

# **LASER**

3-02

*nytt*

Höga automatisk  
laserbearbetning

på BLECH 2002

Lasernytt utkommer  
med 3 nummer per år  
och ges ut av Lasergruppen  
inom VI  
Box 5510  
I 14 85 Stockholm  
Telefon: 08-782 08 78  
Fax: 08-660 33 78

**Redaktör**

Hans Engström  
Telefon: 0920-49 12 69  
Växel: 0920-49 10 00  
Fax: 0920-49 93 09  
E-post: Hans.Engstrom@mb.luth.se

**Redaktionellt arbete och kansli**

Per Westerhult  
E-post: perwesterhult@vi.se  
Annika Wannerberg  
E-post: annika.wannerberg@vi.se

**Lasernytt på Internet**

[www.vibab.se/laser/](http://www.vibab.se/laser/)

© Lasergruppen inom  
VI, Sveriges Verkstadsindustrier  
[www.vi.se](http://www.vi.se)

- 2** Högautomatisk laserbearbetning på BLECH 2002
- 7** Automotive driver laseranvändningen  
Laserdag i Olofström
- 10** Stans & Press AB i Olofström växer snabbt
- 11** Intressant form av "Hybridsvetsning" presenterades  
vid IBEC 2002
- 16** Fyra intensiva laserdagar i Arizona
- 33** Kostnadseffektiva gasblandningar för svetsning  
med koldioxidlaser
- 35** Gasrelaterade frågor vid laserskärning av rostfritt stål  
och aluminium
- 37** 9th NOLAMP Conference

## Högautomatisk laserbearbetning på BLECH 2002

Av  
Hans Engström, Sirius laboratoriet, Luleå tekniska universitet

Blech 2002 i Hannover är en kraftsamling för att visa det senaste inom plåtbearbetning. Detta var det 17:e Blech och man väntade 1200 utställare från 30 länder, som skulle ställa ut i 8 hallar på totalt 76 000 m<sup>2</sup>.

### Högautomatiserat men även för korta serier

Trumpf satsar vidare mot högautomatiserade system men visade också intresse för flexibel plåtbearbetning i korta serier. En av nyheterna på mässan var ett automatisk sorteringssystem "SortMaster" som kopplas till laser- och plåthanterings system. SortMaster arbetar med sugkoppar och sorterar det skurna materialet på pall.

Trumpf visade också en laserskärmaskin maskin som arbetar direkt från coils, Trumatic HSL 2502 C. Systemet är utrustat med 2 CO<sub>2</sub>-lasrar med totalt 3,2 kW. För 0.5 mm plåttjocklek kan en coilvikt på 5 ton och plåtlängd på 1300 m användas. Maskinen är indelad i två sektioner, en för skärning och en för borttagning av skurna detaljer, båda 1200x1000 mm. Skurna detaljer kan staplas eller samlas

upp utanför maskinen. En maskin för högvolymproduktion i tunnplåt enligt Trumpf. *Se bild 1.*

I andra änden av produktionsspektrat finns den flexibla produktionen i små serier. Trumpfs intresse där avspeglade sig i "Trumf Laser Network", ett system där en Nd:YAG-laser kan betjäna flera stationer. Lasern kan liknas vid en kompressor i en verkstad, berättar Hubert Wilbs, vd vid Trumpf Maskin AB. På Blech hade man kopplat upp ett 2 kW-system till en kantsvets, där man svetsar ihop hörn och kanter på bockade komponenter, en handsvetsutrustning för lasersvetsning från Mobilelasertec GmbH och en laser scanner.



Figur 1. Trumpf Trumatic HSL 2502 C skär tunnplåt direkt från coils med två lasrar.

I andra änden av produktionsspektrat finns den flexibla produktionen i små serier. Trumpfs intresse där avspeglade sig i "Trumf Laser Network", ett system där en Nd:YAG-laser kan betjäna flera stationer. Lasern kan liknas vid en kompressor i en verkstad, berättade Hubert Wilbs, vd vid Trumpf Maskin AB. På Blech hade man kopplat upp ett 2 kW- system till en kantsvets, där man svetsar ihop hörn och kanter på bockade komponenter, en handsvetsutrustning för lasersvetsning från Mobilelasertec GmbH och en laser scanner.



Figur 2. Lasersvetsning för hand demonstrerades i Trumpf monter.

Hubert Wilbs berättade också att Trumpf fått innovationspris för en ny hanteringsutrustning vid bockning, "BendMaster" som är integrerad med kantpressen som den betjänar. Bägge programmeras via ett styrsystem, ToPs 600. Systemet kan vara ekonomiskt även ned till så små serier

som 30 detaljer tack vare den korta programmerings- och ställtiden enligt Trumpf.

Trumpf satsar 6.1 % av försäljningen på FoU. Man satsar också stort på marknadsföring och den stora monter på Blech var fylld av utrustning.



Figur 3. Trumpf BendMaster är ekonomisk även vid små seriestorlekar tack vare kort programmerings- och ställtid.

### Amada vann pris

Mässans pris till mest innovativa produkt gick till Amada, för en helt ny laserskärmaskin utrustad med linjärmotorer, FOL 3015. Accelerationen är mer än 4 g vilket troligen är världsrekord för en laserskärmaskin. Den är utrustad med en 4 kW CO<sub>2</sub>-laser och kan naturligtvis kopplas till Amadas materialhanteringssystem. Maskinen har sålts i Japan i 1,5 år och nu är det alltså Europas tur, berättade Jonas Hedqvist, Amada Promecam AB. Styrningen av



Figur 4. Jonas Hedqvist, Amada Promecam AB, visar stolt Amadas nya laserskärmaskin som har en acceleration på mer än 4 g.



Figur 5. Johan Elster, Bystronic AB visar automatisk produktion med den nya 4.4 kW CO<sub>2</sub>-lasern i en BySpeed 3015 integrerad med tre höglager.

maskinen sker via Amada Multimedia Network Controller (AMNC).

Amada visade också en kombinationsmaskin, där laserskärning kombineras med en kantvik, men den maskinen tror inte Jonas Hedqvist kommer till Sverige.

### Bystronic har ny profil

Även Bystronic fokuserar på högautomatisk produktion och visade bl.a. två maskiner, BySpeed 3015 och ByStar 3015 vilka var kopplade till tre höglager. Johan Elster, Bystronic AB, berättade att fokus på mässan var att träffa och ta hand om kunder för att kommunicera det "nya" Bystronic, som har omorganiserats och dessutom fått en ny logotyp. Därför visar vi inte så många maskiner.

- Vi har en ny 4.4 kW CO<sub>2</sub>-laser berättade Johan Elster. Det är en vidareutveckling och lasern har nu transistorstyrning av högspänningen. Därmed har ett el-skåp försvunnit och allt det elektriska ryms nu i ett skåp under lasern.
- Vi har nu också elektrisk effekstyrning, där vi kontinuerligt mäter lasereffekten och automatiskt justerar den så att den alltid ligger på den inställda nivån. Vi har också elektriskt styrd gasmix vilket ger helt konstanta driftsförhållanden. Teleskopet är borttaget och nu finns ett block med all optik för strålförstoring, polarisering mm samlat i laserns främre del.

Johan berättade vidare att Bystronic håller kvar sin tradition att själva utveckla och tillverka kritiska komponenter mjukvaror. Som exempel gör man sedan 1966 alla servon och motorer själva. Då fanns det inget som passade Bystronics

behov och ingen ville utveckla det man behövde, så därför gjorde man det på egen hand.

### Intelligens optimerar

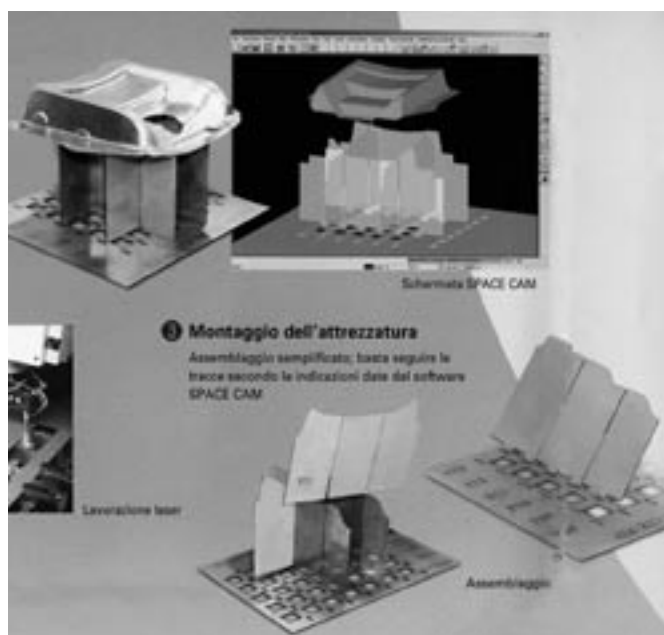
Bystronics styrsystem har en välutvecklad "intelligens" som bl.a. optimerar skärvägar för få kortaste skärtider. Det ger också en mjukare gång på maskinen med mindre vibrationer. Även om andra maskiner kan ha högre hastigheter och acceleration så har vi oftast i praktiken de kortaste skärtiderna tack vare "intelligensen" i styrsystemet berättade Johan.

Bystronic har mer än 300 lasersystem i Skandinavien och att det ställer höga krav på servicekapacitet. Man har därför 15 tekniker anställda som sköter servicen.

Johan Elster berättade att han tror mera på kontakten servicetekniker/kund än helautomatisk övervakning av lasersystemet. Vissa delar kan och ska naturligtvis övervakas, men Johan menar att det med dagens teknik är omöjligt att utröna exakt varför en laser skär dåligt. Det kan ju t.ex. sitta slagg i munstycket och hur upptäcker man det? Johan tror då mer på videokontakt mellan kund/tekniker, vilket kan ge en information som inget automatiskt system kan ge.

### Ny universalmaskin från Mazak

Mazak slår sig inte till ro efterframgångarna med SpaceGear utan lanserar en ny maskin som kallas SpaceGear U44. Det är en kombinerad plan-, 3D- och profilskärningsmaskin. Maskinen finns med 1.5, 2.5 eller 4 kW lasereffekt, vilka klarar 12 mm, 19 mm respektive 22 mm tjockt material. Skärytan för plan plåt är 1250x1250 mm och vid 3D-skärning 900x900x280 mm. Gunnar Thoursie,



Figur 6. SpaceGear U44 har möjligheten att automatiskt generera fixturer för 3D-bearbetning.

försäljningschef på Ravema AB berättade att maskinen nu har en fast chuck men att pneumatiska backar kommer. Stångbearbetning är möjlig.

Maskinen nyttjar SpaceCam för programmering, vilken jobbar med solidmodellering och automatiskt kan generera program som skär ut fixturer för 3D-detaller. Även fixturer för hydroformade detaljer kan skapas i systemet.

Mazak visade också en FabriGear 150 som klarar runda profiler upp till en diameter på 100 mm i 8 meters längd, samt en SpaceGear 510MkII och en SuperTurbo-X 48 MkII.



Figur 7. Mazak presenterade en universalmaskin SpaceGear U44 för plan-, 3D- och profilskäring.

## Briljanta finländare

FinnPower briljerar med sin nya LaserBrilliance, en linjärmotordriven kombimaskin för stansning/formning och laserskäring. Man har ersatt vinkelsaxen på ShearBrilliance med en 3 kW CO<sub>2</sub>-laser och därmed skapat konceptet. Accelerationen uppges till mer än 2g så farten är det inget fel på. Några mässbesökare som stod bredvid maskinen ryggade förskräckt tillbaka när bommen kom farande. Maskinen kan naturligtvis utrustas med automatisk in/utmatning av plåt och detaljer, utrustning för sortering, vilket gör helautomatisk produktion möjlig.



Figur 8. Peter Nykvist, Din Maskin AB demonstrerar en detalj tillverkad i LaserBrilliance, en ny kombinationsmaskin från FinnPower.

En rolig detalj med Laser Brilliance; märkning av detaljer sker med ett diamanstift vilket ger en mycket estetiskt tilltalande mönster med högblanka märkspår.

## Världspremiär hos Adige

Adige visade en ny rörsärningsmaskin, LT803 D. Maskinen klarar att skära vinklade snitt upp till 45 grader genom att skärhuvudet från Precitec kan vinklas  $\pm 45$  grader. Maskinen har också en ny mjukvara som hanterar information snabbare. Det skall ge en ökande produktivitet på 15-30 % enligt Adige.



Figur 9. Adige LaserTube LT803D hade världspremiär på Blech 2002

### Starkare lasrar

Rofin, fortsätter att utveckla sina lasrar. På Blech 2002 visade man en ny CO<sub>2</sub>-slab laser på 5 kW, med beteckning DC050W. Trots den höga effekten har man lyckats behålla en mycket hög strålkvalité med ett k-värde större än 0.9



### Många intryck

Blech 2002 gav många olika intryck. Trenden mot allt högre automatiseringsgrad fortsätter även inom laserbearbetning. Lasrarna blir starkare och skärhastigheterna högre. De flesta tillverkare har nu maskiner med linjärmotorer och de som inte har, t.ex. Bystronic har utvecklat andra drivtekniker.

Dessutom så utvecklas det mycket kringutrustning för laserbearbetning, med det planerar vi att berätta om i ett kommande nummer av LaserNytt.

Figur 10. Dr Peter Wirth, koncernchef vid Roфин, är still going strong efter många år i laserbranschen och visar här Rofins nya 5 kW CO<sub>2</sub> slab laser.

(avvikelsen från en perfekt gaussisk intensitetsfördelning i strålen är mindre än 10 %).

Rofin visade också en ny diodpumpad Nd:YAG-laser med effekt 4.4 kW. Vid den effekten är strålkvaliteten 12 mmxmrad och verkningsgraden uppges vara större än 10%. Den höga strålkvaliteten gör det möjligt att använda en 400 µm fiber för strålöverföring. "Samma" laser kan också fås med effekt 6 kW, men då blir strålkvaliteten halverad och 600µm fiber används istället.

På systemsidan presenterade Roфин ett nytt svetsssystem för rör och profiler, Profile Welding System (PWS). Detta är ett komplett system för strålöverföring med integrerad processtyrning för detektering av spalter och fogföljning. Systemet kan vara både taktilt eller kontaktlöst för återföring av information. Det kan programmeras för att styra olika funktioner, t.ex. lasereffekt eller processgas. Positioneringsnoggrannheten uppges till 20 µm vid hastigheter upp till 30 m/min.

Man har också arbetat med maskinstyrning och kommunikation och erbjuder ett koncept kallat Laser Master Control (LMC) för sina YAG-lasrar. Kommunikation sker via ett fältbussystem utan övergripande PLC-styrning. LMC är inbyggt i lasrarna och kan kommunicera med flera robotar i olika arbetsstationer. Systemet avgör vilken arbetsstation (robot) som skall få strålen. Systemet uppges vara både enklare och säkrare än traditionella stråldistribueringsystem.

# Automotive driver laseranvändningen

## Laserdag i Olofström

Av  
Hans Engström, Siriuslaboratoriet, Luleå tekniska universitet

Volvo Olofström och Stans & Press AB i Olofström var värdar för den andra Laserdagen för året, vilken hölls den 25 september. Temat för dagen var laserbearbetning i bilindustrin och Volvo Olofström hade dukat upp med ett gediget program, som kompletterades med ett besök på Stans & Press, där deltagarna bl.a. fick se laserskärning av en härdad plåt profil till Volvo XC90.

### Utveckling av fogningstekniker är nyckeln till framtida utveckling

Hos Volvo Olofström jobbar man under bilens hela livscykel, från tidig idé till produktionen avslutas, berättade Claes Magnusson, Volvo Car Body Components (VCBC) som var först ut på plan med en översiktlig presentation av verksamheten. Man pressar alla plåtdetaljer som sitter på en Volvobil och dessutom kör man också viss legotillverkning åt andra bilföretag.

Claes berättade att industritraditionen är djup rotad i bygden för det första bruket startade redan 1735. Man var med redan vid tillverkningen av den första Volvo-bilen som kom 1927 och Volvo köpte sedan bruket av Alfa Laval 1969.

Volvo tillhör nu Premier Automotive Group inom Ford, tillsammans med andra kända bilmärken som Jaguar, Land Rover och Aston Martin. I Olofström tillverkar man 52 millioner karossdetaljer varje år och förbrukar då 250 000 ton stål. Men ca 50 % av materialet går tillbaka till stålverken som skrot. Omsättningen är drygt fyra miljarder. Claes nämnde med viss stolthet att fabriksytan i Olofström är 284 882 m<sup>2</sup> jämfört med 34 058 m<sup>2</sup> i Göteborg. Det finns 20 presslinjer varav en ägs av Finnveden, två transferpressar och man har också hydroformning. Man gör också delkompletter som dörrar, bakluckor, huvar mm och dessa fogas med olika tekniker som t.ex. falsning, punktsvetsning, limning.

- Volvo Olofström är ett Centre of Excellence för tillverkning av tunnplåtskomponenter och utveckling av fogningstekniker är nyckeln till framtida utveckling avslutar Claes Magnusson.



Figur 1. Claes Magnusson, Volvo Car Body Components (t.h.) och f.d. professor vid Luleå tekniska universitet samtalar med sin efterträdare på professorsstolen, professor Alexander Kaplan.

### Lasersvetsning

- Skarvade ämnen, där lasersvetsning är främsta sammanfogningsprocess
- Laserlödning, som nu är etablerad hos en konkurrent till Volvo
- Remote welding, kommande metod för speciellt innerdetaljer

Detta är några av trenderna idag inom laserområdet i bilindustrin, berättade Torsten Carlsson, Volvo Car Body Components. Med remote welding gör man idag 5 svetsar per sekund, 10-12 mm långa, i labbmiljö, medan man i verklig produktion kommer upp i ca 2 svetsar per sekund.

I Olofström har Volvo två skärlasrar och en 8 kW CO<sub>2</sub>-laser för svetsning. Alla lasrar används för prototyp-tillverkning medan det är underleverantörerna som har lasrar i produktionen, berättade Torsten.

Inom FoU följer arbetet en viss procedur när vi utvecklar ny eller testar sammanfogningsmetoder berättade Torsten. Vi börjar med kupongtester för att få basinformation om fogenegenskaperna. Därefter svetsar vi hattprofilprover för att försöka simulera verkligheten. Om detta faller .



Figur 2. Torsten Carlsson, Volvo Car Body Components berättade om lasersvetsning av karosskomponenter vid Laserdagen i Olofström.

väl ut övergår vi till test på provkroppar (dummies) för att få mera realistisk information och slutligen svetsar vi på riktiga detaljer.

Laserns fördelar, hög produktivitet, liten värmetillförsel, kontrollerat svetsförlopp, design frihet måste ställas mot hög investeringskostnad och högre processkrav avslutar Torsten Carlsson.

Torsten är nu på en drömmresa till Sydamerika under ett års tid och LaserNytt önskar Torsten allt väl under resan.

### Laserlödning för snygga fogar

Laserlödning är en process på frammarsch inom bilindustrin och Volvo har hakat på och arbetar nu med eget utvecklingsarbete som leds av Per Lindahl, Volvo Car

Body Components. Varför ska man laserlöda? Jo man får en snygg fog, berättade Per. Laserlödning ger också liten värmepåverkan (mindre sträckenergi än lasersvetsning), den är tät och kontinuerlig svets, den är möjlig att lacka och den är acceptabel på synliga ytor.

Nu laserlöder både BMW och VW bakluckor till vissa av sina bilmodeller. På Audi CC löds också C-stolpen, men där slipas svetsen efter lödningen.

I sitt arbete har Per använd 2 kW diodlaser och CuSi3 tråd som värms med 100 A. Laserstrålen smälter sedan lodet som flyter ut i fogen. Den fogtyp som man har använt är av typ "strålfälla". Vid 3 m/min är lödprocessen stabil och man använder en defokuserad stråle med 2.5 mm diameter. Processen fungerar utan skyddsgas.

Det blir dock en del porer i ca 5 % av de bakluckor som man har testat processen på berättade Per. Det betyder 1 por var 20 m. Lödningen har låg fläckstyrka och utmattningshållfasthet och det kan bli vissa problem med återvinningen i framtiden avslutar Per Lindahl.

### Lasertrender

Johnny K Larsson Volvo Cars, Göteborg berättade sedan om lasertrender inom bilindustrin. Takskarvssvetsning med överlappsfog är etablerad sedan många år men nu svetsar man istället samma applikation med en kantsvets istället. Så är fallet för den nya Volvo XC 90 och där använder man en 3 kW Haas Nd:YAG-laser, med en Kuka robot och ett svetshuvud med inbyggd fogföljning från Permascand Lasersystem. Kantsvetsning ger högre svets hastigheter, bättre designmöjligheter, ökad kvalitet och enklare kvalitetskontroll men kostar mera.

Remote welding är en kommande teknik och den används nu t.ex. på Chrysler Jeep Liberty för svetsning av



Figur 3. Principen för Remote Welding och ett svetssystem utvecklat av Rofin Sinar, Hamburg.

komponenter i dörren till bagageutrymmet. Man har två system med en cykeltid på 42 sekunder per station varav svetstiden är 32 sekunder. På den tiden gör man 56 svetsar (stitches).

Johnny berättar också att laserlödning är intressant och nämner bl.a. att takskarven på VW Polo löds och här använder man ingen taklist för att dölja fogen.

Hybridsvetsning är intressant även för tunnplåt och den metoden används på de två lyxbilarna i VW koncernen, Audi A8 och VW Phateon.

Dubbelfokusoptik är också intressant för svetsning av aluminium enligt Johnny Larsson.

### **Laserytbehandling ökar livslängden**

Laserytbehandling av verktyg är en annan intressant trend som har börjat tillämpas inom bilindustrin. Detta berättade Göran Bäcklund, Duroc AB, som har etablerat en ytbehandlingsanläggning med en 4 kW diodlaser med robot i Olofström, främst för att härda verktyg åt Volvo. Man gör 15 mm breda strängar och härdar segjärn till 750-850HV med ett härddjup på 0.7-2 mm. Göran nämner som exempel ett verktyg som krävde pustning efter 2000 slag men som efter laserhårdning bara behöver putsas efter 130 000 slag.

Laserbeläggning används för reparation av slitna verktyg och man kan också impregnera ytor med TiC.

### **Laserskärning och AWJ konkurrerar inte**

Efter den rena lasersessionen var det dags för Johan Larsson och Christoffer Persson, Stans o Press AB, att jämföra laser- och AWJ- skärning. Man har gjort en kostnadsjämförelse för en specifik detalj mellan skärning med en 4 kW Bystronic och en AWJ- maskin med 4 huvuden och ett vattentryck på 3500 bar. Kostnadsjämförelsen presenterades med att antal kurvor som visade kostnaden som funktion av plåttjockleken för olika material.

Slutsatsen är att vatten och laser inte konkurrerar med varandra berättade Johan Larsson. Det är istället de tekniska kraven som är avgörande för val av teknik. Men han ser ett undantag; för rostfritt i vissa tjocklekar finns en konkurrenssituation. Kundkraven på toleranser ger dock tekniken, avslutade Christoffer Persson.

### **Fogning hos Volvo Olofström**

Anders Boking, ansvarig för avdelningen som arbetar med teknisk utveckling vid Volvo Car Body Components i Olofström berättade sedan mera om de många fogningstekniker som Volvo Olofström använder i sin produktion. I t.ex.

Volvo S80 görs 1/3 (1390 st) av all punktsvetsning i Olofström och modellen har också 69 stuknitar, 7 stansnitar och 48.5 m limmade förband.

Utvecklingen går mot att använda material med allt högre hållfasthet för att tillfredsställa kraven på lägre bränsleförbrukning och högre säkerhet. Anders berättar att innan ett nytt material kan användas så måste det utvärderas och man bestämmer då processfönster och dess stabilitet samt hållfastheten. Materialet kvalitetssäkras och slutligen så utfärdas konstruktionsanvisningar. Rutiner för fogningsprovning utarbetas för alla metoder.

Anders Boking berättade att man gör stuknitning på DP 800 stål mot mjukt material men att det inte är möjligt att stuknita DP 800 mot DP 800.

Limning är en metod som utförs bl.a. för att få täta förband och för vibrationsdämpning (anti fladder som det heter på bilbyggarspråk). Kvalitetssäkring görs också på ett speciellt sätt bl.a. genom att man har certifierade operatörer.

Volvo har också en speciell "aluminiumprocess" för sammansättning av delkompletter i aluminium som bakluckor och motorhuvar. Processen utgår från ämnen i tillstånd T4 som formas, betas, nitas-limmas-falsas. Därefter sker förhårdning och sedan hårdning till tillstånd T6 och delkompletten är klar för leverans.

Volvo Olofström har också flexibla sammansättningslinjer där man kan tillverka flera olika detaljer med samma utrustning och i vissa fall detaljer i olika material. Ett exempel är bakluckan som görs i stål till gamla S70- modellen och i aluminium till S80 och S60. Modellbyte tar ca 30 minuter och cykeltiden per station är 36 sekunder för de 600 robotar som finns i tillverkningen hos Volvo Olofström avslutade Anders Boking.

### **IUC teknikdrivare**

IUC Olofström startade 1993 som en avknoppning av teknikavdelningen och teknikcentrum vid Volvo Personvagnar berättar Anders Rasmusson, som är projektledare inom produktionsteknik vid IUC Olofström AB. Företaget har 60 anställda och är det största inom IUC- familjen. IUC Olofström ägs av Volvo (24%) Stiftelsen Teknikcentrum (39%) och privata intressen (37%).

Hos IUC Olofström utbildas 4800 personer genom 650 olika kurser per år. De privata kunderna är störst, 65% (varav Volvo svarar för 40%), offentlig utbildning 20% och vad Anders kallar "bidragsprojekt" 15 %.

Förutom utbildning så arbetar man med företagsutveckling och teknisk utveckling inom plåtformning, automation

och kvalitetssäkring, CAD/CAM, produktionsteknik och organisationsutveckling samt fogning och prototyper. Anders berättade att man anser sig teknikdrivande inom områdena verktygsteknologi och formningsmetoder för plåt samt Bluetooth för verkstadsindustrin. Man hoppas att kunna starta ett nytt verktygscentrum nästa år.

### Minimässa med mersmak

Laserdagen lockade 36 deltagare och en nyhet med arrangemanget var en minimässa där Lasergruppens medlemmar hade möjligheter att visa upp sig och sina produkter. Intresset var stort bland deltagarna och inspirerade till diskussioner om ny applikationer och utrustningar.



Figur 4. För första gången under en Laserdag arrangerades en minimässa där medlemmarna i Lasergruppen kunde marknadsföra sig.

## Stans & Press AB i Olofström växer snabbt

Av  
Hans Engström, Siriuslaboratoriet, Luleå tekniska universitet



Laserdagen i Olofström avslutades med ett intressant besök hos Stans & Press AB, som har som affärsidé att vara legotillverkare av plåtdetaljer i små och medelstora serier. Detta berättade Per-Olof Clarin, som är vd vid företaget sedan september 2001. Företaget har produktionsanläggningar i Vilshult, Olofström, Ronneby och Blomstermåla med totalt 132 anställda och omsättningen 2001 var 124 miljoner kronor.

Stans & Press är kvalitetsgodkända enligt ISO 9002 och ISO 14001 och certifiering för QS 9000 ska genomföras under 2003, vilket är ett krav från Volvo Lastvagnar. Man arbetar med laser- och vattenskarvning, stansning, nibbling, klippning, bockning, pressning, svetsning och montering till mer än 200 olika kunder. Produktionsflödet är inarbetat för korta ledtider för att klara kundkraven. Volvo Lastvagnar t.ex. har typiska volymer från 1-2000 detaljer per år berättade Per-Olof.



Figur 1. Per-Olof Clarin, vd vid Stans & Press berättade om företaget vid Lasergruppens studiebesök.



Figur 2. Edgar Mörk, Stans & Press AB är fabriksansvarig i Olofström och visar här en peroxidtank som man tillverkar.

Stan & Press växer snabbt enligt Per-Olof och man har investerat 9 miljoner per år de senaste åren. Senaste nyförvärvet var en 3D-laser från Prima Industries som installerades i augusti 2001. Man har också en planskärmaskin, Bystronic 3015 i produktionen.

Den nya Prima lasern har en arbetsvolym på 4500x2500x900 mm och är uppdelad i 2 stationer med en s.k. "split cabin", berättade Christoffer Persson, vilket gör att vi kan ladda och lossa detaljer i ena stationen medan skärning pågår i den andra. Priman är bestyckad med en 3 kW PRC CO<sub>2</sub>-laser. Vid vårt besök höll man på skära hål i en härdad plåtprofil från Accra Teknik AB. Det är en säkerhetskomponent i den bakre stolsramen till Volvo XC90 och man ska tillverka i ca 60 000 detaljer per år.

Lasergruppen tackar för ett intressant och lärorikt besök.



Figur 3. Christoffer Persson berättade om den senaste lasermaskinen, en Prima Optimo 3D-laser.

## Intressant form av "Hybridsvetsning" presenterades vid IBEC 2002

Palais des Congres, Paris, 2002-07-09--11

Av  
Johnny K Larsson  
Volvo Cars

Vid årets *International Body Engineering Conference (IBEC)* i Paris i juli, fick uttrycket hybridlasersvetsning en ny betydelse. Vanligtvis förknippas begreppet med en svetsteknik där en laserkälla kombineras med ett MAG-, MIG- eller plasmaaggregat. Men vid pariskonferensen handlade det i stället om svetsning av en "materialhybrid", i det aktuella fallet rörde det sig om lasersvetsning av aluminium till stål alternativt titan. Jo, det låter sig faktiskt göras med laserteknik, och två presentationer från *BIAS (Bremen Institut für Angewandte Strahltechnik)*, som under många år förfinat denna process, beskrev de senaste utvecklingsrönen.

Idén med att lasersvetsa aluminium till stål initierades under tidigt 90-tal av en industrigrupp bestående av bl.a. *Audi, Volvo, Mercedes Benz, Rofin Sinar* och *BIAS*. Tanken då handlade mycket om ämnesskarvning av karosseridetaljer som tak och ryggplåt, där man för att sänka vikten avsåg att tillverka detaljerna i aluminium med påsvetsade kanter av stål, så att detaljerna skulle kunna punktsvetsas



till motgående ståldetaljer med existerande motståndsvetsutrustningar. Det visade sig svårt att undvika de spröda, intermetalliska faser som uppstår i svetsgodset, och detta ledde till allvarlig sprickbildning vid formningen av detaljerna. Därmed avtog intresset för tekniken från bilindustrins sida, men det förefaller inte omöjligt att idén på nytt kan tas upp med tanke på de resultat som framkommit vid *BIAS'* fortsatta forskning och utveckling kring denna form av "hybridsvetsning".

Kombinationen av olika materialfamiljer görs företrädesvis för att spara vikt och optimera egenskaperna för speciella applikationer. Om man använder konventionella smältsvetsmetoder med hög sträckenergi är uppkomsten av intermetalliska faser i svetszonen ofrånkomlig. Genom att använda sig av optimerad lasersvetsning i tunnplåtsapplikationer kan dessa problem överbryggas. En kontrollerad värmedistribution in i materialet leder till en minimal reaktion mellan materialen som skall sammanfogas.

Nedan följer korta sammanfattningar av de båda presentationerna, där en behandlar stumfogssvetsning (Mr. Kreimeyer) och den andra överlappssvetsning (Mr. Wagner).

2002-01-2009

### Combined Welding-Joining Process for Joining Aluminium-Steel-Tailored Blanks with High Power Laser Sources

Michael Kreimeyer, Florian Wagner, Gerd Sepold, BIAS; Marion Joly, Bernard Criqui, Renault

Biltillverkaren Renault och BIAS har under senare år samarbetat med att utveckla en modifierad teknik för stumsvetsning av stål/aluminium som innebär en kombinerad lasersvets- och laserlödningsmetod.

Vid termisk sammanfogning av aluminium till stål spelar bildandet av intermetalliska faser en signifikant roll, beroende på processrelaterade temperaturer och cykeltider. Fasformeringen åtföljs av en försprödning i svetsgodset. Lösligheten av aluminium i järn är hög, uppemot cirka 25 volyms-%, medan lösligheten av stål i aluminium är så gott som noll. Om man dessutom har en zinkbelagd stålplåt finns det en tredje komponent, nämligen zink, som påverkar materialkompositionen i svetsgodset. Alla de här nämnda intermetalliska faserna har en hög hårdhet, i storleksordningen 600-1100HV. Detta resulterar i en försprödning av svetsgodset, varför sådana intermetalliska faser måste minimeras i fogar vilka har höga krav på seghet och hållfasthet. Följande egenskaper hos de olika materialen måste beaktas:

- Olika smälttemperaturer; Zn 419°C, Al 660°C och Fe 1583°C
- De höga smälttemperaturer som gäller för oxidskikten på aluminiumets yta
- Olika värmeutvidgningskoefficient, vilket förorsakar en spänningskoncentration i och omkring svetsen

Genom att använda sig av laser blir svetsprocessen reglerad av bl.a. höga temperaturgradienter och höga avsvalningshastigheter. Därigenom blir de intermetalliska faserna begränsade till tjocklekar på 2µm eller mindre, vilket ger fogar med förhållandevis hög hållfasthet och god formbarhet.

Initialt gjordes en del termiska FEM-beräkningar för att få en första indikation på värmeinledning och värme-konduktivitet för att därigenom beräkna det optimala läget

för laserstrålens fokuspunkt. **Figur 1** visar temperaturfördelningen vid en svetssimulering. Lasereffekten var 4kW och svets hastigheten 130mm/s. Aluminiumet smälter fullständigt i svetsområdet och väter därmed stålytan. Det är därför nödvändigt att fogytorna blir tillräckligt uppvärmda så att stålytan kan vätas av det smälta aluminiumet. Om å andra sidan temperaturen i smältan ökar upp till stålets smältpunkt sker en dramatisk försprödning av svetsen.

**Figur 2** visar den principiella uppställningen för att foga aluminium och zinkbelagd stålplåt med hjälp av den kombinerade svets/lödningsprocessen. En CO<sub>2</sub>-laser med våglängden 10.6µm användes. Från de termiska svets-simuleringarna fann man ut att laserstrålen måste positioneras på aluminiumytan och här ge full penetration genom aluminiummaterialet. Därigenom väter det smälta aluminiumet den zinkbelagda stålytan vilket resulterar i en lödförbindning mellan de två materialen. Förutom en exakt positionering av laserstrålen visade sig användningen av tillsatsmaterial och skyddsgas vara nödvändiga ingredienser för att stabilisera svets/lödningsprocessen. För att förstöra oxidskikten på aluminiumytan applicerades en mindre kvantitet av korrosionsskyddande flussmedel (FLH-2) innan lasersvetsningen genomfördes.

Ett problem vid stumfogssvetsning av skarvade ämnen är plåtarnas värmeutvidgning. Därför fick en speciell fixtur utvecklas [**Figur 3**], vilken garanterar kontinuerlig kontakt mellan de båda plåtarna under sammanfogningsprocessen. Fixturen är monterad på ett X/Y-bord och tillsats tråden matas "stickande" i 45° vinkel till den vertikala laserstrålen.

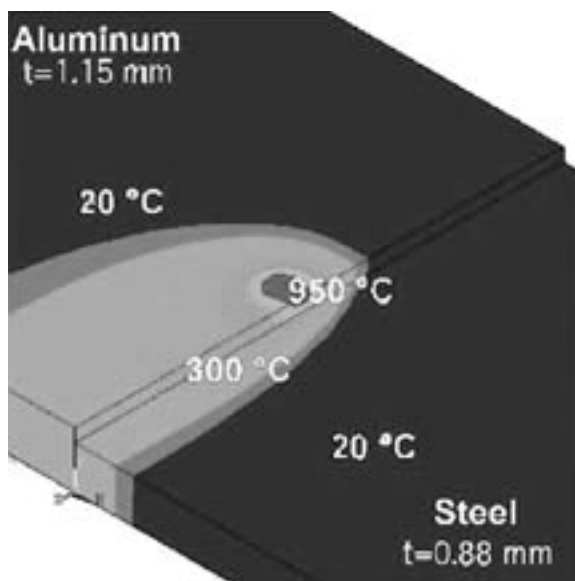
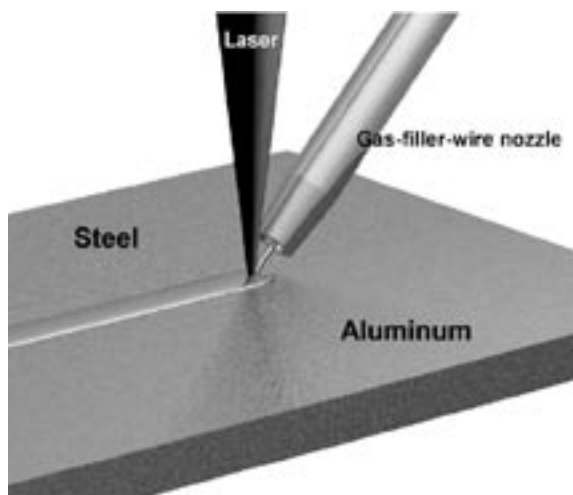


Fig 1. Simulering av värmefördelning under svetsförloppet



Figur 2. Principiell uppställning vid svetsförsöken

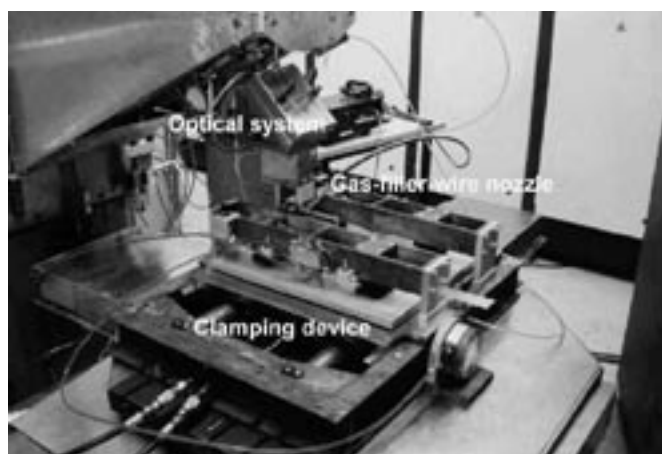


Fig 3. Experimentell utrustning för lasersvetsning av stål till aluminium

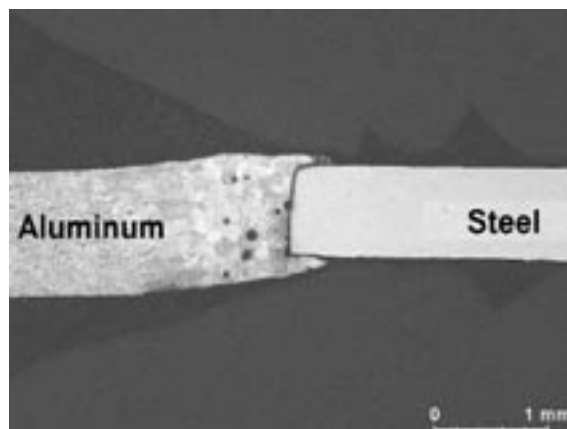
En viss förekomst av porer och "blow holes" förekommer. Dessa svetsdefekter är genomgående lokaliserade till aluminiumsidan. Porerstorleken är i storleksordningen 10-50µm.

**Figur 4** visar ett tvärsnitt av en svets/lödfog. Tjockleken på stål- och aluminiumplåt är 0.88mm respektive 1.15mm. Till vänster i den smälta aluminiumzonen syns några porer vilka orsakats av hydrogen, som lösts upp i aluminiumsmältan och inte fått tillräcklig tid att diffundera ut till ytan p.g.a. det snabba stelningsförloppet.

I **figur 5** syns en förstoring av tvärsnittet. Tjockleken på det intermetalliska skiktet är i storleksordningen 2µm. Just intill detta skikt gick det inte att urskilja några defekter.

Elektronmikroskopifotot i **figur 6** tillåter en ytterligare detaljerad observation mellan de två metallerna. På stålsidan har gränsskiktet ett relativt plant utseende medan man på aluminiumsidan hittar ett mer oregelbundet mönster. De intermetalliska faserna tycks växa från stålsidan och in i aluminiumet.

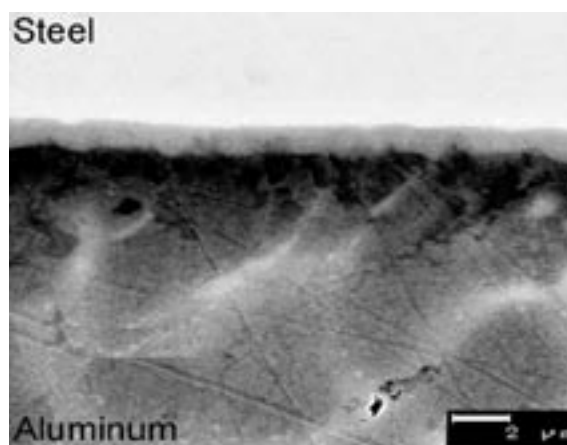
Ett antal dragprov utfördes för att undersöka de mekaniska egenskaperna hos de lasersvetsade hybridfogarna. För materialkombinationen zinkbelagt mjuk pressplåt (DC04) och en AA6000-legering uppmättes medelbrottspänningen hos fogarna till 144N/mm<sup>2</sup>. Brotten uppträder genomgående i den värmepåverkade zonen hos aluminiumet nära stålsidan.



Figur 4. Tvärsnitt genom en hybridfog svetsad m.h.a. laser och Mo-flussmedel



Figur 5. Tvärsnittets mikrostruktur



Figur 6. Förstoring av det intermetalliska området (SEM)

## Slutsats

Det är möjligt att kontrollera de intermetalliska fasernas morfologi och tjocklek genom att använda sig av lasertechnikens nyckelhållsvetsprocess. Intermetalliska skikt i storleksordningen  $2\mu\text{m}$  kan erhållas. Fortsatta försök med AA2000- och AA6000-legeringar stumsvetsade till titan är planerade. Potentialen i de hittills uppnådda resultaten erbjuder nya applikationsområden för ämnesskarvning av artolika material vilket kommer att leda till ytterligare viktsreduktion hos olika fordonskomponenter.

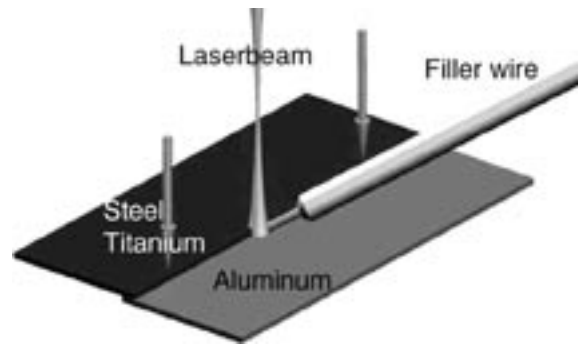
2002-01-2010

## Laser Joining Technologies for Dissimilar Material Combinations

*Florian Wagner, Michael Kreimeyer, BIAS*

I motsats till föregående presentation hade stål och aluminium här laserfogats i överlapps-konfiguration. Dessutom hade materialkombinationen titan/aluminium sammanfogats. För den senare är problematiken med intermetalliska faser liksint den som förekommer vid stål/aluminiumfogning. På titansidan är lösligheten av aluminium något lägre jämfört med vad den är då materialet kombineras med stål. Den låga lösligheten av titan i aluminium leder till tidig uppkomst av den intermetalliska fasen  $\text{TiAl}$  när titaninnehållet överstiger 2 atom-%. Som en följd av fasbildningen kan en förspädning i fogningszonen observeras. De verksamma parametrarna för att undvika dessa intermetalliska faser är en begränsning av värmetillförseln och en reduktion av smältzonen. Lasersvetsning är ett utmärkt verktyg för att möta dessa tekniska krav. P.g.a. de höga temperaturgradienter som förekommer vid lasersvetsning har den snabba avsvälningen av smältzonen ett positivt inflytande då det gäller att begränsa uppkomsten av intermetalliska faser.

Vid överlappssvetsning placeras materialet med den högre smältpunkten, d.v.s. i detta fallet stål respektive titan, ovanpå aluminiumplåten och med ett överlapp på 1.5mm. Som laserkälla användes en 1.6kW Nd:YAG-laser med en defokuserad stråle som gav en fokuspunkt med 8mm diameter. Den tillförda energin värmer upp stålet respektive titanmaterialet och genom termisk konduktivitet får man den underliggande aluminiumplåten att börja smälta samt väta den övre plåten [Figur 7]. För att processen skall fungera krävs att fogen förbehandlas med ett anti-korrosivt flussmedel. För att förbättra fogens mekaniska egenskaper använder man sig också av tillsatstråd av legeringstyp AlSi12 med en diameter på 1.0mm.



Figur 7. Principen för att sammanfoga olika typer av material med hjälp av laser i överlapps-konfiguration

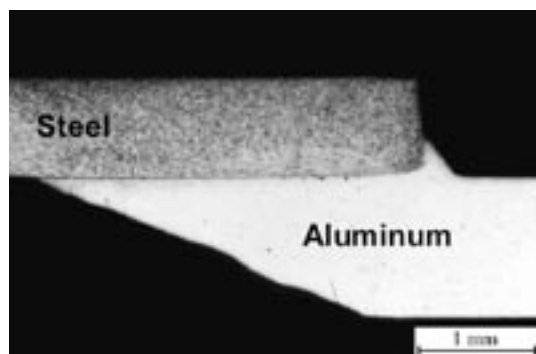
Kritiska processparametrar är en konstant positionering av laserstrålen i förhållande till den övre plåtens kant samt bibehållen nollspalt mellan plåtarna i förbandet. Därför utvecklades ett speciellt svetshuvud med ett mekaniskt fogföljningssystem. Dessutom kan man med hjälp av detta processhuvud anbringa en vertikal kraft som säkerställer nollspalt mellan plåtarna [Figur 8].



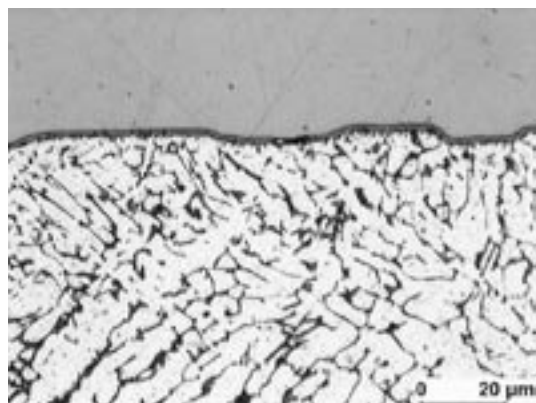
Figur 8. Ett speciellt utvecklat processhuvud för svetsning av artolika materialkombinationer

Vid försöken användes ett djupdragningsstål, typ DC04, och en aluminiumlegering från AA6000-serien, båda med tjockleken 1.0mm. I figur 9 ser man den homogena och defektfria vätningszonen. Ett tunt intermetalliskt skikt kan spåras mellan stål- och aluminiumplåt i det förstörade tvärsnittet i figur 10. I elektronmikroskop kan en mer detaljerad analys av det intermetalliska skiktet göras

(Figur 11). Mikrostrukturen skiljer mellan stålsidan (i bildens överkant) och aluminiumsidan (i bildens nedkant). På aluminiumsidan bildas en finkornig mikrostruktur, medan en mer rundad och tandad bindzon kan observeras mot stålsidan.



Figur 9. Tvärsnitt av en överlappsfog i stålaluminium



Figur 10. Mikrotvärsnitt av en överlappsfog i stål/aluminium



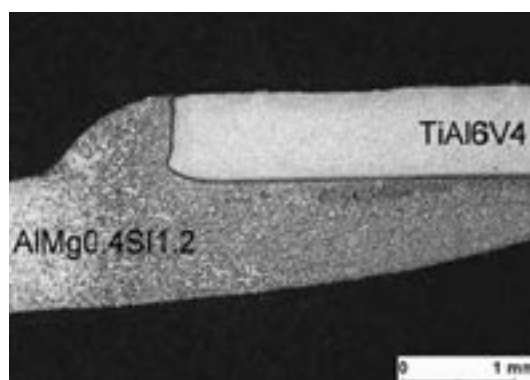
Figur 11. Förstoring av det intermetalliska området (SEM)

Dragprovning utfördes för att undersöka de mekaniska egenskaperna hos blandskarven stål/aluminium. För den aktuella materialkombinationen kunde en medelbrottspänning på  $170\text{N/mm}^2$  uppmätas. Brotten uppstår i aluminiums värmepåverkade zon nära stålytan.

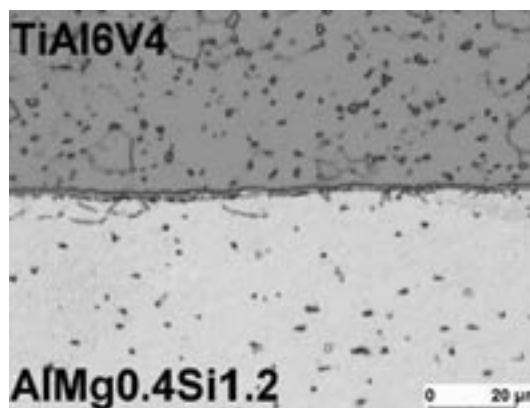
Vid titan/aluminiumsvetsningen kunde man konstatera att, vid ett kontrollerat inert gasskydd, kunde jämna och defektfria förbindningar åstadkommas. I motsats till vad

som var fallet vid stål/aluminiumsvetsningen behövde här inget flussmedel användas för att åstadkomma god vätning mellan fogytorna. Tvärsnitten i **figur 12** visar på det goda vätningsbeteendet mellan aluminium- och titanmaterialen. Inom bindzonen kan ett tunt intermetalliskt skikt observeras.

Vid dragprovning uppmättes brottspänningar kring  $220\text{N/mm}^2$  i kombination med förhållandevis stora plastiska deformationer. Brotten uppstår i aluminiumplåten tämligen långt från den värmepåverkade zonen, varför de tunna intermetalliska faserna vid titan/aluminiumfogning har mindre betydelse för fogens mekaniska egenskaper [Figur 13].

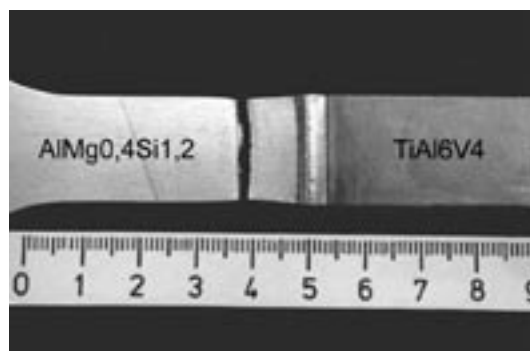


a)



b)

Figur 12 a, b. Tvärsnitt av en titan/aluminiumfog i materialkombinationen TiAl6V4/ AlMg0.4Si1.2



Figur 13. Brottsteende vid dragprov av en TiAl6V4/AlMg0.4Si1.2-kombination

## Slutsats

För lasersvetsning av stål/aluminiumfogar skall ett anti-korrosivt flussmedel användas för att fogar skall erhålla önskvärda mekaniska egenskaper. Så är inte fallet vid titan/aluminiumförbindningar där varken flussmedel eller tillsatsmaterial behöver användas för att få fullgoda fogar.

En djupare förståelse för mekanismerna bakom fasomvandlingarna behövs för att kunna förbättra fogarnas mekaniska egenskaper genom en ytterligare optimerad kontroll av laserprocessen.

## Sammanfattning

De ovan beskrivna presentationerna var de enda laserrelaterade som föredrogs vid årets *IBEC*. Två ytterligare papers var anmälda, ett från *GM* rörande kantsvetsning av överlappsfogar samt ett från *Honeywell International* som

skulle ha handlat om lasersvetsning av termoplaster, men dessa bidrag drogs tillbaka av olika anledningar. Dock har jag Val A Kaglins paper "2002-01-2011; Innovations in Laser Welding of Thermoplastics: This Advanced Technology is Ready to be Commercialized", varför den intresserade ombuds vända sig till mig för att erhålla ett exemplar av detsamma.

Annars tycker jag att de två presentationerna från *BIAS* än en gång understryker laserteknikens mer eller mindre obegränsade tillämpningsområden. Inte minst ur bilindustrins synvinkel, där framtida lättviktskoncept kommer att leda till en större mix av olika material, torde de beskrivna "hybridmetoderna" vara av största intresse. Därför blir det intressant att följa den fortsatta forskningen vid *BIAS*, där man avser att ytterligare förfina och optimera laserfogningsprocessen för flera artolika materialkombinationer.



# Fyra intensivaaserdagar i Arizona

**Rapport från 21st ICALEO,  
Scottsdale, AZ, USA, 14–17 oktober 2002**

Av  
Johnny K Larsson Volvo Cars

Årets ICALEO (International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics) hade förlagts till Scottsdale, ett mindre samhälle i de nordöstra utkanterna av storstaden Phoenix i Arizona. Här möttes vi höstfrusna européer av ett ökenliknande klimat då vi landade på Sky Harbour Airport och slussades ut i en trettiogradig värme. Själva konferensen var förlagd till Double Tree Paradise Valley Resort, ett lyxigt rekreationshotell, där också merparten av delegaterna var inkvarterade.



Konferensen var den 21:a i ordningen och arrangerades som vanligt av LIA (the Laser Institute of America). ICALEO är en bred laserkonferens och var nu uppdelad i två huvudteman; "Laser Materials Processing" som sponsrades av LASAG Industrial Lasers och "Laser Microfabrication" vilken sponsrades av Coherent. Inom vart och ett av dessa teman pågick ett antal parallellsessioner vilket naturligtvis gjorde det svårt att bevaka allt. Därför tvingades jag prioritera sådana ämnesområden som jag bedömde

vara till störst nytta för Lasergruppens medlemsföretag. För den intresserade kan jag tillsända en komplett lista över samtliga presentationer, och om speciellt intresse för någon eller några föreligger, har jag möjlighet att plocka fram den aktuella informationen från den CD-ROM som utgör den kompletta dokumentationen från konferensen.

### Plenary session

Första dagen inleddes med en "plenary session" där **Peter Baker**, executive officer vid LIA, hälsade de drygt 500 delegaterna från 20 länder välkomna. Därpå öppnades konferensen officiellt av Dr. Eckhard Beyer, 2002 LIA president och tillika föreståndare för Fraunhoferinstitutet (IWS) i Dresden. Han förklarade att detta var världens första "broadcast conference". Vad han menade med detta framgick tydligare på "the Schawlow Awards Luncheon" på onsdagen då vi fick veta att bandinspelningar av alla föredrag gjorts och snart skall vara möjliga att ladda ner från LIAs hemsida ([www.laserinstitute.org](http://www.laserinstitute.org)) tillsammans med den aktuella "power-point presentationen".

Temat för "plenary session" var "The Journey of Laser Processing" där William "Bill" Steen (University of Liverpool), Paul Hilton (TWI Ltd., Great Abington Cambridge), Bill Clark (Clark-MXR Inc., Dexter MI), Reinhard Wollermann-Windgasse (Trumpf Lasertechnik GmbH, Ditzingen) och Eckhard Beyer (IWS, Dresden) tog oss med på en intressant och svindlande resa genom lasers dåtid-nutid-framtid.

Mest uppskattning rönt **Dr. Hiltons** presentation, där han lyckats gräva fram några gamla BBC-inslag från maj 1967 och de första försöken med laserskärning vid S.E.R.L. (Service Engineering Research Laboratory). En av dåtidens eldsjälar, **professor Houldcroft**, hade fått idén med laserskärning efter ett besök på numera saligen avsomnade BMC (British Motor Company) som inte lyckades särskilt bra med att plasmaskära bildetaljer för prototyp tillverkning. Tillsammans med **professor Sullivan** experimenterade man med en "slow-flow" CO<sub>2</sub>-laser av märket Ferranti MK1, med 5 kaviteter och en totallängd av 10 meter. Lasern gav 300W effekt då den pulsades vid 100Hz. Strålen distribuerades via aluminiserade speglar och en saltlins som fokuserade till en brännpunkt på 0.4mm diameter. Med denna uppställning lyckades det forskningsteamet att laser-skära 2.5mm tjock rostfri plåt med en hastighet av 1m/min. Året därpå fick man tillgång till en betydligt kraftfullare laser i form av en Ferranti MK2 som gav 800W cw med hjälp av en omvinklad och mer kompakt kavitet. Skärgas, i form av O<sub>2</sub>, var en nödvändighet eftersom man annars

endast smälte om det översta skiktet på plåten, något som framgick i det visade BBC-reportaget.

Idag är ju laserskärning "State-of-the-Art" vad gäller allehanda former av skäroperationer. Det finns cirka 26.000 installationer i världen vilka representerar ett samlat värde av 10.4 miljarder USD. 55% av dessa hittar vi i Japan, 35% i Europa medan endast 3% finns registrerade i USA. 33% av alla laserinstallationer "world-wide" är skäranläggningar.

**Bill Clark** beskrev den senaste utvecklingen inom mikrobearbetning med "ultrafast lasers". Med detta menas s.k. femtosecond lasrar, d.v.s. med "pulse duration" på 10<sup>-15</sup> sekunder. Vid bearbetning med nanosecond lasrar (10<sup>-12</sup> sekunder) finns problem med sprickbildning, något som kan undvikas genom ännu kortare pulser där inget värme hinner propagera in i materialet.

En annan intressant teknik är s.k. isotopisk separation, där man med hjälp av ett magnetfält kan styra riktningen på de från arbetsstycket avverkade atomerna så att man kan få tyngre respektive lättare elektroner att hamna där man önskar få ett bidrag från deras specifika egenskaper. Andra nya tekniker inom mikrobearbetning som omnämndes var "two-photon polymerization" och "chirpe pulse amplification" (CPA).

**Reinhard Wollermann-Windgasse** är marknadschef för Trumpf, och därför kom hans presentation att bli väl kommersiell. Dock kan man konstatera att konstellationen Trumpf/Haas har ett imponerande produktprogram och får anses vara marknadsledande vad gäller utrustningar för laserbearbetande verkstadsindustri. Med sina HQ (=High beam Quality) CO<sub>2</sub>-lasrar erbjuder man en strålkvalitet på M<sup>2</sup>=1.1 upp till 3KW, däröver ligger M<sup>2</sup>=1.8. Dessa lasrar lämpar sig väl för RLW (Remote Laser Welding), och illustrerades med en produktionscell för svetsning av värmeväxlare som sades producera 22 timmar/dygn.

På Nd:YAG-sidan exemplifierade Dr. Wollermann-Windgasse med en 1kW lamppumpad (HL1003D) för skärning av hydroformade detaljer, och en 4kW lamppumpad (HL4006D) för takskarvssvetsning hos VW. För diodpumpade lasrar erbjuder man idag upp till 4kW (HLD4506) av stavtyp och upp till 1kW (HLD1001.5) av disktyp. Den förra har en garanterad strålkvalitet på 25mm\*mrad, den senare 6mm\*mrad. De diodpumpade lasrarna kan användas för scanner-svetsning p.g.a. sin goda strålkvalitet. Strålen från en stavbaserad laser kan transmittas via en 400µm fiber och täcka ett arbetsområde på 180mm i kvadrat. För de diskbaserade systemen är motsvarande siffror 150µm fiber resp. 500x500mm arbetsområde.

**Trumph** har vidare utvecklat ett TwistLas-system som bygger på "twin-spot"-tekniken. Här finns möjlighet att vrida fokalpunkterna så att de antingen ligger längs svetsriktningen, och därmed ger ett stabilare svetsförlopp vid aluminiumsvetsning, eller tvärs svetsriktningen för att överbrygga spalter.

I sortimentet finns vidare direktverkande diodlasrar med pulslängder på mellan 0.08-1.0ms och frekvenser mellan 850-1000Hz lämpliga för skärning (HL101P och HL201P). Slutligen nämnde Dr. Wollermann-Windgasse att det nyligen har startats ett stort utvecklingsprojekt i Tyskland där man ämnar undersöka potentialen i femto-secondlasertekniken.

Nya, framtida laserkällor var ämnet för **Dr. Eckard Beyers** presentation. Här handlade det främst om nya och kortare våglängder som EUV (Extreme Ultra Violet) och X-ray (röntgen). Användningsområdena är något diffusa än så länge, men riktar sig självklart främst mot mikrobearbetning p.g.a. låga effekter och verkningsgrader. För UV talar vi om våglängdsområdet 180-300nm, maximal effekt 10mW och en verkningsgrad på 20%. I röntgenområdet, där det aktiva lasermediet måste vara en joniserad gas, är våglängden 17-42nm, effekten 0.5μW och verkningsgraden 10<sup>-5</sup> % (jo, ni läste rätt!!). Problemet med röntgenstrålning är att den inte låter sig reflekteras enligt gängse normer, utan för att skicka strålen till ett arbetsstycke måste detta ske via flerskiktsspeglar av Mo/Si, vilka lämpligtvis byggs upp med hjälp av PLD (Pulsed Laser Deposition) i tjockleksskikt om 10-20 atomlager. Dr. Beyer trodde att det på sikt blir elektronikindustrin som kommer att driva på utvecklingen av dessa ultrakorta laservåglängder på samma sätt som bilindustrin under 90-talet drev på utvecklingen av lasrar inom det infraröda våglängdsområdet. Som ett skäl till denna mikrobearbetningsutveckling angav han att hastigheten, med vilken antalet dioder per microchip ökar, dubblas varje 18-24:e månad.

I det följande kommer jag att ge korta referat av de mest intressanta av de tekniska presentationer som jag lyssnade på. De sessioner som jag inte hade möjlighet att besöka behandlade teman som: ytmodifiering/upplegering/värmebehandling, strål- och processdiagnostik, laserformning, laserpåläggning samt skärning/borring. Emellertid hade jag sällskap av ett antal svenska kollegor (Prof. Alexander Kaplan och Tekn.lic. Hans Gedda från Luleå Tekniska Universitet, Dr. Conny Lampa och Bernt von Brömssen, IVF samt Dr. Tomas Forsman, Institutet för Metallforskning) och det är möjligt att någon av dessa kan bringa

klarhet, om den intresserade vill veta mer om någon av de senare nämnda sessionerna.

### **Lasersvetsning – "In Honor of Prof. Matsunawa"**

Denna session var som titeln antyder tillägnad professor **Akira Matsunawa** från Osaka University i Ibaraki, och han inledde själv med en presentation som baserades på hans mångåriga utnyttjande av höghastighetsfilmning av svetssmältan under pågående lasersvetsförlopp, och de mekanismer som styr nyckelhålssvetsningen. Matematisk modellering av svetsförloppet är ett annat av professor Matsunawas specialområden, men här kunde han konstatera att svårigheter uppstår då materialegenskaper vid höga temperaturer saknas. Dessutom påpekade han att beräkningsmodellerna måste vara dynamiska för att ge en korrekt bild av verkligheten.

Han redovisade vidare ett antal svetsförsök i aluminium, främst av legeringen AA5083. Här kunde vi konstatera att det metalliska plasmat flukturerar mer vid låga hastigheter (25mm/s) jämfört med höga hastigheter (100mm/s), varför höga svetshastigheter bör eftersträvas för att få ett stabilt svetsförlopp. Instabiliteten beror främst på lokal förångning av metall vid nyckelhålets framkant och kan undertryckas med s.k. "pulse modulation". Bäst resultat erhöles vid en "off-time" som var 70% av "on-time". Detta innebär att nyckelhålet inte hinner bli instabilt innan effekten slås av.

Den porbildning som observerats vid höghastighetsfilmningen härrör mest från den använda skyddsgasen helium, och mindre av hydrogendiföreningar på aluminiumytan. De porer som går att härleda till skyddsgasen utgör 90% av den totala pormängden.

Ett antal andra svetssimuleringsföredrag kompletterade professor Matsunawas inledning. Här fick vi höra **Walt Duley** (University of Waterloo) berätta kring "micro welding". **Rémy Fabbri** (CLFA) beskrev det dynamiska beteendet vid nyckelhålssvetsning och den enkla modell som kunde simulera relationen mellan penetrationshastighet och framföringshastighet. I modellen kunde också penetration kontra laserstrålens infallsvinkel beräknas. **Jyoti Mazumder** (University of Michigan) berättade om modelleringsaspekter kring förångningstryck, flerfaldig reflexion och fria ytor i nyckelhålet. Vår nyutnämnde laserprofessor i Luleå, **Alexander Kaplan**, avslutade hyllningskören för professor Matsunawa med att beskriva nyckelhålsaspekter vid laserpunktsvetsning, såsom att "up-slope" och "down-slope" begränsar porbildningen, samt det flaskhalsutseende

som nyckelhålet får och som tjänar som en förklaring till porbildningen.

**Isamu Miyamoto** (Osaka University) redogjorde från svetsförsök genomförda på allt från 20mm tjock plåt till ultratunna folier på 10µm tjocklek. Han redogjorde för nyckelhålets beteende och egenskaper hos det genererade plasmat, vilka påverkas av parametrar som laservåglängd, energitäthet, fokalpunktsstorlek, skyddsgastyp och materialkaraktistika. Föredraget behandlade också processövervakning av svetskvalitén.

**Friedrich Dausinger** (University of Stuttgart) berättade om de tröskelvärden för energitätheten i fokalpunkten för att överhuvudtaget skapa en svetsprocess. För aluminium har AA5000-legeringar ett lägre tröskelvärde än AA6000-material, och det är magnesiumkoncentrationen som är avgörande för detta. När förhållandet mellan effekt och penetrationsdjup ökar, minskar antalet porer i svetsgodset. Detta är ju ett uttryck som är liktydigt med ökad svetshastighet och stämmer väl överens med professor Matsunawas tidigare påståenden. Dubbelfokus minskar också porositeten, och att lägga ett magnetiskt fält över området där lasersvetsningen utförs är ytterligare en åtgärd för att minska pormängden. Dubbelfokusteknik och CO<sub>2</sub>-laser har använts sedan 1995 av en europeisk biltillverkare för att tillverka rattstänger i aluminium. Vid val av tillsatsmaterial vid lasersvetsning av aluminium rekommenderas hög kiselhalt eftersom detta stabiliserar smältan och minskar porositeten.

Slutligen redogjorde **Stefan Kaierle** (Fraunhofer ILT, Aachen) för lite olika aspekter vid "on-line" processövervakning. Vanligtvis används fotodioder för att registrera ljusintensiteten i laserplasmat. Då dessa ofta sitter i utsatta lägen, nära där svetsningen sker, kontamineras de lätt av svetssprut och dylika föroreningar från processen. Därför har ILT utvecklat ett robustare processövervakningssystem som bygger på höghastighets CCD-kamera med hög upplösning, vilket kan larma för defekter såsom otillräcklig penetration och dålig bindning vid för stora spalter i stumsvetsfogar. Systemet påstås även kunna användas som fogföljningsinstrument.

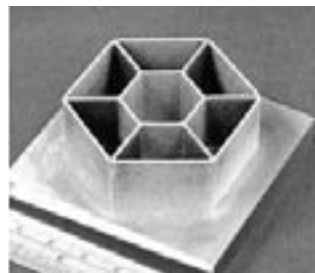
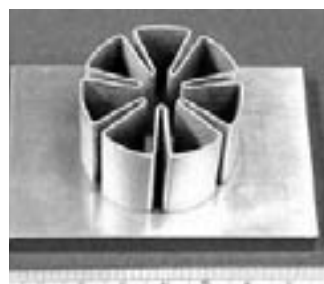
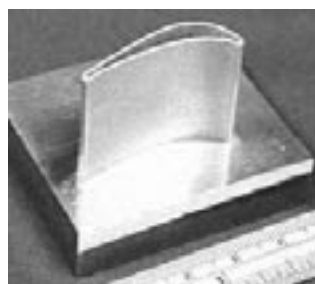
### **Lasersvetsning av lättviktsmaterial**

Magnesium är en intressant konkurrent till aluminium som lättviktsmaterial. Dock påpekade **Jens Standfuss** (Fraunhofer IWS, Dresden) att lasersvetsning av magnesium kräver specifik kunskap om detta material, t.ex. att förångningstemperaturen är lägre jämfört med aluminium, vilket leder till att man får en mindre smälta än vad

fallet är vid aluminiumsvetsning. Sprick- och porbildning var ofta förekommande i de smidda och gjutna magnesiumprover (AM50) som lasersvetsats. Däremot uppvisade lasersvetsar i pressgjutgods betydligt mindre porandel, vilket förklarades av att magnesium har en högre löslighet av hydrogen jämfört med aluminium och stål.

Svetsförsöken hade utförts med en diodpumpad 3.3kW Nd:YAG-laser med en fokalpunktsdiameter på 400µm och en fokallängd på 150mm. Det visade sig vara lättare att erhålla djuppenetration i magnesium än vad som är fallet vid lasersvetsning i aluminium. Denna observation var tydligast vid låga svetshastigheter (2m/min). När svetshastigheten ökade upp mot 5m/min var denna skillnad i penetrationsförmåga mindre tydlig.

**Lijue Xues** (National Research Council Canada) presentation handlade om tekniken "laserkonsolidering", där man kan bygga upp fullt funktionella prototyper av olika lättviktsmaterial, skikt för skikt. Metoden konkurrerar med SLS (Selected Laser Sintering), men påstods ha den fördelen att någon kompensation med hänsyn till krympning inte behöver göras. Han visade på försök med Ti-6Al-4V-pulver som tillförts i olika mängder (1-30g/min). Med hjälp av en pulsad 500W Nd:YAG-laser hade prototyper skapats med mycket god repeterbarhet. Dessa prototyper påstods ha utmattningsegenskaper som var likvärdiga med vad som skulle ha erhållits om prototyperna tillverkats genom gjutning.

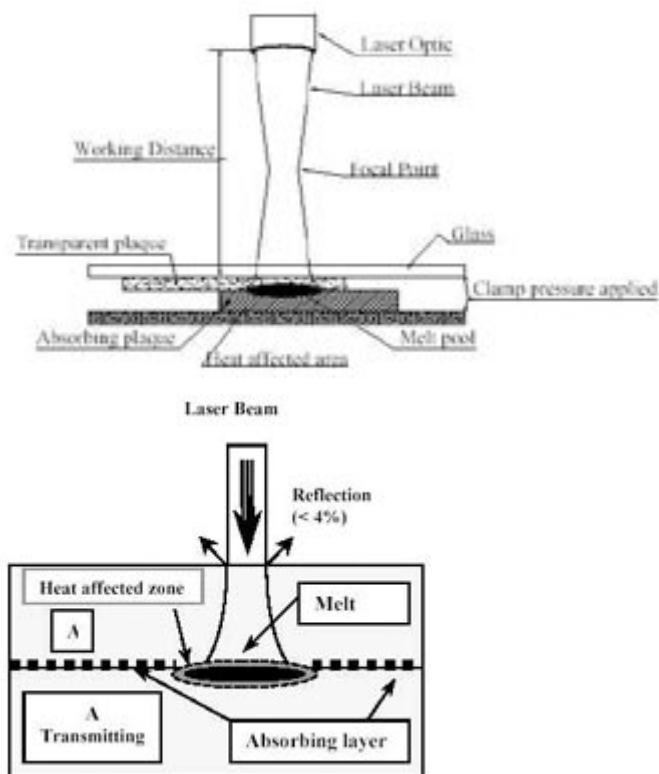


Exempel på prototypdetaljer tillverkade med s.k. "laser-konsolidering"

### **Laserbearbetning av exotiska material**

**Bobbie Baylis** (Siemens VDO Automotive, Tilbury, Ontario) berättade om lasersvetsförsök gjorda på polymera

material såsom termoplastiska elastomerer och polypropylen (PP). Man hade använt sig av en diodlaser från Rofin-Sinar, DLX15 på 150W. Lasern ger en avlång fokuspunkt vilken totalt uppmättes täcka en yta på 11mm<sup>2</sup>. Båda polymertyperna användes med lämpliga tillsatser som transparenta respektive absorberande. Svetshastigheten hade varierats inom intervallet 400mm-2500mm/min.

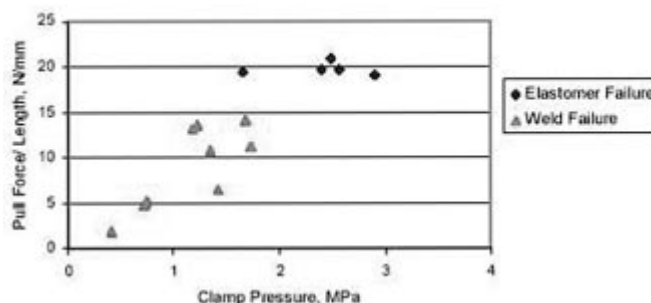


Principer för lasersvetsning av polymera material. En transparent och en absorberande komponent (överst), och två transparenta komponenter i kombination med ett absorberande bläck (nederst), s.k. ClearWeld®-teknik.

Man kunde konstatera att ökad sträckenergi ger bredare svets. En intressant observation var den att om man fördubblade energi och svetshastighet, d.v.s. bibehöll samma sträckenergi, erhöles en något högre hållfasthet vid dragprov. Detta kunde enligt Dr. Baylis förklaras av att man i det senare fallet uppnår en högre temperatur och därmed en bättre insmältning. Generellt erhöles höga hållfastheter vilket bl.a. visade sig i att man vid dragprov fick brottet i elastomeren och ej i svetsen. Dock påpekade Dr. Baylis att en synnerligen viktig parameter för att få en bra hållfasthet är att de polymerer som skall sammansvetsas är fixerade med höga tryckkrafter. Om så inte är fallet blir svetsens hållfasthet låg även om man har en bred svets.

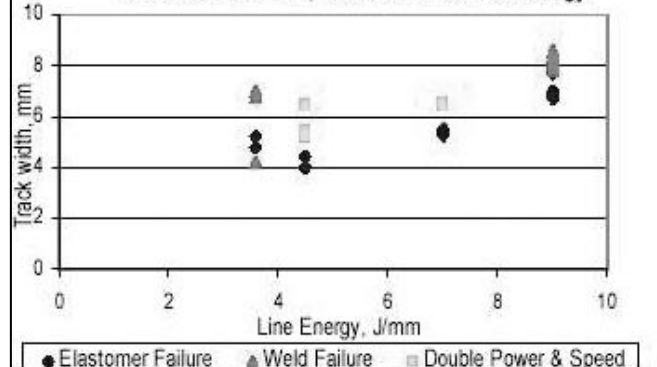
Detta påstående stöddes även av nästa talare, **Tony Hoult** (Coherent Applications Center, Santa Clara, CA),

87-Durometer on PP, Pull Force vs Clamp Pressure



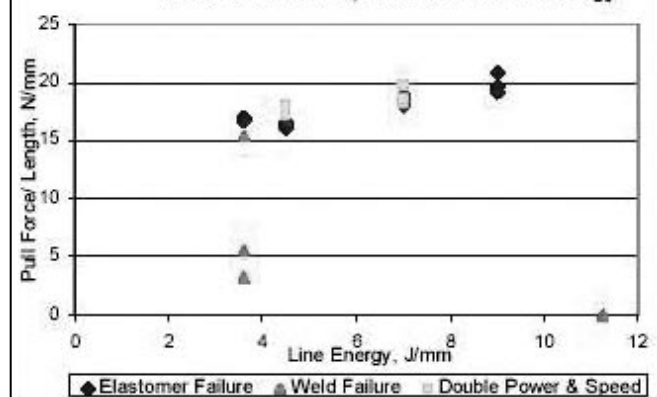
Elastomer svetsad till polypropylen Skjuvhållfast vs. fixturkraft

87-Elastomer on PP, Track Width vs. Line Energy



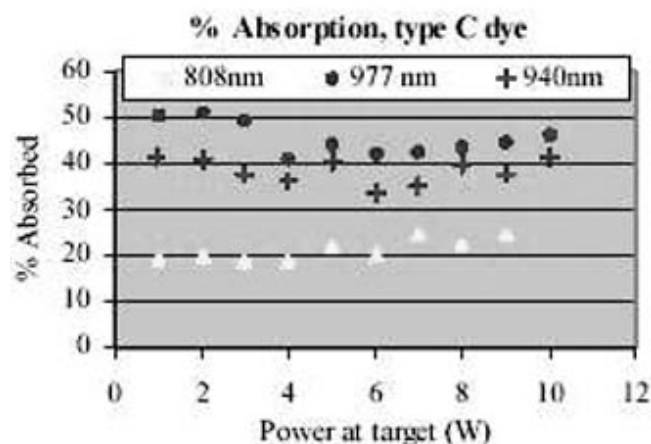
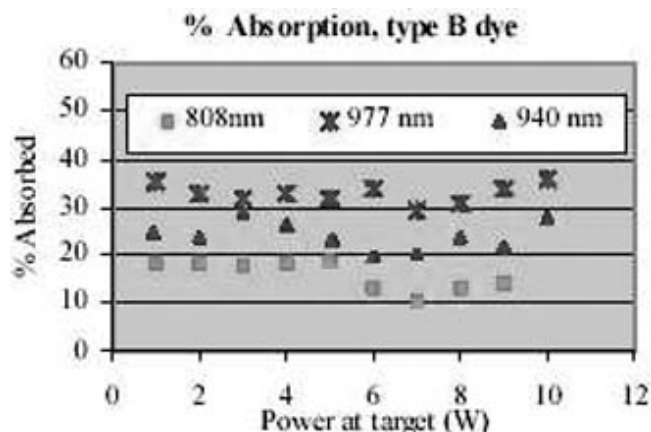
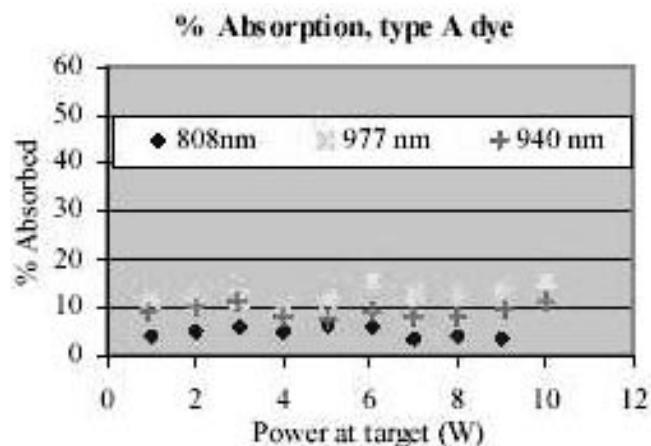
Skjuvhållfasthet vs. svetsbredd

87-Elastomer on PP, Pull Force vs. Line Energy



Skjuvhållfasthet vs. sträckenergi

som berättade om Clearweld®. Detta är en metod för att lasersvetsa två transparenta polymerer och fungerar så att man anbringar ett bläck som absorberar infrarött ljus mellan polymererna som skall sammansvetsas. Då laserstrålen absorberas av bläcket utvecklas värme som smälter samman de två materialen på samma sätt som vid lasersvetsning av ett transparent och ett absorberande plastmaterial. Clearweld®-metoden utvecklades av TWI, men idag är det Gentex Corp. som har köpt patentet. I de experiment som Dr. Hoult redovisade hade man undersökt



Absorption av laserljus för tre olika våglängder provade på tre typer av bläck vilka kan absorbera infrarött ljus.

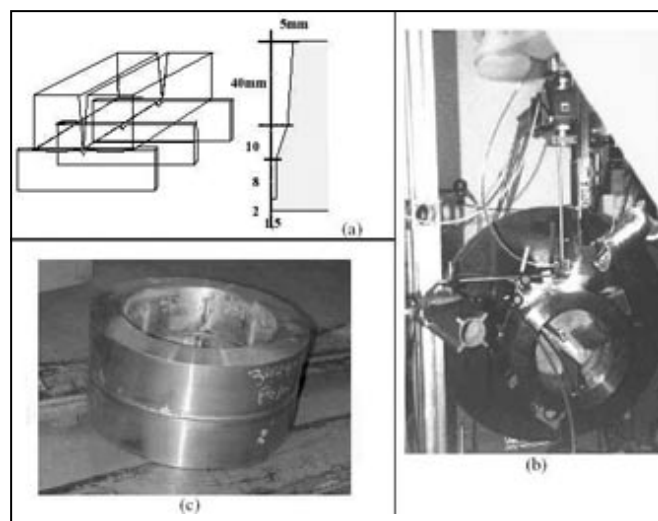
3 olika bläck och 3 olika våglängder på laserstrålen för att se hur dessa parametrar samverkade. Man hade använt en direktverkande diodlaser (10W) med en energitäthet i fokalpunkten på  $6.4\text{W}/\text{cm}^2$ . De våglängdsområden som undersökts var 808, 944 och 977nm, och generellt kan sägas att en längre våglängd gav en högre absorptionsförmåga oavsett vilket av de tre bläcken som användes.

Val A Kagan (Honeywell International, Morristown NJ) gav en bred exposé över lasersvetsning av nylon, d.v.s. polyamider (PA). Även här hade Clearweld®-tekniken

använts. Dr. Kagan varnade för den risk för lägre hållfasthet som introducerade restspänningar kan leda till. Dock uppvisade lasersvetsade objekt samma hållfasthet som sådana som sammanfogats med "hot-plate"-teknik och vibrationssvetsning, medan ultraljudssvetsning gav betydligt lägre (cirka hälften) hållfasthet.

## Diod- & Solid State-Lasrar

Frederic Coste (CLFA) berättade om lasersvetsning av grovplåt med Nd:YAG-laser. Genom att kombinera tre lasrar och tre fibrer kunde man åstadkomma en s.k. "triple spot" med en sammanlagd effekt på 12kW. Olika skyddsgaser hade utvärderats och här visade sig  $\text{CO}_2$  ge den bästa svetskvaliteten medan He gav den sämsta. Vid plättjocklekar över 10mm måste flersträngssvetsning och fogberedning användas. I sådana fall övergår man alltså från nyckelhålssvetsning till värmeledningssvetsning. För 60mm tjock plåt gjordes en jämförelse mellan TIG och lasersvetsning. Tack vare sin förmåga att smälta mer material behövdes, vid samma svetshastighet, 30 strängar läggas med TIG, medan lasern klarade samma fogutfyllnad med endast 10 strängar. Om man däremot räknade på samma antal lagda strängar ger en svetshastighetsjämförelse vid handen att lasern är 6 gånger snabbare.



Fogberedning och lasersvetsning av 40mm tjocka rördetaljer m.h.a. Nd:YAG-laser och s.k. "triple spot"-teknik

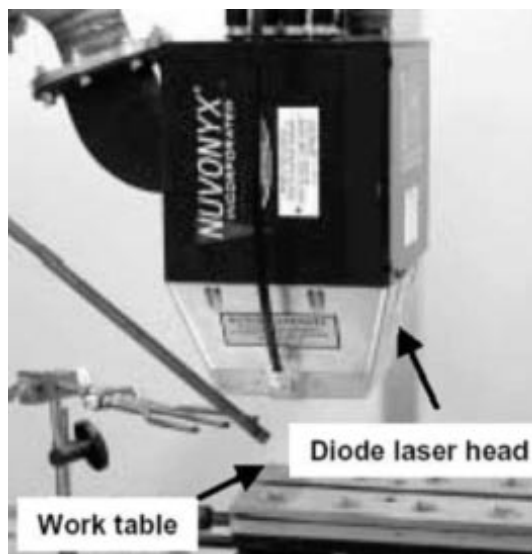
Fogberedning vid grovplåtssvetsning med laser är viktig, beroende på laserteknikens snäva toleranser, men med den presenterade "triple spot"-fokuseringen kunde man åstadkomma högkvalitativa svetsar. De tre punkterna är orienterade så att två stycken är framförliggande och

gör att dess strålar penetrerar arbetsstycket. Den tredje, efterföljande fokalpunkten/strålen smälter tillsatstråden. Vanligtvis gör man en första rotsvets, fyller fogen via ett antal strängar, och ger slutligen svetsens toppsida ett kosmetiskt fullgott utseende genom att pendla strålen.

Vid Berlins Tekniska Universitet har man under många år utvecklat nya, spännande laserkoncept. **Alexander Binder** (TU, Berlin) berättade om de senaste experimenten. S.k. "fasta tillståndets" lasrar lider av att den värme som tillförs deformerar den aktiva laserstaven vilket leder till en försämring av strålkvaliteten. Genom avancerad geometri hos pumpkammare, diodpumpning och aktiva lasermedia med hög verkningsgrad kan strålkvaliteter på  $M^2=2.2-2.4$  åstadkommas, lämpliga för borrar med cirka 300W effekt. En viktig komponent i dessa system är en s.k. PCM (Phase Conjugate Mirror) som korregerar fasdistorsionen. Tre olika systemlösningar visades: ett pulspumpat, passivt "Q-switchat" Nd:YAP-system, ett pulspumpat MOPA (Master Oscillator Power Amplifier)-system baserat på Nd:YAG och ett kontinuerligt pumpat förstärkararrangemang som gav 50-200ns långa pulser med en repetitionsfrekvens av 40kHz.

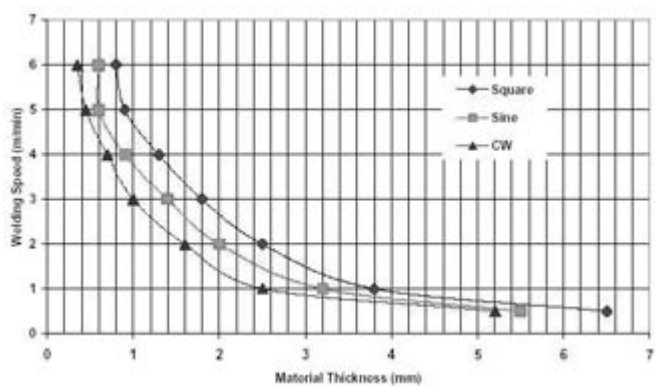
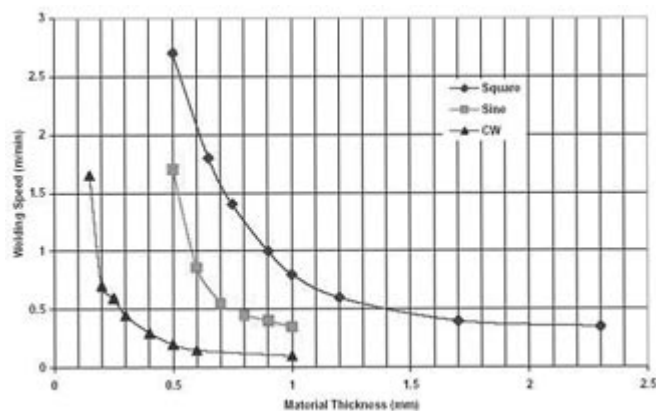
**Bodo Ehlers** (Fraunhofer Center for Laser Technology, Plymouth, MI) berättade om direktverkande diodlasrar. Problemet med denna typ av lasrar är dess förhållandevis dåliga strålkvalitet, samt att råstrålen har ett avlångt tvärsnitt. Därmed uppstår problem att överföra denna stråle in i en cirkulär fiber. Dr Ehlers visade på en försöksuppställning där man kombinerat två diodstaplar, vardera bestående av 6 stavar och levererande 400W. Genom en strålomformningsoptik är det möjligt att överföra den avlånga energifördelningen till en 600µm optisk fiber med en NA (Numerisk Apertur) på 0.2. Denna lösning sades resultera i en 60%-ig verkningsgrad.

Värmeledningssvetsning med en 4kW diodlaser var temat för **Nobuyuki Abes** (Osaka University) presentation. Han hade svetsat aluminium AA5083, AA5022 och AA6016. Generellt kunde man konstatera att 6000-legeringar går något långsammare att svetsa. En intressant jämförelse var den mellan fibertransmitterad svetsning och direktsvetsning med diodlaser. Vid svetsning via fiber får man en liten fokalpunkt som ger upphov till plasma-bildning och svetsdefekter. Dessa negativa effekter fick man ej då man svetsade direkt med diodlasern som då ger en avlång fokalpunkt (2×10mm), vilket kan vara gynnsamt vid aluminiumsvetsning. I det senare fallet använde man en så pass kort fokallängd som 40mm, men detta sades likväl inte leda till någon nedsmutsning av optiken.



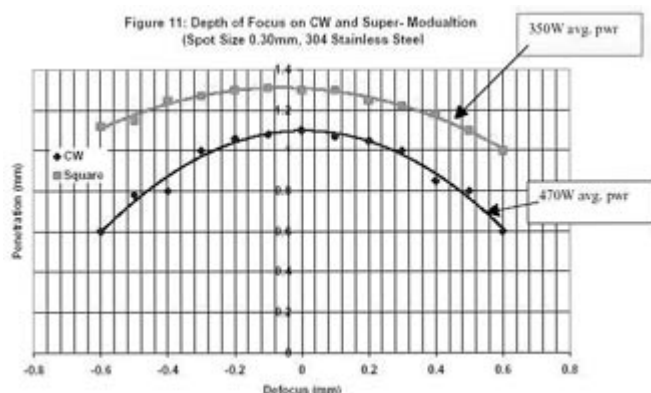
4kW diodlaser använd för värmeledningssvetsning av aluminiumlegeringar

**Thomas Kugler** (GSI Lumonics) beskrev fördelarna med "supermodulering", vilket är en form av pulsning med effekttoppar som ligger 2.5 gånger högre än medeleffekten. Vid svetsning kan laserstrålens inkopplingsförmåga öka med 30% och djuppenetrationen ökas med 40% jämfört med cw-mode. Även högreflekterande material blir lättare

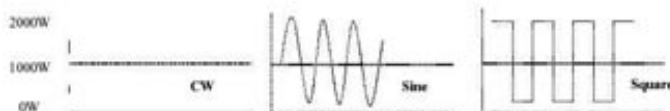


Lasersvetsning av rostfritt 304-material och inverkan från supermodulering på svetshastigheten. Överst 350W cw och 700W "peak power", underst 1kW cw och 2kW "peak power". Pulsrepetitionen är 500Hz i båda fallen.

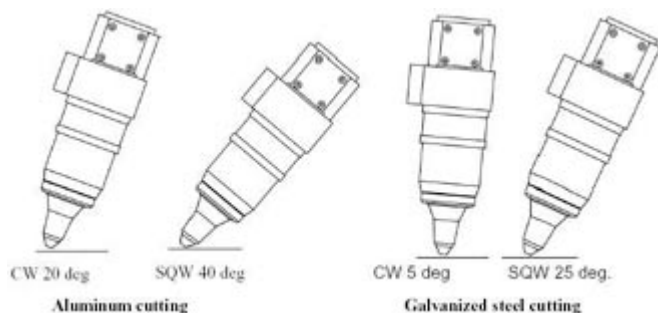
att svetsa. Vid skärning kan skärdjupen ökas med 50%, och supermodulering är också fördelaktigt då sneda skärkanter önskas. Med denna teknik klaras skärnsnitt som ligger i 40° vinkel i förhållande till ytnormalen. Vid cw-skärning är motsvarande siffra endast 20°. Dr. Kugler påstod också att ca. 25% lägre laserenergi behövs vid laserbearbetning med supermodulering, en nog så viktig aspekt då man överväger kostnaderna för investering i en laserkälla.



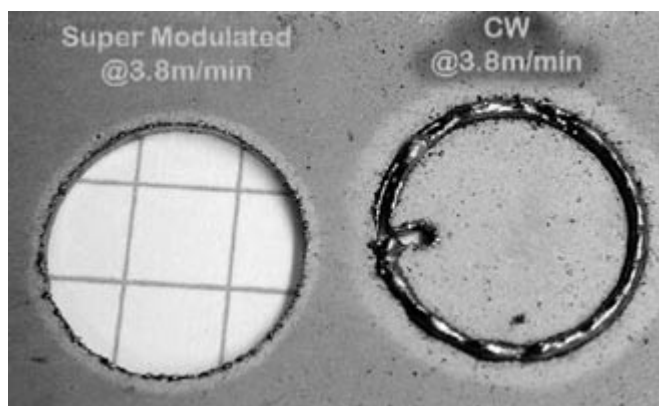
Fokusdjup vid svetsning, kontinuerligt respektive supermodulerat (pulsat), i rostfri 304 plåt



Svetsprofil vid svetsning, kontinuerligt respektive supermodulerat (pulsat), i rostfri 304 plåt

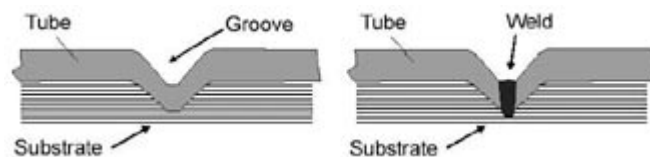


Maximal lutningsvinkel för acceptabelt laserskärnsnitt, kontinuerlig effekt (cw) respektive supermodulerat (sqw)

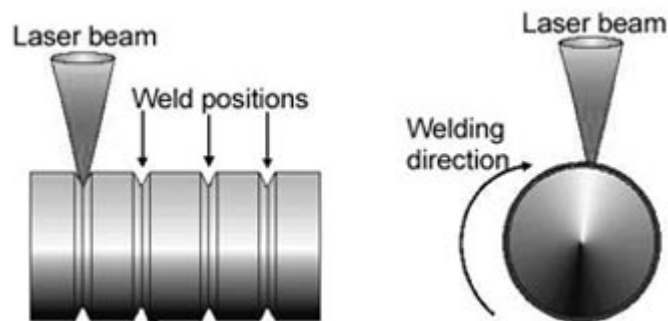


Jämförelse av snittkvalitet vid laserskärning med respektive utan supermodulation

**Anti Salminen** (Lappeenranta University of Technology) är en välkänd profil i lasersammanhang med bl.a. många bidrag under tidigare NOLAMP-konferenser. Nu redogjorde han för ett praktikfall där bilkatalysatorer svetsats med CO<sub>2</sub>-, Nd:YAG- och diodlaser, samtliga med 3kW uteffekt. Svets hastigheterna var 6m/min, 4.5m/min respektive 2.5m/min. Trots detta valdes diodlasern från LaserLine när man bestämde sig för den slutliga produktionsinvesteringen. Detta berodde på att värmeledningssvetsning var att föredra då det omslutande röret skulle svetsas till katalysatorkärnan, som är en mycket tunn (50µm) sandwichstruktur. Nyckelhålssvetsning ger för hög energitäthet vilket skadar denna tunna, aluminiumbelagda folie. Vidare påpekade Dr. Salminen vikten av en korrekt fogutformning anpassad för lasersvetsning.

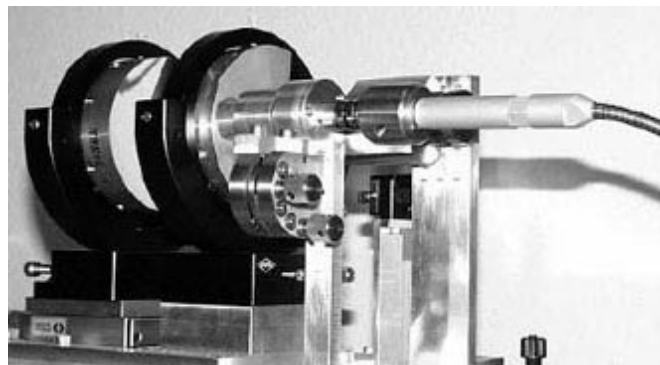
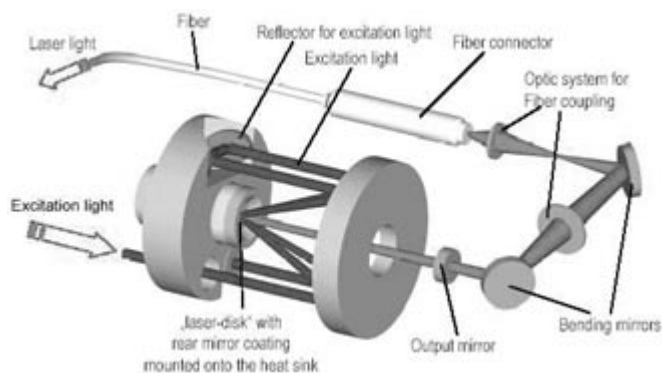


Lasersvetsning av bilkatalysatorer. Lämplig fogutformning för lasersvetsning



Principskiss över svetslägen och svetsriktning

En annan gammal bekant är **Dr. Claus Emmelmann** (TUHH, Hamburg), som under många år arbetat för RoFin Sinar, men som sedan ett år tillbaka verkar vid Technisches Universität, Hamburg-Harburg, där han etablerat en kraftfull forskningsenhet. Han talade sig varm för de senaste, nya typerna av laserkällor, diodpumpade disklasrar och fiberlasrar. De förra har en verkningsgrad på ungefär 20%, att jämföras med lampumpade och diodpumpade



Principupbyggnaden för en diskaser (t.v.) samt en 1.5kW diskaser med 100µm fiber färdig för installation på TUHH (t.h.)

Nd:YAG-lasrar där motsvarande siffror är 3 respektive 10%. Dessutom erbjuder disklasern en strålkvalitet <10mm\*mrad vilket gör att en effekt på 1kW med lätthet kan transporteras via en 100µm fiber. Anledningen till den goda strålkvaliteten är att man inte får någon deformation av själva disken och inga termiska effekter i densamma då ytan är förhållandevis stor i förhållande till dess volym. Den ytterst goda strålkvaliteten gör disklasern till ett utmärkt instrument vid fjärrlaserbearbetning (RLW). Andra "klassiska" fördelar med god strålkvalitet är fokuserbarhet till en mycket liten brännpunkt, kompakt processhuvud samt långa bearbetningsavstånd.

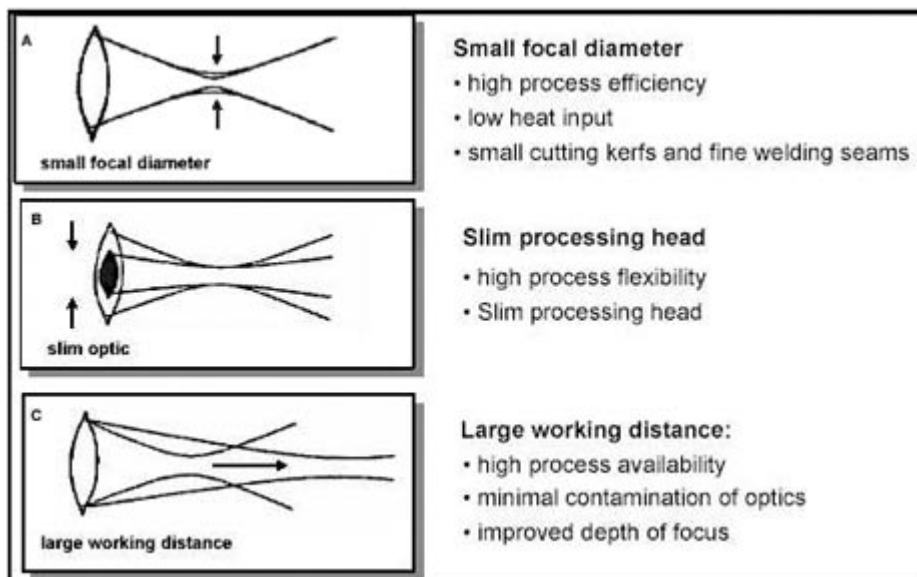
Bosch, Trumpf, LZH (LaserZentrum Hannover) och Audi är involverade i ett projekt för utvärdering av robotburen RLW med disklasrar. Möjligt arbetsområde är 500x500mm med en fokallängd på 800mm.

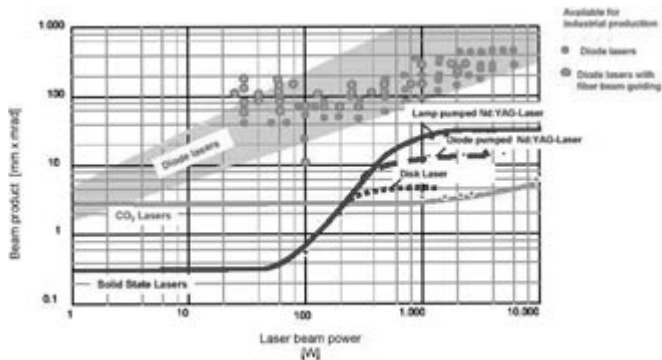
Fiberlasern är nästa generation av laserkälla där laserljuset genereras direkt i en optisk fiber. Idag finns kommersiella lösningar som erbjuder 2kW, men morgondagens vision lyder på 10kW med en strålkvalitet på 12mm\*mrad.

Slutligen beskrev Dr. Emmelmann några lyckade försök med lasersintring av metallpulver för att tillverka formar för mobiltelefoner. Med tanke på de frekventa modellbyten som förekommer då det gäller denna typ av produkt är lasersintring en snabb och förhållandevis billig metod vid tillverkning av formverktyg.

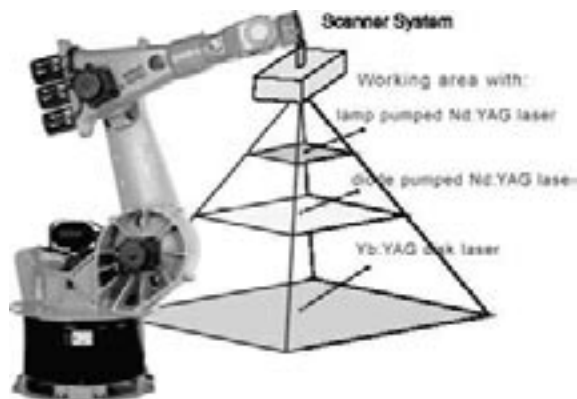
De välkända fördelarna med god strålkvalitet:

- Liten fokalpunkt
- Kompakt bearbetningshuvud
- Långt bearbetningsavstånd





Relationen mellan effekt och strålkvalitet för olika typer av laserkällor



Olika arbetsområden för robotburen RLW

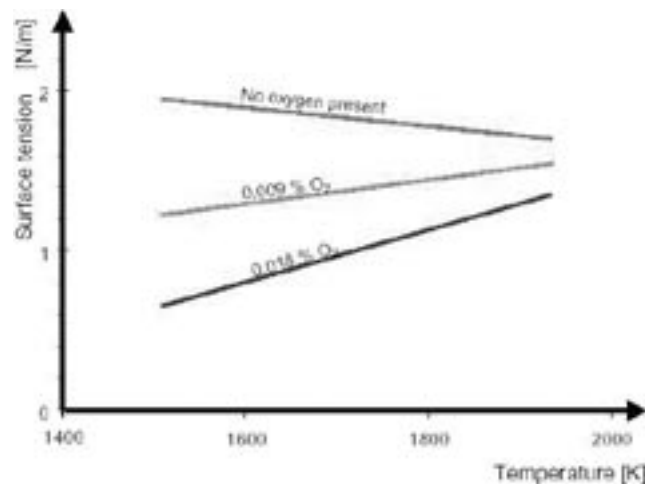
Joakim Berkmanns (AGA Gas Inc., Independence, OH) berättade om sitt företags forskning beträffande val av processgas vid lasersvetsning med högeffekt-diodlasrar. Man har utvecklat en speciell aktiv skyddsgas benämnd "LASERMIX" (troligtvis en gasblandning av Ar/CO<sub>2</sub> utan någon O<sub>2</sub>-tillsats) som är vida överlägsen helium då det gäller att åstadkomma god penetration vid värmeled-



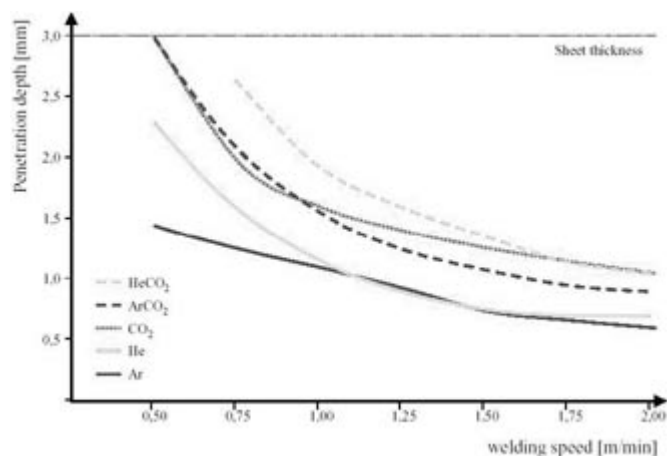
Diodlasersvetsning av kolstål

Använd försökuppställning (t.v.) samt inverkan av skyddsgassammansättning på penetrationsförmågan (ovan)

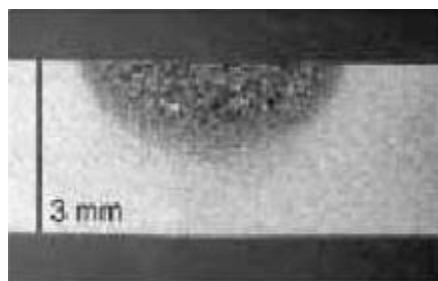
ningssvetsning. Skyddsgasvalet sades ha större betydelse vid denna typ av svetsning jämfört med traditionell nyckelhålssvetsning. Normalt minskar smältans ytspänning med ökad temperatur, men blandar man in lite O<sub>2</sub> i skyddsgasen blir effekten den omvända. Därför menade Dr. Berkmanns att O<sub>2</sub>-tillsats bör undvikas vid svetsning av kolstål. Däremot kan det vara en lämpligare komponent vid exempelvis svetsning av rostfria stål.



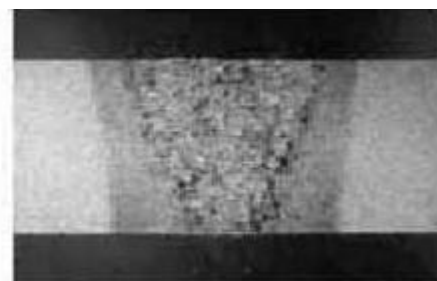
Olika skyddsgasers inverkan på smältans ytspänning vid olika temperaturer



Olika skyddsgasers inverkan på penetrationsdjupet vid olika svetshastigheter



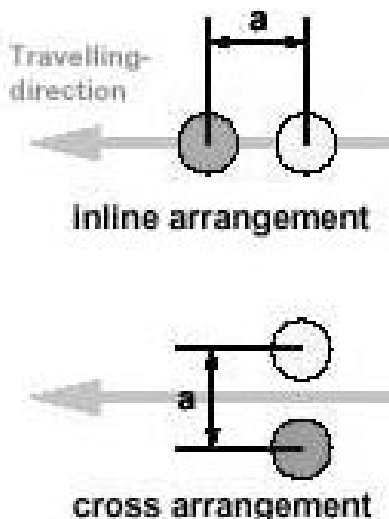
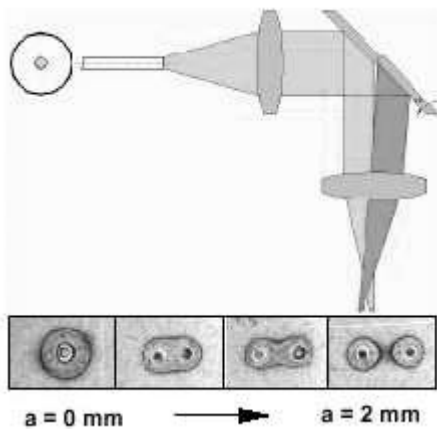
Argon



Ar/CO<sub>2</sub>

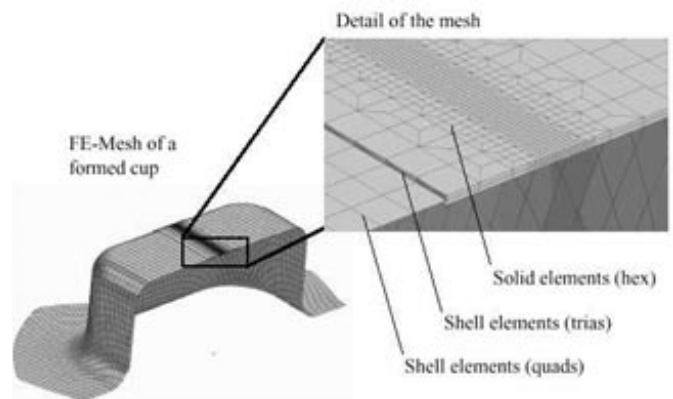
## Laser / Material-interaktion

Vi vet sedan tidigare att dubbelfokusteknik stabiliserar svetsförloppet och minskar porositeten vid lasersvetsning av aluminium. **Wolfgang Grefs** (IFSW Stuttgart) redogjorde för de ytterligare experiment som gjorts vid IFSW. Man hade undersökt effekten av att variera det inbördes avståndet mellan punkterna i svetsriktningen mellan 0-2.4mm. En 4kW Nd:YAG laser hade delats upp i två strålar om vardera 2kW effekt och fokuserats till brännpunktsdiameter på 0.3mm med 100mm fokallängd. Tre svetshastigheter hade undersökts: 4, 8 och 12 m/min. Då avståndet mellan fokalpunkterna ökades minskade inte oväntat penetrationsförmågan. Inkopplingsförmågan i aluminium för laserstrålen minskar med ökat fokalpunktsavstånd, något som inte kunnat observerats vid svetsning i stål. Vid högre svetshastigheter fås generellt en sämre inkoppling samtidigt som andra negativa effekter av ett långt fokalpunktsavstånd inträffar tidigare. Från ungefär 1.0mm avstånd mellan fokalpunkterna uppstod två separata nyckelhål



Olika arrangemang av fokalpunktspositioneringen vid "twin-spot"-svetsning

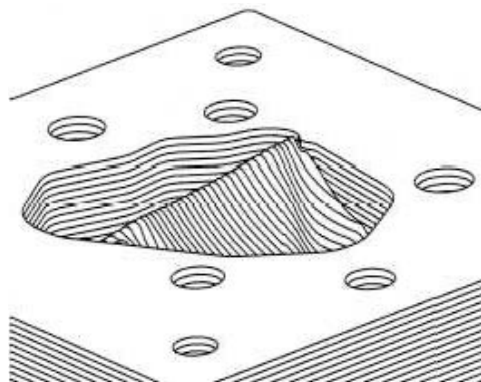
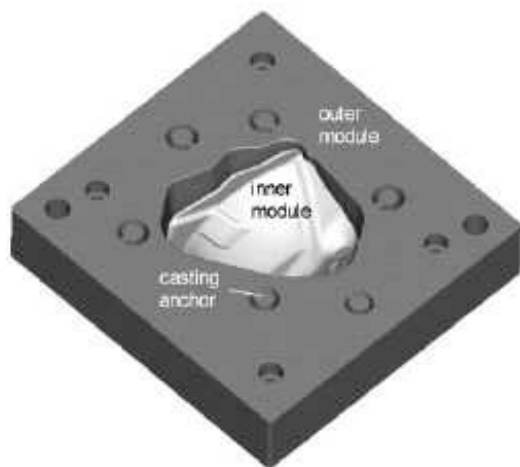
I bilindustrin är vi intresserade av att kunna använda t.ex. modellerna för formningssimulering vid simulering av slutliga karossegenskaper. Därför hade **Auer Florians** (TU München) presentation ett visst intresse eftersom den handlade om hur man tar hänsyn till formningseffekterna vid fortsatt simulering av lasersvetsprocessen. Vid formningssimulering av en tunnplåtsdetalj kan man prediktera materialförtunning, restspänningar och återfjädring. Det är viktigt att hänsyn tas till sådana förändringar av materialet då det skall lasersvetsas och därför är det gynnsamt om samma simuleringsmodell kan användas vid svets-simuleringar. För att klara detta måste de skalelement som används vid formningen bytas ut mot solida volymelement (HEX-element). Detta behöver av ledtidshänsyn endast göras i svetsområdet, varför det krävs ett antal tvådimensionella element (TRIAS) som kopplar HEX-elementen till de ursprungliga skalelementen. Genom att sedan vid lasersvetssimuleringen ta hänsyn till dels de tidigare formningsdata, dels termo-mekaniska effekter från svetsningen, är det möjligt att med god överensstämmelse beräkna den slutgiltiga deformationen.



Olika typer av skal- och solidelement som används vid lasersvetssimulering av tidigare formade detaljer

## Laserbaserade, integrerade tillverkningssystem

Denna session inleddes av **Steffen Nowotny** (Fraunhofer IWS, Dresden) och handlade om framtagning av stora pressverktyg med hjälp av s.k. LOM (Laminated Object Manufacturing)-teknik. Denna teknik är vanlig vid framtagning av designformer, där modellen byggs upp genom att man lägger ett stort antal pappersskikt ovanpå varandra. Denna metod kan överföras till metaller och då bygger man upp objektet eller verktyget genom att lägga flera lager med av laser konturskurna tunna plåtar. Då pratar man om "Metal Laminated Tooling" eller "MELATO".



Principen för "Metal Laminated Tooling", tillverkning av formningsverktyg

En importerad CAD-modell strimlas upp i tunna skikt, antingen vertikalt eller horisontellt, med hjälp av en speciell programvara. Därpå byggs det fysiska verktyget upp genom att man laserskär ca. 1mm tjocka plåtar, vilka staplas ovanpå varandra. De sammanfogas sedan med antingen lasersvetsning, diffusionssvetsning eller andra termomekaniska tekniker. Även limning är en tänkbar fogningsmetod. Därpå beläggs speciellt utsatta områden med nötskydd antingen via laserpåläggning eller termisk sprutning, och slutligen ges verktyget sin slutgiltiga form genom fräsning i en CNC-maskin. Själva tiden att fräsa till färdig form reduceras med 70% tack vare att mindre materialandel måste avverkas. Genom detta sätt sades verktygsframtagningstiden, för verktyg i storleksordningen 1x1m, kunna minskas från 16 till smått otroliga 1 vecka. En i sammanhanget intressant hemsida att besöka kan vara: [www.iws.fhg.de/~melato/](http://www.iws.fhg.de/~melato/)

**Wolfgang Schmidt** (University of Applied Sciences, Soest) berättade om rengöringsteknik med laser. I staden Soest, där han verkar, har man som i många andra städer på kontinenten problem med nedsmutsning av gamla kulturbyggnader. Här kan lasern, som erbjuder ett torrt alternativ, användas vid restauration.

Rengöringsteknik med laser har också börjat att tillämpas på elektronikkomponenter, där skäroljor och skärspånor behöver avlägsnas. En första grovrengöring sker då med tryck i en vakuumkammare, varpå lasern tar hand om finrengöringen. Som laserkälla används lämpligtvis en 100W Nd:YAG-laser eller diodlasrar i effektområdet 100-700W. Fokuspunkten bör helst placeras cirka 10mm över den yta som skall rengöras och avverkningsdjupet är ungefär 5µm. Metoden påstods vara både kostandseffektiv och miljövänlig.



Gängade muttrar före...



och efter laserrengöring

**Stefan Czerner** (LaserZentrum Hannover) berättade om verktygsreparation med hjälp av laserpåläggning. Konventionell påsvetsning ger stora deformationer av verktyget och kräver omfattande efterbearbetning, något som kan minimeras om man istället använder lasern som värmekälla. Pulver tillförs vanligtvis via ett extern munstycke, men Dr. Czerner visade även på lösningar med coaxiell pulvermatning. Experiment hade visat att pulvret bör tillföras 10-15mm från lasermunstycket. Helst 15mm för att undvika kontamination av lasermunstycket, men risken är då att den större brännfläcken inte förmår smälta allt tillfört pulver. I de fall då skäreppar skall beläggas, krävs en så noggrann tillförsel av pulver att i sådana fall rekommenderas att pulvret appliceras i förväg.



Olika typer av lasermunstycken för coaxial pulvermatning avsedda för laserpåläggning

Vidare visades ett system för "closed-loop control", som bygger på mätning av smältans temperatur, och där pulvret är transparent för temperatursignalen. Med hjälp av en lasertrianguleringssensor kan utnyttjandegraden av tillfört pulver maximeras.

### Sensorer och kvalitetskontroll

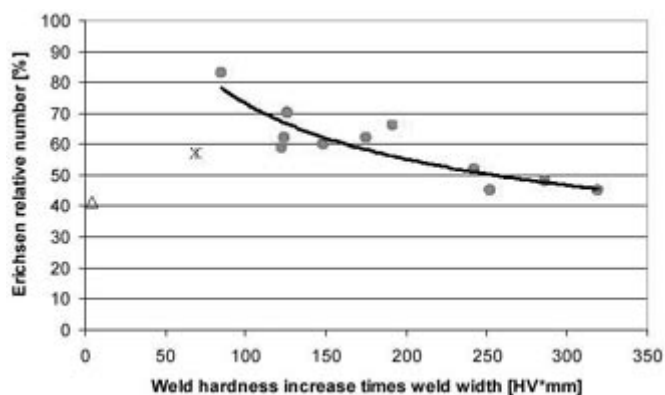
Pulsmodulering var ett tema som återkom vid flera tillfällen under konferensen. **Dave Farson** (Ohio State University) visade på de fördelar en sådan pulsningsteknik har då det gäller att stabilisera svetssmältan. Temat var att reducera pormängden vid lasersvetsning av tunn, varmvalsad plåt där man inte eftersträvar full penetration. Pulsmodulering mellan 100-500Hz samt olika infallsvinkel på laserstrålen (0-25°) hade undersökts. Även den senare parametern har betydelse såtillvida att en från ytnormalen ökad infallsvinkel minskar risken för att nyckelhålet kollapsar. CO<sub>2</sub>-laser med 2.5-3.0kW effekt hade använts vid försöken med en fokuspunkt på 0.5mm diameter, svetshastighet 30mm/s samt helium som skyddsgas. Materialegenskaper som t.ex. viskositet hade man kunnat konstatera har stort inflytande på stabiliteten i smältan.

**Sjoerd Postma** (University of Twente) berättade om ett processövervakningssystem för lasersvetsning. Vid höghastighetssvetsning är risken uppenbar att man inte erhåller

full penetration. Vid försöken hade en Haas 2006D Nd:YAG-laser använts utrustad med en WeldWatcher-sensor (utvecklad av LZH och marknadsförd av 4D Ingeniuerbüro). Denna mäter återreflexionen i laserplasmata och genom att jämföra denna med en kalibrerad signal som motsvarar tröskelvärde vid full genombränning kan systemet reglera lasereffekten så att man undviker att tappa penetrationen vid höga svetshastigheter.

### Industriella svetsapplikationer

Denna session inleddes av vår svenske kollega **Tomas Forsman** (Institutet för Metallforskning, Stockholm) som redogjorde för undersökning rörande ämnesskarvning med laser vilken gjorts vid institutets Fogningscentrum. Ett antal höghållfasta kol- och rostfria stål hade ingått i undersökningen, och svetsningen hade genomförts med den 8kW Triumph laser som finns installerad hos VCBC (Volvo Cars Body Components) i Olofström. Högsta möjliga svetshastighet vid 6kW uteffekt hade eftersträvarats, och svetsningen hade utförts med 200mm fokallängd som gav en fokuspunkt på 0.5mm diameter. Som skyddsgas användes genomgående helium. För stål med hög kolhalt sker en avsevärd tillväxt av hårdheten i svetsgodset, medan man däremot lägger märke till en viss uppmjukning i den värmepåverkade zonen. Den höga hårdheten försämrar formbarheten, medan däremot smala svetsar som ju är resultatet av en hög svetshastighet är gynnsamma ur formbarhetssynpunkt. Dr. Forsman visade på den överensstämmelse som råder mellan formbarhet och svetsens "relativa hårdhet" för vilket en formel tagits fram. De flesta material, med undantag för helhård rostfri AISI301 och Docol1200, följer denna kurva.

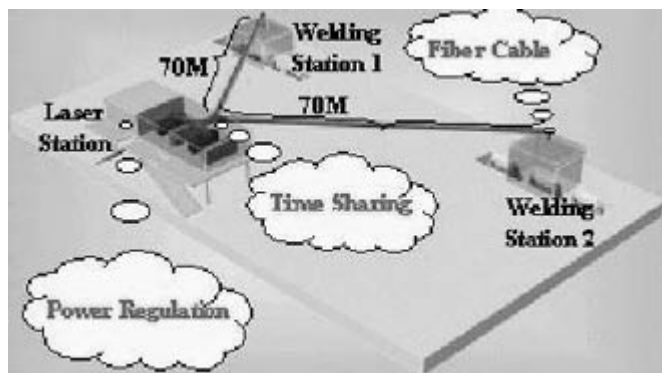


Sambandet mellan formbarhet och lasersvetsens "relativa hårdhet"

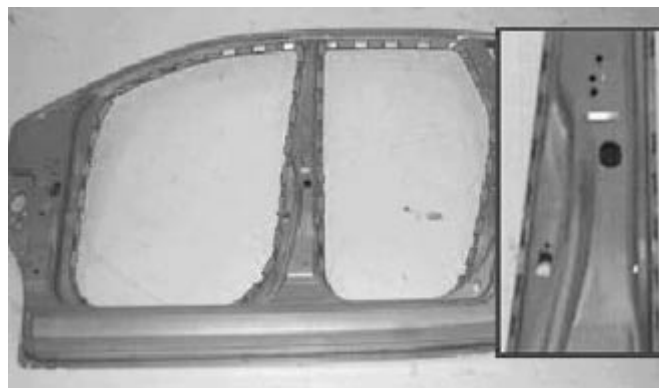
Olika fokuspunktslägen i vertikal- och horisontalld hade provats. En vertikal fokuspunktsförskjutning har ringa inverkan på svetsens tvärsnitt, medan placering i horison-

talplanet är av stor betydelse, framförallt då olika materialtjocklekar skall sammansvetsas. I sådana fall är det fördelaktigt att positionera fokus några tiondels millimeter in på den tjockare plåten för att erhålla en godtagbar svetsprofil. Formbarheten hade verifierats med Erichsen-test och här uppvisade endast kombinationerna Dogal800/Dogal800 och Rephos260/Dogal600 Erichsenvärden över 80%. Vid formning av material med olika hållfasthet kunde man konstatera att svetsen drogs åt ”den höghållfasta sidan”, d.v.s. töjningen sker i det mjukare materialet.

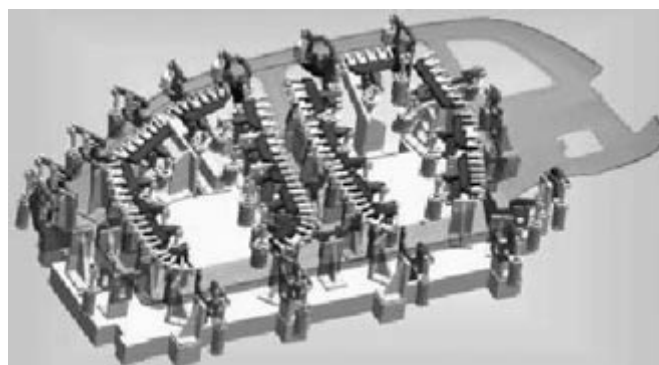
En för mig personligen intressant presentation var den som **Chang Ho Jung** (Hyundai Motor Company, Ulsan) höll. Den handlade om en ny applikation för lasersvetsning, nämligen svetsning av dörröppningarna vid sammansättning av kompletta karossidor till Hyundaimodellerna Matrix och Coupe. Med lasertekniken sade man sig kunna svetsa dessa enheter fem gånger snabbare jämfört med motståndspunktsvetsning, vilket medfört att produktionslinjen kunnat kortas med 80%. Produktmässigt uppvisade den lasersvetsade karossidan ett förbättrat beteende vad gäller styvhet och krockegenskaper. Två stycken 4kW Nd:YAG-lasrar var kopplade till två svetsceller, en för vänster karossida och en för höger. I varje cell fanns två robotar, och strålen växldes mellan dessa så att en svetsade medan den andre ompositionerade. På detta sätt sattes 61 stegsvetsar, cirka 20mm långa, på 40 sekunder i zinkbelagd tunnplåt. Laserstrålen leddes över ganska stora avstånd, uppskattningsvis 70m, i en 600µm optisk fiber. Någon skyddsgas användes ej, men Dr. Jung påpekade att fixering och inspanning av detaljerna var de parametrar som vållat mest huvudbry för att erhålla en godkänd svetskvalitet. Avslutningsvis visades på några laboratorieförsök där såväl två- som treplåtsförband i zinkbelagd stålplåt lasersvetsats i överlappsgeometri, detta för att utvärdera en utökning av lasersvetsningen i Hyundais produkter. Tänkbara framtida användningsområden sades vara fogar i tak och golv.



Principskiss för produktionslayout med en laserstation och två svetsstationer



Karossida Hyundai Matrix med laserstegsvetsar i dörröppningarna



Modell av fixturlösningen

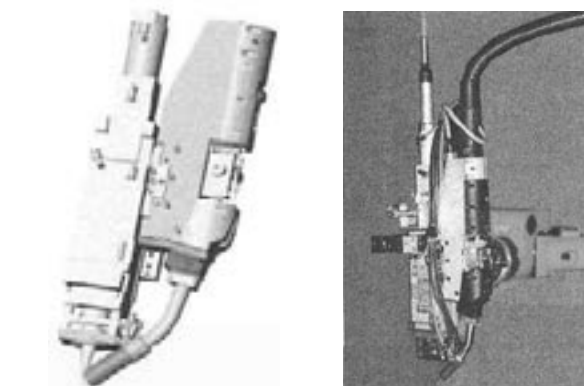
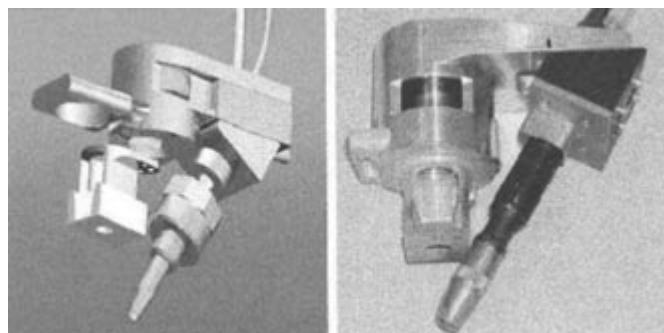
En annan nordisk kollega, **Veli Kujanpää** (Lappeenranta University of Technology) berättade om lasersvetsning av reaktortankar i rostfritt stål (AISI304L, tjocklek 20mm). En 3kW Nd:YAG-laser hade använts, vilken hade en strålkvalitet på 25mm\*mrad. Helium hade använts som skyddsgas och fokallängd hade valts till 200mm. Två typer av lasersvetsning hade genomförts. Dels en konventionell lasersvetsning med tillsatsmaterial lagd i flera strängar, dels en hybridsvetsning där lasern kombinerats med en MAG-enhet.

Vid flersträngssvetsningen var det optimalt att placera fokalkpunkten 7mm över den senast lagda strängens toppyta. Den kalla tillsatsstråden, men en diameter på 0.8mm, matades in strax under brännfläcken. En viss fogberedning, typ partiell V-fog krävs, där vinkeln bör hållas så liten som möjligt. Dock bör den ej vara mindre än 4° eftersom strålen i så fall riskerar att reflekteras på ett ogynnsamt sätt. Med denna lösning erhöles svets hastigheter på 0.5m/min med en trådmatningshastighet på 4.5-6m/min.

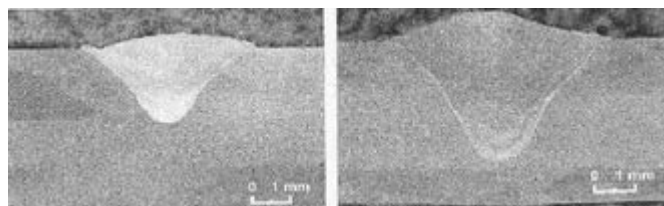
Vid hybridsvetsningen erhöles högre hastigheter, omkring 0.9m/min. MAG-pistolen kunde mata in den varma tråden antingen i stickande eller släpande position. I det förra fallet bör tråden träffa 2mm framför fokalkpunkten, i det senare är det bäst om tråden riktas rakt mot

brännpunkten. I detta fall låg trådmattningshastigheten på 10m/min utom vid rotsträngen som lades med enbart laser. En stor fördel med hybridsvetsmetoden är den att laserstrålen ”styr” ljusbågen från MAG-pistolen, vilket gör att man ej riskerar att ljusbågen kortslogs mot V-fogens vägg utan verkligen träffar i svetsmältan.

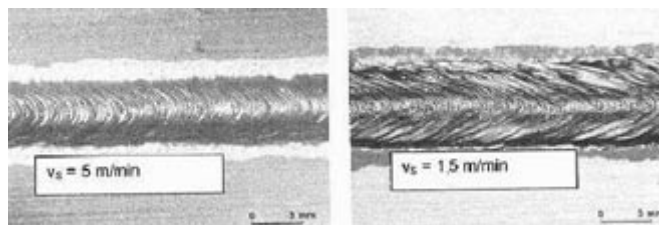
**Emil Schubert** (Alexander Binzel Schweissttechnik GmbH & Co. KG, Buseck) fortsatte på temat hybridsvetsning. Tillsammans med företaget HighYag har man utvecklat ett integrerat svetshuvud för laser och MAG. Detta är moduluppbyggt och kan även utnyttjas för ”twin-spot”-teknik. De huvudsakliga fördelarna med hybridsvetsning är förmågan att överbrygga spalter, svetsens toppsida blir sådan att spänningskoncentrationer undviks, och slutligen kan svetsens mikrostruktur anpassas på ett gynnsamt sätt.



Olika typer av integrerade svetshuvuden för hybridsvetsning, laser + MAG



Tvärsnitt av hybridsvetsar i kolstål med svets hastigheterna 4 respektive 2m/min



Toppsidan på hybridsvetsar utförda med olika svets hastigheter

Bästa skyddsgas vid svetsning sades vara blandningen 30He/70Ar. Beträffande MAG-inställningar bör frekvensen sättas cirka 30% högre jämfört med konventionell bågsvetsning. Vidare är en något lägre spänning att föredra samt att skillnad mellan topp- och medelspänning bör sättas något lägre än vad som används vid enbart MAG-svetsning.

Effekterna från trådmattningsparametrar vid laser-svetsning med kall tillsatstråd hade undersökts av Antti Salminen (Lappeenranta University of Technology). De parametrar som kartlagts var fokalpunktsläge, trådmattningshastighet, trådmattningsvinkel och om tråden matades stickande eller släpande. Lasereffekten hade hållits konstant medan två fokallängder (150 och 300mm) och två tråddiametrar (0.8 och 1.0mm) hade använts. Om tråden matas in alltför flackt >30° från ytnormalen går absorptionen av laserstrålning in i materialet ner till ungefär 60%. Vidare bör man se till att laserstrålen ej träffar själva tråden då detta kan ge upphov till reflexioner och därtill hörande kraftiga effektförluster.

Riskerna för reflexion mot tråden är om denna matas för flackt, om tråden matas in för högt över arbetsstycket eller om fokalpunkten placeras alltför lågt. Fokalpunkten bör placeras några millimeter över arbetsstyckets toppsida. Om man studerar ett optimalt svetsförlopp i förhållande till inställda trådparametrar kan man konstatera att toleranser inom 1mm kan tillåtas utan att förlora i svetskvalitet.

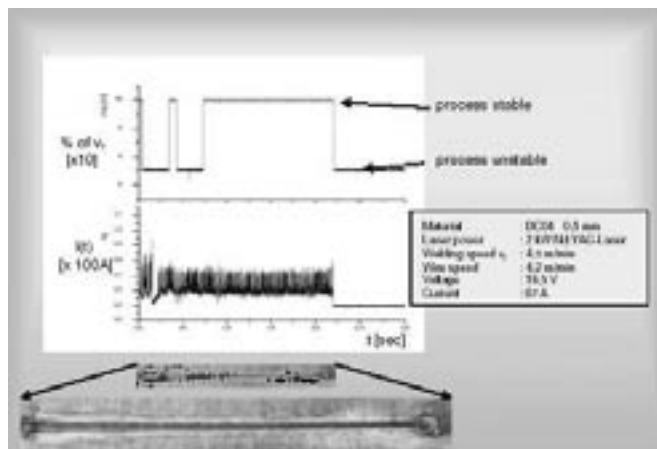
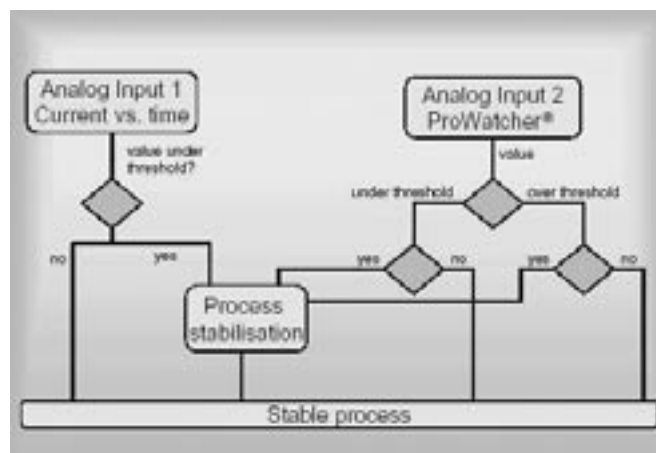
**Paul Denney** (EWI, Columbus OH) beskrev de problem som varit vid handen då det gällt att införa lasersvetsning i varvsindustrin. Klassificeringssällskapen har särskilda regler beträffande hårdhet i svetsar, vilka har varit svåra att uppnå med konventionell lasersvetsning, då det snabba svetsförloppet med tillhörande snabb avsvälning nödvändigtvis kommer att resultera i en hög hårdhet i svetsgodset. Här verkar hybridsvetsning vara en möjlighet att komma runt problemen. Försök hade utförts med 6kW CO<sub>2</sub>-lasrar från PRC och Trumph samt en 4kW Nd:YAG-laser från Haas. Fokallängden var 200mm och fokalpunktsdiametern 0.6mm. Som strömkälla för MAG-processen hade en ESAB 42CvCC använts. Med dessa uppsättningar hade dubbelsi-

dig hybridsvetsning utförts på 12mm tjock HSLA65. Svet-sarna hade därpå hårdhetsprovats med Charpy-prov, och dessa visade att de hybridsvetsade varianterna uppfyllde kraven på max. hårdhet med god marginal. De enbart lasersvetsade provobjekten låg på gränsen för att vara O.K. Att denna typ av svetsning används i varvsindustrin redan idag exemplifierades med applikationer från Fincantieri Shipbuilding i Italien och Meyer Werft i Tyskland.

**Atsushi Sugihashi** (Nippon Steel Corporation, Chiba) berättade om åtgärder mot och kartläggning av porositet och sprickbildning vid CO<sub>2</sub>-lasersvetsning av 15mm tjock stålplåt (APIX65) avsedd för gas- och olje-pipelines. CO<sub>2</sub>-laser med uteffekter mellan 11 och 14kW hade använts vid försöken med 381mm fokallängd och en blandning He/Ar som skyddsgas. Olika svetslägen hade undersökts: PB ("flat"), PD ("overhead") och PF ("vertical upwards"), och en validering av pormängden hade gjorts mot en formel samt med kraven i ISO13919-1 som acceptanskriteria. Enligt formeln innebär ökad effekt respektive minskad svetshastighet mindre porformering, vilket också sades blivit bekräftat genom de experimentella svetsförsöken. Beträffande svetshastigheten går ju detta påstående emot vad som konstaterats i professor Matsunawas undersökningar, där en ökad svetshastighet ger en mindre mängd porer i svetsgodset. Det är möjligt att man måste ställa dessa resultat i relation till plåttjocklek, då merparten av prof. Matsunawas svetsförsök hade utförts på relativt tunna plåtmaterial.

Andra parametrar som kan minska porförekomsten är att svetsa med en oval fokalpunkt, som har sitt största mått i svetsriktningen, samt att penetrationsdjupet ställs in att vara 120-125% av plåttjockleken. Inte helt överraskande visade det sig att porförekomsten var högre i de svetslägen där man svetsade "under/upp" (PD) och "stigande" (PF).

Sista talare i denna session var **Pino Cordini** (Laser-Zentrum, Hannover), som beskrev hybridsvetsning av rullformade, skraddarsydda rör, s.k. "tailored tubes", i zinkbelagd stålplåt. Rören hade dimensionen 60mm diameter och vägg tjockleken varierade mellan 0.7-1.5mm. En 4kW Nd:YAG-laser hade kombinerats med en Fronius' strömkälla med 450A där MAG-pistolen monterats släpande. En observation som gjordes var den att om den uppvärmda tillsatstråden inte hann smälta ner innan den träffade svetssmältan skapade avsevärda instabilitetsproblem i svetsprocessen. Som processövervakningssystem användes en kombination av plasmaövervakning av laser svetsdelen och registrering av ström/tid-signalen från MAG-processen. Dessa verktyg ingick i ett "closed-loop"-



Kombinerad processövervakning vid hybridsvetsning

system som kunde reglera framföringshastigheten så att ett stabilt svetsförlopp bibehölls.

Hybridprocessen sades vidare möjliggöra överlapps-svetsning av zinkbelagda plåtar utan att något spel mellan dessa måste säkerställas med tanke på avgasningen av förångad zink. Avsvalningshastigheten är vidare långsammare än vid enbart lasersvetsning, men avsevärt högre jämfört med konventionell MAG-svetsning. Dr. Cordinis slutsats blev därför att hybridsvetsningen enbart har ett marginellt inflytande på de svetsade materialens hållfasthet.

## Kortkurser för olika laserämnen

I samband med konferensen anordnades sju stycken korta kurser inom olika laserrelaterade ämnesområden. Här valde jag att delta i en tvåtimmarsutbildning som behandlade två för bilindustrins vidkommande ytterst intressanta metoder, nämligen hybridsvetsning och "fjärr-laser" (Remote Laser Welding). Som lärare tjänstgjorde **Dr. Christian Walz** från Fraunhofer USA med hemvist i Plymouth, MI.

Vid laserhybridsvetsning kombineras laserstrålen med en ljusbåge från en MIG/MAG,- TIG- eller plasmapistol.

Lasern kan även kombineras med induktionsuppvärmning för uppnå samma effekter. Med tekniken utnyttjar man de positiva egenskaperna från såväl laser- som de konventionella svetsmetoderna, så att man får en snabb svetsning med hög produktivitet, djuppenetration, liten värmepåverkan, god spaltöverbryggnad samtidigt som man minimerar kostnaderna. Hittills har vi mest sett experimentella uppsättningar med separata lasersvets huvuden och smältsvetspistoler, men nu börjar kompakta, integrerade svets huvuden att dyka upp på marknaden. Två leverantörer av dylika komponenter är Fronius och HighYag.

Dr. Walz visade på några applikationer i aluminium, vilka framgångsrikt hade hybridsvetsats. En var en instrumentpanelbärare (IP-beam) där man utfört en kantsvets med laser+TIG i materialet AA5754. Samma teknik och aluminiumlegering hade använts vid tillverkning av en chassidetalj. CO<sub>2</sub>-laser+MAG hade använts vid svetsning i rostfritt material (1.4418, tjocklek 8mm) med tillsattstråd "Thermanit B/06Mo".

Genom att förvärma med induktionsvärme kan lägre lasereffekt användas vid svetsningen. Dessutom minimeras risken för porbildning i svetsen samtidigt som svetsgodsets hårdhet sänks högst avsevärt. Tekniken används av DaimlerChrysler vid tillverkning av transmissionskugg-hjul. Dock sades att distorsion av detaljerna kan vara ett problem.

På min fråga vad som var den lämpligaste metoden att kombinera lasern med svarade Dr. Walz att TIG var att rekommendera eftersom den är mer "förlåtande" då det gäller positionering, dock krävs tillsatsmaterial. Även om denna metod ger en förhållandevis bred bindzon kan man inte inteckna detta vid kantsvetsning, utan någon form av fogföljning kommer att krävas.

Den andra tekniken, Remote Laser Welding, används ju redan idag i ett antal bilapplikationer hos bl.a. DaimlerChrysler och BMW. Med hjälp av rörliga speglar kan laserstrålen snabbt förflyttas inom ett relativt stort arbetsområde och svetsa t.ex. 10 stegsvetsar på 5 sekunder. Beroende på om laserstrålen manipuleras i en portal eller av en industrirobot använder man skilda begrepp. I det första fallet är benämningen RWS (Remote Welding System), i det senare CAS (Coupled Axis System).

Eftersom svets huvudet befinner sig långt från arbetsstycket, i vissa fall upp till 1m, krävs fixturer som sammanhåller detaljerna vilka skall svetsas ihop. Utformning av spännen, deras placering och hur skyddsgasen integreras är viktiga aspekter att beakta. En svårighet är att integrera processövervakningssystem i dylika installationer.

Trumpf har utvecklat ett helt slutet system för fjärrlaser som heter TLW60S, en liten kabin med ett arbetsområde på 100×100mm. För stora arbetsområden som 2×2.5m använder Trumpf en teleskoplösning för att bibehålla en god fokuserbarhet av strålen, medan konkurrenterna på RofinSinar använder sig av en rörlig lins.

BMW har en intressant applikation i form av en "engine compartment panel", som är en del av mellanbrädan. 24 stegsvetsar appliceras med fjärrlaserteknik i plåttjocklekarna 0.7 och 1.0mm där båda plåtarna är zinkbelagda. Lasereffekten är 4.4kW och den reella svets hastigheten 3.9m/min. Vidare använder sig Audi av tekniken i en av sina verktygsverkstäder. Genom att "scanna" strålen skapas en avlång fokuspunkt vilken används för lokal härdning av verktyg.

Vilken laserkälla som lämpar sig bäst för fjärrlasersvetsning är ett ämne som intresserar verkstadsindustrin. Eftersom skyddsgastillförseln erbjuder vissa problem kunde man tänka sig att Nd:YAG-lasersvetsning utan skyddsgas är ett alternativ. Emellertid är den strålkvalitet som erbjuds för dålig både vad gäller såväl lamp- som diodpumpade enheter. State-of-the-Art är att använda CO<sub>2</sub>-slablasrar, men personligen tror jag att den utveckling som bedrivs för disklasrar och fiberlasrar kommer att innebära att dessa typer blir de naturliga kandidaterna vid framtida anläggningar för "Remote Laser Welding".

## Schawlow Award Presentation

Vid konferenslunchen på onsdagen förärades professor Akira Matsunawa med "the Schawlow Award" Detta är en utmärkelse som delas ut varje år av LIA och som tillfaller individer som gjort stora insatser på laserområdet inom industri, forskning och utbildning. Det utdelades första gången 1982 och tillföll då professor Arthur I Schawlow, därav namnet på utmärkelsen. Bland tidigare mottagare kan nämnas Dr. James I Hobart (1993), Mr. David A Belforte (1995), professor William M Steen (1996), Mr. Conrad M Banas (1997) samt professor Theodor W Hänsch (2000).

Professor Matsunawa höll därpå ett spirituellt och uppskattat tacktal där han filosoferade kring begreppet "common sense", vilket beror bl.a. av kultur, geografi mm. Således menade han på att "the Far East" är ett relativt begrepp, och att han här i Phoenix upplevde befinna sig i "the very Far East", allt helt beroende på vilka kartor och referensramar man har.

Den mer allvarliga och teknikorienterade delen av hans tal handlade om två "icke relevanta laserpåståenden". Det första: att laserstrålen interagerar med laserplasmata.

Plasmat är ingalunda ogenomträngligt för strålning utan det är i stället elektronernas reaktion med protoner, de s.k. ”Goebeler Bremskraften”, som skapar det som vi i vardagspråk benämner som plasmaabsorption. Det andra missriktade påståendet är det att nyckelhålssvetsning med laser möjliggörs tack vare ett stabilt nyckelhål. Att nyckelhålet inte är särskilt stabilt har ju professor Matsunawa lyckats övertyga oss om vid flera tillfällen under de senaste åren.

### Sammanfattande reflexioner

För min del var det första gången som jag besökte en ICALEO-konferens och mina upplevelser däriifrån är blandade. Som representant för Volvo Cars fanns det endast ett begränsat nyhetsvärde i så måtto att antalet bilindustriinriktade presentationer var få. Däremot som representant för Lasergruppen gavs en betydligt mer variationsrik kost, där mycken teori kan omsättas i nya spännande laserapplikationer inom svensk verkstadsindustri. Samtidigt bör den som funderar på att delta vid kommande evenemang (nästa år hålls ICALEO i Jacksonville, FL, 13-16 oktober) vara medveten om att konferensen är synnerligen bred och där säkert mer än hälften av föredragen riktar sig till den akademiska forskningsvärlden.

Förutom några intressanta praktikfall med innovativa lösningar där lasern använts som processinstrument gavs det åtskilliga möjligheter att skaffa sig en bild av

”State-of-the-Art” vad gäller utvecklingen av nya laserkällor. Disklasrar med synnerligen god strålkvalitet är på tröskeln att lanseras som kommersiella produkter. Både Rofin-Sinar och Haas visade upp att man har dessa produkter i sitt sortiment. Fiberlasrar är en typ av lasrar som förmodas få en bred användning framgent. De är synnerligen kompakta, har hög verkningsgrad och utmärkt strålkvalitet, vilket gör att lasereffekter på 2kW (våglängd 1070nm) med lätthet kan skickas genom en 150µm fiber. Strålkvaliteten ligger på 12.8mm\*mrad och ger en effekttäthet i fokalpunkten på 3×10<sup>6</sup> W/cm<sup>2</sup>. Uppfinningen härstammar från Ryssland och vi hade ett intressant samtal med representanten från IPG Photonics. Så hade även mina kollegor från VW, Audi och DaimlerChrysler varför vi inom en inte alltför avlägsen framtid kan förvänta oss att se denna lasertyp i europeiska karosfabriker.

Det sociala programmet som LIA arrangerat i samband med konferensen gav rikliga tillfällen till informationsutbyte och ”skvaller” mellan oss ”experter” i branschen. Samtidigt fanns möjligheter att på egen hand utforska staten Arizona med en synnerligen spännande natur och fauna. Dock blev för min del resans avslutning något av en ”chockupplevelse”, då man vant sig vid tropiskt klimat i en vecka, men tvingades landa på Landvetter i minusgrader och full snöstorm den 19 oktober!

---

## Kostnadseffektiva gasblandningar för svetsning med koldioxidlaser

### Rapport från CTAS – Air Liquides forskningscenter

Översatt och bearbetad av Gunnar Lindén, Air Liquide Gas AB

#### Princip för lasersvetsning

Principen för svetsning med koldioxidlaser är att laserstrålen fokuseras i den fog som skall svetsas. Vanligen används ett svetshuvud med åtminstone två speglar. Storleken på fokalpunkten är liten, ca 300 – 400 µm vilket gör att energin blir mycket koncentrerad och effekttätheten i fokalpunkten blir högre än 10<sup>6</sup> W/cm<sup>2</sup>. Dessa höga effekttätheter orsakar en mycket stark förångning främst på metallens yta och leder till en urholkning och ett rekystryck. Det bildas ett djupt och smalt hål, ”nyckelhål” i plåten fyllt av en blandning bestående av metallånga och plasma. Detta lilla hål,

kapillären, gör att energin från laserstrålen kan överföras djupt in i plåten till skillnad från vanliga smältsvetsmetoder där värmen sprids från ytan. Genom denna kapillär kan man uppnå djup inträngning och hög svets hastighet.

#### Skyddsgasens roll

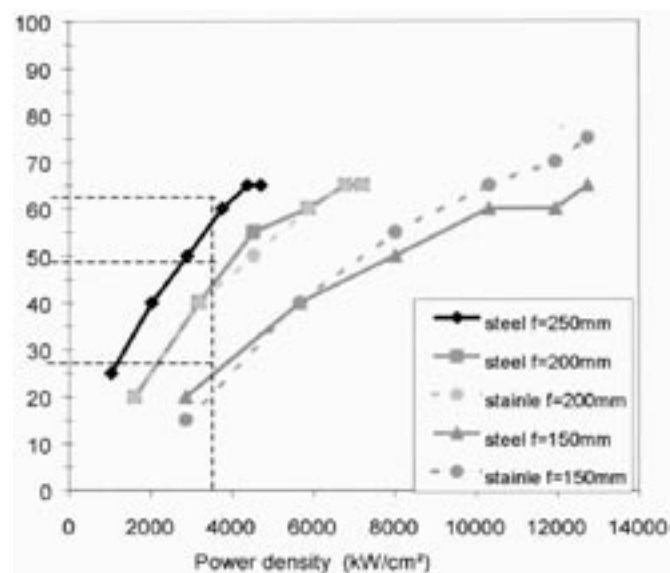
När kapillären har bildats kan metallånga som lämnar den, under vissa omständigheter, leda till jonisation av den omgivande gasen och ge upphov till ett gasplasma ovanför fogen. Detta plasma är ytterst skadligt för svetsprocessen eftersom plasmat absorberar hela eller delar av den

inkommande laserstrålen och ger en avsevärd minskning av inträngningen. Detta är skälet till att helium oftast användes som skyddsgas eftersom dess höga jonisationspotential tar bort risken för att ett plasmamoln bildas.

### Helium – argonblandningar

Helium, som oftast användes som skyddsgas vid svetsning med koldioxidlaser är en dyrbar gas och det är därför önskvärt för användaren att byta till en billigare gas eller gasblandning. I figur 1 visas att He/Ar-blandningar ger lika bra resultat förutsatt att halten argon anpassas till effekt-tätheten och fokalavstånd. Argonplasma kan således undvikas. Exempelvis kan för olegerat stål om effekttätheten är  $3,5 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$  och fokalavståndet 250 mm en gasblandning med mindre än 40 % argon ge samma förhållanden som enbart helium vad gäller svets hastighet och inträngning. Är fokalavståndet istället 200 mm kan upp till 55 % argoninblandning tillåtas.

Förutom effekttäthet och fokalavstånd kan andra parametrar som fullständig eller partiell inträngning och laserstrålens öppningsvinkel ha effekt på den kritiska gassammansättning där plasma uppträder.



Figur 1. Plasmabildning i helium-argonskyddsgaser som funktion av effekttätheten på arbetsstycket och halten helium i argon/helium gasblandningen. Graferna visar tre olika fokalavstånd för olegerat och rostfritt stål. Sammansättningar ovanför kurvorna ger inget plasma, under kurvorna uppträder plasma. Proven har utförts med partiell inträngning i 12 mm plåt och med svets hastigheten 3 m/min

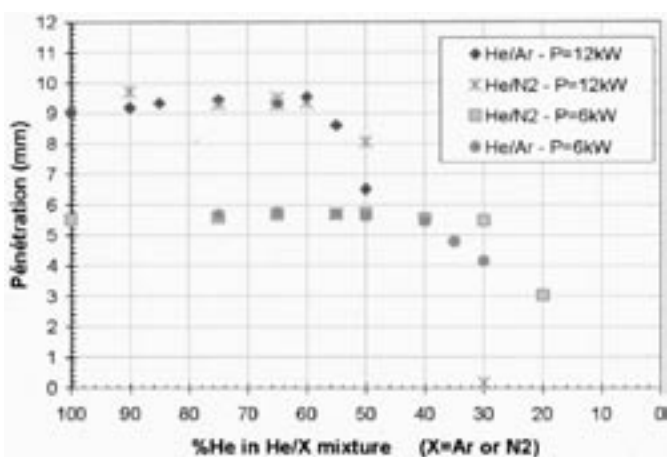
### Helium – nitrogenblandningar

Air Liquide har tagit fram en kostnadseffektiv lösning baserat på blandningar av helium och nitrogen. För dessa blandningar gäller samma förutsättningar som

för He/Ar-blandningar som nämnts ovan. Jämfört med dessa gäller dock att mer nitrogen kan accepteras i blandningen än för motsvarande inblandning av argon (5 till 10 % mera). Under jämförbara förhållanden med 6 kW laser-effekt, svets hastigheten 3 m/min och ofullständig genomsvetsning gav en blandning med 60 % argon i helium samma resultat som med 70 % nitrogen. Vid 12 kW laser-effekt är motsvarande 40 % respektive 45 %. Figur 2.

Nitrogenplasma betyder inte nödvändigtvis en minskning i svetsens inträngning. Däremot inverkar bildningen av ett argonplasma direkt på inträngningen.

Helium/nitrogenblandningar medför inga problem vid svetsning i austenitiska stål eftersom nitrogen har hög löslighet i fast fas. Däremot är det sämre i ferritiska stål dvs främst olegerade stål där för mycket nitrogen i vissa fall kan ge porositet, försämrad slagseghet och förhöjd hårdhet. Kraven på svetskvalitet måste därför undersökas i sådana fall.



Figur 2. Inträngningen i förhållande till halten argon respektive nitrogen i helium för två olika lasereffekter.

### Betydelsen av rätt gasskydd

Det är viktigt att ha ett fullgott gasskydd oavsett gastyp och sammansättning. Gasen kan tillföras koaxiellt dvs genom samma munstycke som laserstrålen eller från sidan genom ett separat munstycke. Det senare sättet är vanligast. Diametern på munstycke och rör, längden på röret, vinkeln i förhållande till laserstrålen, avståndet till svets smältan och gasflödet (gashastigheten) är viktiga parametrar. Det finns idag inga klara regler utan avgörs oftast av operatören.

Alla dessa parametrar påverkar den kritiska gassammansättning vid vilken plasma bildas. Felaktig inställning av skyddsgastillförseln gör att luft kan tränga in i området där laserstrålen når materialet. Detta kan innebära att skyddsgasens sammansättning måste förändras.

För att välja den mest kostnadseffektiva skyddsgasblandningen av helium/argon eller helium/nitrogen som ger samma egenskaper som enbart helium måste man därför ta hänsyn både till svetsparametrar och gastillförsel (typ av munstycke och inställning). Svetsparametrar är effekt-täthet, fokallängd, laserstrålens öppningsvinkel, full eller partiell inträngning etc. Avgörande kriterium är om man ser ett tydligt plasma ovanför interaktionsområdet (särskilt för helium/argonblandningar) och/eller om inträngningen försämrats till följd av plasmabildning.

Skyddsgasen kan också ha en metallurgisk effekt. Luft kan tränga in såväl framför laserstrålen som bakom den. Dessutom kan luft tränga in från rotsidan. Detta blir särskilt viktigt vid krav på full genomsvetsning. Oxygen och nitrogen kan tas upp av det smälta materialet. Detta kan

leda till försämrade egenskaper. I många fall används idag gastillförsel, som inte optimerats med hänsyn till kraven på mekaniska egenskaper.

### Sammanfattning

Air Liquide har tagit fram underlag för val av kostnadseffektiva gasblandningar baserat på helium med inblandning av argon eller nitrogen. Blandningar med nitrogen i helium kan innehålla något högre halter nitrogen än motsvarande för argon. Nitrogeninblandning kan emellertid ge negativa metallurgiska effekter i vissa material. Dessutom har nya utformningar av munstycken tagits fram för att förbättra gasskyddet i interaktionsområdet mellan laserstråle och material. Betydelsen av rotskyddsgas har också behandlats.

---

## Gasrelaterade frågor vid laserskärning av rostfritt stål och aluminium

Av  
Bo Williamsson, AGA Gas AB

### Inledning

I en tidigare artikel har frågeställningar kring laserskärning av konstruktionsstål belysts. Nu har turen kommit till de rostfria stålen och olika aluminiumvarianter. Bortsett från gasvalet vid höghastighetsskärning av konstruktionsstål handlar det om en helt avvikande skärmekanism eftersom den valda skärgasen här inte reagerar med det skurna materialet.

### Material

Gasvalet vid skärning av rostfria material och aluminium har något mindre betydelse än vid skärning av "svart" material. Valet är dock inte betydelselöst, något som kommer att belysas i artikeln.

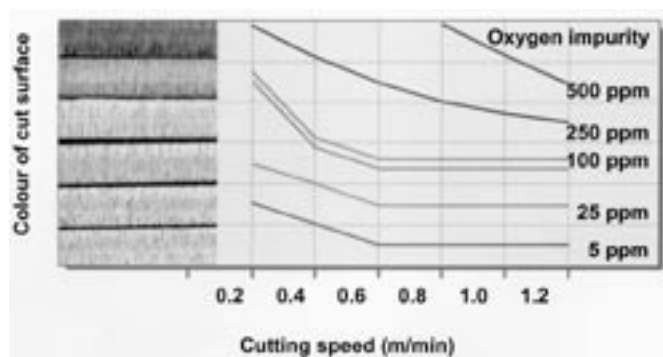
### Skärprocessen

Till skillnad mot konventionell laserskärning av konstruktionsstål används ofta inerta gaser för dessa material. Genom detta byter själv processen i skärnittet karaktär, från förbränning till ren smältskärning. All energi som krävs för att smälta materialet tillförs via laserstrålen.

Gasens huvuduppgifter är här att spola ur den smälta metallen ur snittet, kyla snittkanterna samt att skydda linsen från sprut. En följd av processegenskaperna är att kapaciteten tjockleksmässigt blir begränsad. Tillgänglig lasereffekt, strålkvalitet samt gstryck och strömningsbild avgör till största delen kapaciteten.

En annan väsentlig skillnad mot skärning med oxygen är också att gasens renhet inte är avgörande för skärhastigheten. Däremot påverkas oxidationsgraden vid förhöjda halter av oxygen i skärgasen, *se figur 1*. En tumregel är att oxygenhalten i nitrogen aldrig får överstiga 25 ppm, helst bör den dock ligga lägre. Detta är framför allt viktigt vid skärning av rostfritt material. I vissa fall kan högre oxygenhalter accepteras, men då måste tas i beräkningen att en oxiderad snittyta har nedsatt korrosionsbeständighet. För att hjälpa skärprocessen på traven kan nitrogen med inblandning av 1-10 % oxygen användas vilket ger ett oxiderat snitt, dock inte lika oxiderat som vid skärning med ren oxygen.

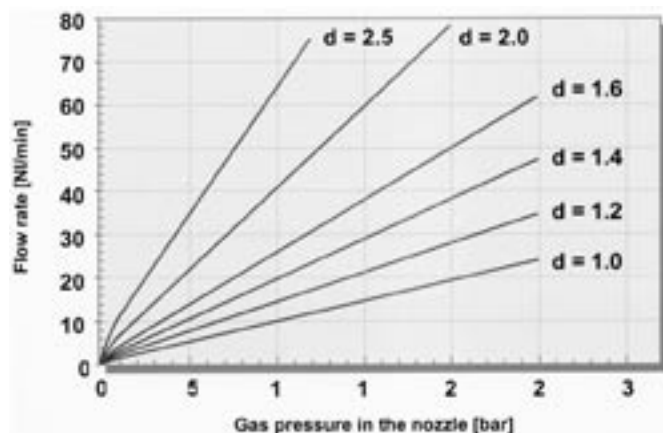
Material: 3 mm AISI 304, laser power: 1.5 kW, gas pressure: 1.5 bar



Figur 1. Missfärgning (oxidation) av snittytorna vid laserskärning av rostfritt material med olika nitrogenkvaliteter.

## Gasförbrukning

Gasförbrukningen är proportionell mot skärgastryck och munstycksdiameter, se figur 2. Generellt gäller att gasförbrukningen är högre än vid skärning med oxygen. Paradoxalt är också att tjockare material kräver högre skärgastryck, medan det är precis tvärtom vid skärning med oxygen. Orsaken till detta är att det vid oxygenskärning är viktigt att optimera mängden tillförd oxiderande gas för att undvika oxygenöverskott med därpå följande risk för skärsår. Vid inertgasskärning har vi bara gasens rörelseenergi som variabel, ju större energi desto större kapacitet.



Figur 2. Gasförbrukning som funktion av skärtryck och munstycksdiameter.

## Rostfria stål

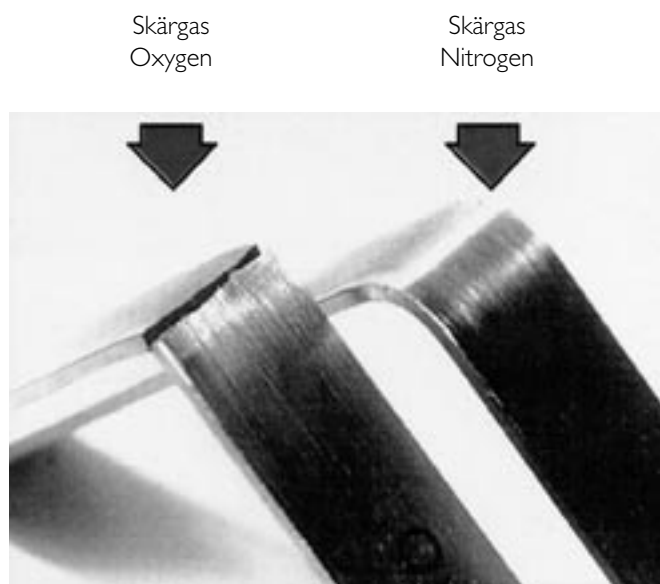
Det finns ett stort antal olika ståltyper inom denna grupp. Vanliga stål är austenitiska, exempelvis 316L men även ferritiska, duplexa och andra stål förekommer. Legeringen avgör oftast inte valet av skärgas, undantag förekommer dock. Valet av skärgas beror oftast på det önskade resul-

tatet och plåttjockleken. Vid höga krav på oxidfria snitt används med fördel ren nitrogen (kväve). Vid krav på hög skärhastighet, eller vid skärning i mycket grovt material kan oxygen användas. En kompromiss mellan snittkvalitet och prestanda fås i vissa fall med nitrogen/oxygenblandningar, i regel med 1-10% oxygen i nitrogen. Korrosionsbeständigheten och svetsbarheten bör dock beaktas i dessa fall. I vissa fall kan efterföljande slipning bli nödvändig. Figur 3 visar svetsresultatet efter TIG-svetsning av oxygenskurna snitt. Kromoxiderna har hög smälttemperatur, anrikas i mitten av svetsen och orsakar svetsdefekter. Resultatet vid böjprov visas i figur 4. I detta fall är valet av skärgas uppenbart, såvida snittytorna inte slipas innan svetsning.

Material thickness: 2 mm stainless steel  
Laser cutting gas: Oxygen



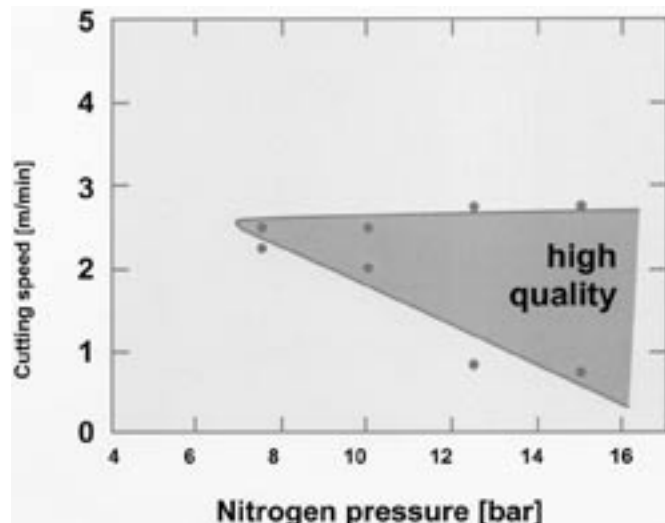
Figur 3. Svetsdefekter orsakade av oxidinneslutningar



Figur 4. Försämrade böjbarhet p.g.a. oxidinneslutningar

Det är också viktigt att komma ihåg att skärgastrycket inte påverkar skärhastigheten i någon större utsträckning, figur 5. Ett högt gastryck ger framför allt en större tolerans

mot avvikelser i processen, det s.k. parameterfönstret blir större. Med högt gastryck fås en stabil process med hög snittkvalitet samtidigt som kapaciteten tjockleksmässigt ökar.



Figur 5. Skärhastighet som funktion av gastryck med konstant snittkvalitet. Lasereffekt 1500 W. Material 2 mm rostfritt stål.

## Aluminium

Även här finns ett stort antal varianter. Vanliga kvaliteter är Mg-legerade (korrosionsbeständiga), hårdbara (Mn-legerade) samt ren aluminium. Generellt kan sägas att ju mer legerat materialet är, desto bättre är skärbarheten. Ingen regel utan undantag dock.

Skärgaser för aluminium är ofta oxygen, nitrogen eller oxygen/nitrogenblandningar. Oxygen ger inga stora hastighetsmässiga ökning, men skapar förutsättningar för skärning vid moderata tryck. Detsamma gäller för oxygen/nitrogenblandningar. Oftast används nitrogen, som ger bra snittkvalitet i kombination med höga prestanda.

## Försörjning

Gasen finns tillgänglig i flaskor, flaskpaket, eller i flytande form. Vid liten eller medelstor förbrukning används flaskor och paket. Vid stor och någorlunda jämn förbrukning levereras gasen i flytande form. Vid frågor kring valet av leveransform rekommenderas en kontakt med gasleverantören.

# 9th NOLAMP Conference

**9th Conference on Laser Materials  
Processing in the Nordic Countries  
August 4th – 6th 2003, Trondheim, Norway  
First Announcement and Call for Papers**

This announcement is distributed electronically only.  
Recipients are encouraged to pass it on to other interested parties.

## First Announcement and Invitation

Laser materials processing has seen steady and rapidly increasing acceptance and application in industrial production world wide as well as in the Nordic countries. Once considered a tool for research and large high tech companies, the laser is now being used efficiently in a great number of small and medium sized companies in a variety of industrial branches. In addition to increasing productivity and quality, the use of laser processing has also had a significant impact on product development and design.

Recent technological developments have improved the flexibility and power of industrial lasers and relaxed the once strict requirements on work piece tolerance and fit-up. As a result the use of laser processing is no longer restricted to costly high precision mass produced products.

Laser cutting and welding are now rapidly moving into rougher environments, such as ship building.

The first NOLAMP conference was held in Oslo in 1987. Since then these biannual conferences have proved a useful meeting ground for research and industry involved in laser technology in the Nordic countries as well as neighbours far and wide. This collaboration is now widened further. A number of Nordic research organizations are now cooperating in a project called NorLas, financed by the Nordic Industrial Fund. The aim is to establish an internet based network between industry and research in order to disseminate technology, products and services across the borders.

The date of the conference, 4–6 August 2003, may coincide with the summer holidays of some. Keep in mind

that Trondheim and the Trøndelag region, in addition to being the technological centre of Norway, also are known for its natural and cultural attractions. The week before NOLAMP there is the annual St.Olav Festival with a wide spectrum of cultural events. The week after comes the biannual AquaNor, the worlds largest fish farming fair.

It is with great pleasure that we herby invite you to the 9th NOLAMP

Conference in Trondheim on the campus of NTNU, the NorwegianUniversity of Science and Technology.

Einar Halmøy                      Arnt Ragnar Ramsland  
NTNU                                      SINTEF Materials Technology

### Call for papers

Authors are invited to submit papers in the following areas:

- Industrial laser processes, such as
  - Cutting
  - Welding
  - Surface treatment
  - Drilling
  - Rapid prototyping
- Process monitoring and control
- Process modelling and simulation
- Laser based production technology
- Case stories of industrial applications of laser processing

Papers related to the application of laser technology in the Nordic countries are especially welcome.

Authors are invited to submit an abstract of about 100-200 words, preferably electronically using MS Word for Windows.

Abstracts should include the full title of the paper, the authors and their affiliation, postal and e-mail addresses, telephone and telefax numbers.

Abstracts will be reviewed by the advisory committee, and authors will be notified of acceptance for oral or poster presentation. Detailed instructions on preparing the full manuscript will then be sent to the authors.

Abstracts should reach the secretariat no later than January 20, 2003.

### Proceedings

All papers accepted for presentation will be published in Proceedings to be made available at the conference.

For the benefit of all participants the language of the conference and all papers is English.

### Advisory Programme Committee

Professor Veli Kujanpää, Lappeenranta University, Finland  
Professor Fleming O. Olsen, Technical University of Denmark  
Professor Jens Klæstrup Kristensen, Force Technology, Denmark  
Professor Alexander Kaplan, Luleå University of Technology, Sweden  
Mr. Adalsteinn Arnbjörnsson, Technological Institute of Iceland  
Mr. Hans Fostervoll, SINTEF, Norway

### National Organizing Committee

Einar Halmøy, NTNU  
Arnt Ragnar Ramsland, SINTEF  
Jan Tønnesen, Velle Utvikling  
Pål Slotterøy, AGA AS

### Secretariat

Department of Machine Design and Materials Technology  
Norwegian University of Science and Technology  
Attn. Einar Halmøy  
R. Birkelands vei 2b  
NO-7491 TRONDHEIM, NORWAY  
Telephone: +47 73593768  
(Halmøy direct: +47 735 938 20)  
Fax: +47 735 941 29  
E-mail: [Einar.Halmoy@immtek.ntnu.no](mailto:Einar.Halmoy@immtek.ntnu.no)

### Important dates

|                                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| Receipt of abstracts:             | January 20 2003   |
| Notification of acceptance:       | February 20 2003  |
| Final date for receipt of papers: | May 1 2003        |
| Final date for registration:      | June 2 2003       |
| Conference:                       | August 4 – 6 2003 |

# Medlemmar

ABB PowerTechnology Products AB  
ABB Manufacturing & Consumer Industries AB  
AGA Gas AB  
Air Liquide Gas AB  
Alfa-Laval Lund AB  
AMADA/PROMECAM AB  
Arbetslivsinstitutet  
Bahco Metal Saws AB  
BFI Optilas AB  
BT Products AB  
Bystronic AB  
CEPA Laserteknik AB  
Dala Plåtteknik AB  
Duroc AB  
E. M. Eriksson Plåt AB  
ERASTEEL Kloster AB  
ESAB AB  
Faurecia Exhaust System AB  
Finnveden Technology AB  
Hackman Wedholms AB  
HIAB AB  
Huskvarna Prototyper AB  
Häggglunds Vehicle AB  
Institutet för Metallforskning  
IVF Industriforskning och utveckling AB  
Kendrion JV AB  
LaserCentrum i Gnosjö AB  
Luleå Tekniska Universitet  
Ingeniörsfirman Lundwall & Co AB  
MAPRO Lasersystem AB

Henrik Murray Consulting HB  
NUM Norden AB  
Optoskand AB  
Permanova Lasersystem AB  
Permascand Laser AB  
Permascand AB  
Plåtspecialisten AB  
Plåtspecialisten i Örebro AB  
Pullmax Ursviken Scandinavia AB  
Rotage AB  
Saab Automobile AB  
Salvagnini Scandinavia AB  
Sapa profiler AB  
Scania CV AB  
AB Skellefteå Laserteknik - LASAB  
SKF Sverige AB  
Spånga Allmontage AB  
SSAB Oxelösund AB  
SSAB Tunnbrått AB  
St Jude Medical AB  
Trestad Svets AB  
Trumpf maskin ab  
Volvo Aero Corporation AB  
Volvo Articulated Haulers AB  
Volvo Cars Uddevalla AB  
Volvo Personvagnar AB  
Volvo PV Komponenter AB  
Westlings Industri AB  
Östlings Märksystem AB

## NYA MEDLEMMAR

**Finnveden Technology AB**

Box 247  
335 25 GNOSJÖ

Kontaktperson

Telefon

E-post

Fax

Gösta Johansson

0370-33 16 02

gosta.johansson@fsmc.se

0370-992 44

**Optoskand AB**

Krokslätts fabriker 30  
431 37 MÖLNDAL

Kontaktperson

Telefon

E-post

Fax

Sven-Olov Roos

031-706 27 53

info@optoskand.se

031-86 46 12

## KONFERENSER och MÄSSOR 2003

**2003****Maj**

15 Laserdag och  
Lasergruppens årsmöte

**Juni**

23 – 26 Laser 2002, World of Photonics,  
München

**Juli**

7 – 9 IIW Annual Assembly, Bukarest

**Augusti**

4 – 6 NOLAMP, Trondheim  
Se separat notis.

**Oktober**

13 – 16 ICALEO 2003,  
Jacksonville, Florida



*God Jul  
och  
Gott Nytt år  
önskar vi på redaktionen*