Oxygen-Free Copper] användes 200 W lasereffekt från vardera laserkällan och framföringshastigheten låg på 10 mm/sek. Argon användes som



Figur 17. Med den specialutvecklade maskinen NanoWEMATM med integrerad ”grön” laserkälla svetsas såväl små rör i rostfritt och koppar, med hastigheter över 20 m/min, som kopparrör i värmeväxlare (t.v.).



Figur 18. Närmast försökuppställningen för denna form av hybridsvetsning som kombinerar en 1 kW SM-laser med 200 W ”blå” energi och t.h. den principiella uppställningen. Den förstnämnda arbetar med en ”tophat”-profil och den senare med en Gaussisk energifördelning.



Figur 19. Då endast IR-lasern användes med 400 W effekt gick det inte att få igång någon svetsprocess. Om däremot effekten delades mellan IR-lasern och en ”blå” laserkälla erhöles en stabil svetsprocess där penetration och svetsbredd ökade med tilltagande effekt hos IR-lasern.

skyddsgas med ett flöde på 15 l/min. Då effekten från IR-lasern ökades växte såväl penetrationsdjup som svetsbredd, men i samtliga fall var svetsarna totalt porfria och inget svetssprut förekom [Fig. 19].

En tänkbar applikation för den här typen av hybridsvetsning kan vara sammanfogningen av de ”hårnålar” som är viktiga

beståndsdelar i en elektrisk motor. Dessa metallvagnar svetsas idag med TIG [Tungsten Inert Gas] -teknik, men med lasersvetsning kan man bättre kontrollera värmetillförseln samtidigt som svetsprocessen automatiseras och medför en förhöjd produktivitet.

Nu svetsades dessa "hårnålar", som mätte 2,0×3,5×20,0 mm och utgörs av ren koppar [C1020], parvis samman med den beskrivna hybridtekniken. Effekterna från de båda laserkällorna var 1 kW från IR-lasern och 200 W från den "blå" diodlasern. Fokalpunktsdiameterarna uppmättes till 60 respektive 400 µm och processtiden för ett "hårnålspår" blev 0,5 sekunder där uppsmältningen av kopparmaterialet startade efter 0,1 sekund [Fig. 20]. Samtliga svetsar bedömdes vara godkända även i de fall då de båda "hårnålarna" hade positionerats något förskjutna i förhållande till varandra. Detta relaterade praktikfall hade delvis finansierats av den japanska organisationen NEDO [New Energy and Industrial Technology Development Organization].

Diode Lasers – A Perfect Joining Tool from Thin to Thick

Johannes Schäfer, Laserline GmbH

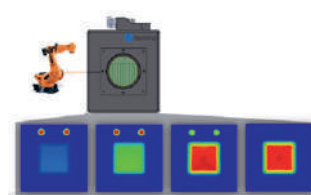
Förutom satsningen på diodlasrar med hög effekt i det blå våglängdsområdet har företaget Laserline presenterat några innovativa optiklösningar där laserenergens fördelning på arbetsstycket kan skräddarsys. Dessa går under den gemensamma beteckningen "multi-spot"-moduler där en specialoptik integreras i strålgången hos den kollimerade laserstrålen. Ett tidigt exempel var den s.k. trifokal-lösningen [Fig. 21] som var speciellt framtagen för laserlödning av varmförzinkade plåtar, och där två mindre fokuspunkter med lågt energiinnehåll föregick en större, kvadratisk sådan, som med hög effekt smälte lödtråden. Laserenergin kan fördelas individuellt mellan de tre foki, och då de två främre aktiveras och förvärmer zinksiktet erhåller man en stabil process utan förekomst av metallsprut.

En senare innovation är den s.k. spot-in-spot där en cirkulär fokuspunkt med högre effekt omges koncentriskt av en kvadratisk sådan, som har max. 1,5 mm sida, med en lägre energidensitet. Från ett helt centrerat läge kan de båda fokuspunkterna flyttas relativt varandra i samtliga tre dimensioner. Även här kan energin fördelas steglöst mellan de båda fokuspunkterna och 70% av den totala laserenergin kan flyttas från den inre till den yttre. En hög effekt i den större fokuspunkten har visat sig vara gynnsamt i fall vid svetsning med tillsatstråd. Optiken är främst avsedd att användas vid lasersvetsning med Laserlines diodlasrar med en BPP på högst 30 mm*mrad, och kan fås integrerad i Scansonic-verktyget ALO3 [Fig. 22].

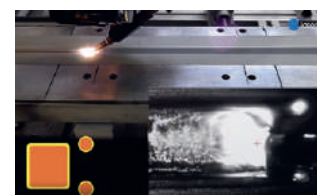
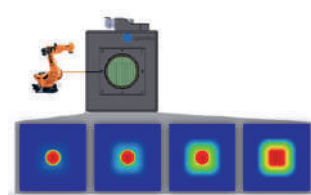
Ett antal praktikfall presenterades där den första gjorde en jämförelse mellan en singular fokuspunkt och "spot-in-spot"-lösningen vid svetsning av en aluminiumlegering i 6000-serien med tillsatstråd i AlSi12-material. I det förstnämnda fallet nådde man som högst 3 m/min i svetshastighet om man ville undvika en orolig process med låg svetskvalitet, medan man med "spot-in-spot" svetsade sprutfritt vid hela 8 m/min i framföringshastighet. Ett annat exempel handlade om svetsning av batteriramar, tillverkade av extruderade aluminiumprofiler, för elbilar [Fig. 23]. Här användes 5 kW lasereffekt och en 1,6 mm grov tillsatstråd i AlSi12-material vilket resulterade i en svetshastighet kring 4 m/min. Finessen med att använda "spot-in-spot" konceptet vid de asymmetriska fogar som här förekommer är att de båda fokuspunkterna kan förskjutas gentemot varandra för att åstadkomma en optimal svetsgeometri. Detta är en fördel man också kan dra nytta av vid ämnesskarvning av plåtar som har en avsevärd skillnad i tjocklek, men ger även möjlighet för att överbrygga större spalter mellan plåtarna!



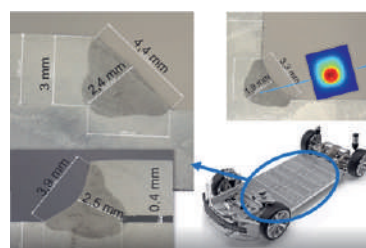
Figur 20. En bildsekvens som visar svetsning av s.k. hårnålar för en elektrisk stator med hjälp av två super-positionerade laserstrålar med olika våglängd. Operationen sker inom loppet av en halv sekund!



Figur 21. Ett tidigt exempel på "multi-spot"-teknik utvecklad av Laserline GmbH är den s.k. trifokal-lösningen som nu under flera år använts av VW-koncernen för olika lödoperationer utförda med diodlaser.



Figur 22. Laserlines senaste innovation är den s.k. spot-in-spot med två överlagrade fokuspunkter. Tekniken är främst avsedd för lasersvetsning och i mitten ses "multi-spot"-modulen och längst t.h. densamma integrerad i Scansonics svetsverktyg ALO3.



Figur 23. "Spot-in-spot"-metodiken kan med fördel användas vid lasersvetsning av batteriramar i aluminium för "e-mobility". Här kan den valda energifördelningen optimera inträngningsprofilen vid asymmetriska fogar.

Spaltöverbrygnadsförmågan med kalltråd för "spot-in-spot"-lösningen är i paritet med vad som klaras vid bågsvetsmetoder som MIG- [Metal Inert Gas] och MAG-svetsning, samtidigt som man får en utseendemässigt bättre fog, tre gånger så hög svetshastighet samt mindre distorsioner jämfört med dessa klassiska svetsmetoder. Avslutningsvis presenterades några exempel på svetsning av grövre plåttjocklekar i material som exempelvis S355. Här är risken för uppkomsten av sprickor och porer i svetsgodset mindre, jämfört med tunnare material, eftersom man har ett längre stelningsintervall. Därför har man mindre fördel av att använda någon form av "multi-spot"-svetsning utan här rekommenderas hög lasereffekt kombinerad med en fokalpunktsdiameter kring

1,2 mm för att överbygga spalter. Sålunda visades exempel på en 20 mm T-fog som utförts med 50 kW lasereffekt, kall tillsatsstråd och en svetshastighet kring 0,6 m/min.

I-Situ Observation with X-Ray for Tentative Exploration of Laser Beam Welding Processes for Aluminium-Based Alloys

Stephen Börner, Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik

Aluminium är ett lämpligt material i lättviktskonstruktioner för transportsektorn tack vare dess höga specifika hållfasthet. Dock har lasersvetsning av aluminiumdetaljer visat sig vara problematisk p.g.a. ett instabilt svetsförlopp som leder till svetsprut och diverse -defekter. En välkänd motåtgärd är att oscillera laserstrålen och på så sätt förlänga svetssmältan vilket gör att gasbubblor i densamma hinner evakueras. Sådana gasinneslutningar genereras av en instabil svetsprocess, men kan i fallet vid svetsning av gjutgods även härledas till själva gjutprocessen som i sig ger produkter med ett visst porinnehåll.

För att ytterligare förstå effekterna och de fysikaliska mekanismerna vid strålscillering vid lasersvetsning av aluminium hade man med hjälp av röntgen videofilmats svetsförloppet i realtid. Vid försöken användes IPG-lasern YLR-600-WC med 600 W maximal effekt, våglängden 1.070 nm och en BPP på 0,4 mm*mrad. Strålmanipulationen skedde med hjälp av IWS' [Institut für Werkstoff und Strahltechnik] egenutvecklade verktyg remoweld®FLEX [Fig. 24] som ger en 0,34 µm stor fokalpunktsdiameter på arbetsstycket. Skanningfrekvensen ligger på 4 kHz och arbetsfältet mäter 10×10 mm. En GigaFroST-kamera visualiserar med hjälp av röntgen svetsförloppet med upp till 40.000 fps [frames per second].

Grundläggande försök hade genomförts som "Bead-on-Plate" på smidda aluminiumkuponger [AlMg3]. Lasereffekten var 400 W och svetshastigheten sattes till 1 m/min. Här jämfördes nyckelhålets och smältans beteende utan och med oscillering. Denna utfördes i en överlappande cirkulär rörelse med diametern 100 µm. Utan oscillering uppstår stora fluktuationer i smältan, medan oscilleringen medför ett betydligt stabilare beteende. Man kan i det senare fallet se att de gasbubblor som uppstår i smältan träffas ett flertal gånger genom den repetitiva cirkelrörelsen hos nyckelhålet och att bubblorna därmed drivs upp till ytan via detta [Fig. 25]. Samma beteende kunde i än högre grad konstateras vid svetsning i aluminiumgjutgods.

Även verklig sammansvetsning av två 1 mm tjocka aluminiumplåtar i stumfogskonfiguration genomfördes. Här var plåtytorna inte rengjorda före svetsning vilket gjorde att man trots oscilleringen fick rörformiga porer som utbildades vinkelrätt från stelningsfronten. Vidare tycktes ett tunt oxidlager bildas på nyckelhålets front, något som resulterade i enstaka större gasbubblor. Annars såg man samma positiva beteende som tidigare, främst i den senare delen av svetsprocessen, att tendensen till formering av gasbubblor, som skulle leda till porinneslutningar, elimineras genom att sagda bubblor fångas in av nyckelhålet och drivs uppåt i detta. Strålscilleringen hade även analyserats med tredimensionell röntgen, s.k. tomoskopi, vid lasersvetsning av en smidd aluminiumaxel till en gjuten aluminiumring.

Evaluation of the Joint Based on Different Surface Conditions for Aluminium-Polyamide Laser Welding

Mahdi Amne Elahi, Université du Luxembourg

Åtskillig forskning har bedrivits för att undersöka möjligheterna att sammanfoga metaller med polymera material med laserteknik, och grundkonceptet är att ansätta laserstrålen mot metallsidan och sedan genom värmeledning smälta polymeren så

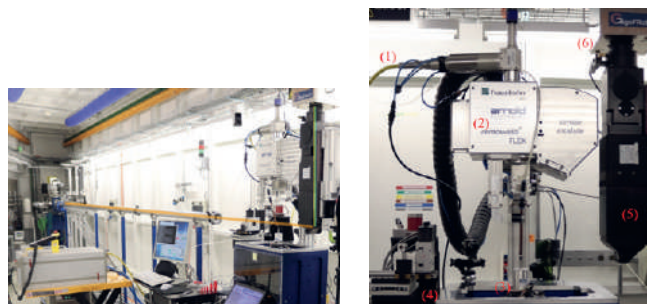


Figure 24. En översikt över försökupställningen i IWS' laserlaboratorium och t.h. en detaljbild på remoweld®FLEX-verktyget; 1) optisk fiber, 2) skanner-verktyget, 3) linjäraxel, 4) slutare, 5) högupplösande makroskop och 6) GigaFroST-kamera.

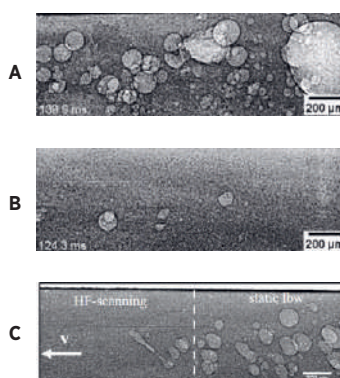
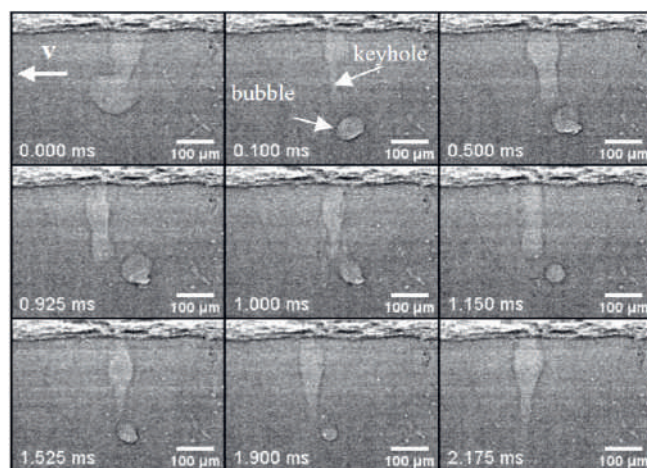


Figure 25. Ovan en bildsekvens över svetsning med oscillerande laserstråle av en smidd AlMg3-legering där gasbubblorna fångas av nyckelhålet och drivs upp till ytan. T.v. svetsning av aluminiumgjutgods; A) utan oscillering, B) med oscillering och C) där man under svetsprocessen växlat från statisk till oscillerande laserstråle.

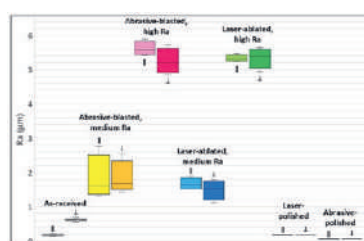
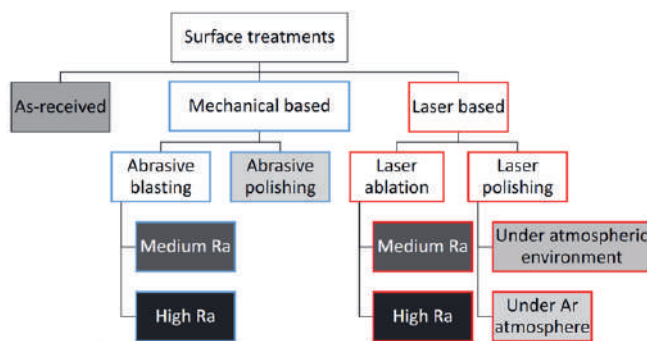


Figure 26. De i studien ingående ytbehandlingarna av aluminiumytan, och t.v. uppmätta Ra-värden längs och tvärs valsriktningen.

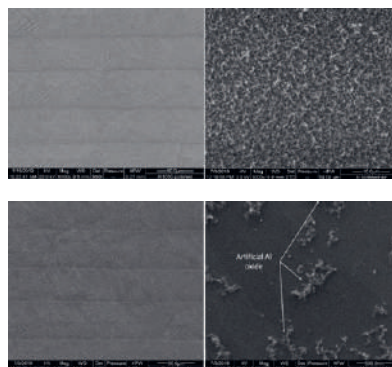
att denna kan binda mot metallen. I den här studien hade man undersökt olika förbehandlingsmetoder av en aluminiumyta för att på så sätt förbättra hållfastheten i fogen. Materialen var aluminium i kvalitén 1050-H24 med en tjocklek på 0,5 mm som positionerades ovanpå en 4 mm tjock Polyamid [PA6.6] -platta. Som referens användes en s.k. as-received-variant som enbart rengjorts med metanol för att skapa en konsistent yta. De ytbehandlingsmetoder som använts var mekaniska i form av blästring och polering samt laserbaserad ablation och dito polering. Blästrings- och ablationsvarianterna hade utförts på två nivåer med medium respektive högt Ra-värde [Fig. 26]. Laserpoleringen hade utförts i såväl normal atmosfär som i en Argon-atmosfär. Den förstnämnda medför att det bildas en artificiell aluminiumoxid [Fig. 27] vilken skulle visa sig vara gynnsam ur vidhäftningssynpunkt. Vid laserablationen användes en pulslaser [TruMark6130, M2 <1,2, fokuspunkt 28 µm] som ger aluminiumytan en viss struktur. Två olika pulsfrekvenser på 120 och 60 Hz användes för att därigenom skapa ett medium respektive högt Ra-värde. Laserpoleringen utfördes med en cw [continuous wave] -laser [TruFiber 400] och Scanlabs skannerverktyg "HS20-2D", och där det sker en omsmältning av aluminiumytan. Här var strålkvaliteten M2=1,03 och fokuspunktsdiameteren 30 µm. Processhastigheten låg på 1.000 respektive 145 mm/sek för laserablationen och 2.000 mm/sek vid laserpoleringen. Ra-värdena för de olika ytbehandlingsvarianterna mättes och här kunde man konstatera att referensytan hade låga Ra-värden mellan 0,2 och 0,6 µm, men där ytan är anisotrop och därmed ger ett högre värde tvärs aluminiumplåtens valsriktning än längs densamma. På samma nivå som den senare låg de mekaniskt och laserpolerade varianterna, som tack vare de använda processerna fick isotropa ytor. De ytor som blästrats eller modifierats genom laserablation låg på ungefär samma Ra-nivå eller 1,5-2,0 µm för medium-nivån och 5,2-5,6 µm för de mer grovstrukturerade ytorna [Fig. 26].

Själva lasersvetsningen utfördes med såväl rumslig som termisk modulering av laserstråle och -effekt för att undvika degradering av PA-polymeren som börjar sönderfalla redan vid 300 °C, att jämföras med smältpunkten för den här använda aluminiumlegeringen som ligger på 660 °C. Vid den validerande dragprovningsen visade sig varianterna med medium-nivå för laserablation samt de i atmosfär laserpolerade ge högst hållfasthet eller cirka 1.600 N, att jämföras med referensen "as received" som låg kring 1.000 N. För de varianter som har en grövre ytstruktur, alltså ett högt Ra-värde, ökar den termiska kontaktresistansen i gränssnittet mellan aluminium och polymer. Detta gör att en mindre andel värme blir tillgänglig för att smälta PA-materialet och skapa en stark förbindning, vilket gör att den mekaniska koppling som möjliggörs av den grövre strukturen blir av underordnad betydelse i förhållande till den kemiska bindningen. Vidare tycks alla laserbaserade operationer som görs i atmosfär leda till uppkomsten av ett artificiellt ytskikt bestående av aluminiumoxid, något som vid dragprovningsen visade sig ha en positiv inverkan på hållfastheten [Fig. 28].

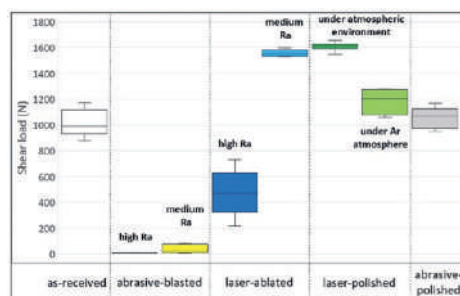
Laser-Based Welding for the Repair of Thermoplastic CFRP Components

Simon Hirt, Laser Zentrum Hannover e.V.

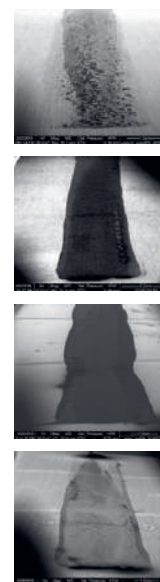
Fiberförstärkta kompositer som exempelvis CFRP [Carbon Fibre Reinforced Plastics] används i lättviktskonstruktioner inom flyg- och bildindustrin mycket beroende på materialens höga specifika hållfasthet. Nackdelen med dem är att de är förhållandevis dyra, vilket gör att det blir mer kostnadseffektivt om man kan reparera



Figur 27. SEM (Scanning Electron Microscope) -analys av laserpolerade aluminiumytor, i normal atmosfär (t.v.) och Argon-dito (t.h.), uppvisar mycket släta ytor, men avslöjar också en betydligt större förekomst av artificiell aluminiumoxid på den förstnämnda.



Figur 28. Resultat från dragprovningsen visar högst hållfasthet för de ytbehandlingsvarianter som utförts med laser i normal atmosfär och på så sätt dragit fördel av uppkomsten av artificiell aluminiumoxid. T.h. brottytor med kvarsittande (mörkare) polyamid. T.h. fallande ordning; "as-received", laser-ablaterad med medium-Ra, laserpolerad i Argon- resp. laserpolerad i normal atmosfär.



sådana detaljer i stället för att nytillverka. I projektet "HyPatch-Repair" hade man undersökt möjligheten att byta ut skadade partier med nytt material som sedan värmeledningssvetsades till komponenten med hjälp av laserteknik. Detta är något som låter sig göras under förutsättning att matrismaterial i kompositen utgörs av en termoplast. Laserstrålen positioneras på ersättningsdetaljens toppyta varpå värme ledes ner till gränssnittet mot originalkomponenten och där smälter samman matrismaterialen. För att få en god förbindning med hög hållfasthet måste samtidigt ett högt fixeringstryck appliceras kring fogområdet. Vid försöken hade materialet CETEX, som är en kolfiberförstärkt PPS [PolyPhenylene Sulphide] -matris använts. Materialet har en specifik vikt på 1,35 g/cm³ och smälttemperatur och glastransmissionsdito ligger på 280 °C respektive 90 °C. Den övre detaljen var 1,2 mm tjock och innehöll 4 lager CFRP medan den undre hade en tjocklek på 3,0 mm, vilket motsvarade väggdjöckleken hos originalkomponenten med 10 lager CFRP. För att erhålla en jämn ytteryta på komponenten efter reparation behövde fogen utformas på så sätt att ett område som mätte 55×20 mm togs bort ner till ett djup som motsvarade den övre detaljens tjocklek. Denna operation utfördes med en pulslaser från Trumpf [Tru-Micro7050] som har en medeleffekt på 1,5 kW. Pulsfrekvensen låg på 18,8 kHz och det krävdes 16 repetitioner och en spårbredd på 0,8 mm med en 1,2 mm stor fokuspunkt för att avverka materialet. Ett problem som uppstod var att de översta kvarsittande kolfibrerna frilades varför en extra PPS-folie måste läggas in för att säkerställa den efterföljande svetsprocessen.

Denna utfördes med en diodlaser från företaget Laserline GmbH [LDM-300] med en våglängd på 940 nm. Med företagets speciella

homogeniseringsoptik skapades en rektangulär fokalfunk som mätte 11×43 mm [Fig. 29].

Parametrar som varierades var lasereffekt och exponeringstid, och om effekten hölls konstant ökade inte så förvånande hållfastheten i fogen vid längre exponeringstider. Men eftersom en längre exponeringstid innebär en långsammare framföringshastighet och därmed lägre produktivitet blev slutsatsen att det bästa parametervälet var 135 W och 80 sekunders exponering. Detta gav en hållfast kring 16 kN vilket visserligen var lägre än de 20 kN man fick vid 105 W och 110 sekunders exponering, men då processtiden var 37,5 % lägre med den kortare exponeringstiden valdes dessa parametervärden för den fortsatta provningen [Fig. 30].

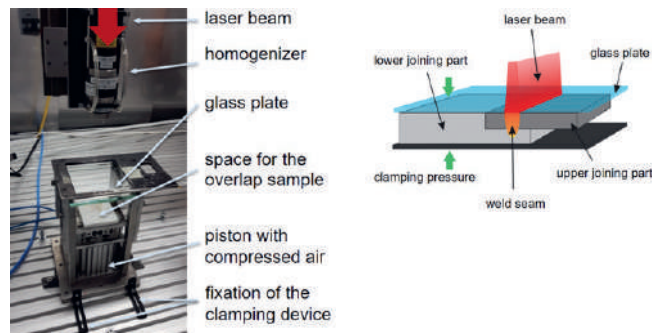
Vid en närmare analys av fogens brottytor kunde man konstatera att den avgörande faktorn för att skapa en stor bindningsarea och därmed hög hållfasthet är främst beroende av exponeringstiden och i mindre utsträckning av lasereffekten [Fig. 31]. Som tidigare nämnts inverkar även fixeringstrycket på fogens hållfasthet. Ökat tryck ger högre hållfasthet även om beroendet inte var lika starkt som för exponeringstiden. Det man dock bör observera är att med ökande tryck minskade spridningen på draghållfasthetsvärdena. En detaljerad analys av fogområdet gav vid handen att matrismaterialen i de båda detaljerna var helt sammansmält och inga porer fanns att finna i fogområdet. Däremot kunde man se att det höga fixeringstrycket gör att det uppsmälta matrismaterialet i den övre detaljen trycks undan varpå man får en tätare packning av kolfiberna [Fig. 31]. Vidare observerades ett antal mindre porer i den övre detaljen, vilket indikerar att ytterligare optimering av parametrarna är nödvändig.

Laser Transmission Welding with a Multi-Focal Optic

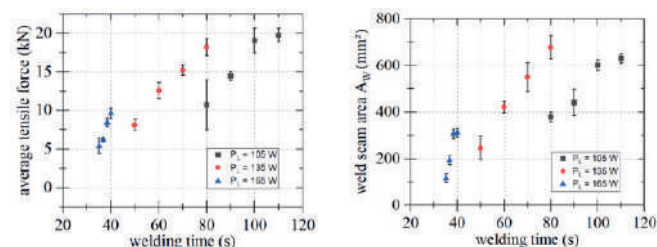
Verena Wippo, Laser Zentrum Hannover e.V.

Polymera material används flitigt i olika lättviktskonstruktioner och ett sådant material är polyamid, vilket hade använts i denna studie kring transmissionssvetsning med laser. Detta är en etablerad, beröringsfri teknik där en laserstråle ansätts mot ytan av en transparent PA-komponent. Den precisa energitillförseln kommer då att ledas genom denna fram till gränssnittet mot en annan PA-detalj som gjorts absorberande för den använda laser våglängden genom små tillsatser av kol. Därmed höjs temperaturen i gränssnittet och de två polymerartiklarna smälter samman samtidigt som ett tryck appliceras över fogen vilket åstadkommer en permanent bindning. Metodiken har visat sig fungera väl för linjära och kontinuerliga svetsar, men om fogen istället har tjockleksvariationer eller en kurvatur blir värmefördelningen ojämn [Fig. 32] och leder till en svets som får sämre hållfasthet. Därför har man vid LZH [Laser Zentrum Hannover] startat projektet "MultiSpot" där ett verktyg utvecklats som består av 9 individuellt kontrollerbara diodstavar om vardera 100 W och en våglängd på 970 nm, vilka är sammankopplade med lika många optikenheter orienterade i ett 3×3-mönster [Fig. 33]. Dessa ger en kvadratisk fokalfunk på arbetsstycket, där fokalfunktens sida kan varieras i storlek från 10 till 50 mm.

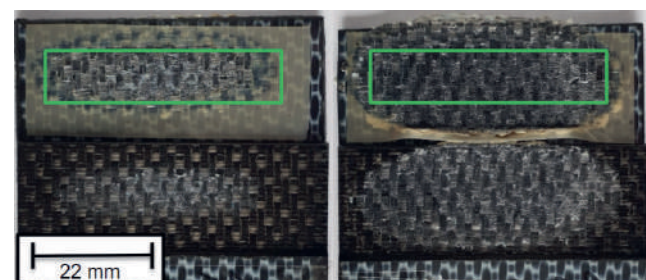
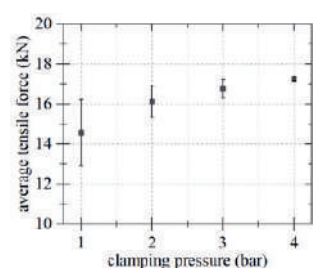
Under försöken vid svetsning av två överlappande PA-kuponger med 2 mm tjocklek, där den övre släppte igenom 75% av den tillförda laserstrålningen, registrerades värmeutbredningen med hjälp av en termokamera med en bildfrekvens på 100 Hz och en spektrumvidd från 7,5 till 13,0 μm . Här kunde man se att vid svetsar som beskrev en cirkel blev värmen betydligt högre vid innerradien, där ju svetsverktygets relativrörelse är lägre, jämfört med dess ytterdito, om samma effekt togs ut från de 9 diodsta-



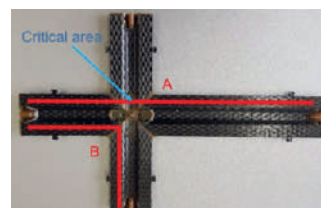
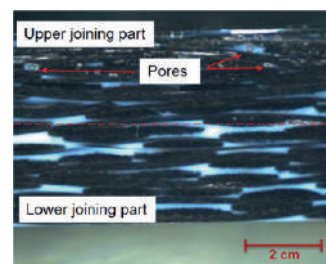
Figur 29. Närmast försökupställningen med Laserlines homogeniseringsmodul som ger en rektangulär fokalfunk och t.h. principen för transmissions-svetsning av polymerer med laser.



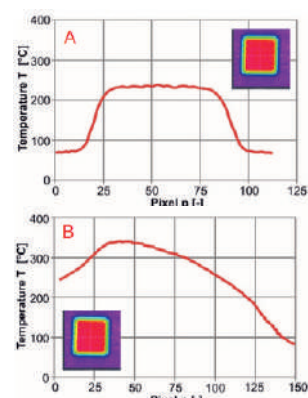
Figur 30. Hög lasereffekt och lång exponeringstid ger högst hållfasthet, men då den senare bör begränsas ur produktivitetssynpunkt valdes här 135 W och en svetstid på 80 sek. Fixeringstrycket (t.h.) inverkar också på hållfastheten, men effekten av detta är underordnad exponeringstiden.



Figur 31. Exponeringstiden är avgörande för fogen storlek. Den blir 7 gånger större vid 70 sek och 135 W, jämfört med 37 sek och 165 W (ovan). T.h. kan vi se hur man får en tätare packning av fibrerna i den övre detaljen p.g.a. det höga fixeringstrycket.



Figur 32. Med en fokalfunk med jämnt fördelad energi får man även en jämn värmefördelning över fogen vid raka svetsar (A), men om fogen har en kurvatur erhåller man en högre temperatur i fogens inre radie och en lägre i dess yttre (B).



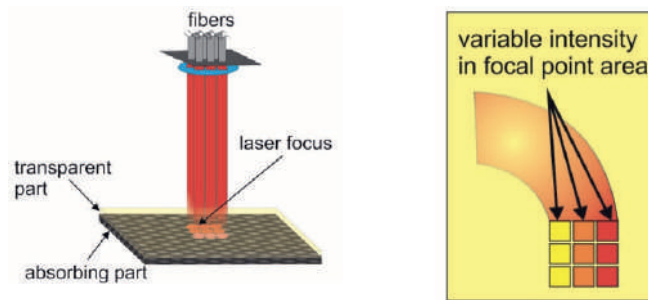
varna. Genom att då individuellt anpassa effekten från dessa kunde man kompensera den ojämna värmefördelningen och få en gynnsammare och jämn värmefördelning [Fig. 34]. Dragprovstavar tillverkades med 300 W totaleffekt och 1,5 m/min i framföringshastighet där olika svetskurvaturer [radie = 10, 30 och 50 mm] utförda med en optimal värmefördelning jämfördes med helt linjära svetsar. Tvärsnittsanalysen visade perfekt symmetriska svetsgeometrier helt utan förekomst av några porer. Framtida forskning kommer att vara inriktad på en automatiserad processkontroll med adaptiv styrning av lasereffekten från de 9 diodstavar. Det här projektet hade finansierats av BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] och samarbetspartners var LMB Automation GmbH, neoLASE GmbH, PRIMES GmbH, Sill Optics GmbH & Co. KG, Coherent DILAS Diodenlaser GmbH och Volkswagen AG.

Fundamental Study on Reduction of Dross in Fiber Laser Cutting of Steel by Shifting Nozzle Axis

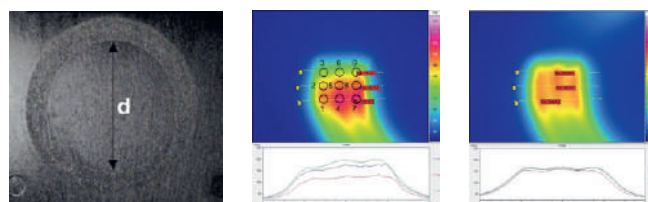
Atsushi Yagi, Okayama University

Laserskärning av grövre plåttjocklekar resulterar oftast i grader vid den nedre delen av skärnittet. Vid CO₂-skärning har det visat sig vara möjligt att reducera sådana om man låter laserstrålen oscilleras i ett cirkulärt mönster. Idag är det önskvärt att istället använda sig av en fiberlaser då denna erbjuder en högre skärhastighet, men här kan oscillering inte motverka uppkomsten av grader då 1 µm-våglängden från en fiberlaser har en annan karaktäristik då det gäller absorption. Framförallt då skärfronten är nästintill vertikal, vilket den blir vid skärning av tjockt material då framföringshastigheten är låg, uppvisar CO₂-våglängden [10,6 µm] betydligt högre absorption [Fig. 35]. Detta medför att merparten av den tillförda energin smälter material i skärspaltens övre del medan fiberlaserns mesta energi träffar längre ner i densamma och där skapar smältprodukter som bildar grader i skärnittets undre del.

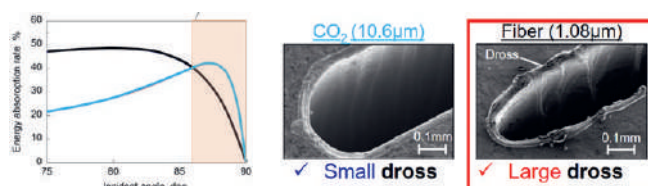
Därför måste andra angreppssätt tillgripas för att erhålla en någotsånär gradfri skärning med en fiberlaser, och ett sådant kan vara att förskjuta laserstrålen något från skärmunstyckets centrumaxel. Försök hade utförts på 3,2 mm tjocka kuponger i mjuk stålplåt. Lasereffekten var 3 kW och skärhastigheten 5 m/min. Fokalpunktens diameter var 140 µm och denna positionerades på olika avstånd från centrum av skärmunstycket vars öppning var 2,0 mm. Assistgasen tillfördes koaxiellt i munstycket och här användes Nitrogen med ett varierande tryck mellan 1,1-1,9 MPa. Tre olika lägen för laserstrålen undersöktes; helt koaxiellt, 0,5 mm framför respektive 0,5 mm bakom munstyckets centrumaxel räknat i skärriktningen, varpå skärnittets kvalitet bedömdes. Tyvärr visade sig de förskjutna lägena inte förbättra snittkvaliteten utan minst grader uppstod med ett koaxiellt arrangemang. Däremot utnyttjades assistgasflödet bäst då laserstrålen låg 0,5 mm framför centrum i skärriktningen, både vad gällde kylningseffekt som förmågan att driva ut smält material ur skärspalten. Detta indikerade att assistgasflödet kunde reduceras, något som borde minimera gradernas storlek då kylningseffekten och därmed stelningshastighet avtog, samtidigt som konsumtionen av gas sänktes [Fig. 36]. Genom att sedan placera fokalpunkten 1,7 mm ner i materialet gick det att påvisa en ytterligare minskning av storleken på graderna som då hamnade på samma nivå som hade man fått med det koaxiella arrangemanget, men alltså med en betydligt lägre gaskonsumtion och därmed minskade produktionskostnader [Fig. 37].



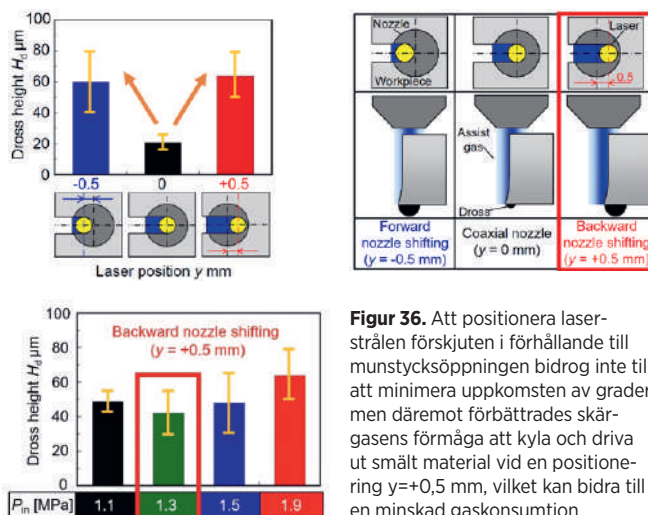
Figur 33. Närmast principen för att skapa en kvadratisk fokalpunkt med varierande energitäthet, och t.h. det faktiska verktyget med nio, med avseende på lasereffekt, individuellt justerbara linser.



Figur 34. Svetsar med 50 mm innerdiameter utfördes med såväl samma lasereffekt i de nio dioderna (mitten) som med en anpassad energifördelning (t.h.), vilket ger en helt jämn värmefördelning över fogen.



Figur 35. Vid laserskärning av tjockt material blir skärfronten nästan vertikal vilket gynnar absorptionsförmågan hos en CO₂-laser (blå kurva). Vid kortare våglängder blir absorptionen lägre, vilket medför att merparten av den tillförda energin träffar längre ner i skärspalten och där gör att grader uppstår.



Figur 36. Att positionera laserstrålen förskjuten i förhållande till munstycksöppningen bidrog inte till att minimera uppkomsten av grader, men däremot förbättrades skär-gasens förmåga att kyla och driva ut smält material vid en positionering $y=+0,5$ mm, vilket kan bidra till en minskad gaskonsumtion

Development of Cutting for High Power Laser and Beam Damper Technics

Hiroki Mori, Mitsubishi Heavy Industries

Ett relativt nytt användningsområde för lasertekniken är vid nedmontering och sönderdelning av uttjänta kärnkraftsanläggningar och här beskrivs hur betongväggar med ingjutna armeringsjärn och en totaltjocklek på 1,2 meter kunde laserskäras. I jämförelse med andra termiska metoder som plasma- eller gasskärning kan laserskärningen utföras med hög hastighet, manipuleras från ett säkert avstånd och ske vid en relativt låg ljudnivå. Experimentella försök gjordes med en fiberlaser från IPG med 25 kW effekt [YLS-25000] och ett skärverktyg med lång fokallängd [Fig. 38]. Framföringshastigheten uppgick till 6 mm/min vilken fick reduceras till 3 mm/min då laserstrålen träffade ett armeringsjärn. Luft användes som assistgas med ett flöde på 4.000 liter per minut! P.g.a. det höga gasflödet kunde skäroperationen endast utföras i 5 minuter, därefter var gasflaskan tömd.

Den använda, höga lasereffekten innebär att energitätheten i laserstrålen ligger kring 32 kW/cm², och detta ställer till problem då man skurit igenom betongblocket. Processen måste ur säkerhetssynpunkt ske i ett isolerat utrymme vars väggar då kan penetreras av den utkommande laserstrålen. Effekttätheten måste alltså reduceras vilket man skulle kunna göra genom att öka det omslutande utrymmet eller genom att introducera en konkav lins i strålgången som då sprider ut laserljuset. Ingen av dessa lösningar bedömdes, p.g.a. utrymmesbegränsningar eller kontaminering av den förslagna linsen, som realistiska alternativ, utan istället valdes att utnyttja vatten för att dämpa energitätheten. Vattnet tillfördes i två strålar i form av dimma respektive vätska [Fig. 39]. Vattendimman sprider ljuset så att energitätheten blir lägre varefter en del av energin absorberas av vattenridån. För att ytterligare effektivisera den senare funktionen kan ett absorberande additiv tillsättas i vattenridån där absorptionen blir direkt proportionell mot dess tjocklek. Ju mindre vattenpartiklar vattendimman består av desto mer sprids laserljuset. Om partiklarna är så små som 5 µm visade experiment på att energitätheten i laserstrålen minskar med hela 70%. Med en tjocklek på vattenridån kring cirka 6,5 mm absorberas så mycket laserenergi i den att den resulterande energitätheten utgör blott 4% av den initiala. Utgående från dessa förutsättningar gick det att räkna sig fram till att energitätheten hos den från skärprocessen utgående laserstrålen kan reduceras från 32 till 1 kW/cm², ett värde som inte skadar eller bränner igenom omslutande skyddsväggar. ■

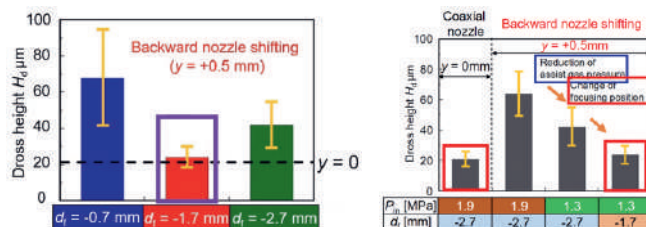


Figure 37. Genom att kombinera positioneringen av laserstrålen en halv millimeter framför skärmunstyckets centrumaxel med en fokalpunktsplacering 1,7 mm ner i materialet erhöj man samma nivå på gradbildning som vid det koaxiella arrangemanget men till en betydligt lägre gasförbrukning.

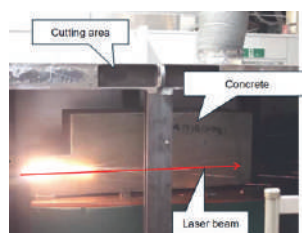
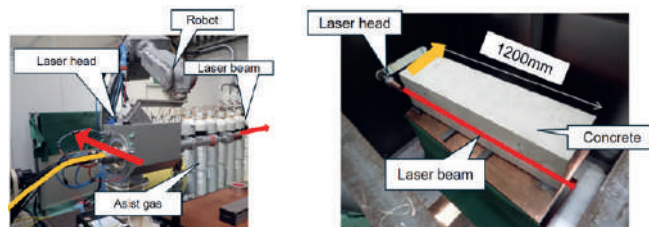
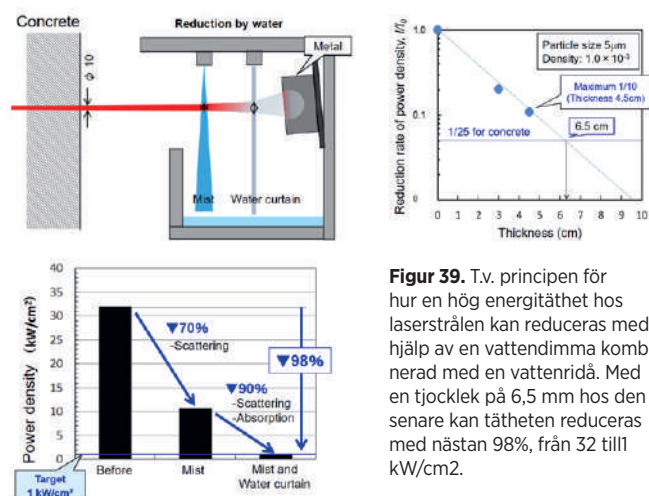
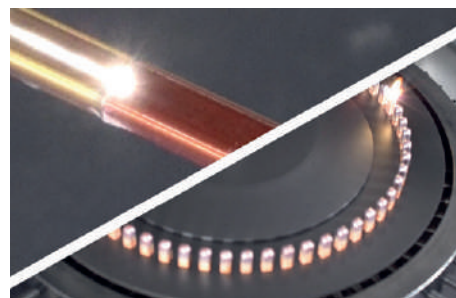


Figure 38. Försökupställningen där ett betongblock med en totaltjocklek på 1,2 meter laserskars med 25 kW effekt från en fiberlaser.



Lasersvetsning av "hårnålar"

Johnny K Larsson
Autokropolis Engineering



Tillsammans med lösningar för energilagring lär vi få se en omfattande och snabb tillväxt av drivlinekomponenter för "e-mobility". Svetsning av kopparvagnar, populärt kallade "hårnålar", till de statorer som ingår i elektriska motorer har under senare år utgjort ett omfattande applikationsområde för lasersvetsning. En förklaring till succén ligger inte enbart i ett korrekt val av processparametrar utan minst lika mycket i en framgångsrik implementering av tekniker för maskinvision som detekterar sagda vagnar, justerar och optimerar svetsprocessen och sedan också utför en bedömning av svetskvaliteten.

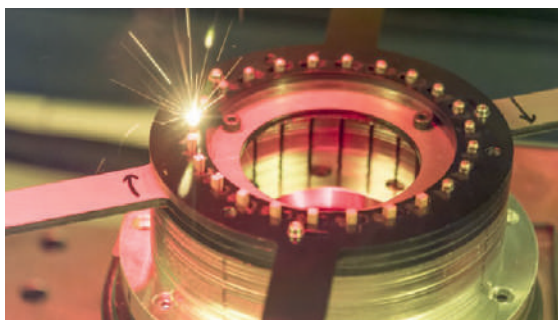
Det sitter mellan 200-400 "hårnålar" i en stator och de har en toppyta på 1,3×3,6 mm medan längderna varierar mellan 30-50 mm. Dessa "hårnålar" svetsas samman parvis, men då de är försedda med en korrosionsskyddande polymer måste denna film avverkas selektivt för att möjliggöra svetsningen. Clean-Lasersysteme GmbH har specialiserat sig på rengöring med hjälp av en laserstråle, och tekniken har länge använts för att avlägsna gamla färgskikt, t.ex. på flygplanskroppar. Man erbjuder för ändamålet anpassade laserkällor i tre effektområden; modellerna CL12-CL200 med låg effekt, medeleffektvarianterna CL150-CL600, samt CL1000 och CL2000 med hög effekt.

Beträffande den ovannämnda avverkningen av polymerskiktet [PA eller PEEK] på "hårnålarna" sker detta lämpligtvis med 500 W från en CL500-källa och en STAMP25-optik. För att avverka en 20 mm lång sträcka per hårnål tar det mellan 1,8-2,5 cm2/sek, och som kvalitetskontroll använder man en höghastighetskamera för processövervakning.

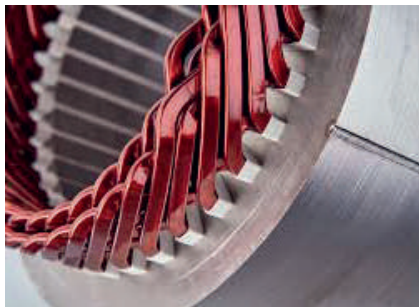
Beträffande "hårnålarna" förekommer dessa i tre varianter där I-typen är den vanligaste, övriga är sammanvävda och kontinuerliga "hårnålar". Fördelen med att använda laser för borttagning av den korrosionsskyddande polymeren är att själva kopparmaterialet inte påverkas. Om man istället använder sig av mekaniska metoder för avverkningen kan även viss del av kopparmaterialet tas bort, vilket leder till större och varierande spalt mellan "hårnålarna" och därmed sämre förutsättningar för att nå ett fullgott svetsresultat. Puls längder i ns-området med höga effekter är vad som gäller för denna operation.

Som tidigare nämnts måste det korrosionsskyddande isolerskiktet avverkas med laserpulser innan svetsningen kan utföras. De problem som föreligger vid lasersvetsning av koppar är att materialet har låg absorption men hög värmeledningsförmåga, vilket främst inverkar vid starten av svetsprocessen. Dessutom medför hög svetshastighet att man får en ackumulation av små porer i svetsgodset. P.g.a. hög ytspänning och viskositet hos smältan kan man även få större centumporer eller inneslutningar. Vidare är svetsens form viktig om man vill undvika läckströmmar, samt att hela skiktjockleken hos isolerfilmen tagits bort.

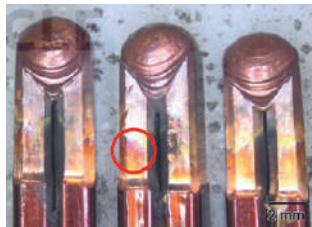
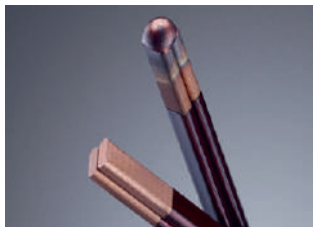
Fixering av "hårnålarna" i x-, y- och z-koordinat är också viktig, då de har vissa måttoleranser. För en säkerställd svetsning vid volymproduktion bör x/y-toleranserna inte överstiga ±0,1 mm och vertikalavvikelsen inte vara större än 0,5 mm. Eftersom produktivitetskraven vid svetsning av "hårnålar" ligger under 100 ms per par [inklusive fogsökning] har Scansonic utvecklat ett skanner-verktyg som identifierar förutsättningarna för lasersvets-



För att kunna svetsa rotnors "hårnålar" med hög kvalitet måste först det korrosionsskyddande polymerskiktet avlägsnas med hjälp av korta laserpulser. För detta ändamål har Clean-Lasersysteme GmbH utvecklat laser-källorna CL600 och CL1000.



Oavsett om statorn är uppbyggd av I-typ eller sammanvävda "hårnålar" måste dessa frigöras från polymerskiktet i det område "hårnålsparen" skall sammansvetsas.



Olika exempel på förångning av skyddspolymeren på "hårnålar" utförd med Clean-Lasersystemes CL500-modell med en hastighet mellan 1,8-2,5 cm²/sekund.

För att få en maximal elektrisk ledningsförmåga över hårnålarna krävs att svetsen mellan dessa har en jämn form annars riskerar man läckströmmar. Likaså får det inte finnas kvar några rester från den korrosionsskyddande polymeren.

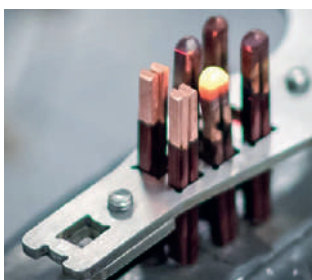
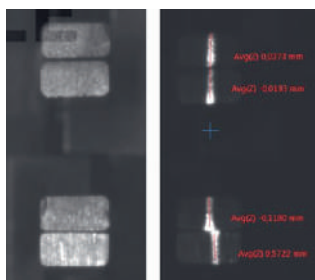
ning av varje enskilt "hårnålspår". Tekniken är en kombination av triangulering och analys av en gråskalebild, och en algoritm som utvärderar de geometriska förutsättningarna i fogen hjälper till att välja ut optimala laserparametrar. Sålunda kontrolleras lasereffekten i start- och stoppunkterna för svetsen, och med Coherents ARM [Adjustable Ring Mode] -laser har man kunnat svetsa helt sprutfritt vid en hastighet på 20 m/minut.

Det finns en mängd liknande verktyg för processövervakning och -kontroll, och TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH kallar sitt system för att fastlägga hårnålarnas position för "VisionLine". Om man emellertid önskar en ytterligare visuell upplösning av svetsområdet rekommenderar man att använda OCT [Optical Coherence Tomography].

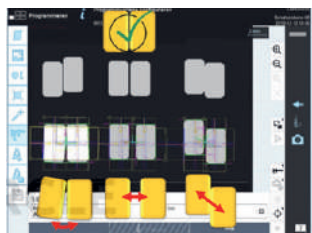
TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH har ytterligare ett verktyg som kan vara behjälpligt vid svetsning av hårnålar, nämligen BrightLine® som ger fördelar såsom mindre svetsstrut, ökad svetshastighet samt en slät toppyta på svetsen, vilket allt går att härleda till att man med denna teknik kan vidga nyckelhålet vid ytan. Även pormängden i svetsgodset minimeras med denna typ av distributionsfiber p.g.a. en stabilare svetsprocess och frånvaron av momentana nyckelhålskollapser. Konceptet, som även går under benämningen "2in1-fiber", baseras på en diskaser från vilken det går en distributionsfiber som består av en kärnfiber och en omgivande dito. Därigenom kan den singulära strålen från laserkällan delas upp i två laserstrålar där energifördelningen i de båda fiberenheterna kan varieras steglöst inbördes, varför det blir möjligt att skräddarsy fokalpunktens energitäthet allt efter behov och applikation.

II-VI HighYag Lasertechnologie GmbH erbjuder sitt "HIGH-vision" för fogsökning vid svetsning av "hårnålar". Här tar det 12 ms för systemet att hitta fogen och identifiera dess utseende, varpå optimala parametrar automatiskt väljs ut med hjälp av en egenutvecklad algoritm. Svetsningen av en "hårnål" tar med 2 kW lasereffekt 0,17 sekunder och utföres då i ett skruvformat mönster [LSW = Laser Screw Welding] med fyra cirklar vilket ger en svetsbredd på 2,4 mm.

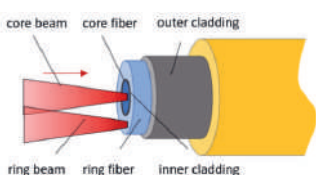
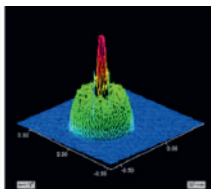
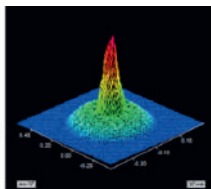
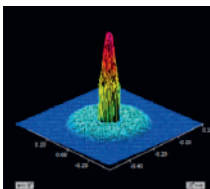
Eftersom det rör sig om miljontals "hårnålar" som i volymproduktion skall tillverkas med mycket korta cykeltider, och



Då toleranserna vid svetsning av "hårnålar" är snäva blir fixeringen av dessa viktig. Scansonic har utvecklat ett analysverktyg baserat på triangulering och gråskalebild av de olika "hårnålsparen" som en hjälp att välja de bästa laserparametrarna i varje enskilt fall.



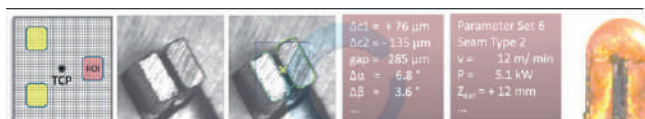
Helt sprutfritt svetsning av "hårnålar" i koppar, och t.h. den användarvänliga informationen från process-kontrollverktyget "VisionLine".



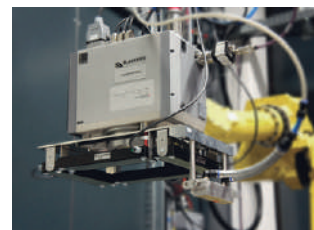
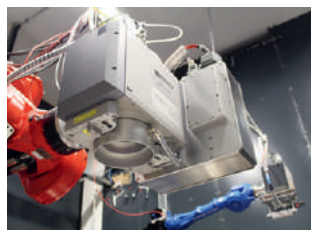
Principen för Trumfs BrightLine®-fiber där energifördelningen i de båda fiberenheterna kan varieras steglöst, vilket här illustreras med en tilltagande lasereffekt i den yttre fiberkärnan

då man inte kan förvänta sig en perfekt positionering av varje "hårnål", behövs ett tillförlitligt verktyg för detektering av deras läge. Dessutom kan form och längd hos "hårnålarna" variera. För detta ändamål har Blackbird Robotersysteme GmbH utvecklat kameralösningen "ScaVis" [Scanner Vision], vilken integrerad i deras skanner-verktyg "intelliSCAN", presenterar en bildanalys i gråskala.

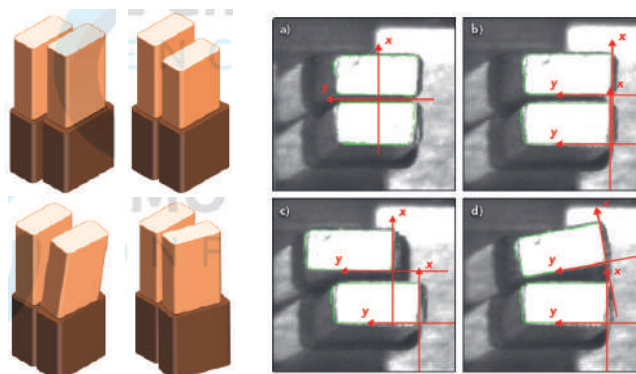
Typiska felpositioneringar kan vara: olinjäritet, höjdavvikelse, varierande spalt eller dito vinkel. Utifrån de olika förutsättningarna att nå en godkänd svetskvalitet väljs laserparametrar för varje enskild svetsoperation. Dessa kan vara fokalpunktsstorlek, energifördelningen i densamma samt olika svetsmönster såsom raka stygn, oscillerat sinus-, cirkel- eller spiralmönster. Om "ScaVis" bedömer enstaka "hårnålspår" vara så pass felpositionerade att de inte kan svetsas med godkänt resultat larmar systemet och en operatör kan manuellt justera "hårnålarnas" lägen. När detta är gjort placeras statorn åter i svetscellen, och eftersom samtliga mätdata har lagrats kan systemet identifiera endast de "hårnålspår" som nu behöver svetsas. ■



Ovan ses principen för hur HIGH-vision systemet fungerar. Efter att fogen hittats och "hårnålarnas" utseende identifierats väljer en algoritm ut de optimala svetsparametrarna för den aktuella situationen.



Några exempel på ett robotburet "intelliSCAN"-verktyg utvecklat hos Scanlab GmbH, och som numera ingår i produktsortimentet hos Blackbird Robotersysteme GmbH.



Några exempel på felpositioneringar av "hårnålarna" (olinjäritet, höjdavvikelse, varierande spalt eller vinkel) och hur detta visualiseras i ScaVis' bildanalysprogram.

Achieving homogenous hardened zone using laser beam oscillation

Författare
Jan Frostevarg, LTU

Laser hardening is a precise and energy efficient method that offers flexibility when hardening complex structures, such as crankshafts for internal combustion engines. The laser increases local surface temperature and induces martensitic transformation, which increases hardness and induces residual stress characteristics that hamper fatigue crack propagation through the material. However, the commonly used Gaussian laser beam profile produces non-homogenous depth in the hardened area. The depth homogeneity of laser-treated zones is one factor that can define the quality and efficacy of altered mechanical properties in the material. Since the depth homogeneity depends on the laser beam profile and shape, customised laser beam shapes can be used to tackle this problem.

For example, a doughnut beam profile, which has higher energy intensity at the edge compared to the centre of the beam, has been reported to produce homogeneous treated areas. A top-hat beam profile, which has homogenous energy intensity across the beam shape, is believed to be able to deliver the equal energy input to the specimen, creating a homogenous treated area. Another developing technique that could be of interest to laser hardening is beam oscillation, in which special optics use mirrors to oscillate the laser beam at a specific frequency and pattern while moving across a material's surface. The technique influences the distribution of input laser energy, and has been shown to increase efficiency in laser welding by increasing weld depth and influencing both temperature gradient and solidification rate.

We have therefore experimented with laser surface hardening on microalloyed steel disks using circular and triangular oscillation strategies. This was to observe their effect on the quasi-static laser beam profiles and the geometry of the treated areas.

Experimental setup

In this work we used oscillating optics recently developed by Permanova Laser System. The optics have two main components: the optical unit and the control system. The optical unit consists of a collimation and focusing lens, water cooling, cover slides, temperature and safety sensors, and two additional oscillating mirrors. The mirrors perform very fast rotations around a central axis, resulting in a movement of the focus spot in two directions relative to the laser head. The control system features software where adjustments can be made to laser power, oscillation speed

and oscillation pattern. The software provides predefined settings that can be modified as desired. The laser power and scan speed can also be set to change during the oscillation to achieve variable energy density over the scanning area. These optics have a 1:1.76 optical ratio, a scanning area of ± 10 mm, can oscillate at up to 500 Hz for 1 mm amplitude and can support laser power up to 8 kW for wavelengths between 1,030–1,070 nm.

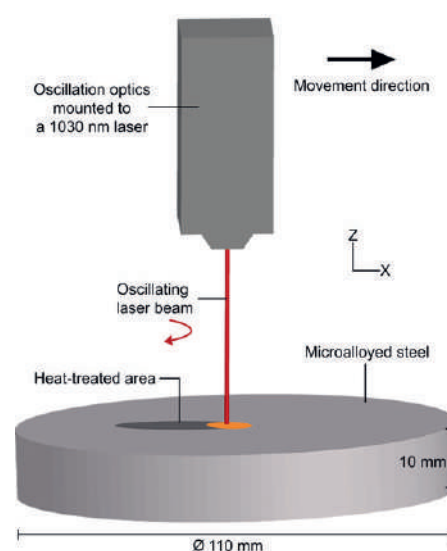


Figure 1. Illustration of the experimental set-up.

Figure 1 illustrates our experimental set-up. The oscillation optics were mounted to a moving robot and integrated with Trumpf's 1,030 nm TruDisk laser. The robot moved along the X-axis, producing single, straight, laser-treated tracks. Circular and triangular oscillation strategies (illustrated in figures 2a and b) were performed using constant laser parameters and a 1 mm beam spot.

Results

Top views of the tracks (see figures 2c and d) show the characteristic shapes achieved with each oscillation strategy. While the beginning and end sections of the tracks were not fully treated,

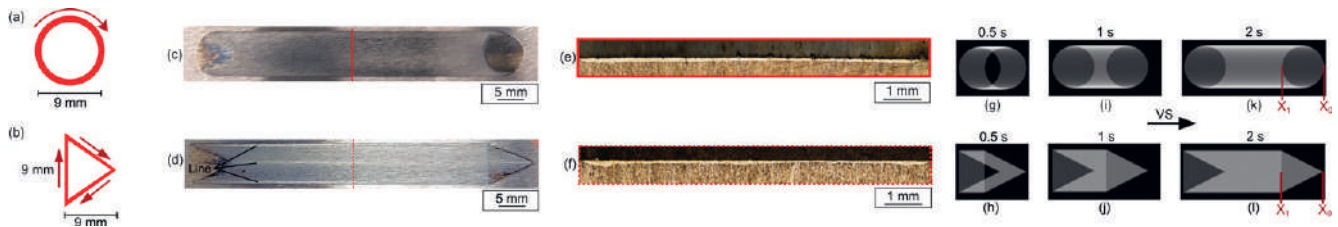


Figure 2. Illustration of the (a) circular and (b) triangular oscillation strategies including top view of the tracks (c, d), cross-section micrograph (e, f) and quasi-static beam profile (g – l).

the middle section of each track was fully treated for each oscillation strategy. Three vivid lines were found on the edge and centre of the triangular track. Respective cross-sectional images (figures 2e and f) show that the circular oscillation strategy produces homogenous depth, while the vivid lines of the triangular strategies result in a locally deeper treated area.

Quasi-static laser beam profiles of the oscillation strategies were visualised by reconstructing the laser beam pathway at 0.5s, 1s, and 2s (shown through figures 2g – l). A vector graphic editor was used to stack semi-transparent drawings of the oscillation strategies along the robot's path. The amount of assembled drawings represents the number of oscillations at a specific interval time. As a result, figures 2k and l have similar features to the top view of the track in figures 2e, and f.

The most important feature through figures 2g – l is the contrast. The brightness corresponds to how often the laser beam passes through the area. The brighter the area, the more often the laser beam passes through. Therefore, brighter features on the image can be associated with higher local energy input due to multiple passes of the laser beam. It is now clear why the beginning and end sections of the tracks were not fully treated. The laser beam only passes through this area once and thus the energy input was not sufficient to induce martensitic transformation in the material.

Observations

Temporal aspects and mechanical limitations of the oscillating optics could explain vivid lines on the triangular tracks respectively. Imagine the oscillating laser beam passing through a standing point at the cross-sectional position of the tracks during the process. The energy input that standing point experiences over time ranges from X_0 to X_1 on figures 2k and l. The centre of the triangular oscillation track received energy input from 0s, while the neighbouring edges did not. Accordingly, the temporal accumulation of energy input is higher at the centre of the track compared to the neighbouring edges.

However, the speed of the oscillating laser beam decelerates at the vertices of triangular oscillation strategies due to mechanical limitation, thus causing additional local energy input at these points. This additional energy input contributes to the production of the vivid lines on the triangular oscillation track.

In general, the beam oscillation strategies produced shallower treated areas compared to a common Gaussian beam or other beam profiles such as top-hat or doughnut, as well as those produced using diffractive optical elements. In terms of the energy needed over the volume of the treated track, beam oscillation consumes more energy than the above beam shaping techniques.

Despite its lower efficiency, beam oscillation has shown flexibility in tailoring energy input and thus the geometry of the treated area without the need for changing any optics. Therefore,

beam oscillation should indeed be considered for laser hardening or other surface treatment applications.

Conclusion

Laser beam oscillation has shown ability to replicate static beam profile and create a homogenous hardened depth. Quasi-static beam profile of the circular oscillation strategy has high intensity at the edge and gradual intensity decrement towards the centre which is similar to the doughnut beam profile. Circular oscillation strategy produce a homogenous hardened depth respectively. Beam oscillation therefore shows application potential in laser hardening, although further improvement of the efficiency and resultant treated depth is required.

Oscillation strategies influence both spatial and temporal energy input distribution during the process through overlapping oscillation patterns. Thus, changing the oscillation strategy is the way to tailor quasi-static laser beam profiles.

Temporal aspect and mechanical limitation of the oscillating optics also need to be considered for choosing an oscillation strategy for surface treatment. Having a larger beam spot and using other oscillation strategies might be able to improve process efficiency. ■