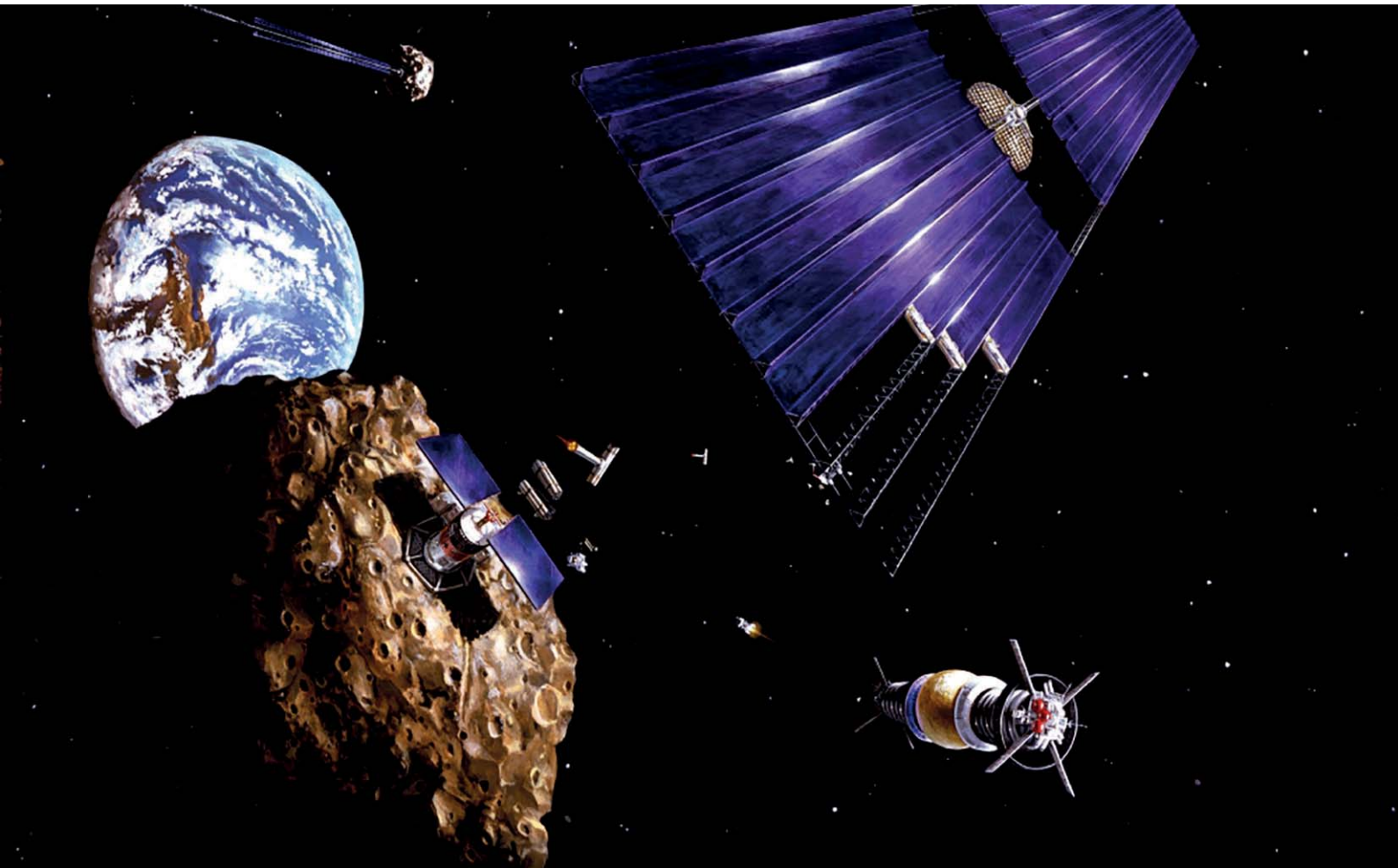


Lasernytt



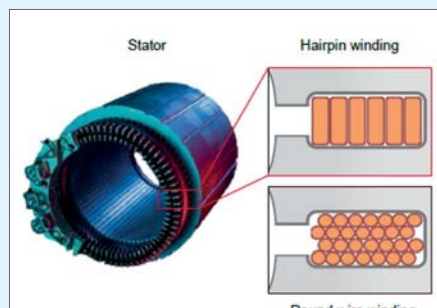
2-2022



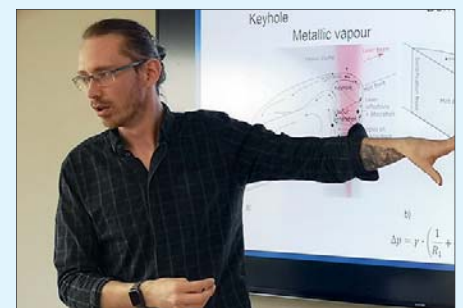
Gruvbrytning i rymden – är laserteknik en lösning?



Rapport från Aachener Kollegium
für Lasertechnik



IIW General Assembly Tokyo



EWF - SPECIALKURS LASERSKÄRNING

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

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

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

Kursen vänder sig till

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

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

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

**Datum: Kurs planeras för
2023, anmäl intresse för
uppdatering av kursdatum**

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

LULEÅ
TEKNISKA
UNIVERSITET

Lasernytt utkommer med 3 nummer/år och ges ut av

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

Redaktör

Lars Hamrebjörk

Redaktionellt arbete

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

Ansvarig utgivare

Jonas Saarimäki

Lasernytt på Internet

www.lasergruppen.eu

Layout: Marcus Dahlin, Dahlin grafisk design.

Tryck: Haninge Tryckeri



INNEHÅLL

TANKAR FRÅN STYRELSEN	1
<i>Mikael Olsson</i>	
Rapport från Aachener Kollegium für Lasertechnik	2
4-6 Maj 2022, Aachen Tyskland	
<i>Conny Lampa, Höganäs AB</i>	
IIW General Assembly Tokyo	8
<i>Alexander Lundstjälk, Swerim</i>	
Laserdagen II	10
Gruvbrytning i rymden – är lasertechnik en lösning?	12
<i>Jan Frostevarg, et al.</i>	
Laserdag I	17
Europeisk bilindustri leder utvecklingen inom laserbearbetning ...	21
<i>Nostalgiartikel från Lasernytt nr 2 2003</i>	

Tankar från styrelsen

Med tillförsikt mot en hållbar framtid

Sommaren går mot sitt slut och vi har förhoppningsvis en härlig höst framför oss. Skuggan av ett krig i Europa och efterdyningarna från en pandemi följer oss dock alltjämt. Dess konsekvenser visar sig fortsatt på många plan i samhället. Vi ställs inför en ny världsordning och inför nya omfattande utmaningar framförallt kopplade till kriget i Ukraina där en humanitär katastrof fått stora delar av världen att stå enade för att sluta upp och värna om mänskliga rättigheter.

Situationen gör oss också påmind om sårbarheten i den globala ekonomin och att en lokal hållbar försörjningsförmåga är av största vikt för en stabil tillvaro. Komponentbrist och dramatiska förändringar på energimarknaden gör att saker och ting faller under ett nytt ljus vilket öppnar upp för nya tankesätt och strategiska vägval inom politik och industri.

Som så många gånger förr är lasern ett verktyg som driver utvecklingen framåt och bidrar till nya innovationer och effektivisering inom flera områden vilket skapar möjligheter för ett hållbart samhälle på sikt.

I omställningen från fordon med förbränningsmotorer till eldrift är lasern med och effektiviserar utvecklingen genom hela processkedjan. Dessutom är lasern delaktig inom många olika typer av applikationsområden såsom svetsning, skärning, ytstrukturering och märkning. Applikationerna är alltifrån produktion av enskild battericell till sammanfogning av moduler eller kompletta fordon. Detsamma gäller för utvecklingen av bränsleceller som är en innovation på frammarsch. När de mycket tunna metallplattorna behöver svetsas gastätt och utan genombränning med högsta möjliga hastighet så är laser med scanneroptik det självklara alternativet.

Ytterligare ett område där lasern är med och driver utvecklingen är energisektorn som är och förblir ett kritiskt område. Solenergi spelar en särskilt viktig roll i våra strävanden att skapa en hållbar energiekonomi. Tillväxttakten är mycket hög inom segmentet för förnybar energi men dess potential är långt ifrån uttömd. Lasertechniken erbjuder skräddarsydda lösningar för denna framtidsindustri och öppnar nya möjligheter för solcellstillverkare och systemkonstruktörer. Lasrar används för att strukturera och koppla samman cellerna på solcellsmodulen och säkerställer genom målinriktad de-coating att modulerna har det nödvändiga isolationsmotståndet. Värmesystemen med VCSEL-laser (vertical cavity surface emitting laser) öppnar också upp för fördelar inom solcellsproduktion. Exempelvis genom att ta bort energibarriärer med riktad inbränning av kontaktorna på solcellen samt för att minska defekter genom intensiv bestrålning av cellen vilket därmed ökar effektiviteten.

Detta är bara några exempel på områden där lasern är ett framstående hjälpmedel för att säkra en hållbar framtid. Så låt oss se på framtiden med tillförsikt trots den svåra situationen i Östeuropa och den ekonomiska press som orsakats av den nuvarande globala oron. Ljusare tider kommer.

Allt gott.



Författare
Mikael Olsson

Rapport från Aachener Kollegium für Lasertechnik 4-6 Maj 2022, Aachen Tyskland



Figur 1: LPBF tillverkat injektorhuvud.



Conny Lampa
Höganäs Sweden AB

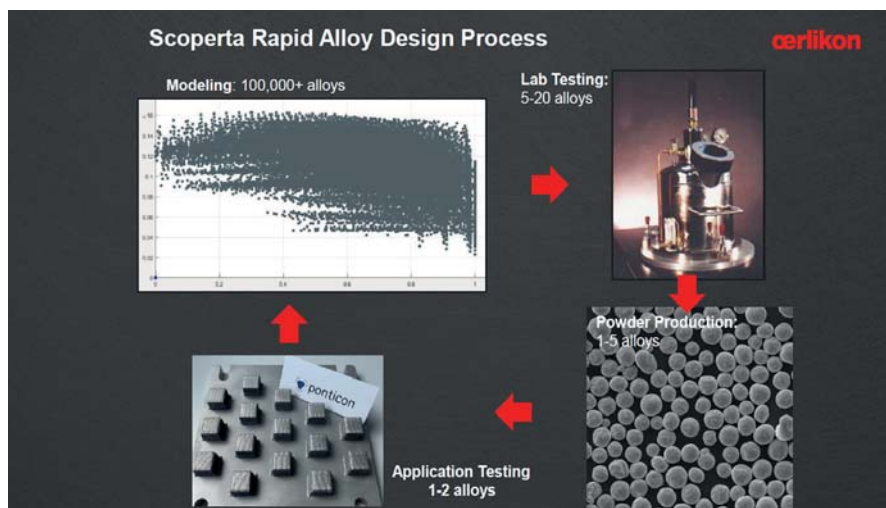
Efter ett ofrivilligt uppehåll på grund av Corona pandemin 2020, anordnades i år för 13:e gången i ordningen Aachener Kollegium für Lasertechnik, AKL. AKL är ett mycket uppskattat forum inom tillämpad laserteknologi där målgruppen är laseranvändare, lasertillverkare, forskare och andra som är intresserade av den senaste utvecklingen inom tillämpad laserteknik i produktion. Denna gång hade eventet samlat 521 deltagare, 85 talare och 44 företag och organisationer som tog tillfället i akt att ställa ut på den minimässa som arrangerats i anslutning till kongressen.

Denna rapportering har inget mål i sig att vara heltäckande för eventet utan är koncentrerat till de områden jag var sänd av företaget för att bevaka, dvs Additiv Tillverkning med Laser.

Dr Steffen Beyer från Ariane Group demonstrerade hur tillverkningskostnaden för ett injektorhuvud halverats genom att använda Laser Powder Bed Fusion (LPBF) jämfört med konventionell tillverknings-teknik, *figur 1*. Dessutom reducerades produktionstiden från cirka 3 månader till 35 timmar.

Laserbeläggning

I nästa föredrag av Arkadi Zikin från Oerlikon fick åhörarna en lite framtidsblick i laserbeläggning. Trenden idag är att öka produktiviteten vilket leder till allt högre lasereffekter, 20 kW och mer, för att kunna öka pulverflödet ända upp till 30 kg/timme. För att ta fram nya material för ytbeläggning används idag också hela det periodiska systemet för att ta fram hundratusentals teoretiska legeringar som i sin tur reduceras till 5-20 st för labtester. Av dessa kanske 5 legeringar undersöks om de kan tillverkas och i slutändan har man 1-2 legeringar som kan användas i praktiska försök, *figur 2*.



Figur 2: Rapid Alloy Design processen.

Tom de Bruyne representerade företaget Laser Cladding Venture (LCV), ett Belgiskt företag som specialiserat sig på laserbeläggning och som sedan tidigare i år ägs av SKF.

De kända fördelarna med laserbeläggning såsom låg termisk påverkan, minimal uppblandning med substratet, utmärkta korrosions- och nötningsegenskaper, kostbesparingar etc. demonstrerades. Utmaningarna med laserbeläggning är desto mindre kända. Tom gick igenom de processrelaterade faktorer som måste tas hänsyn till för hög kvalitet och produktivitet, figur 3.

Fraunhofer Institut für Lasertechnik, ILT, har sedan ett 10-tal år tillbaka utvecklat höghastighetsbeläggning med laser (EHLA). Processen har tills nu varit förbehållen rotations-symmetriska objekt såsom cylindrar rör och skivor. Fördelen med EHLA jämfört med konventionell laserbeläggningsteknik är att man kan belägga mycket tunna skikt (25-300 µm) väldigt snabbt (20-400 m/min), figur 4.

Min-Uh Ko från ILT visade den senaste utvecklingen av EHLA, höghastighetsbeläggning i tre dimensioner (EHLA3D). Principen för EHLA är att mesta delen av det tillförda pulvret smälter innan det når substratet. Vid konventionell laserbeläggning smälter pulvret vid kontakt med substratet. För att lyckas med EHLA i tre dimensioner har man utvecklat två olika maskinkoncept som baseras på dels parallell kinematik och dels linjär kinematik.

Konceptet med parallell kinematik visades även live vid studiebesöket på ILT under torsdagskvällen.

Diodlasertillverkaren Laserline representerades här av Dr Sörn Ocylok. Sörn belyste också den senaste utvecklingen och trenderna inom laserbeläggningsområdet; höghastighetsbeläggning, högeffektsbeläggning och additiv tillverkning med blå laservåglängd.

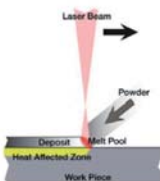

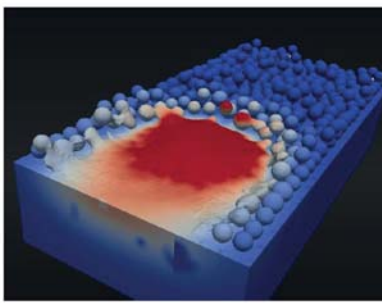
Laserbeläggning av bromsskivor är ett sådant exempel som generellt har definierats som höghastighetsbeläggning men där man nu ser trenden att belägga med lasereffekter upp till 20 kW och 10 kg pulver per timme också kan definiera det som högeffektsbeläggning, figur 5.

Båda processerna har ett linjärt förhållande mellan tillförd lasereffekt och belagd yta per tidsenhet, figur 6.

Blå laser genererar ljus i våglängdsområdet 445 +/- 20 nm och fungerar ypperligt vid beläggning av och med

Process challenges

15






Step 1 – Feed filler material
Step 2 – melt substrate and filler material
Step 3 – cool down


Constant mass-flow delivery of feed stock
Jams caused by nozzle heating etc...
Effect:
• Layer thickness

Creation of optimal melt-pool required for full metallurgical phase and clad deposition.
Energy density variables such as powder feed, laser power, clad head power out-put, substrate....
Effect:
• Pores – Microstructure
• Layer thickness

Solidification 1500-4000°C → room temp
Residual stress
Effect:
• Macro cracks & Micro cracks
• Macro deformation



EXPERIENCE THE LASER CLADDING ADVANTAGE




Figur 3: Utmaningar med laserbeläggning enligt LCV.

System Technology for EHLA3D – Investigation of Different Machine Concepts at ILT

EHLA3D machines at Fraunhofer ILT


Parallel kinematic



Tripod kinematic developed by Ponticon GmbH in close collaboration with Fraunhofer ILT

- Max. feed rate: 200 m/min
- Acceleration: 50 m/s²
- Path accuracy at > 50 m/min ≤ 100 µm

Linear kinematic



Modified CNC machine for EHLA3D: 3 linear + 2 rotary axis system

- Max. feed rate: 30 m/min
- Acceleration: 20 m/s²
- Path accuracy: 30 µm

Page 6
© Fraunhofer ILT



Figur 4: EHLA 3D med parallell kinematik och med linjär kinematik.

Evolution of High Speed Cladding

Cladding of brake discs

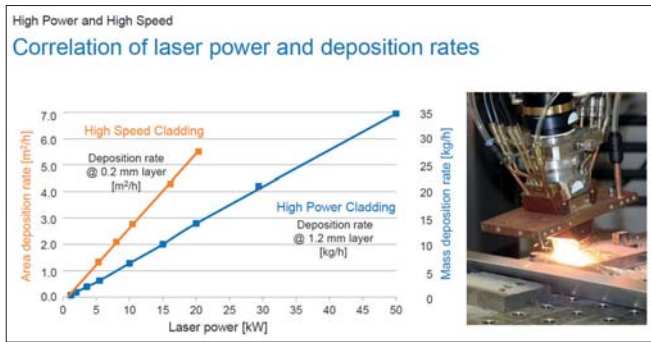
Developments in recent past

- High Speed Cladding up to 22 kW
- Process speed above 200 m/min
- Deposition rates > 10 kg/h
- Area deposition rates up to 10 m²/h
- Powder efficiency more than 80 %
- Process time < 30 sec.

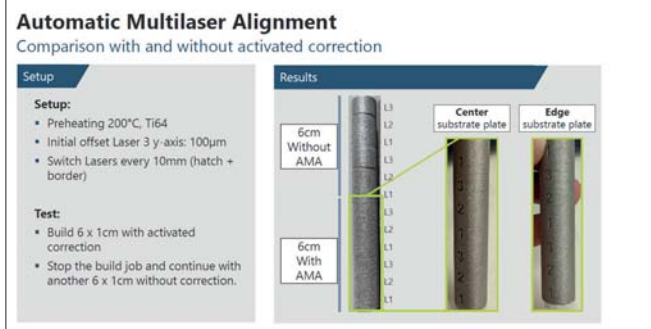
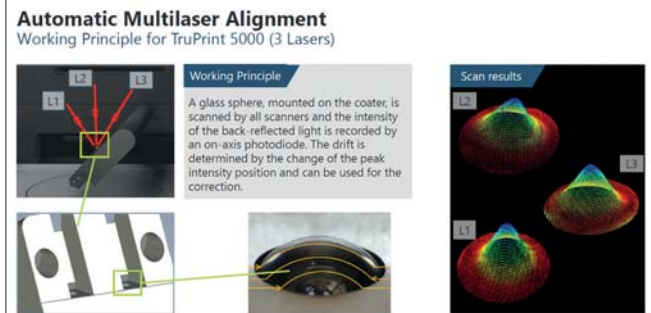
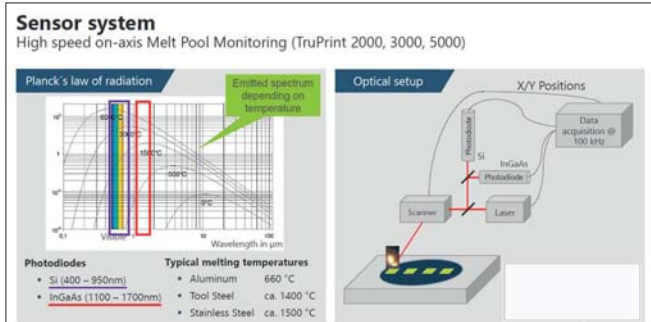




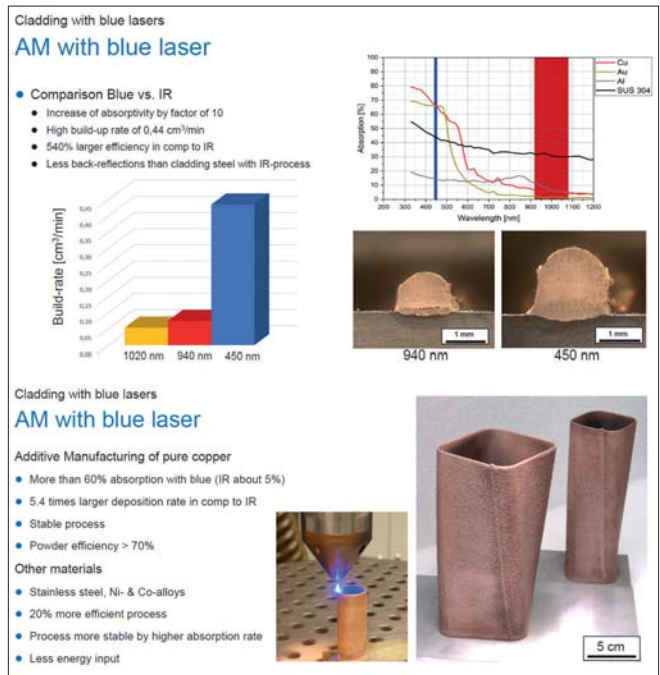
Figur 5: Utvecklingen av höghastighetslaserbeläggning applicerad på bromsskivor.



Figur 6: Det linjära förhållandet mellan lasereffekt och belagd yta per tidsenhet.



Figur 8: Trumpfs automatiska övervakningssystem vid LAM med pulverbädd.



Figur 7: Fördelarna med blå laser vid additiv tillverkning.



Figur 9: Chassidetaljer för 3D-printade prototyper.



Figur 10: Printad och tested kontrollarm.

högreffektiva material såsom exempelvis koppar där absorptionsgraden av blå laser ökar med cirka 10 ggr jämfört med IR-lasrar. Det har även visat sig att användandet av blå laser ger en stabilare process vid beläggning av stål, cobolt och nickellegeringar. Blå laser finns idag tillgängligt upp till 3 kW, figur 7.

LPBF – 3D-Printing med laser

För att öka produktiviteten vid LPBF (3D-Printing med laser) har bland annat Trumpf utvecklat system med fler än en laser, så kallade multilasersystem.

Den ökade termiska påverkan gör dock att dessa lasrar måste linjeras kontinuerligt och automatiskt för att undvika geometriska fel i tillverkade produkter. Trumpf GmbH har utvecklat ett sådant system som kontinuerligt övervakar och genomför nödvändiga justeringar. Övervakningen är uppdelad på pulverbädd och på smälta. Den data som erhålls jämförs sedan mot en referensprocess och nödvändiga justeringar genomförs.

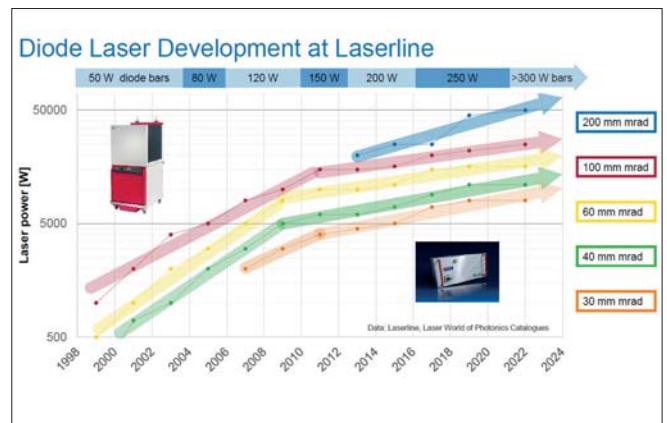
Dr Mark Gronle demonstrerade de lösningar som Trumpf utvecklat, figur 8.

Ford-Werke har under en längre tid tillverkat funktionella prototyper i chassit som ej utsätts för höga belastningar. Nu har man även inlett försök med att tillverka chassidelar som utsätts för högre belastning, figur 9.

Man valde rostfritt stål 1.4542 (mot-svarar 17-4PH) då det pulvret redan finns ute på marknaden och materialet bör ha liknande egenskaper som det materialet som används idag. Inledningsvis printades dragprovstavar som värmebehandlades på olika sätt för att hitta den metod som gav bäst mekaniska egenskaper. Ef-



Figur 11: Simulering av LPBF och DED processerna.



Figur 12: Diodlaserutveckling sedan 1998.

terföljande dynamiska tester visade att material och process kunde appliceras på funktionella prototyper.

En begränsande faktor vid val av komponent är dock byggkammarens storlek så den första detaljen man valde var en kontrollarm, *figur 10*.

Testförare kunde inte märka någon skillnad på den printande kontrollarmen jämfört med den konventionellt tillverkade så slutsatsen blev att det är möjligt att 3D-printa fullskaliga komponenter så länge de inte är för stora.

Att möjliggöra korrekta simuleringar av processerna, både LMD och LPBF, ger enorma fördelar då både tid och kostnad kan reduceras och det blir möjligt att göra rätt redan vid produktionen av den första riktiga komponenten. Företaget CadFEM GmbH, representerad av *Keno Kruse*, demonstrerade deras simuleringlösningar, *figur 11*.

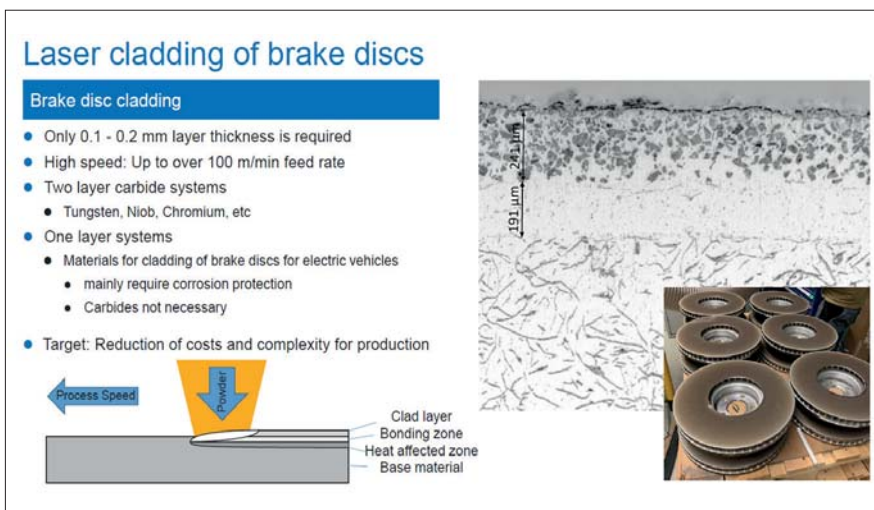
Laserbearbetning

Teknologin för laserbearbetning har ett brett spektrum med våglängder från 10 nm till 10 000 nm, pulslängder från 100 femtosekunder upp till kontinuerlig (CW) och lasereffekter från mW till multi kW.

Utvecklingen av bland annat diodlasrar de senaste 20 åren är häpnadsväckande. *Volker Krause* från Laserline visade hur lasereffekt och strålkvalitet hos diodlasrar utvecklats sedan 1998, *figur 12*.

Som nämndes tidigare används diodlasrar vid utveckling av beläggning på bromsskivor, *figur 13*.

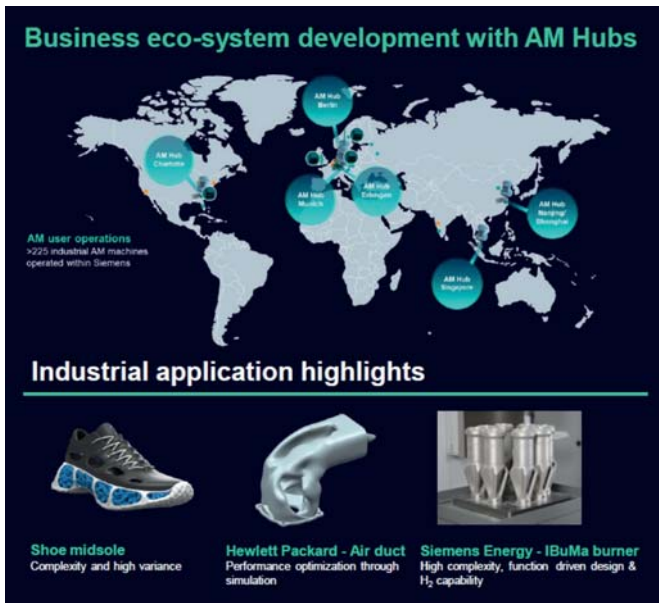
Blå lasrar har redan visat sig ha fungerande applikation både vid svetsning och additiv tillverkning med koppar. En applikation som kanske inte är lika känd är borttagande av påväxt från bland annat fartygsskrov, *figur 14*.



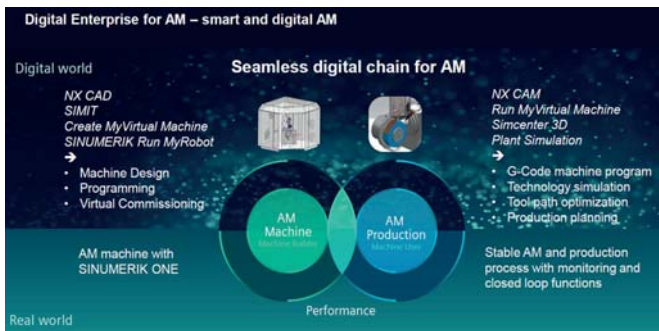
Figur 13: Laserbeläggning på bromsskivor.



Figur 14: Borttagning av påväxt med blå laser.



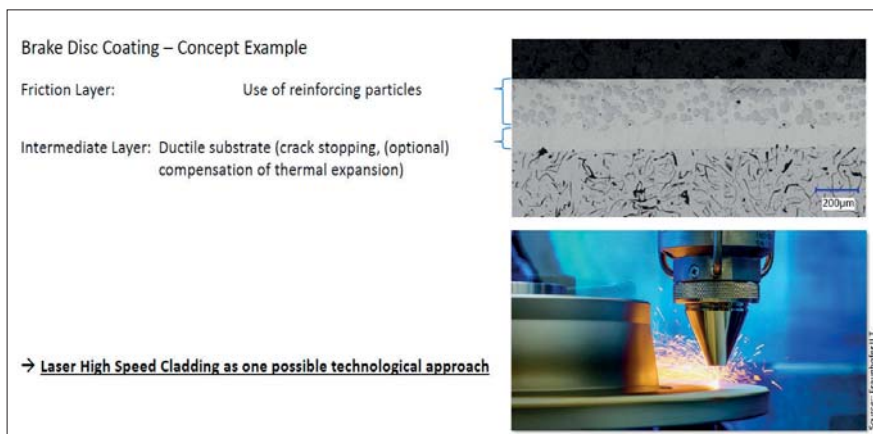
Figur 15: Siemens lösning av den digitala kedjan för AM.



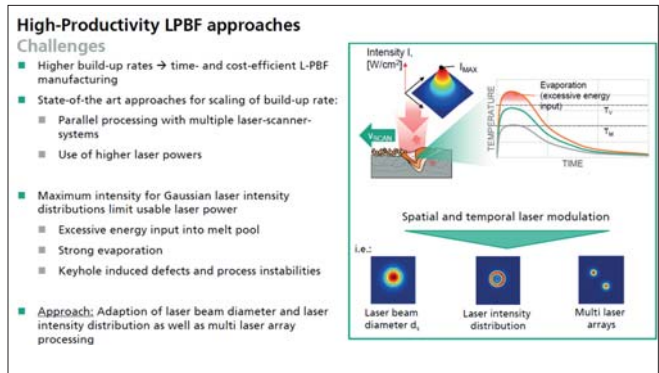
Figur 16: Siemens AM hubbar worldwide.



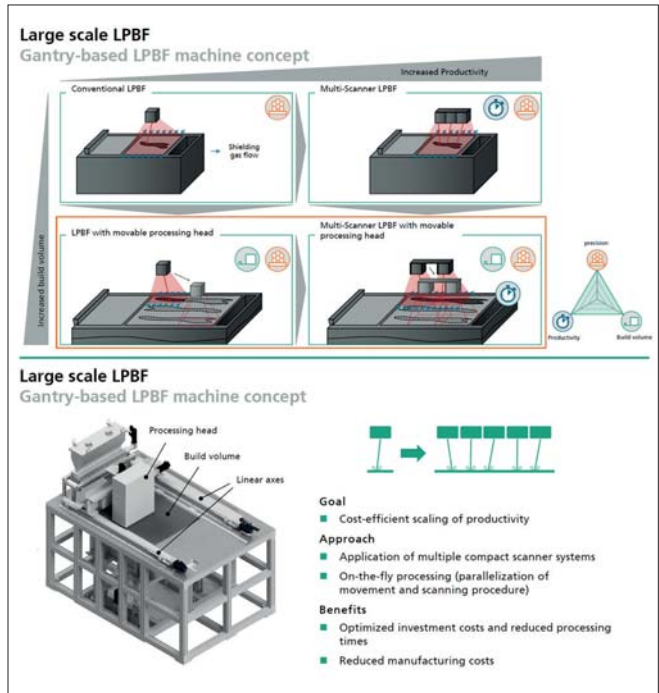
Figur 17: GKN Additives approach för att ta fram material anpassade för AM.



Figur 20: Höghastighetslaserbeläggning av bromsskivor. 2-lager för korrosions- och nötningsmotstånd.



Figur 18: ILT approach för högre produktivitet vid LPBF.



Figur 19: ILT approach för utveckling av större LPBF maskiner.

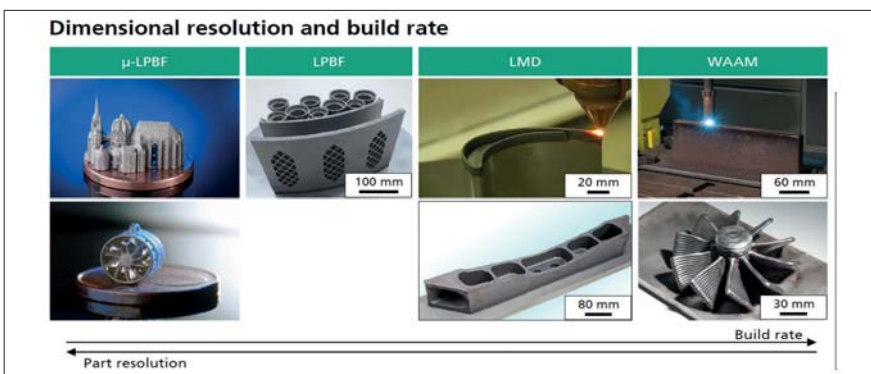
Additiv tillverkning

Siemens AG har sett additiv tillverkning med laser som en etablerad tillverkningsmetod inom ett flertal applikationsområden. För att ytterligare ta fördel av tekniken är utvecklingen av mjukvara kritisk för ytterligare industrialisering. Dr Tobias Kamps demonstrerade Siemens lösningar för att sammanfläta den digitala världen med den "riktiga världen", figur 15-16.

Dr Simon Höges, GKN Additive, förklarade från ett användarperspektiv hur olika hjälpmedel för design och tillverkning kan bidra till högpresterande system där additiv tillverkning möjliggörs med helt digitala flöden. Dessutom underströks behovet av att utveckla skräddarsydda material för specifika applikationer och egenskaper, figur 17.

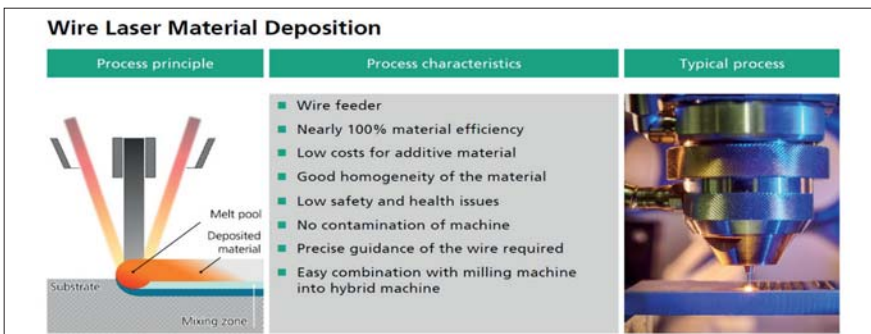
Den ständiga utmaningen för additiv tillverkning med laser är hur kan man

öka produktiviteten och samtidigt inte göra avkall på kvaliteten? Då detta är avgörande för att LPBF ska bli riktigt accepterat i fullskalig serieproduktion satsar Fraunhofer ILT Aachen mycket på forskning kring ämnet, innefattande användandet av högre lasereffekter, formning av laserstrålen, nya maskinkoncept samt adaptiva metoder för styrning och kontroll av LPBF processen, figur 19.



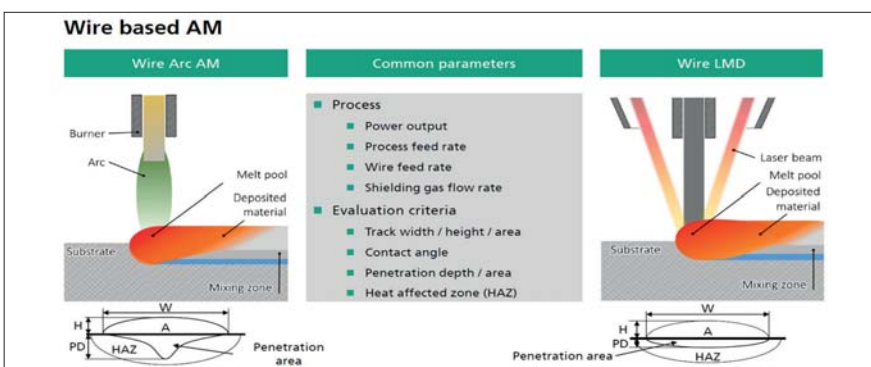
Figur 21: Olika AM metoders upplösning och bygghastighet.

Lagkrav – partikelnivåer för bromssystem
Ytterligare en talare, Dr Sebastian Gramstadt från Audi AG, behandlade ämnet laserbeläggning av bromsskivor. Inom ett par år kommer det lagkrav från EU att utsläpp av partiklar från bromssystem ska nå mycket låga nivåer. Av de teknologier som idag är kända är höghastighetslaserbeläggning den mest troliga lösningen enligt Dr Gramstadt. Beläggningen ska ha ett högt korrosionsmotstånd och samtidigt ett gott nötningsmotstånd.



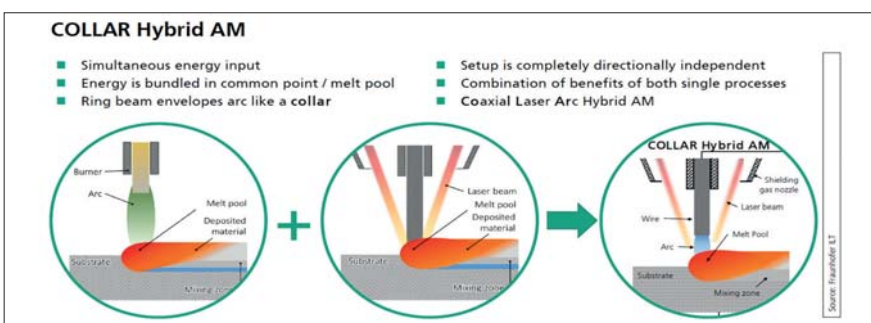
Figur 22: Beskrivning av LMD med tråd.

Lagförslaget är tänkt att tas beslut om i september 2025, därefter har tillverkarna ett år på sig att implementera lösningar, figur 20.



Figur 23: Beskrivning av Wire Arc Additive Manufacturing.

Slutligen måste dessutom hållbarhetsaspekter tas med, det vill säga användandet av förnybar energi, återanvända material samt använda energieffektiva processer.

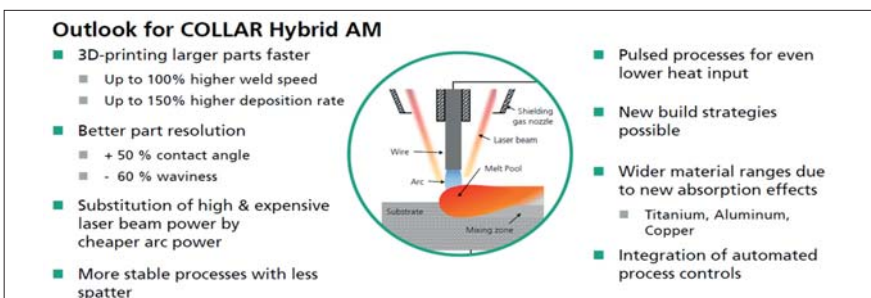


Figur 24: Beskrivning av COLLAR Hybrid AM.

Max Steiner från ILT Aachen presenterade en additiv tillverkningsmetod som kallas för Coaxial Laser Arc Hybrid Additive Manufacturing with wire (COLLAR). Förenklat kan metoden beskrivas som en kombination av LMD (laser additive manufacturing) med tråd och WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing), figur 21-25.

Nya kontakter

Förutom föredrag och presentationer erbjuder AKL ett ypperligt tillfälle till nätverkande med personer, företag och institutioner inom laserområdet. Under pauser rekommenderas ett besök i minimässan som hålls i direkt anslutning till förfriskningarna.



Figur 25: Fördelar med COLLAR Hybrid AM.

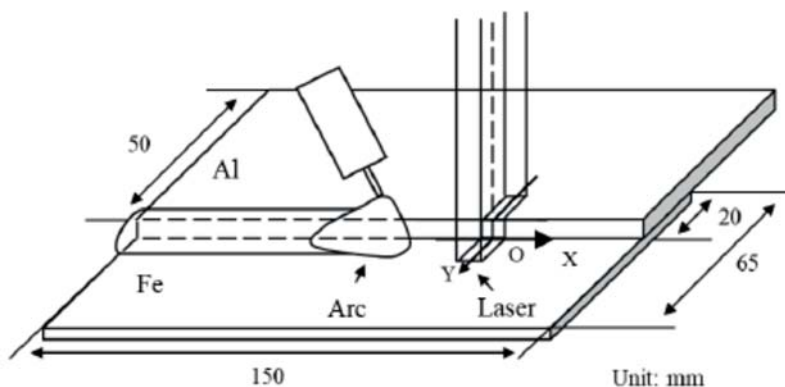
Efter torsdagens föredrag erbjuds deltagarna också ett 3-timmars besök vid ILT's laboratoriefaciliteter där den senaste forskningen och utvecklingen demonstrerades live. Ett mycket uppskattat inslag i arrangemanget.

Nästa gång AKL arrangeras är planerat till 2024. Väl mött då! ■

IIW General Assembly Tokyo



Alexander Lundstjälk
Swerim



Figur 1: Schematic of joining steel to aluminium alloy by the developed process.

Det var mycket intressanta föredrag som hölls på General Assembly i Tokyo, Japan. Från Swerim deltog Pia Borg, David Löveborn och Klara Trydell samt jag. Vi täckte tillsammans upp i stort sett alla Kommissionerna och jag deltog i första hand på Kommission IV, med mitt primära mål att ta del av lasersvetsning. Därifrån har jag tagit med mig mycket intressanta nya idéer inom lasersvetsområdet och kommer presentera några axplock som sticker ut lite extra.

Bland annat presenterades en metod för multimaterialfogning mellan galvaniserat stål (GI och GA) och aluminium AA6063-T5. Detta utfördes med en typ av laserhybrid lödprocess där både aluminiumtråd ER5356 samt ER4043 testades. Hybridprocessen skiljer sig från vanlig laser-hybrid genom att laser i det här fallet oscillerade en bit framför ljusbågsprocessen endast för att skapa en uniform uppvärmning av plåtyorna,

dvs inget smältbad uppstår, ljusbågsprocessen tillför därefter låg heat input. Syftet med denna uppställning är att öka vätningen av lodet för att således öka lödfogens bindande yta. Resultatet är en bredare fog än en vanlig MIG/MAG process vilket även minskar risken för lokalt tjocka intermetalliska faser.

Efter flera försök med utmaningen att få tillsatsmaterialet att väta och samtidigt minimera intermetalliska skikt

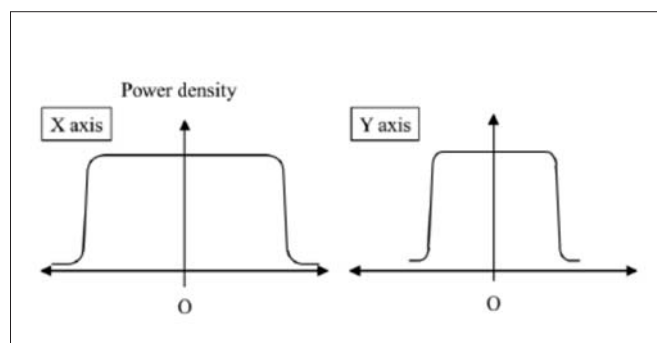
uppnås en lyckad kombination. Både GI med ER5356 respektive GA med tillsats ER4043 ger goda mekaniska skjuvegenskaper, 80% av aluminiumplåtens hållfasthet. Se figur 1 och figur 2.

Ett exempel på tvärsnitt som visar att tillsatstråd ER5356 väter bättre och har mindre intermetalliskt skikt (6 mikrometer) för GI jämfört med GA.

Läs mer om detta Doc.XIIXII-2508-2022, *Development of Laser-arc Hybrid Process for Dissimilar Metals Joining of Galvanized or Galvannealed Steel to Aluminum Alloy by Masayuki Fujiwara¹, Tomoya Asayama¹, Ryoji Tamaki², Zhongjie Liu¹, Tetsuo Era^{1,3}*.

Det presenterades även en spännande studie på hur man kan, med hjälp av externa magnetfält (MHD), styra nyckelhåls-dynamiken genom att förlänga smältbadet och således minska porositet. Magneterna placerades på vardera sida om svetssträngen, som figur 3 illustrerar.

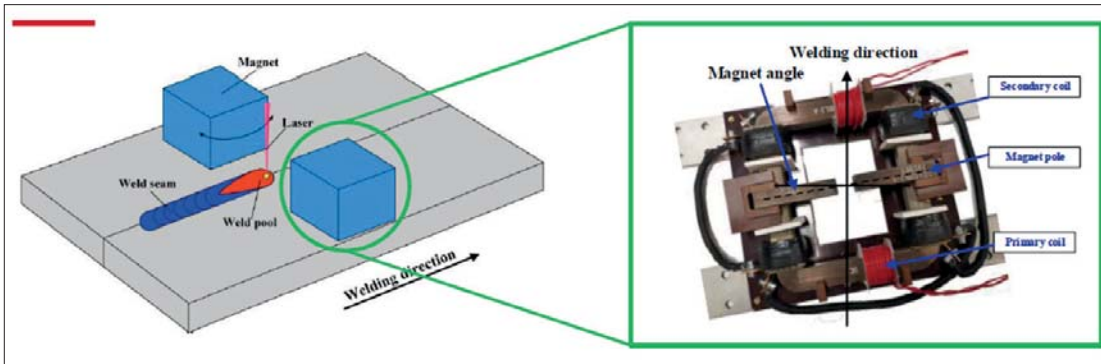
Inledande simuleringsförsök korreleras med porfördelningen i tvärsnitt och konstaterar att ett längre smältbad låter gasbubblorna i smältan möjlighet att evakuera mer lättvilligt upp genom toppen på svetsen. Det är tydligt att porositeten längs lasersvetsens rot minskar drastiskt.



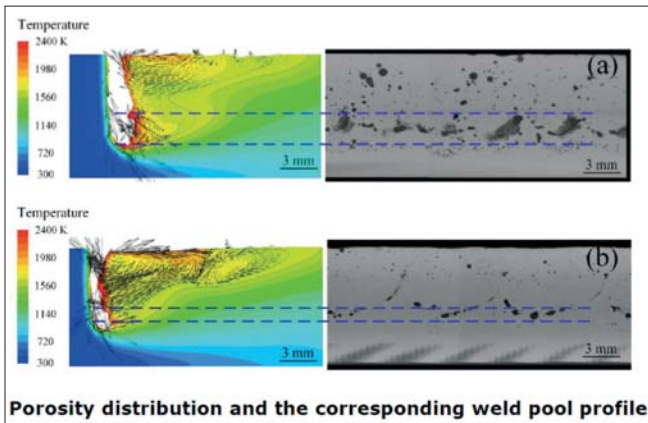
Figur 2: Schematic of the laser power distribution.

Comparison of joining results of GI or GA steel to AA6063-T5		
	GI steel – AA6063-T5	GA steel – AA6063-T5
Bead cross section	5.6 mm	3.5 mm
Joining interface	6 μm	20 μm

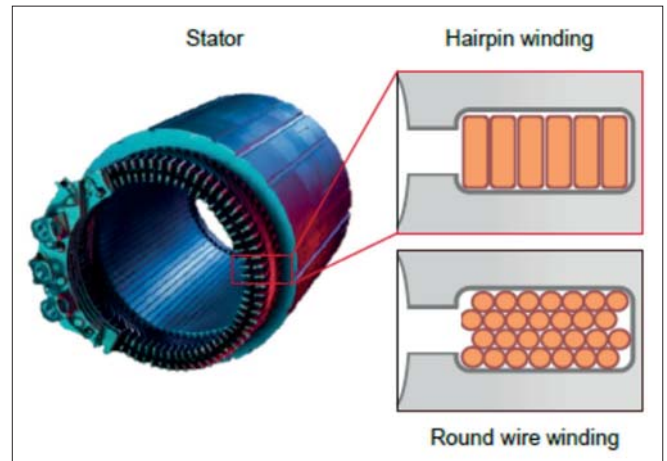
Tabell 1: Comparison of joining results of GI or GA steel to AA6063-T5.



Figur 3: Figurtext saknas.



Figur 4: (a) beskriver normal lasersvetsning och (b) beskriver smältan med påtvingat magnetfält.



Figur 5: Figurtext saknas.

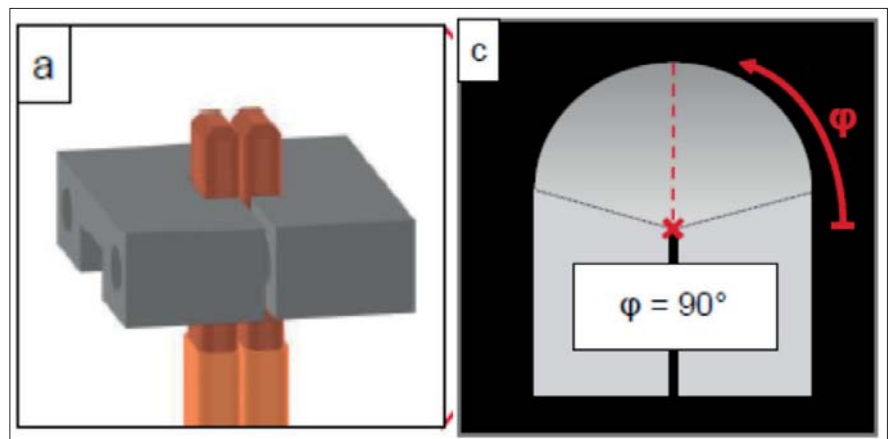
Källa: Doc.IV-1513-2022
An investigation of keyhole dynamics and porosity mitigation in laser beam welding with external magnetic field
 Xiangmeng Meng, Marcel Bachmann, Antoni Artinov, Michael Rethmeier, Germany.

Inom elektromobilitet, och mer specifikt för Porsche Taycan elmotor, lasersvetsas moderna statorer, se figur 5, de s.k. hair pins ofta med lasersvetsning. Dessa hair-pins är rektangulära kopparledare som svetsas i ihop autogent i par med målet att skapa en tillräckligt stor svetsarea för att inte begränsa strömmen som skall transporteras från hair-pin till hair-pin via svetsen. En för liten area skapar termiska förluster i drift. Se figur 6 för illustration.

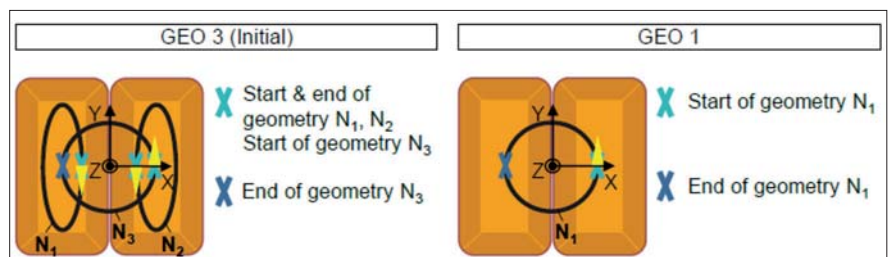
Genom mer klassisk cirkulär laseroscillering skapas stora utmaningar med toleranser avseende förskjutning i X, Y eller Z, se figur 7 höger. Vanliga resultat är ostabil process med svetsstrut, porer samt en oyillräcklig fogarea. Detta vill man undvika och har testat ett nytt oscilleringsmönster, se vänster i bild. Detta är alltså tre olika formade cirklar vilket itererats och simulerats fram där den

första är i vänstra hair-pin(N1), andra högra hair-pin(N2) och sedan den sista över båda hair-pins(N3). Detta har gett goda resultat och framför allt gett en

stabilare och mer robust svetsprocess, genom bland annat högre tillåtelse för avståndsvariation i X-led jämfört med tidigare. ■



Figur 6: Figurtext saknas.



Figur 7: Beskriver toppsyn av två hair-pins innan fogning och de olika mönstren som lasern kommer följa för respektive fall.

Välkommen till

Laserdagen

Torsdag 20 oktober – kl 09:00 – 17:00

Vi träffas hos Höganäs Sweden AB, Garage Bar, Bruksgatan 36 z, Höganäs.



Laserdag II

och seminarium om lasersvetsning



Anmälan senast 17 oktober via
www.lasergruppen.eu
Eller QR-kod:



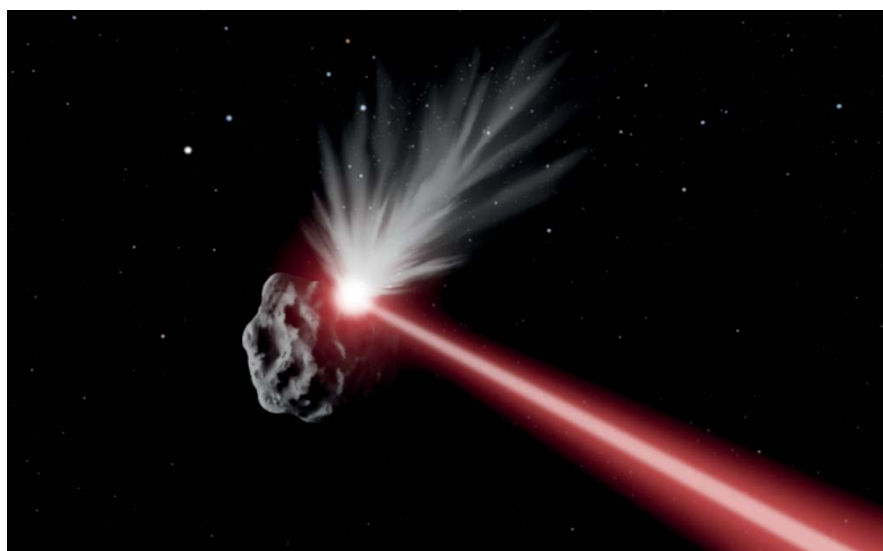
Laserdagen är kostnadsfri för alla medlemmar. Icke medlemmar betalar 1 000 kr som faktureras innan mötet.

- **Presentation av Höganäs AB**
Fredrik Vinnerborg, Höganäs AB
- **Industriella lösningar och applikationer inom additiv tillverkning**
Mikael Olsson, Trumpf Maskin AB
- **Processgaser och styrning av atmosfären i Printkammaren vid additiv tillverkning**
Bo Williamsson, Linde Gas AB
- **Skillnad för bearbetning med PBF-LB mellan gas- och vattenatomiserade pulver**
Alexander Kaplan, LTU
- **Sammanhang mellan egenskaperna av metallpulver och laser pulverbäddprocessen**
Jan Frostevarg, LTU
- **Global standardisering för ökad industrialisering av additiv tillverkning**
Ann-Sofie Sjöblom, SIS
- **Pulver för additiv tillverkning med laser**
Sven Bengtsson, Höganäs AB
- **Laserbeläggning för en hållbar utveckling**
Conny Lampa, Höganäs AB

Guidad visning av ArcX (ytbeläggning) samt PoP center (pulvermetallurgi)
Conny Lampa, Höganäs AB

Guidad verksvisning (separat anmälan)
Conny Lampa, Höganäs AB

Gruvbrytning i rymden – är laserteknik en lösning?



Gruvbrytning i rymden är idag ett hett ämne. Råvaror behövs om baser ska upprättas på månen under detta årtionde och på Mars på längre sikt. Råvaror i rymden behövs också till att rädda vår miljö här på jorden – ett ofta nämnt behov är av så kallade kritiska metaller och mineral (critical raw material, CRM) som behövs till våra fossilfria energikällor, exempelvis elbilbatterier och vindkraftsturbiner. Vissa av dem är sällsynta i jordskorpan och återfinns bland annat i områden som vi vill skydda, exempelvis den svenska fjällkedjan, men kan däremot vara vanligare på asteroider. Det finns därför anledning att intensifiera arbetet med att ta reda på om det är möjligt att hämta dessa resurser från närliggande kroppar i rymden. För att ta reda på detta har forskargrupper vid Luleå tekniska universitet vid campus Luleå och rymdcampus i Kiruna arbetat tillsammans med Helsingfors universitet. Vi har studerat möjligheter kring att använda laserteknik i olika sammanhang för gruvbrytning i rymden. Huvudförfattare till artiklarna som denna text baseras på är Niklas Anthony.

Laser är särskilt lämplig att använda som verktyg vid arbete i rymden eftersom den endast behöver elektricitet för att drivas. En satellit kan vara bestyckad med en laserkälla och lämplig optik för valt arbete, tillsammans med ett batteri och solceller. En laser kan då användas under en tid tills batteriet är tömt, som i sin tur kan laddas upp med hjälp av sol-

celler (eller annan teknik) för att kunna fortsätta bearbetning. En laserstråle behöver inte ha någon kontakt med ytan och en ytterst liten rekyleffekt uppstår vid användande. Den kan dessutom användas för att utföra flera olika uppgifter. I jordens närområde har studier visat att det finns 960 asteroider som är över en kilometer i diameter och tiotals



Jan Frostevarg



Niklas Anthony



Heikki Suhonen



Christina Wanhainen



Mikael Granvik



Antti Penttilä

tusen som är över 100 meter, speciellt av de mindre har vi inte ännu hittat alla.

Bland flera viktiga pusselbitar för att lyckas med gruvbrytning i rymden är det framförallt tre aspekter som vi här har undersökt: prospektering, bromsa/accelerera objekt och ankring av satelliter på asteroidytor. Gruvbrytning i rymden skulle enligt bedömare kunna bli verklighet inom 50 år, vid den tiden kommer vårt behov av nya metaller troligtvis vara ännu större än idag och blir då ett välkommet och finansiellt fungerande alternativ till gruvor på jorden, speciellt om råvarorna används i rymden.

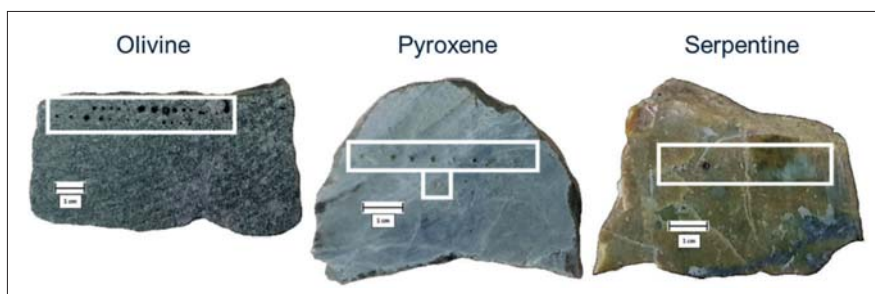
Prospektering

För att veta vad asteroider består av mäter man på avstånd med långdistansspektrometer (LIBS, LIMS). Problemen med avståndsmätteknik är att mätområdet blir stort och att många himlakroppar är täckta av ett lager damm och grus – regolit, *Figur 1*. När mätning utförts kan man se att det finns olika ämnen på asteroiden, men inte var eller hur djupt det lagret är. Därför behöver mätningar utföras på närmare håll. En metod är att med en satellit studsa mot ytan och samtidigt fånga en del regolit för att därefter återvända till jorden för fortsatt analys. Flera rymdorganisationer har gjort detta, exempelvis på asteroiden Ryugu (flerårigt uppdrag). Ett problem med detta är att det tar lång tid och att det endast är regolit som mäts. Den japanska satelliten Hayabusa2 gjorde ytterligare en provtagning, genom att med en kopparsprängprojektil spränga en krater på ytan och samla lite av det material som kastas upp. Den amerikanska myndigheten NASA tog år 2020 ett prov från asteroiden Bennu (återvänder till jorden 2023). Det finns ett antal M-klassade asteroider (dvs de man tror har höga halter metaller) och det är okänt om dessa består av metall eller bara är täckta av ett hölje som till stor del består av metall. NASA-satelliten Psyche är planerad att snart skickas upp för att studera asteroiden Psyche. Men det finns förutom metaller även andra värdefulla ämnen som kan krävas för att lyckas med framtida gruvbrytning, ett av de ämnena är vatten. Vatten kan nämligen användas som bränsle men också användas som strålningsskydd. Psyche är utrustad med sensorer för att mäta magnetfält, en infraröd kamera, radar och spektrometer. Denna satellit kommer att kunna göra bra bedömningar om vad asteroiden består av. Dock har dessa mätmetoder begränsningar, exempelvis ser en uv-spektrometer fortfarande endast ytan.

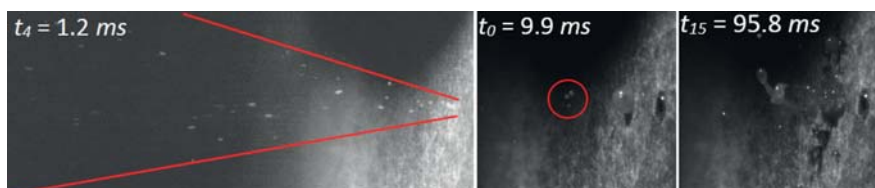
I denna studie som är utförd i labbmiljö har vi ponerat att en satellit kan färdas runt en asteroid och med laser med spegloptik borra hål i ytan och nedåt. Därigenom kan material kastas upp och infångas av satelliten för vidare analys. Ett stort antal hål kan borraras på kort tid och därigenom skulle asteroidens yta under regolitlagret kunna analyseras. Vi har här använt en industrilaser med maxeffekt 300W (våglängd 1 μ m) i skyddad miljö på mineral som med hög



Figur 1: Månlandares fot ovanpå regolit.



Figur 2: Hål i olika mineral gjorda med laserstråle med olika inställningar.



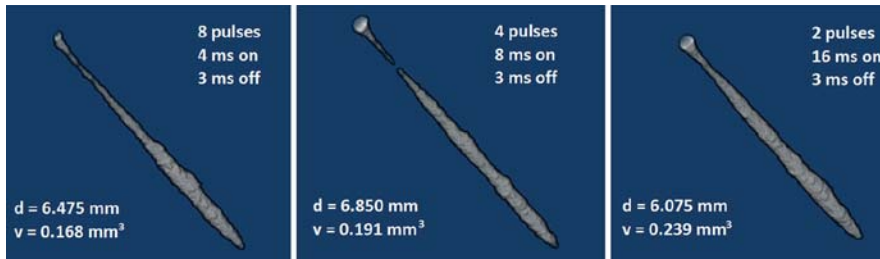
Figur 3: Stillbilder från höghastighetsfilm. Initialt sprut när laserstråle träffar yta (vänster), när smälta droppar skjuts ut från hålet (mitten) och när smält material vid det borrarade hålets mynning samlar smält material för att så småningom kastas ut från mynningen i större droppar eller i delade men med viss spridning.

sannolikhet kan finnas på asteroider, samtidigt som vi observerat med bandpassfiltrerad och laserbelyst höghastighetsfilmningsteknik. Experimenten är utförda i normalt tryck och inte i vakuum (framtida fortsatta studier) men avslöjar ändå viktiga aspekter. Mineralen olivin, pyroxen och serpentin utsattes för fokuserad laserstrålning, både med kontinuerlig stråle och pulsad stråle med olika intervall och intensitet. De borrarade hålen filmades under processen och mättes efteråt med röntgenskanning för att avgöra både djup och hur mycket material som skjuts ut för möjlig infångning.

Genom filmerna kunde det observeras att det finns i huvudsak tre faser när hål borraras; 1) en ytlig där små fragment lossnar, 2) från borrhålet, där smält ma-

terial skjuts ut och 3) när smält material på grund av ytspänning fastnar eller formas vid hålets mynning och därmed till del förhindrar nytt material från att lämna borrhålet utan att tillföra mycket mer laserenergi, *Figur 3*. Syftet med studien är också att ta reda på om det finns pulsmönster som är mer effektiva på att skjuta ut material och skillnader mellan materialen.

Röntgenskanning i 3d (XMT) i de borrarade hålen avslöjar djup och form för de olika experimenten. Därigenom kan de mest effektiva pulsparametrarna fastställas för de provade materialen, för rådande miljö och förutsättningar. Generellt visade det sig att det krävs en viss tid mellan laserpulser, men att lasereffekt i laserpuls och antal pulser också har stor effekt.



Figur 4: Röntgenskanning i 3d (XMT) av prov med borrarade hål för olika laserpulser.

Det räcker med en 100W laserkälla (med rätt optik och pulsmönster) för att kunna skapa 1cm djupa hål på några millisekunder. Det möjliggör prospektering genom inte alltför tjocka regolitlager där flertalet hål snabbt kan produceras när en satellit långsamt åker över en asteroidens yta.

Omriktning av asteroider

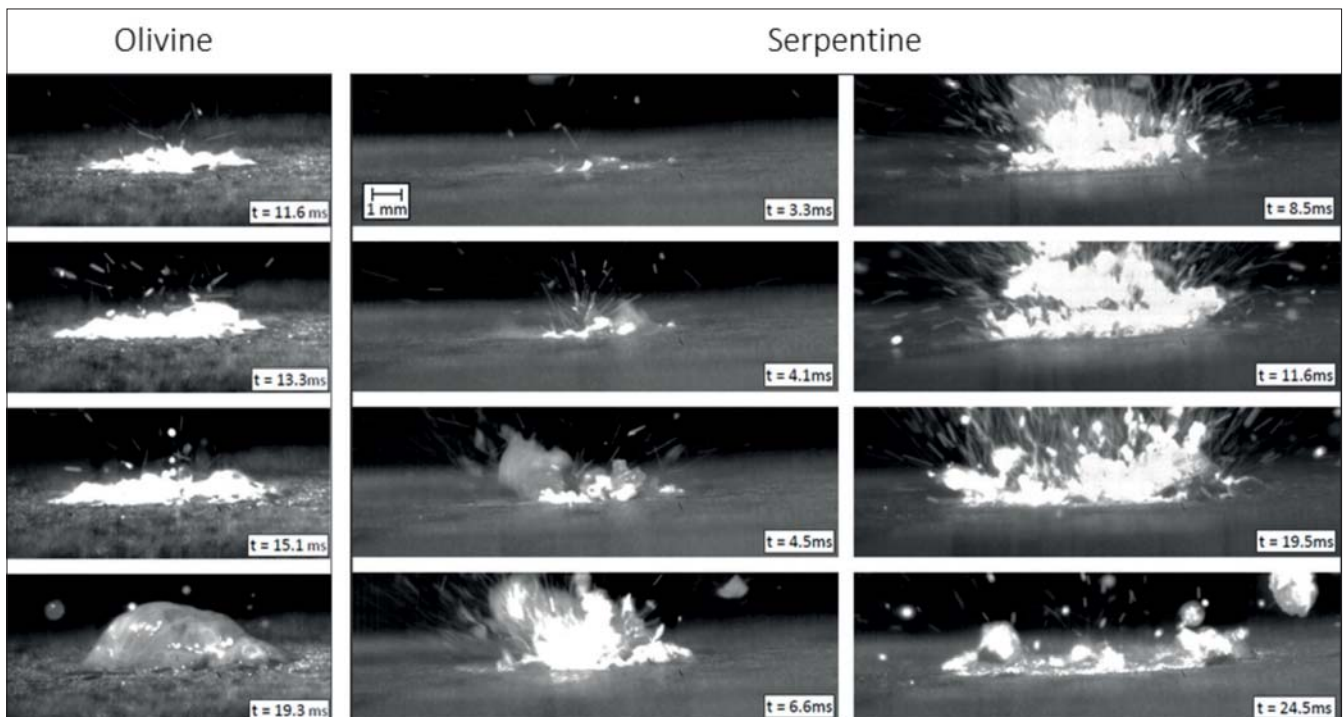
I en del fall kan det vara önskvärt att ändra på asteroiders rörelsebanor. Dels för att förhindra kollisioner men för gruvbrytning också för att ändra rotationshastigheter, bromsa dessa så att landningar skulle kunna möjliggöras. Det går genom Newtons principer att använda något objekt som skjuts mot asteroiden så att rotation (rörelsemängdsmoment) eller riktning (rörelsemoment) ändras. Ju mer massa och fart i objektet desto mer moment överförs till asteroiden. Dock kan det bli problematiskt att accelerera sådana massor mot asteroiden eftersom det som ska

skicka dessa själva utsätts för motsvarande rekyl. Bättre kan vara att använda en satellit och dess motor för att trycka mot asteroiden tills den saktar in, en komplicerad operation i avlägsen rymd miljö. Ett annat alternativ är att med laser spränga bort bitar (eng. spallation) och föränga material från ytan, likt en liten motor. I den tidigare studien med att borra sköts också partiklar ut och viss ånga skapades, men med den metodiken förloras mycket energi, som här är dyrbar. Genom att tillföra hög värme på kort tid kan fragment av en stenytta lossna, utan att först behöva smältas, vilket blir betydligt mer energieffektivt. Ju större massa och högre fart dessa fragment har desto mer ”tryck” blir det mot ytan. För att få tillräcklig effekt (laserljus över större yta) behöver en starkare laser användas. Däremot är denna flisbildning olika för olika mineral, liksom även hur de absorberar laserljus. För olivin flyger enbart små partiklar loss medan resten av ytan smälter och bildar

något som kan beskrivas se ut som en geléklump med luftbubblor, endast små droppar lämnar ytan. För serpentin flyger det initialt ut små smälta partiklar och flisor för att därefter skapa en kaskad av små flisor som flyger iväg. Efter en stund smälter ytan så pass att dessa små fragment som bildas fastnar under och inuti smältan, som då endast avger enstaka större partiklar, Figur 5.

I pyroxen däremot händer inte mycket, förrän effekten är tillräckligt hög, i detta fall en yta som har en diameter på 10mm och över 8kW. Då har vissa element under ytan blivit så varma att de spricker och ånga har skapats så att hela fragment flyger loss med hög hastighet, Figur 6. Analys med röntgen visade att mängden material som avlägsnats var för olivin minst och för pyroxen mest, både i avseende tillförd energi och massa. Serpentin ger förvisso ifrån sig mer och större partiklar men då till en betydligt högre energiåtgång.

En slutsats av denna studie är att accelerera en asteroid med hjälp av högenergilaserljus kan fungera på tre principer, i minskande effektivitet; 1) spallation, 2) förångningstryck och 3) ljustryck. Genom spallation sprängs bitar av sten loss från ytan, men detta kräver att det hela tiden blir nya ytor för att processen ska kunna fortsätta effektivt, ex. genom att satellit svävar över yta eller stråle riktas mot nya ytor med speglar. En lärdom



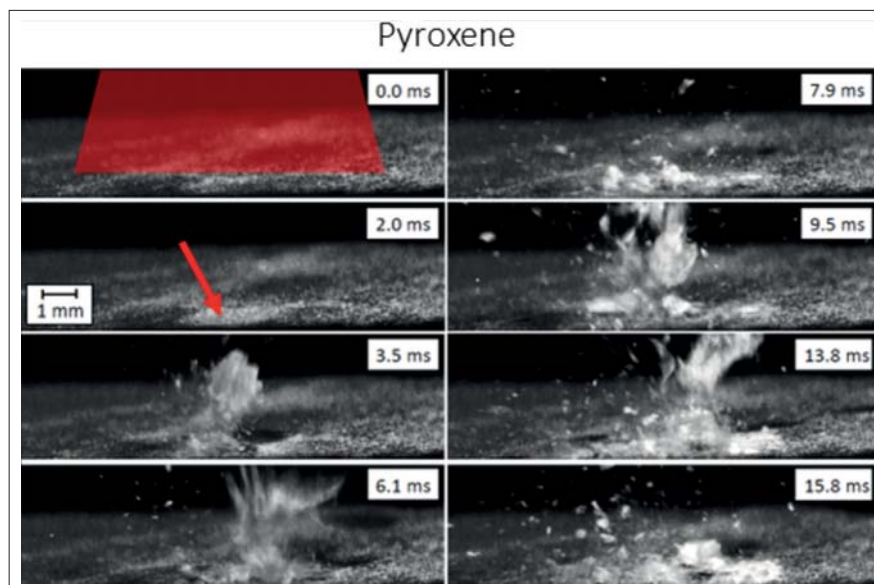
Figur 5: Stillbilder från höghastighetsfilm för spallation i olivin och serpentin.

här är att spallation inte fungerar för alla stenmaterial.

Förångningstrycket är effektivt och kan användas mer kontinuerligt, skapar tryck genom att material i ytskikt (eller i hål) förångas och genom ångexpansion och atomer och molekyler lämnar ytan. Vid förångning i hål (borrning) lämnar även partiklar hålet, dock är spallation mer än dubbelt så energieffektivt (om nya ytor exponeras). Ljustrycket är mycket svagare och är egentligen bara lämpligt på väldigt små objekt, där förhållandet ytarea och massa är mindre. På stora objekt kommer det att ta mycket lång tid och energi för att skapa nog med tryck för att ändra en asteroidens bana.

Ankring av satelliter på asteroider

Att ankra satelliter vid asteroider är en viktig del för att framgångsrikt kunna bedriva gruvsdrift på asteroider. Gravitationen kan nämligen vara väldigt låg och om mekaniska verktyg och andra rörliga delar ska användas kommer satelliten att trycka ifrån sig från asteroiden när den exempelvis ska borra. En annan anledning är att asteroider roterar och vid låg gravitation kan en satellit helt enkelt kastas loss från ytan. Det finns koncept för att lösa detta, där ett är att ta med sig ett stort nät som kastas ut och omsluter asteroiden medan ett annat koncept är att med en harpun skjuta fast i ytan och därefter dra in satelliten via vajer. Dessa lösningar har problem, exempelvis tar ett nät mycket plats och väger mycket



Figur 6: Stillbilder från höghastighetsfilm för spallation i pyroxen.

medan en harpun med rep tillsammans med avfyrningsanordning också väger en del samt skapar stark rekyl i satelliten när den skjuts i väg. Om harpunen missar eller inte fäster kan det bli problematiskt att göra något nytt försök.

Här har vi undersökt om det finns möjlighet att i stället fästa en satellit genom att smälta fast dess fot med den steniga ytan. Eftersom vi tidigare sett att stenen går att smälta finns kanske också möjligheter att smälta ihop sten och en satellits metallfot (Figur 6), eller sänka ner en metallbit fäst i "rep" som svetsas fast i asteroidens yta och satelliten sen vinschar sig ner till ytan med?

Visserligen vet vi att material med olika densitet har tendens att skiktas, men

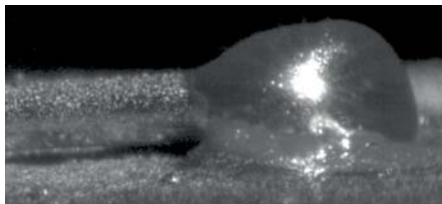
med hög effekt så blir det ändå strömnings som kan blanda smält material och dessutom är avkylningsförloppen väldigt snabba då det smälta området är relativt litet jämfört med omliggande material som är mycket kallare. Ståltråd lades på en ren yta och en laserstråle smälte sen en bit av denna tråd samtidigt som stenyta smältes. När processen är avslutad sitter ståltråden fast i en droppe på ytan. Dock visade sig denna binding vara väldigt svag, Figur 8. Processen upprepades med olika metoder och trådmaterial, men exempelvis vätnings mot "torr" stenyta är väldigt dålig för den smälta metallen som i stället bildar droppar som stelnar ovanpå ytan, utan att fastna.



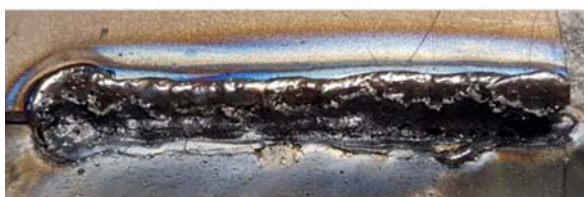
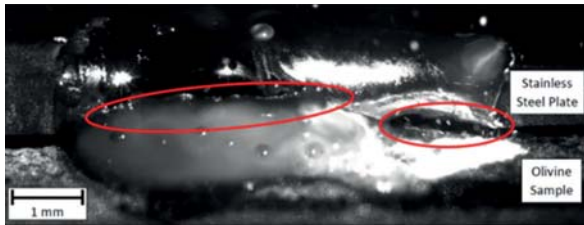
Figur 7: Illustration av satellitfot som blivit fäst vid yta på asteroid.

Nästa uppsättning experiment utfördes där en platta i stället lades mot stenyta. Här skapades mer smälta av både sten och metall. Dock är smältan från sten väldigt porös och de visar sig blandas dåligt, med två smältflöden som flyter mot varandra utan att blandas ihop. Stenens smälta krymper också mycket mer under stelningsförloppet. Här lyckades också en bindning att skapas, men den visade sig vara väldigt sprickbenägen och skör, *Figur 9*. Olika metaller testades som måhända kan vara lättare att fästa mot sten, exempelvis titan och aluminium. Då detta visade sig svårt att genomföra utfördes också tester att smälta ihop sten mot sten. Dessa tester lyckades men svetsarna är även här sköra eftersom sten bildar en slags glasfas när det stelnar snabbt.

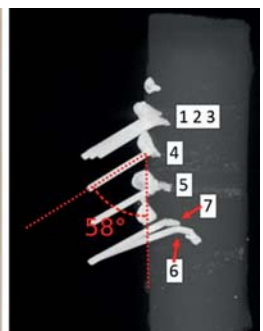
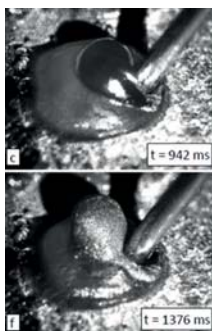
För att lyckas fästa metall i sten krävs någon annan metodik. Dessutom är det inte så troligt att en yta är plan eller ren nog att svetsas fast på tidigare föreslaget sätt. I stället för att fästa på ytan kanske det går fästa invändigt? Vi vet sedan tidigare experiment att hålen som skapas när man laserborrar i sten inte är jämna i formen, eftersom sten naturligt är ett ojämnt material (*Figur 4*). Nästa tillvägagångssätt att fästa metall i sten går ut på att samtidigt som ett hål borras, tillsätta metalltråd in i processen som där smälter och trycks ner i hålet, med hypotesen att metallen då fyller ut de kaviteter som finns i hålet och därigenom skapar en plugg. Till stor glädje redan efter några få experiment lyckades metalltråd fästas! I *Figur 10* hålls en bit tråd fäst i serpentinsten och även utvalda bilder från höghastighetsfilm och röntgentvärsnitt. Experimenten upprepades med olika inställningar för att studera om fästning kan bli bättre, samt i de tre materialen olivin, serpentin, pyroxen samt referens samma metod på en bit rostfritt stål. Denna nya metod att fästa metall i sten har valts att benämnas ”laser plugging” (laserpluggning). Dessa testades därefter genom dragprov för att testa styrka i dessa initiala prover. Flest prover gjordes i olivin och serpentin, det enda provet som gjordes i pyroxen visade sig svagt men det kan eventuellt förbättras genom parameteranpassning. Olivin visade sig ge starka bindningar (115N) och serpentin nära hälften så starka (70N). Inget av proverna blev så starka som referensprovet i rostfritt stål eftersom det inte är metallisk bindning i



Figur 8: Stillbild från höghastighetsfilm med smält stenyta och ståltråd (vänster) och resulterande yta där det ”sammanfogade” materialet lätt lossnade från ytan.



Figur 9: Stillbild från höghastighetsfilm med smält stenyta och stålplåt där smälta och två separata men intilliggande smältbad har skapats (vänster). Ihopsvetsad olivinsten (höger).



Figur 10: Stillbild från höghastighetsfilm under stelningsförloppet för ”laser plugging” då processen utförts (vänster). En bit serpentin hålls upp i den metalltråd som är fäst i den (mitten) och röntgenbild av ett flertal metalltrådar som fästs (med olika parametrar) i olivinsten.

en ”laser plug”, men det bästa i olivin är jämförbart.

Ankring

Denna metod att fästa metall i sten är helt ny och kan eventuellt hittas applikationsområden för även här hemma på jorden. De tre studierna som här berättats om kan utgöra en ny grund för framtida gruvbrytning och något vi gärna arbetar vidare på för att ta reda på om dessa metoder verkligen är så lämpliga som vi tror för att i framtiden kunna tas i bruk. I fortsatta studier vore det såklart bra att kunna utföra studier på riktig regolit, i vakuum och i låg gravitation. Att använda laser i rymden kan också användas för att rensa från rymdskrot, svetsa ihop satellitdelar mm. ■

Referenser

- [1] Niklas Anthony, Jan Frostevarg, Heikki Suhonen, Christina Wanhainen, Antti Penttilä, Mikael Granvik, Laser processing of minerals common on asteroids, *Optics & Laser Technology* (2020), ISSN 0030-3992, <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2020.106724>
- [2] Niklas Anthony, Jan Frostevarg, Heikki Suhonen, Christina Wanhainen, Mikael Granvik, Laser-induced spallation of minerals common on asteroids, *Acta Astronautica* (2021), <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.02.018>
- [3] Niklas Anthony, Jan Frostevarg, Heikki Suhonen, Mikael Granvik, Laboratory experiments with a laser-based attachment mechanism for spacecraft at small bodies, *Acta Astronautica*, Volume 189, December 2021, Pages 391-397 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.08.028>



Laserdag I

som var en av sex parallella mässor under det gemensamma namnet Elmia Produktionsmässor. Det var ett antal intresserade deltagare som hade samlats för att också genomföra Lasergruppens årsmöte 2022.



Joacim Andersson, Duroc LaserCoating.

Förste föreläsaren var *Joacim Andersson* från Duroc LaserCoating som presenterade vad företaget som är placerat i Luleå kan erbjuda inom lasersvetsning. Joacim presenterade bland annat några renoveringsprojekt genom lasersvetsning.

Nästa föreläsare var *Bo Williamsson* från Linde, som hade ett intressant föredrag om lasersvetsning i aluminium.



Bo Williamsson, Senior business developer, Linde Gas AB region Europe North.

Att tänka utanför "boxen" vid lasersvetsning av aluminium

Bo Williamsson

Utvecklingen av lasersvetsapplikationer går med en rasande fart. Nya material, förbättrade laserkällor och laseranpassade konstruktioner har bidragit till utvecklingen. Utvecklare av laserapplikationerna har varit extremt duktiga på att

optimera de tekniska lösningarna. En bit som ibland har förbisetts är dock valet av skyddsgas och arrangemanget av gastillförseln. I många fall används beprövade lösningar, men ger de verkligen ett optimalt resultat i alla lägen? Svaret på frågan är att de klassiska lösningarna fungerar ofta fungerar väl, men att resultatet faktiskt kan förbättras ytterligare genom att använda oortodoxa lösningar. Ett exempel är optimering av skyddsgas för svetsning av aluminium. Denna artikel är ett referat av ett föredrag på temat som hölls vid Laserdagen under Elmiamässan 2022. En komplett artikel i ämnet finns publicerad i tidigare nummer av Lasernytt.

Bakgrund

Ett resultat av jakten på vikt och förbättrat vikt/styrkeförhållande inom fordonsindustrin har drivit på utvecklingen mot användning av aluminium för olika ändamål. Som exempel kan nämnas karosser, bagageluckor och batteridetaljer:

- Ford Motors F-150 truck introducerades 2015, och var den första

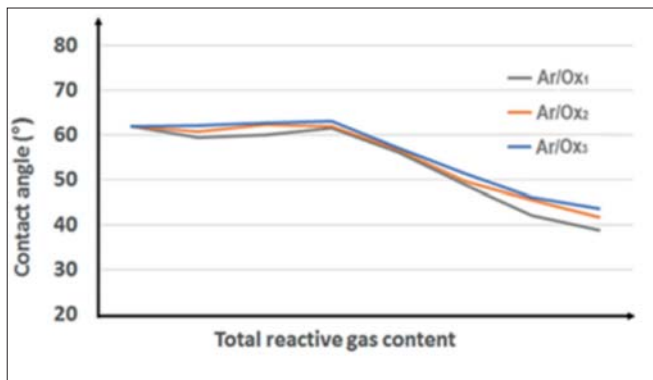


Bild 1: Anslutningsvinklar vid olika halter av oxiderande komponenter i argon.

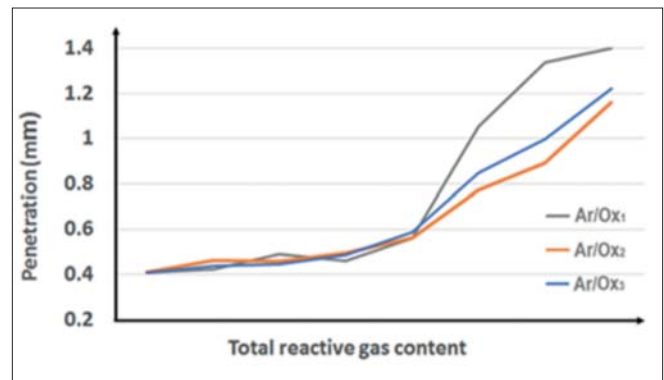


Bild 2: Inträngning vid olika halter av oxiderande komponenter.

storskaletillverkade bilen i Nordamerika med en kaross i aluminium. Här lasersvetsades bl. a. taket vilket gav en viktbesparing på närmare 320 kg.

- Ett annat exempel är Cadillac CT6 med en hybridkonstruktion. Viktbesparingen låg här runt 90 kg.
- En mer exklusiv variant är Corvette Stingray (2013). En lasersvetsad ram i aluminium gav en 57% styvare ram samtidigt som vikten minskades med 45 kg.
- Aluminium återfinns i flera bilmodeller exempelvis Cadillac Escalade, Chevrolet Suburban, Chevrolet Tahoe och GMC Yukon

Varför aluminium?

Vad driver utvecklingen mot aluminium? En viktig faktor är givetvis möjligheten till viktbesparingar (densitet 1/3 jämfört med stål). "Lättmetall absorberar dubbelt så mycket krockenergi som stål och presterar väl enligt förväntningarna vid en olycka" (the U.S. Aluminum Association). Minskad vikt skapar förutsättningar för bränslebesparingar då styrke/viktförhållandet kan förbättras. I dessa dagar kan det vara av intresse att också notera förbättrade prestanda hos el-drivna bilar. Förbättrade korrosionsegenskaper är en annan viktig faktor i sammanhanget.

Kan resultatet förbättras vid lasersvetsning av aluminium?

I de flesta fall är används tillsatsmaterial i kombination med argon. En stor del av svetsningen utförs som värmeledningssvetsning, konservativa val som i många fall skapar förutsättningar för förbättringar. Diskontinuiteter, porer och dålig ytfinish på svetsarna är idag relativt vanligt förekommande. Självklart finns

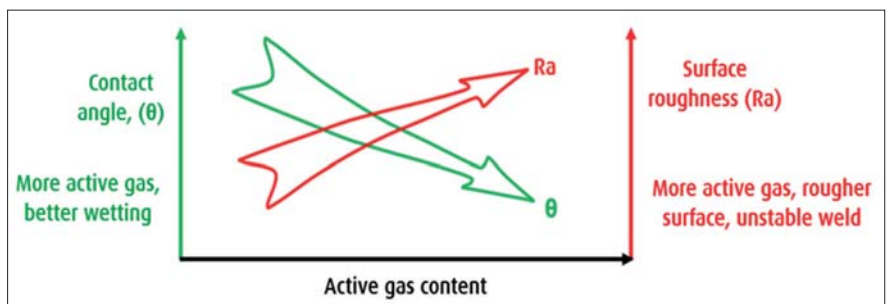


Bild 3: Ytfinhet och anslutningsvinkel som funktion av oxiderande innehåll i argon.

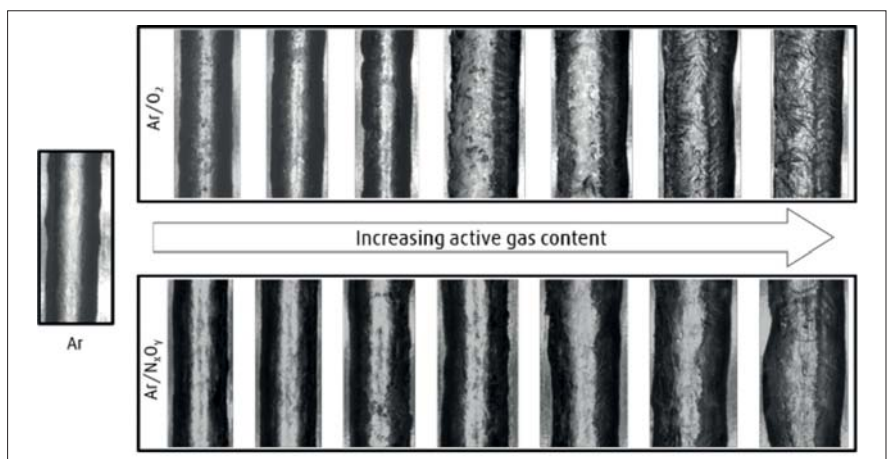


Bild 4: Ytfinish som resultat av varierande halter oxiderande komponenter.

här en önskan om att öka såväl produktivitet som kvalitet.

Lasersvetsning med aktiva skyddsgaser förändrade svetsegenskaper.

Temat för denna artikel är att tänka utanför "boxen" vid aluminiumsvetsning. I gasfallet använder vi ofta traditionellt argon som skyddsgas, men genom att gå från en helt inert gas till en mer aktiv gas som interagerar med det smälta materialet kan man påverka svetsprocessen till stor del. Bild 1 visar påverkan från ökande halter av oxiderande komponenter på anslutningsvinkeln till materialet.

Även inträngningen kan påverkas med hjälp av en aktiv gas. Bild 2 visar

inträngning som funktion av ökande halt av oxiderande komponenter.

Tendensen här är att såväl inträngning som anslutningsvinklar kan påverkas. Dock ska sägas att effekten inte är entydig, bild 3. För höga halter av oxiderande komponenter ger försämrade processstabilitet och ytfinish hos svetsarna samtidigt som högre halter ger minskade anslutningsvinklar. Utmaningen här är givetvis att hitta en balanserad mix som ger ett optimalt resultat.

Omfattande tester har visat att en optimerad blandning små mängder N₂O₂ och Oxygen i argon kan ge märkbara förbättringar av såväl ytfinish och inträngning, bild 4.

Ett exempel från verkligheten

Ett samarbete med en stor biltillverkare resulterade i att en optimerad gasblandning minskade kassationen med 50 %. Sammanfattningsvis kan här nämnas att en radikalt minskad frekvens av svetsdefekter noterades samtidigt som ytfinishen förbättrades. Som bonus noterades också att behovet av efterbearbetning minskades avsevärt.

Förbättra produktivitet och kvalitet genom att tänka utanför "boxen"

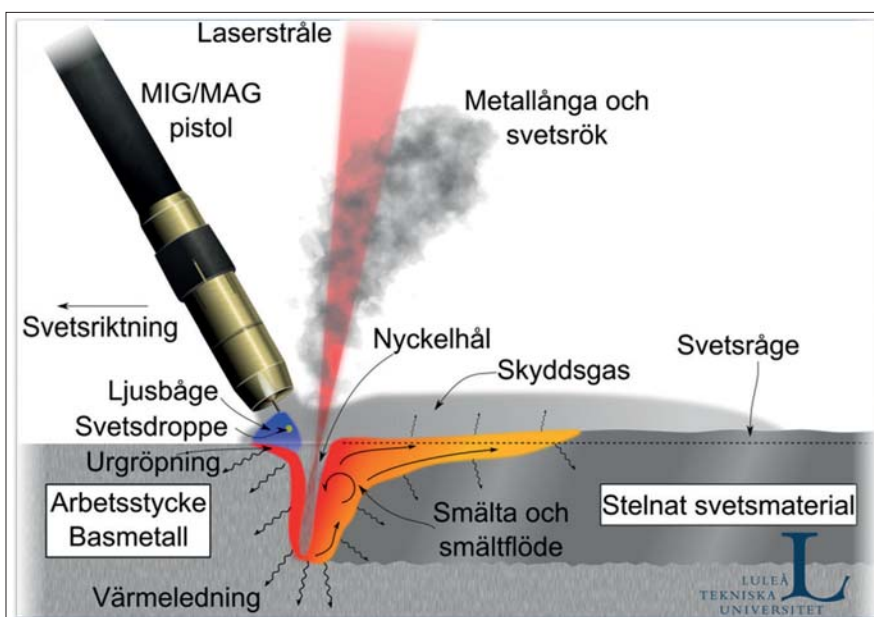
Gasvalet vid lasersvetsning av aluminium, men också andra material kan i många fall betraktas som relativt konservativt. Svetsresultatet kan förbättras genom att blanda in olika aktiva komponenter i gasen. Det är svårt att ange den exakta blandningen, varje applikation kan optimeras via små förändringar i gasblandningen. Genom att blanda in låga halter av oxiderande komponenter i argon kan resultatet vid värmeledningssvetsning av aluminium med tillsatsmaterial förbättras märkbart, framför allt i termer av svetskvalitet och penetration. Slutsatsen av detta resonemang är således en rekommendation att våga tänka okonventionellt för att hitta gasblandningar som ger ett optimalt svetsresultat.



Björn Lekander, Permanova

Nästa föreläsare var Björn Lekander, Permanova, som höll ett föredrag om nyheter inom branschen. De flesta inom lasersvetsningen fokuserar nu på batterierna.

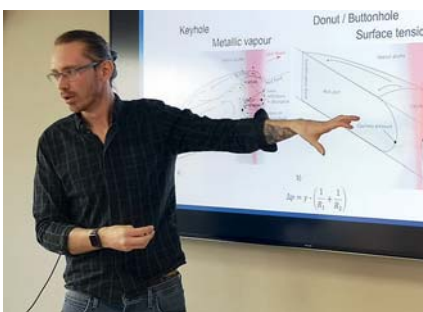
Därefter var det dags för ordförande i Lasergruppen, Jan Frostevarg, Luleå Tekniska Universitet, som presenterade två föredrag från vad som händer i universitetsvärlden. En om utveckling av lasersvetsning och den andra om framtida bearbetning, laserapplikationer för gruvbrytning i rymden.



Från föredrag – LAHW som möjliggörare av svetsning i SSAB höghållfasta stål, S960, S1100 och 1300.



Från föredrag – Process behaviour of metal wire to rock joining by laser irradiation.



LAHW som möjliggörare av svetsning i SSAB höghållfasta stål, S960, S1100 och 1300.

Jan Frostevarg

Jan Frostevargs första föredrag

Den första presentationen behandlade laserhybridsvetsning, som en modern

fogningsmetod som möjliggör svetsning av höghållfasta stål, SSAB HQ S960, 1100 och 1300. Detta kan genomföras med en produktivitetsökning på 10-20gr jämfört med traditionell ljusbågsvetsning och här också visat att det med fördel går att göra direkt på laserskurna ytor, utan vidare fogberedning så att även ett tillverkningssteg kan sparas. I presentationen visade jag också hur man med skanningsoptik (från Permanova AB) med rätt inställningar kan öka energinyttjandet från laserstråle och dessutom kan åstadkomma större toleranser för att träffa fog och jämnare svetsråge. Detta kan även till del åstadkommas genom att dela upp laserstråle i fyra olika strålar (specialoptik QU-ATTROXX (R)).

Process behaviour of metal wire to rock joining by laser irradiation

Jan Frostevarg

Jan Frostevargs andra föredrag

Den andra presentationen visade jag ett samarbete vi haft med institutionen vid LTU i Kiruna, där dr. *Niklas Anthony* redogjort för hur laser kan användas för prospektering genom att borra hål och skjuta ut partiklar för infångning och vidare analys. Spallation för att skapa drivande kraft på asteroider visades också, för ett urval av mineraler. Genom att spränga loss fragment från ytan kan moment skapas och därigenom bromsa rotation eller långsamt knuffa en asteroid till önskad bana. Dessutom visades en helt ny process som här kallas för laserpluggning, vilket innebär att samtidigt som ett hål borraras med laser att då skjuta in metalltråd som då smälter och fyller ut kaviteten i stenen och därigenom skapar en plugg. Denna metod är att föredra eftersom det verkar som att svetsning av så olika material som sten och metall ger dålig uppblandning och väldigt sköra bindningar.



Sista föreläsaren var **Mikael Olsson** från Trumpf Maskin

Laser Applikation Highlights In Battery and E-Mobility Manufacturing

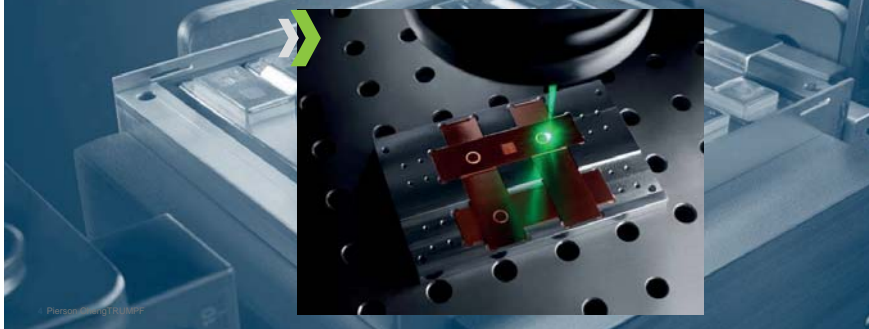
Mikael Olsson

Mikael Olsson ifrån TRUMPF Maskin AB höll en presentation om laserapplikationer inom tillverkning av batterier och elektromobilitetslösningar. Laser är en viktig och universell teknik för dessa tillverkningsprocesser, vilket ger bättre, säkrare och billigare slutprodukter.

Materialen som används är till stor del aluminium och koppar. Processerna sträcker sig mellan allt från elektrotillverkning och montering för prismatiska och cylindriska celler, till ytbehandling, märkning samt tex. produktion av elmotorer.

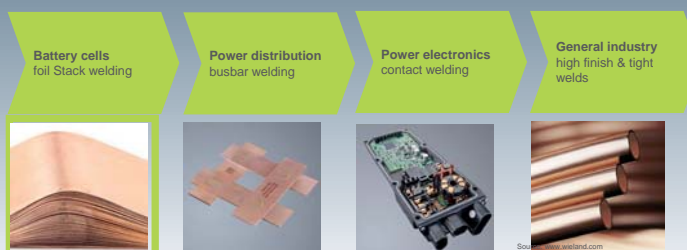
Key Application: Contacting

Green laser wavelength & BrightLineWeld and IR laser for efficient and reproducible contacting of foil stack, tabs and busbars.



Från Mikael Olssons föredrag.

Examples of applications areas for TruDisk 3022 Green Laser



Preferred solution:
TruDisk 2021/3022

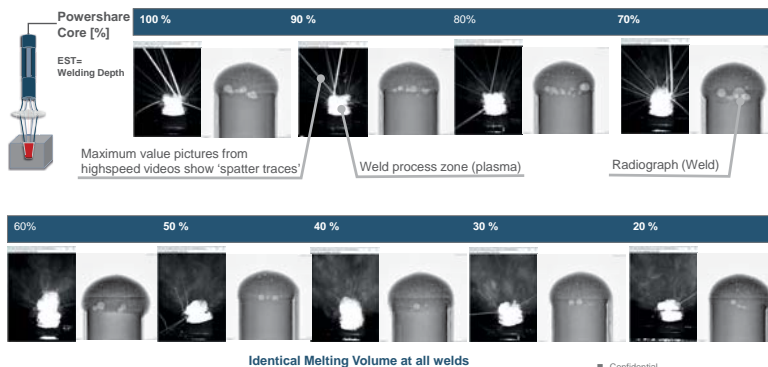
+ Unmatched performance
in heat conduction copper welding

8 |

Från Mikael Olssons föredrag.

Benefits of Bright Line Weld | All Copper Grades

Enables significant Spatter & Porosity Reduction



Från Mikael Olssons föredrag.

Vid modultillverkning av batteripack tex. är utmaningen är att uppnå en god ledningsförmåga och en hög hållfasthet vid fogningen. Därtill utan svetsprut till en säkerställt hög svetskvalitet. Kraven uppfylls idag via en laser med hög strålkvalitet, såsom tex. TruDisk 8000

i kombination med BrightLine Weld samt PFO scanneroptik.

Utveckling av nya och förbättrade processer med laser pågår kontinuerligt i rask takt, och fler tekniksift gentemot konventionell produktionsteknik är att vänta. ■

Europeisk bilindustri leder utvecklingen inom laserbearbetning

Rapport från European Automotive Laser Application, 29-30 januari 2003, i Bad Nauheim. Del I.

Av Johnny K Larsson, Volvo Cars

Introduktion

Sista veckan i januari var det dags för ”gräddan” bland europeisk bilindustris laserexperter att träffas vid den årligen återkommande konferensen ”European Automotive Laser Application”. Syftet med dessa två dagar i Bad Nauheim är att få en uppdatering kring senaste nytt i branschen, presentera sina respektive företags senaste laserapplikationer, samt inte minst att på en informell basis utbyta information och erfarenheter.

I sedvanlig ordning var det Herr Ebert från *Automotive Circle International* (Berlin) som hälsade oss välkomna till konferensen, vilken ägde rum i delvis nyrenoverade lokaler på det gamla Kurpark Hotel. Herr Ebert kunde konstatera att konferensen får en alltmer internationell prägel, där denna gång det mest exotiska inslaget utgjordes av våra långväga gäster från Sydkorea representerande det synnerligen framgångsrika företaget *Hyundai Motors*. Egentligen var detta sjunde gången som *Automotive Circle International* (tidigare *Praxis Forum*) arrangerade denna typ av laserkonferens, men de första tre gångerna rörde det sig om en helt igenom tysk konferens, vilken jag dock också på den tiden hade nöjet och privilegiet att bevista. Men nu var det som sagt fjärde gången som man genomförde ett mer internationellt upplägg med föredragen simultantolkade på såväl tyska, engelska som franska. Detta kan tänkas bidra till det stora antalet delegater, som blev ett nytt ”all time high” i form av 236 stycken, även om den tyska dominansen är kompakt. Glädjande nog kunde jag konstatera att Sverige nog gick in som god tvåa med sina 10 deltagare (*Permanova Lasersystem 4*, *Volvo Cars 3*, *SAPA 2* och *Scania CV 1*).

Efter välkomstpreludierna lämnade herr Ebert över till Dr Niemeyer, *Audi Aluminium Zentrum* (Neckarsulm) som skötte ordförandeskapet under nästan hela den första konferensdagen. Det dominerande temat

var en redovisning av några av de resultat som kommit fram i det treåriga forskningsprojektet ”Leichter”, vars kostnad, 31 miljoner DEM, finansierats av BMBF (*Bundesministerium für Bildung und Forschung*). Man kan alltså något avundsjukt konstatera att förutsättningarna för forskning kring laser är något annorlunda i Tyskland jämfört med vad som

Fem olika ämnesområden, vilka jag kort skall sammanfatta i det följande, avhandlades under dagen, och vart och ett avslutades med en paneldiskussion mellan särskilt inbjudna ”dignitärer” och auditoriet.

gäller i vårt land. Underrubriken för ”Leichter” lyder ”Welding of Lightweight Structures with DPSSL”, vilket i klartext innebär svetsning av aluminium med diodpumpade Nd:YAG-lasrar (DPSSL = Diode Pumped Solid State Laser). Forskningsprojektet har varit uppdelat i fem stycken temablock:

- Light structures
- Processes (t.ex. multi-spot och hybrid tekniker)
- System technology
- Simulation
- Applications (vilka hämtats från såväl bilindustri, skeppsbyggnad som järnväg)

Avsikten har varit att kartlägga potentialen i den bättre strålkvalitet som denna lasertyp erbjuder, vilken innebär välkända egenskapsfördelar såsom mindre fokuspunkt, större arbetsavstånd och kompaktare optikenheter. Fem olika ämnesområden, vilka jag kort skall sammanfatta i det följande, avhandlades under dagen, och vart och ett avslutades med en paneldiskussion mellan särskilt inbjudna ”dignitärer” och auditoriet.

I. Lamp-pumped versus Diode-pumped Laser Systems

Under detta tema gjorde en gammal bekant i lasersammanhang, Prof. Dr. Dausinger från IFSW (*Institut für Strahlwerkzeuge*) vid Stuttgarts universitet, några tänkvärda reflexioner. En av akilleshämlarna är det

höga priset för dioder, vilket dock är på väg ner. 1997 kostade 1 W 40DEM, och tidiga prognoser utlovade att man idag skulle vara nere i 7 DEM/W. Dit har man ej nått, erkände Dr. Mann från *Trumpf* (Ditzingen) utan idag gäller 14 DEM/W. Prof. Dausinger trodde att diodpumpade kristallstavar var en övergående teknik och att framtiden snarare kommer att handla om diodpumpade fiber- eller disklasrar.

Därför har man på IFSW installerat ett system med 4 stycken 1.5kW disklasrar för försöksverksamhet. Man utvinner således 6kW totaleffekt där laserstrålen har en våglängd som är något kortare, 1,03µm än vad som är fallet för diodpumpade system. Detta beror på att disken eller skivan är dopad med Yb (grundämnet yttrium) och inte Nd (neodym). Den strålkvalitet som erhålles är synnerligen fin ($M^2=20$ eller $BPP\sim 7\text{mm}\cdot\text{mrad}$), och verkningsgraden ligger kring 16%. Men smakar det så kostar det! Dr. Dausinger menade att priset per kW är ungefär 4 gånger högre än för CO₂-lasrar och 2 gånger högre jämfört med Nd:YAG-lasrar.

Bland de tekniska fördelarna med god fokuserbarhet ligger ju att tröskelvärdet för djuppenetration drastiskt kan minskas. Således räcker exempelvis 500W för svetsning av 1.0mm stålplåt, där mer ”normala” strålkvaliteter kräver 2kW. Dr. Dausinger visade ett exempel där 2 stycken 0.5mm tjocka rostfria plåtar svetsats i överlappsfog med en hastighet av 10m/min vid endast 800W effekt.

En annan påtalad fördel med god strålkvalitet är att bearbetningsverktyg kan minskas med cirka 5 gånger i volym och 4 gånger i vikt, vilket är en klar fördel i de fall verktyget skall manipuleras av en robot. Man kan alltså klara sig med betydligt mindre och billiga-

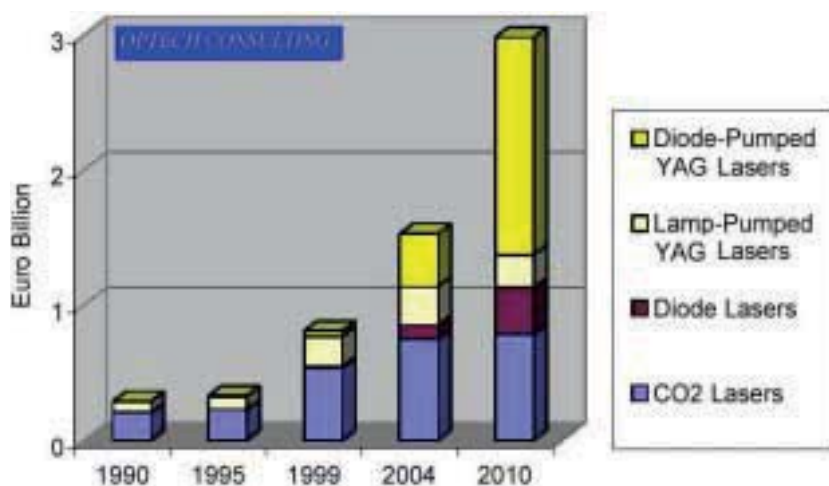
re sådana. Lägg därtill att den traditionella fiberdiametern på 600µm kan bytas mot 150µm så anar man vilken otrolig flexibilitet som system med disklasrar

En annan påtalad fördel med god strålkvalitet är att bearbetningsverktyg kan minskas med cirka 5 gånger i volym och 4 gånger i vikt, vilket är en klar fördel i de fall verktyget skall manipuleras av en robot.

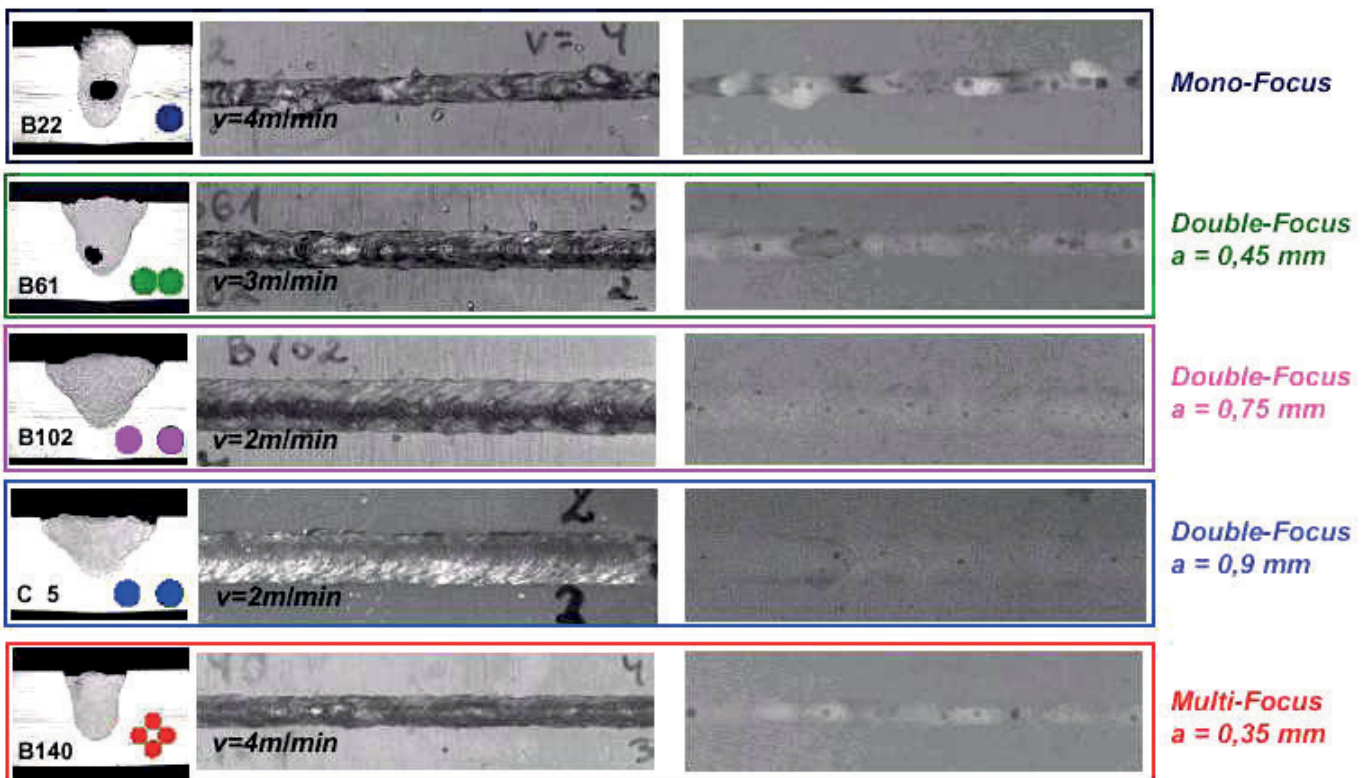
kan erbjuda. Ett framtida användningsområde som har identifierats är att använda disklasern vid ”Remote Laser Welding” (RLW eller fjärrlaser) där CO₂-lasern idag är den dominerande typen. En annan fördel är att en bättre fokuserbarhet av laserstrålen ger en stabilare svetsprocess vilket bör kunna minimera porbildningen vid lasersvetsning av aluminium. Dr. Dausinger avslutade med att prognostisera att 10kW disklasrar är en realitet inom en inte alltför avlägsen framtid, samt att de diodpumpade lasrarna är den typ som kommer att tillväxa kraftigast på marknaden inom den närmaste tioårsperioden [Figur 1].

Efter detta anförande var det dags för en paneldiskussion i ämnet. Denna inleddes av Dr. Hopf, *DaimlerChrysler* (Sindelfingen) med de inte alltför oväntade frågorna: Hur är det med diodpaketens livslängd, och kommer vi att få se en minskning i kostnad för desamma? Herr Tuchel från *Rofin Sinar Laser GmbH* (Hamburg) var den som först tog bladet från munnen. *Rofin Sinar* har ju både lamppumpade (typ CW020 och CW025 med 600µm fiber och 25mm·mrad strålkvalitet) och diodpumpade (typ Dx55 och DY040 med 300 µm fiber och 12mm·mrad strålkvalitet) i sitt sortiment. Normal livslängd för dioder är idag 10,000 driftstimmar, men man vill hellre tala om antal cykler i form av amplitudförändringar under drift, och här är nyckeltalet 15 miljoner cykler.

Dr. Mann från *Trumpf* (Ditzingen) menade att hans företags filosofi är att efter 10,000 driftstimmar skall minst 20% av verkningsgraden finnas kvar hos dioderna. Dr. Klassen, *Robert Bosch GmbH*, som också han satt med på podiet, menade att så länge som de diodpumpade systemen är 20% dyrare än de lamppumpade är valet för hans företag enkelt. Dessutom påpekade han att 10,000 driftstimmar bara är en indikation och att laserleverantörerna lämnar en lägre siffra, vanligtvis mellan



Figur 1. Dr. Dausingers prognos över marknadsutvecklingen för högeffektlasrar.



Figur 2. Jämförelse vid svetsning av 4mm tjock AlMgSi1 och användning av olika fokalpunksarrangemang; mono-fokus, double-fokus och multi-fokus.

2,000 och 5,000 timmar, då det gäller diodpaketens garanterade livslängd.

Herr Steinmetz, DaimlerChrysler (Sindelfingen) visade på några applikationsexempel som svetsats med diodpumpad Nd:YAG-laser. Det rörde sig dels om en länkkarm till SL-klassens roadster, dels om en bakaxeldetalj för E-klassen. Båda detaljerna tillverkas i aluminium och den diodpumpade lasern visade sig resultera i en bättre processtabilitet, högre verkningsgrad samt ge mindre värmedistorsioner i de svetsade detaljerna. En sak som enligt Herr Steinmetz återstår att verifiera är om den bättre strålkvaliteten bibehålls vid fiberlängder som överstiger 20 meter.

Dr. Mann avslutade med att kommentera att kylteknologin för diodpaketen är viktig då halvledare generellt har en begränsad livslängd. Vidare menade han på att det stora avståndet mellan optik och arbetsstycke är en av finesserna med diodpumpade lasrar med bra strålkvalitet. På så sätt skapas ökad åtkomst vid laserbearbetning av komplexa geometrier, samt att det är mer eller mindre en förutsättning vid användning av RLW-tekniken.

Vid aluminiumsvetsning är det framförallt den ökade processtabiliteten vid hybridsvetsning som lyfts fram.

2. Focus-Matrix: Comparing Mono-Focus and Multi-Focus

Huvudtalare under denna rubrik var en kollega till Dr. Dausinger, nämligen Herr Gref IFSW (Stuttgarts universitet). Vid universitetet har man under en längre period arbetat med olika twin-spot tekniker. Genom att placera två fokalpunkter, med ett visst överlapp, efter varandra i svetsriktningen har fördelar kunnat identifieras vad gäller lasersvetsning av aluminium. Således minskar antalet processporer och svetsstrut högst avsevärt genom att processförloppet tycks stabiliseras. Man har vidare kunnat räkna sig fram till nyckelhålets optimala form vad gäller förhållandet mellan djup och öppning. Det nya som man nu hade att presentera var s.k. multi-spot teknik, där det rör sig om att kombinera 3 alternativt 4 fokalpunkter. Genom att placera ut fokalpunkterna även tvärs svetsriktningen får man en mindre värmeledning i materialet och därmed skapas bättre förutsättningar för djupsvetsning. Sammantaget kan man säga att multi-fokus ger bättre svetskvalitet men "kostar" svets hastighet eller inbränningsdjup i jämförelse med "single spot". Allra bäst svetskvalitet i försök gjorda på AA6000-material (AlMgSi1) gav dock twin-spot vid mycket låg svets hastighet (2m/min), jämfört med multi-spot och 4 m/min (med alla försök gjorda med

samma totaleffekt = 4kW) [Figur 2]. I AA5000-material, som har lägre värmekonduktivitet, blir skillnaderna med hänsyn till svetshastighet inte lika påtagliga.

En annan aspekt som kan rättfärdiga multi-spot (multi-fokus) är om kravet på svetsbredd skall följa plåttjockleken. Vid t.ex. överlappssvetsning av 2mm tjockt aluminium torde det vara näst intill omöjligt att åstadkomma en svetsbredd på 2mm med enbart mono-fokus. Herr **Steinmetz**, *Daimler-Chrysler* (Sindelfingen), höll med om att multi-fokus kan ge penetrations fördelar vid djupsvetsning av transmissionsdetaljer i aluminium, men att man idag klarar dessa uppgifter med twin-spot, vilket är en billigare teknik. Då det är fråga om att åstadkomma mycket speciella, skraddarsydda svetsvärnsnitt, har multi-fokus tekniken möjlighet att åstadkomma detta menade han.

Det finns två huvudsakliga tillvägagångssätt då det gäller att åstadkomma ett multi-fokus med t.ex. 4 fokalpunkter. Antingen som man gjort på IFSW, d.v.s. man arbetar med 4 separata laserkällor med en fiber till varje, men för framtida bruk borde en mer finessrik lösning vara en sådan där laserstrålen splittras i flera punkter först i optiken, s.k. diffraktiv optik.

3. Hybrid-Welding Processes

Huvudtalare i detta avsnitt var Herr **Reich** från *ISF (Institut für Schweisstechisches Fertigung)*, RWTH (Rheinland-Westphälisches Technisches Hochschule) i Aachen. Han presenterade resultat från olika koncept där lasern kombinerats med MIG, TIG eller plasma. Fördelarna som han visade på var de gamla välkända: ökad svetshastighet, större förmåga att överbrygga spalter, lägre sträckenergi och därmed mindre värmeförvridningar jämfört med smältsvetsning, samt större svetsvärnsnitt och mindre risk för sprickor jämfört med ren lasersvetsning. Vid de utförda försöken hade skyddsgasen utgjorts av Ar/He där man tittat på olika blandningsförhållanden. Högre andel helium ger lägre porositet men smalare svetsbredd [Figur 3].

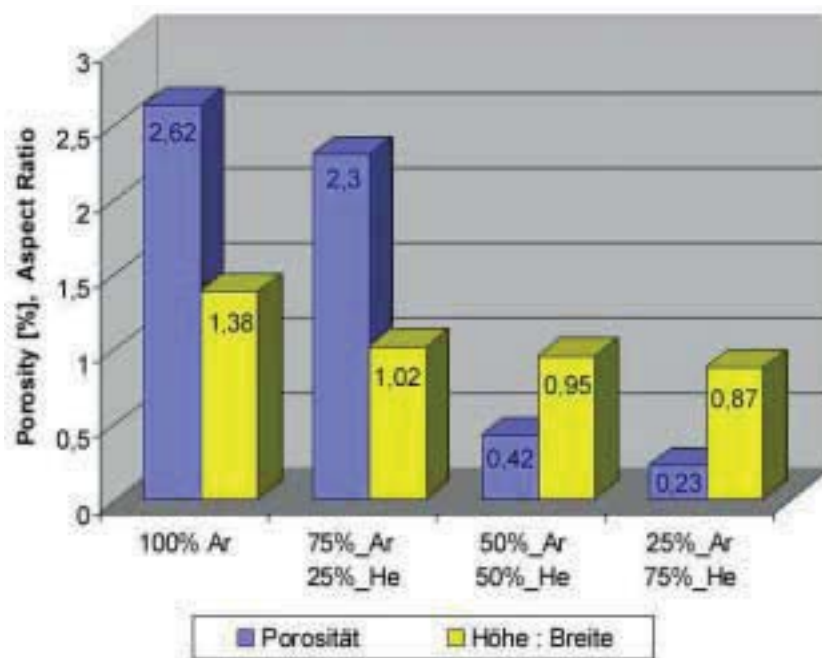
Vid aluminiumsvetsning är det framförallt den ökade processtabiliteten vid hybridsvetsning som lyfts fram. Dessutom är, vid denna typ av svetsning, Nd:YAG att föredra som laserkälla

framför CO₂. Det som från användarsidan uppskattas är att vi börjar se fler och fler integrerade svetsverktyg för hybridsvetsning, i stället för de tidigare klumpiga "laboratorieuppställningarna" med separata svetshuvuden för laser och MIG/MAG. Både *ISF* och *BIAS* har visat upp sådana integrerade verktyg, och på den kommersiella sidan erbjuds sådana av såväl *Fronius* som *HighYag*.

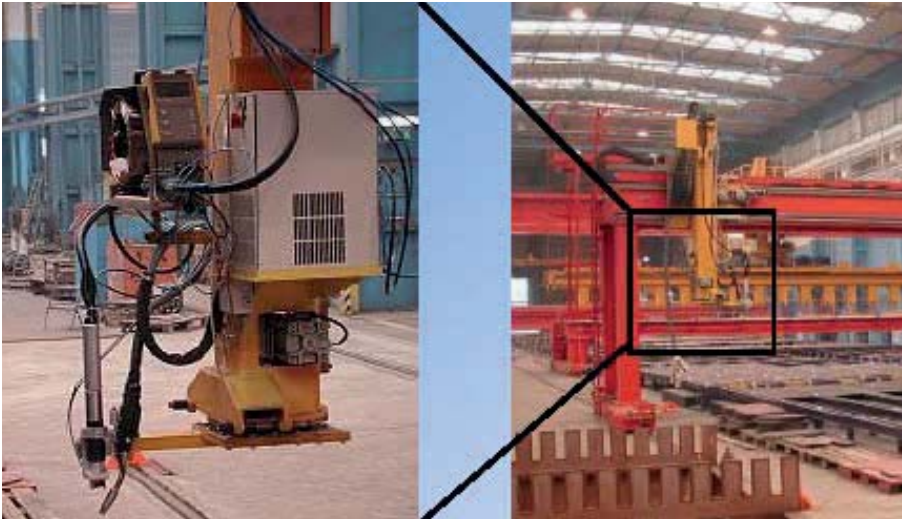
I det följande bjöds vi på presentationer från tre

Huvudskalet till att hybridsvetsning valdes var kravet på släta fogytor i detta område som utgör infästningspunkter för olika typer av airbags.

olika industribranscher där hybridsvetsning med laser framgångsrikt börjats använda. Först ut var Herr **Jasnau** från *SLV MV (Mecklenburg-Vorpommern)* som berättade om laserhybridsvetsning inom varvsindustrin. Vid *Kvaerner Werft* i Rostock har man redan CO₂-lasrar i produktion och Nd:YAG-lasrar sades vara på väg in [Figur 4]. Man använder sig av en MIG-svetsportal med de imponerande arbetsmått 32×12×3 meter för att hybridsvetsa aluminiumpaneler i materialkvalitet AA5083. Som tillsatsmaterial används SG-ALMg4.5MnZr med en tråddiameter på 1.2mm. Plåttjockleken varierar mellan 5 och 10mm, och en typisk svetshastighet vid kälsvetsning av 8mm tjocka plattor ligger kring 2m/min då man använder sig av en lasereffekt på 3.95kW kombinerad med



Figur 3. Skyddsgasblandningens inverkan på porformering vid laserhybridsvetsning (MIG) av aluminium.



Figur 4. Den synnerligen imponerande pilotanläggningen för Nd:YAG-laserhybridsvetsning vid Kvaerner Werft i Rostock.

4.98kW MIG. Huvudsyftet med att introducera hybridsvetsning i varvsindustrin är inte att öka produktiviteten i form av högre svetshastighet, utan i stället att minimera efterarbete i form av riktning, som är synnerligen omfattande vid användningen av traditionella smältsvetsmetoder.

Näste man att tala sig varm kring hybridsvetsnin-



Figur 5. Uppställning för JURCA:s koncept med fogföljning och möjlighet till adaptiv fyllnadsgrad vid hybridsvetsning.

gens förträfflighet var Herr **Harlfinger**, *Adtranz Deutschland GmbH*. På detta företag som numera heter *Bombardier* svetsar man vagnkorgar av strängpressat aluminium. Idag används MIG twin-wire för att svetsa aluminiumkvaliteter som AA5754, AA5083, AA6005, AA6082 och AA6060 i tjockleksintervallet 2-5mm, men då man ser en stor potential i laser-MIG har man utfört en hel del experimentell svetsning hos såväl *ISF* (2kW diodpumpad Nd:YAG-laser) som *BIAS* (4kW diodpumpad Nd:YAG-laser). I- och T-fogar är

de vanligast förekommande, och laser-MIG visade sig vara överlägsen laser-plasma och ren lasersvetsning då det gällde positioneringskrav och processtabilitet. Vid laser-MIG har man dessutom en bättre energifördelning mellan metoderna då lasern vanligtvis står för 40-60% av den tillförda energin. Vid laser-plasma är motsvarande siffra 80-90%.

Hållfasthetsmässigt är laser-MIG jämförbar med den idag använda twin-wire tekniken vad gäller brottlast, och något bättre då det kommer till en sträckgränsjämförelse. Hårdheten i svetsgodset var jämförbar mellan metoderna, men då det gäller utmattningshållfastheten vid prov utförda med R-värde = 0.1 var hybridsvetsarna klart bättre. Hybridtekniken uppskattades också att ge cirka 20% minskad efterbearbetning.

Herr **Helten**, från *Audis Aluminiumzentrum* i Neckarsulm, är projektledare för företagets hybridaktiviteter. Han berättade om den nya Audi A8-karossen där hybridsvetsning i form av laser-MIG introducerats för att svetsa ett antal aluminiumkonsoler och -plåtar till en strängpressad och hydroformad slutna sektion som utgör karossens taksvallare. Huvudskälet till att hybridsvetsning valdes var kravet på släta fogytor i detta område som utgör infästningspunkter för olika typer av airbags. Totalt uppgår hybridsvetslängden till ungefär 5 meter per kaross. Denna applikation kommer att beskrivas mer i detalj under avsnittet om "European Automobile Manufacturer's Report", varför vi lämnar ärendet för tillfället.

4. Quality Assurance prior to and after the Process

Här inledde Herr **Müller** från *Stuttgarter Universität (IFSW – Institut für Strahlwerkzeuge)* med en redo-

visning av de olika processövervakningssystem för lasersvetsning som idag erbjuds på marknaden. På ett koncept med två stycken 1.0kW diodlasrar och 200µm optisk fiber hade ett fotodiod-baserat system från *JURCA* utvärderats. Detta system omfattar registrering av tre olika parametrar:

- Återreflekterad laserenergi
- Strålning från den förångade metallen
- Mätning av temperaturen nära svetsstället

Ju djupare penetrationen är vid svetsning desto mindre blir den återreflekterade laserenergin, vilket kanske inte är så förvånande. Vidare påpekades att förekomsten av gap detekteras med hjälp av temperatursignalen, ju större gap desto högre temperatur.

Ett antal processövervakningssystem hade utvärderats och jämförts vid svetsning av aluminiummaterial Ecodal i tjocklekarna 1,2mm, 2.0mm samt 4.0mm. Bland de fotodiodbaserade systemen hade *JURCA LWM* jämförts med *4D Weldwatcher* och här visade sig det förstnämnda systemet ge tillförlitligast resultat, mycket beroende på att det övervakar mer än bara det återreflekterade laserljuset. Bland de kamerabaserade systemen hade *Prometec PD 2000* jämförts med *JURCA QUALAS*, och här menade Herr Müller att båda systemen har sina för- och nackdelar.

Herr Nicolay från *JURCA Optoelektronik GmbH* inledde med att presentera ett fogföljningssystem som bygger på återreflektionen av ljuset från en laserdiod, vilket registreras av en CCD-kamera. Detta är en form av den s.k. triangulation-principen och ganska snarlik den metodik som *Volvo Cars* använder sig av vid takskarvsvetsningen av XC90-modellen. *JURCA's* koncept sades kunna ge återkoppling till svetsprocessen och således kunna erbjuda vad man kallade för adaptiv fyllnadsgrad vid hybridsvetsning [Figur 5]. Vidare visade man upp ett kompakt lasersvets huvud, avsett för svetsning med upp till 6kW effekt, med inbyggda sensorer för "online" processövervakning. Slutligen gjorde man lite reklam för sitt *QUALAS*-system som används vid ett antal svetsapplikationer hos *DaimlerChrysler*.

Efterkontroll av lasersvetsar var ämnet för Dr. **Wildmanns** (*Soudronic AG*) föredrag. *Soudronic* är en stor leverantör av maskiner för ämnesskarvning och därför är det viktigt att även kunna erbjuda kontrollsystem för att verifiera svetskvaliteten enligt den nya internationella normen för detta – ISO13919. *SOUVIS5000©* är avsett för efterkontroll av lasersvetsar (såväl stumfog som överlappsfog) och bygger på triangulering med hjälp av fotodioder. Dessa avger

mycket korta pulser för att på så sätt generera en gråskala som sedan registreras av en CMOS-kamera. Upplösningen sades vara 0.01mm, kontrollhastigheten 30m/min och maximalt dataflöde 60MB/sek. Det är möjligt att göra såväl profil- som texturanalys. Ytbrytande porer ner till en storlek av 100µm sades vara möjliga att detektera. En annan fördel som lyftes fram var den att systemet endast kräver en sensor. Dock är priset nog fortfarande i högsta laget, och Dr. **Niemeyer** från *Audi AG* sade sig inte vara glad för att installera system för efterkontroll eftersom sådana kräver extra fabriksyta och därmed ytterligare kostnader.

5. New Beam Sources and Laser Systems: What's new in the Laser System Industry?

Att utvecklingen inom fiberlasrar med hög effekt går snabbt har vi tidigare gjorts uppmärksamma på. I oktober förra året (*ICALEO*, Scottsdale, AZ) presenterade *IPG Laser* en 4kW enhet. Nu i slutet av januari var det dags att lansera 6kW uteffekt [Figur 6]. Dr. **Shcherbakov** berättade inledningsvis om historia och principen för denna typ av laser. Iden är relativt

Ett antal skeptiker fanns dock bl.a. bland experterna i diskussionspanelen.

gammal och omnämns första gången 1963. Principen bygger på 5-30m långa "dopade" SiO₂-(glas)fibrer med vardera en enkel diod som "pumpelement", varför dessa lasrar skall klassificeras som en form av fasta tillståndets lasrar. 1990 hade man lyckats utvinna 1W per fiber och 1999 lanserade *IPG* en 1.5kW fiberlaser som prismässigt var konkurrenskraftig med motsvarande lamp- eller diodpumpade Nd:YAG-lasrar. Man anger en garanterad livslängd på 30.000 timmar under kontinuerlig drift och verkningsgraden ligger omkring 18%. Idag kan man som sagt erbjuda 6kW, men Dr. **Shcherbakov** såg det som fullt möjligt att i framtiden kunna erbjuda system som ger såväl 10 som 25kW uteffekt. För dessa högeffektsystem krävs vattenkylning, men för effekter under 6kW räcker det med luftkylning. En annan fördel är ju att det inte finns någon optik som behöver linjeras. Några data kring denna intressanta typ av laserälla anges i Tabell 1.

Vid redovisade svetsförsök hos *KUKA* i Augsburg hade man med en 2kW enhet svetsat två stycken 0.8mm stålplåtar i överlappsfog med en hastighet av 7m/min. Motsvarande hade en kälsvets för två styck-

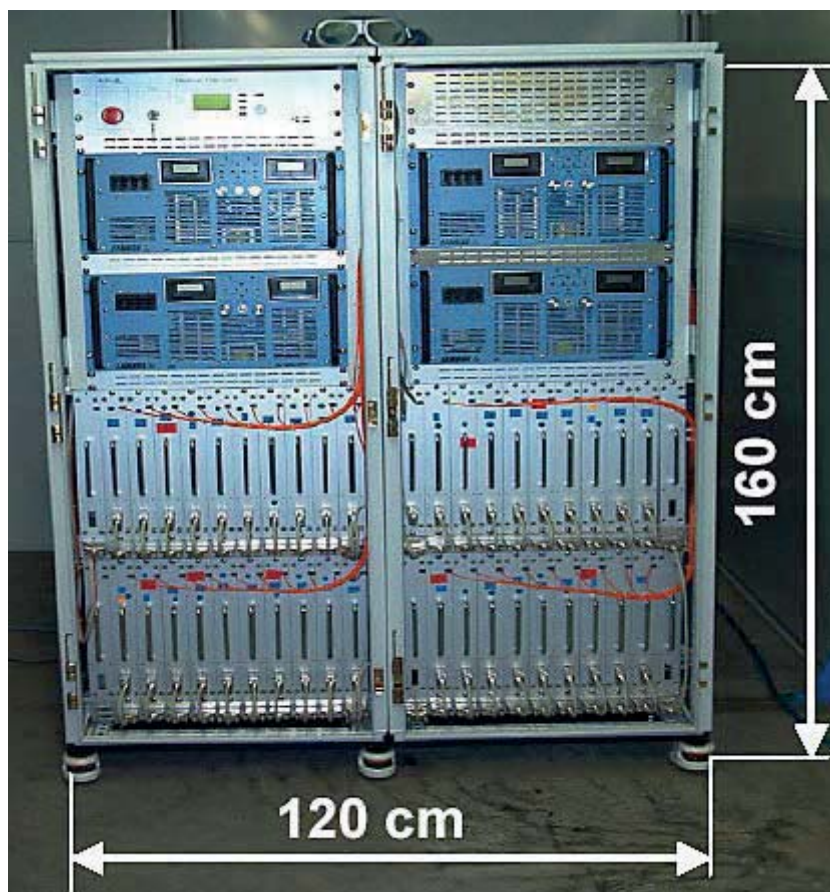
en 1.5mm tjocka aluminiumplåtar svetsats med 8m/min. Prisbilden är dock alltså högt. För en vanlig Nd:YAG laser räknar man med att en Watt kostar 120-140 dollars. Siffran för fiberlasern bedöms idag ligga omkring 40% högre. Dock menade Dr. Shcherbakov att man bör väga in besparing av fabriksyta och kylmedium (vatten) i en sådan kalkyl.

Ett antal skeptiker fanns dock bl.a. bland experterna i diskussionspanelen. Sålunda uttryckte såväl Dr. Wedel, *HighYag*, som Dr. Krause, *Laserline*, tveksamheter om huruvida strålkvaliteten verkligen var så bra som den utlovades. Vidare var man även skeptisk till den angivna diodlivslängden. I jakten på potentiella kunder kontrade Dr. Mann med att *Trumpf/Haas* kommer att presentera en Yb:YAG 3kW disk laser vid lasermässan i München till sommaren. Denna sades kunna arbeta över fiberlängder på 100m, något som ej är möjligt för vanliga Nd:YAG-baserade system. Herr Rüttinger, *Rofin Sinar*, undrade om fiberlasern verkligen är så robust att den kan fungera i en treskiftsproduktion. Här försvarade emellertid Dr. Krause tekniken med att ange ett exempel där man trots ett enstaka diodurfall kunde använda det totala diodpaketet i

”Just flexibilitetskravet är viktigt för att lasern skall vara konkurrenskraftig”, menade Herr Hanicke från Volvo Cars, ”annars är stansning mera lönsamt.”

500.000 timmar. Hursomhelst kan vi konstatera att ytterligare en kraftfull kandidat i form av fiberlasern har sällat sig till övriga högeffektlaser för användning i industrin, och att debattens vågor kan förväntas gå höga även i framtiden.

Herr Sandström från *Permanova Lasersystem* (Möln dal) berättade om det kombinerade process-



Figur 6. Senaste tillskottet i familjen diodlasrar; 6kW-system från IPG.

verktyg som man utvecklat och som nu används av VW i Poznan, Polen vid tillverkning av minibussar. Bussarnas karossidor består av en främre del som är gemensam för alla varianter, medan den bakre delen förekommer i ett flertal versioner. Sammansättningen sker med hjälp av laser, och i stället för att ha olika verktyg för svetsning och lödning, och därmed en extra lösning för verktygsbyte, har man kombinerat de två processhuvudena tillsammans med ett fogföljningssystem i ett enda verktyg [Figur 7].

Sammansättningen sker i två celler, en för vänster och en för höger karossida, vilka båda är utrustade med en 3kW Nd:YAG-laser och en 200kg industrirobot. Efter att manuellt ha positionerat detaljerna i en vridbar fixtur låses lasercellens säkerhetsdörrar och en svetsoperation sker i B-stolpeområdet med en

TABELL I	YLR-2000	YLR-4000	YLR-6000
Effekt	2.2kW	4.5kW	6.5kW
Våglängd	1070nm	1070nm	1070±5mm
Fiberdiameter	200µm	300µm	300µm
Strålkvalitet (BPP)	10mm*mrad	17.5mm*mrad	20mm*mrad
Verkningsgrad	14-18%	18%	18%
Diodlivslängd	>100.000tim	>100.000tim	>100.000tim



Figur 7. Kombinerad lasersvetsning/laserlödning av karossidor i VWs Poznan-anläggning.

fokalpunktsdiameter på 600µm. Därefter defokuseras strålen till en diameter på mellan 2-3mm och ett trådmatningssystem (*Fronius*), som matar in tillsatstråden i 90° mot lödningsriktningen, träder i operation. Nu laserlödes två kortare fogar om vardera 100mm, en i taksvällarområdet och en vid bottenavvällaren. Anpassningen till lödning tar mindre än 3 sekunder, och den totala cykeltiden i cellen ligger på omkring 6 minuter. I det kombinerade processverktyget finns också en fogföljningsenhet som mäter fogens läge 3-9mm framför fokuspunkten och som med 15ms intervall gör en justeringskontroll. Fogföljningen kan dock bara användas vid svetsoperationen, då denna enhet måste vikas undan vid lödningen för att inte komma i konflikt med trådmatningsenheten. Cellerna är också försedda med *Permanovas* patenterade FPS^{WT} (Fokus Position System) för uppmätning av fokuspunktens reella läge.

Efter Herr Sandströms presentation utspann sig en debatt kring standardiseringen av laserverktyg samt fibrer och fiberkopplingar. VWs tidigare laserentusiast, Herr *Elsner*, som numera är ”värvad” över till *DaimlerChrysler*, sade att han vore tacksam för att ett sådant arbete startas, något som han själv har eftersträvat i många år. Dr. *Roos* (*Optoskand AB*) påpekade att det vore tämligen enkelt att standardisera modulärt uppbyggda system, men att sådana vanligtvis tar större plats än integrerade verktyg. Dr. *Rippel*

från *KUKA Schweissanlagen GmbH* (Augsburg) exemplifierade hur det hade gått med den s.k. Euro-tången, som var ett försök att standardisera svetsstänger för motståndssvetsning. Det visade sig här att den standardiserade lösningen blev dyrare än de stänger som idag erbjuds på marknaden. Diskussionen avslutades med att Dr. *Hopf* från *DaimlerChrysler* inbjöd de närvarande intresserade till ett standardiseringsmöte i Sindelfingen om 2 månader och ett liknande möte i München att avhållas inom 4 månader.

Beträffande svetsning diskuterades fördelar/nackdelar med CO₂-kontra Nd:YAG-laser. Dr. *Rütinger* (*Rofin Sinar*) sade, att för RLW (Remote Laser Welding) är CO₂ slab-lasern ett utmärkt instrument. Dylka lasrar finns idag med upp till 5kW uteffekt och en strålkvalitet, k-faktor, på 0.9. RLW-tekniken har idag blivit så snabb att det inte är svetsningen i sig utan tiden för laddning/lossning i fixturen som utgör flaskhalsarna. Vidare påpekade han att allt fler icke-linjära ämnesskarvsdetaljer gynnar marknaden för Nd:YAG-lasrar, medan ökade krav vid skärning av hydroformade detaljer talar till

Anpassningen till lödning tar mindre än 3 sekunder, och den totala cykeltiden i cellen ligger på omkring 6 minuter.

förmån för koldioxid-lasern.

Det diskuterades vidare en del kring skärapplikationer och -verktyg där Dr. *Rehse* från *Ford* i Köln kunde förutse ökade krav på modellflexibilitet och mer variantstyrd hålskärning. Just flexibilitetskravet är viktigt för att lasern skall vara konkurrenskraftig, menade Herr *Hanicke* från *Volvo Cars*, annars är stansning mera lönsamt. Om specifika krav på håltagningen finns blir lasern ett konkurrenskraftigt verktyg. Som exempel på dylka håltagningskoncept nämndes stötdämparinfästningarna för Volvo C70 samt infästningarna för stötfångarskenor på Ford Fusion SW (Sports Wagon).

Fortsättning följer! Del 2 publiceras i Lasernytt 3 2022.

EWF - SPECIALKURS

LASERSVETSNING / LASERHYBRIDSVETSNING

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

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

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

Kursen vänder sig till

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

Intresseanmälan:

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

**Datum: Kurs planeras för
2023, anmäl intresse för
uppdatering av kursdatum**

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

LULEÅ
TEKNISKA
UNIVERSITET



Air Liquide Gas AB

031-338 26 48
Wallinsgatan 6
431 41 Mölndal

Alfa Laval Corporate AB

046-36 65 00
Rudeboksvägen 1
226 55 Lund

Autokropolis Engineering

031-774 06 88
Övre Fogelbergatan 6
411 28 Göteborg

Ferruform AB

092-07 65 94
Box 815
971 25 Luleå

GKN Aerospace Engine Systems Sweden

052-09 38 33
461 81 Trollhättan

GKN Automotive AB

0221-76 20 00
Box 961
731 29 Köping

Husqvarna Construction Products Sweden AB

036-570 60 00
Box 2098
550 02 Jönköping

Hydro Extruded Solutions AB

012-28 30 39
612 81 Finspång

Höganäs AB

042-33 80 00
263 83 Höganäs

Högskolan Väst

0520-223 000
461 86 Trollhättan

Laser Machining Inc. LMI AB

028-13 07 16
Storbygatan 7
780 53 Nås

Lasernova AB

063-18 08 80
Odenskogesvägen 1
831 48 Östersund

Lasertech LSH AB

058-68 48 00
Bofors Industriområde
691 80 Karlskoga

Linde Gas AB

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

Luleå Tekniska Universitet

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

MERITOR HVS AB

058-18 43 86
Ishockygatan 3
711 34 Lindsberg

NKC Manufacturing Sweden AB

031-337 11 39
Kvibergs Broväg 10
402 52 Göteborg

Nippon Gases Sverige AB

076-501 08 00
Box 51
731 22 Köping

Oerlikon Metco Europe GmbH

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

PG Benson AB

070-6718996
Ryttarvägen 22
132 45 Saltsjö Boo

Pepab Produktionspartner AB

0270-42 91 51
Bröksmyravägen 33
826 40 Söderhamn

Permanova Lasersystem AB

031-706 19 80
Krokslättsfabriker 30
431 37 Mölndal

Scania CV AB

08-553 810 00
151 87 Södertälje

Siemens Industrial Turbomachinery AB

012-28 22 39
612 83 Finspång

SSAB Emea AB

024-37 00 00
781 84 BORLÄNGE

SSAB Oxelösund AB

0155-25 40 00
613 80 Oxelösund

Strandmöllen AB

037-21 55 40
Nasvägen 22
341 34 Ljungby

Swerim AB

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

TeknikCentrum i Gnosjö

037-927 29
Gunnarsvägen 1
335 31 Gnosjö

Tetra Pak Dairy & Beverage Systems AB

046-36 55 59
Ruben Rausings gata
221 86 Lund

Trumpf Maskin AB

0322-66 97 00
Box 606
441 17 Alingsås

Volvo Construction Equipment AB

016-15 10 00
631 85 Eskilstuna

Volvo Car Corporation

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

Volvo Lastvagnar AB Umeverken

090-70 74 77
Bölevägen
Box 1416
901 24 Umeå

Volvo Powertrain Corporation AB

073-902 33 51
405 08 Göteborg
Mikael Nordqvist

Väsman Invest Laserteknik AB

024-01 31 74
Svetsarevägen 1
771 42 Ludvika

Westinghouse Electric Sweden AB

021-34 70 00
SE-721 63 Västerås

Wugang Tailored Blanks Sweden AB

0454-57 47 50
VCBC Norra Industriområde
293 80 Olofström