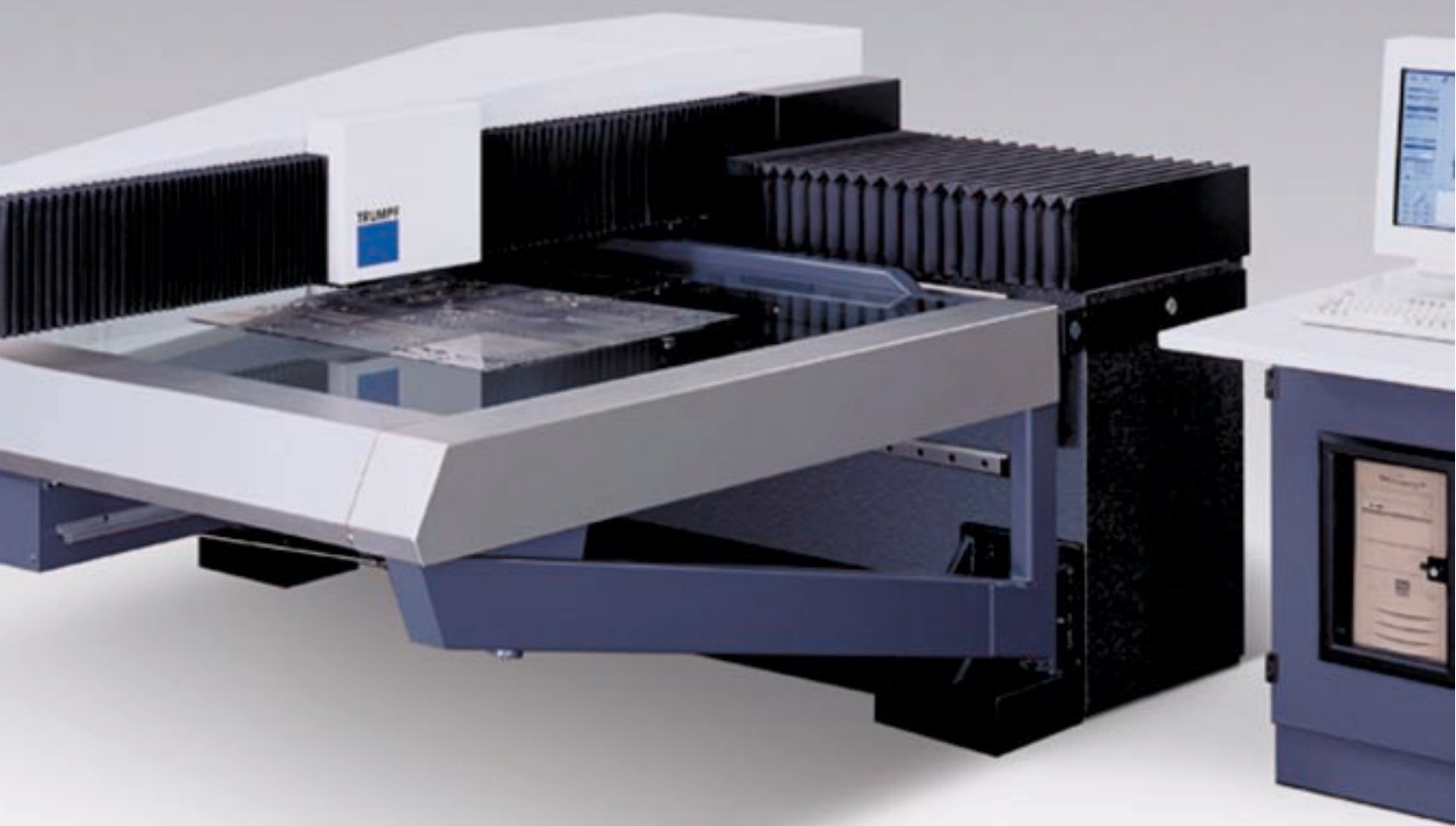


LASER

3-01

nytt



NOLAMP 8

Lasersvetsning ökar stadigt

Rapporter från EMO och Schweissen & Schneiden

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: per.westerhult@vi.se
Annika Wannerberg
E-post: annika.wannerberg@vi.se

Lasernytt på Internet

www.vibab.se/laser/

© Lasergruppen inom VI Sveriges Verkstadsindustrier
www.vi.se

- 2 NOLAMP 8
- 5 LaserWelding of Thick Structural Steels
- 12 LaserWelding of Copper to the Aluminium Alloy AA 2014
- 16 Energy Redistribution during CO₂ Laser Cladding
- 22 Laserdag hos SSAB Tunnpått
- 27 EMO 2001
- 31 Schweissen & Schneiden 2001 – allt för skärning och svetsning
- 34 Att välja gas för laserskärning

NOLAMP 8

Lasersvetsning ökar stadigt

Av
Hans Engström
Luleå tekniska universitet



Den 8:e nordiska laserkonferensen, NOLAMP 8, visade samma trend som de senaste åren av vad som pågår inom laser F&U världen i Norden, nämligen att det är svetsning som dominerar. Av konferensens 14 sessioner handlade 9 om någon form av svetsning. En total dominans med andra ord. Denna gång har hybridsvetsning seglat upp som en ny lovande teknik för bl a svetsning av tjockt konstruktionsstål.

NOLAMP 8 hölls i Köpenhamn i augusti och värdparet Professor Flemming O. Olsen och adj. Professor Jens K. Kristensen hade ordnat ett intressant konferensprogram av hög kvalitet. Sen minns vi också konferensbanketten som jag utan tvekan vill utropa till "den bästa hittills". Och sedan fortsatte trevligheterna på Tivoli och i Köpenhamns brusande nöjesliv, men det är en annan historia.

NOLAMP i ett nötskal

Vad lockar då 79 deltagare till NOLAMP? Kan det vara 44 föredrag inom 14 sessioner där som sagt nio handlade om lasersvetsning, två om allmän laserteknik, ett om vardera



Professor Flemming O. Olsen och adj. Professor Jens K. Kristensen var värdar för NOLAMP 8 i Köpenhamn.

skärning, ytbehandling och nya lasertyper. Ja säkert, för NOLAMP konferenserna har alltid varit av hög kvalitet, men jag tror nog att många också vill passa på att träffa den nordiska forskarvärlden för att underhålla och skapa nya kontakter. Och sedan naturligtvis träffa kollegor och "skvallra" lite.

Konferensartiklarna omfattar två volymer på totalt 411 sidor så att försöka presentera all information är inte att tänka på. Här är istället ett axplock av några föredrag som belyser NOLAMPs innehåll. De tre svenska tekniska bidragen presenteras också i sin helhet på annan plats i detta nummer.

Lasersvetstekniken godkänd

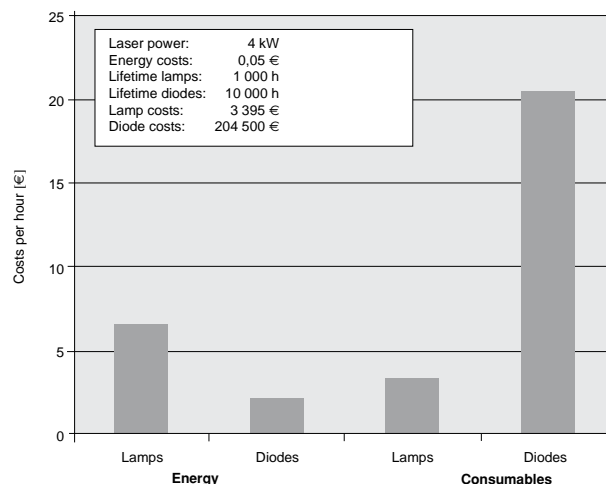
J. Bang Mikkelsen, Grundfos A/S, som är en av världens största pumpstillverkare med en årsproduktion av 40 miljoner pumpar, berättade om hur man infört lasersvetsteknik på företaget. Det startade 1993 och komponenten var impellrar till pumparna. Då var robottekniken inte tillräckligt noggrann utan man fick använda förenklade robotrörelser tillsammans med indexeringsbord. I dag svetsas 28 olika impellrar i fyra laserceller. En femte cell är nu under installation. Lasersvetstekniken innebär att Grundfos uppnår ca 50 % materialbesparing för komponenterna och det räcker mer än väl att få en pay-back tid under två år.

Jens Kristensen, FORCE Institutet presenterade en trendöversikt inom svetsområdet och konstaterade att hybridsvetsning är av stort intresse för att processen kan överbrygga spalter och ger högre svets hastighet utan nämnvärd ökning av värmeförlusten till materialet. Jens konstaterar också att klassificeringssällskapen nu godkänner slagseghetsprovning av lasersvetsar där sprickan går från den hårdare svetsen ut i det mjukare grundmaterialet. Man har också helt nyligen godkänt att svetsar där svetsparametrarna är framtagna enligt ett speciellt förfarande, s k ”weldability lob” för att undvika stelningssprickor och andra defekter, bara behöver genomgå normala rutiner för icke-förstörande provning. Tidigare krävdes 100% kontroll vilket inte är praktiskt genomförbart. Därmed har lasersvetstekniken tagit ett stort steg framåt inom varvsindustrin.

Diod- eller lampumpning

Tekniken att pumpa Nd:YAG-lasrar med dioder eller lampor har debatterats några år och debatten pågår fortfarande. **M. Ochs**, från HAAS Laser; Schramberg, presenterade deras syn på hur diodpumpningstekniken står sig i förhållande till den vanliga lampumpade tekniken. Den totala verkningsgraden för en diodpumpad Nd:YAG-laser beräknas till 14 % vilket kan minska till ca 10 % med åldrade komponenter. Genom att använda diodpumpning kan energikostnaden minska ca 70%. Dioderna är dock förbrukningsvara och behöver bytas efter ca 10 000 timmar. Även om detta är 10 gånger längre drifttid jämfört med lampor,

så blir kostnaden för utbyte av dioder 5 gånger högre än utbyte av lampor. Dessutom är investeringskostnaden ca 30% högre för en diodpumpad laser.



Figur 2. Kostnad för energi och förbrukningsvaror för lamp- och diodpumpad Nd:YAG-laser.

Så slutsatsen från M. Ochs blir att den lägre energiförbrukningen inte kan kompensera för högre investeringskostnader och högre kostnader för utbyte av dioder. Den diodpumpade laserns främsta fördelar ligger i tre gånger högre verkningsgrad och två gånger högre strålkvalitet. Detta kan omsättas i mindre lasrar; en diodpumpad laser på 4,5 kW kan byggas med sex kaviteter medan en lampumpad kräver nio. Den bättre strålkvaliteten kan utnyttjas för att t ex svetsa med längre fokallängder.

Skivlasern – framtidens laser?

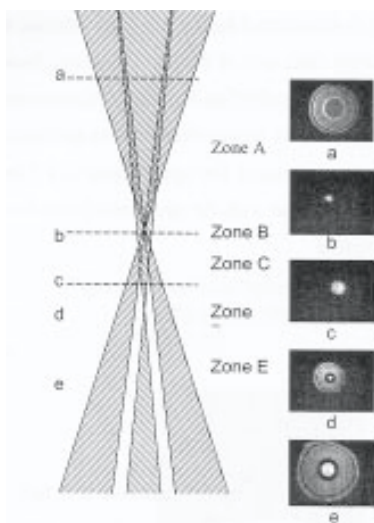
Diodpumpningen ger inte bara högre verkningsgrad. Den ger också möjligheter till att använda alternativa geometrier för det aktiva mediet, t ex tunna skivor. Detta utnyttjas i skivlasern där kristallen är en skiva med ca 10 mm diameter medan tjockleken är några tiondels millimeter. Ljuset som pumpar kristallen kommer från dioder och passerar kristallen flera gånger. Kristallen är monterad på en kopparskiva som ger kylning. Arrangemanget ger mycket mindre termisk distorsion av kristallen varför strålkvaliteten kan öka med en faktor fyra jämfört med diod pumpade stavar.

HAAS har framme en skivlaser på 1 kW med en strålkvalitet på 3 mm mrad. De testas just nu med 0,2 mm fiber för att svetsa aluminium. Effekten kan skalas uppåt genom att använda flera skivor i en kaviteter eller koppla samman flera kaviteter. Teoretiskt kan 7 moduler på 1 kW koppas till en 0.3 mm fiber och 19 moduler (19 kW) till en 0.5 mm fiber. Men påpekar M. Och avslutningsvis, framtiden får utvisa om dessa extrema lasrar kan realiseras.

Dubbelfokusoptik ökar skärprestanda

Laserskärning med dubbelfokus optik lanserades för något år sedan av Steen Erik Nielsen vid FORCE Institutet. Tekniken utnyttjar två fokalpunkter placerade ovanpå varandra i strålens utbredningsriktning. Den har nu undersökts vidare av John Powell, Laser Expertise Ltd och Steen Erik Nilsen/ M. Valkama, Rautarukki Steel OY som båda presenterade nya rön.

John Powell har analyserat laserstrålen i det intressanta området mellan fokalpunkterna och funnit att intensitetsfördelningen i strålens tvärsnitt är komplicerat och varierar längs strålen, figur 3.



Figur 3. Intensitetsfördelning för en dubbelfokuslins undersökt med HeNe laser.

Powell har också gjort skärtester på 12 mm rostfritt stål (316L) med 2,9 kW CO₂-laser där han har jämfört en dubbelfokuslins med en vanlig 7.5” meniscus lins vid högttrycksskärning (18.5 bar, nitrogen). Den testade dubbelfokuslinsen hade ett avstånd på 12.5 mm mellan övre och nedre fokalpunkt.

Resultaten visar att dubbelfokuslinsen ger högre skärhastigheter (+23%), smalare skärnitt (0.5 mot 0.86 mm vid överyta; 0.38 mm mot 0.5 mm vid underyta) och mera vinkelräta kanter med mindre slagg. Alternativt kan dubbelfokuslinsen ge bättre snittkvalitet om inte skärhastigheten är av högsta prioritet.

Nielsen/Valkama sammanfattar sina resultat för skärning av 12, 15 och 20 mm RAEX 250 C Laser med dubbelfokuslins på följande sätt:

- större parameterfönster för acceptabel snittkvalitet
- större tolerans för fokalpunktens positionering i vertikalled
- ytor med primer skärs lättare
- tillåter att ytor med tjockare primer kan skäras
- tendensen till okontrollerad förbränning av materialet minskar

Nielsen/Valkama fortsätter sitt arbete och ska optimera lins och munstycket samt fortsätta processutvecklingen för tjocka material. Steen Erik Nielsen meddelade avslutningsvis att den fortsatta utvecklingen av dubbelfokuslinserna har tagits över av Air Liquide i Frankrike.

Bystronic utmanar linjärmotordriften

Om vi fortsätter på temat laserskärning men nu vänder oss mot lasermaskinerna så pågår en debatt om linjärmotordriften för- och nackdelar. Linjärmotordriften har slagit igenom hos de flesta leverantörerna som nu har maskiner till försäljning. Bystronic däremot har tagit en annan väg berättar Pieter Schwarzenbach, Bystronic, Niederörs, när han går igenom teknologin för avancerad laserskärning för kostnadseffektiv industriproduktion. Han noterar det eliminerade slitaget på kuls kruvar och kuggstänger, men ber oss observera den stora vikten på statorn vilket kan ge reducerad dynamik speciellt vid långa axlar. Han menar också att de stora krafterna mellan motor och stator måste observeras vid konstruktionen av linjärstyrningarna. Ju större massa som förflyttas och ju större acceleration som uppnås, desto större vikt krävs i maskinfundamentet för att ta upp de dynamiska krafterna. En kompromiss kan vara att ha en lång ”långsam” axel och en överlagrad lätt och snabb axel. Schwarzenbach menar också att det kan vara ett stort problem att undvika att metall damm från skärprocessen attraheras av statorns magnetfält.

Bystronics alternativ är direkt kuggstångsdrivning med skivmotor vilket ger lätt vikt på statorn. Problemet med metall damm är eliminerat och krafterna mellan stator och rotor är utbalanserade via den cirkulära konstruktionen. Dessutom multipliceras den elektriska drivkraften med kvoten mellan radien på rotorn och radien på pinjongen.



Figur 4. Jämförelse mellan resulterande krafter för linjärmotor och skivmotor med kuggstångsdrivning.

Framtiden

Jag vill avsluta detta referat från NOLAMP 8 med Jens Kristensens summering av konferensen. Jens konstaterar att NOLAMP fortsätter sin tradition att presentera föredrag av hög kvalitet, vilket naturligtvis speglar en aktiv och hög internationell kvalitet på det F&U arbetet som bedrivs

i Norden inom laserområdet. Sen är NOLAMP också en trevlig tillställning med rikt utbyte av sociala kontakter.

Fördelningen av föredrag bland de olika metoderna visar att svetsning ökar, skärning är ungefär konstant medan ytbehandling och föredrag inom övriga områden minskar.

Jens Kristensen gjorde också en utblick mot framtiden och berättade att han förutser:

- Lasersvetsning i alla tjocklekar kommer att fortsätta att växa. Hybridsvetsning kommer att öka.
- Skärning av tjockt material kommer att fortsätta att utvecklas
- Mikrobearbetning kommer att få större betydelse
- Kontroll och övervakning av svetsprocessen blir alltmer viktig
- Diodpumpade Nd:YAG-lasrar kommer att ersätta CO₂-laser för 3D-svetsning
- CO₂-laser kommer att fortsätta att dominera planskärning och svetsning av tjockt material
- Diodlasern kommer speciellt för ytbehandling

NOLAMP till NORGE

Nästa NOLAMP återvänder hösten år 2003 för tredje gången till NORGE och därmed har konferensen passerat de nordiska länderna två gånger sedan starten 1987. Professor Einar Halmøy från Norges Tekniska Högskola, Trondheim blir värd för den tillställningen. Han lovade ett bra arrangemang och trevlig atmosfär.

Intresserad av mera skriftlig information från NOLAMP? Kontakta då:

Technical University of Denmark
Dept. of Manufacturing Engineering and Management
Building 424
DK-28000 Kgs. Lyngby
Tel: +45 45 25 48 00
Info@ipl.dtu.dk
Order No: IPL-088-01

Laser Welding of Thick Structural Steels

Hans Engström¹, Klas Nilsson¹, Jan Flinkfeldt¹, Tony Nilsson², Anders Skirfors³, Marcus Miller⁴

1 Luleå University of Technology, S-971 87 Luleå, Sweden

2 SSAB Tunnpå AB, S-781 84 Borlänge, Sweden

3 SSAB Oxelösund AB, S-613 80 Oxelösund, Sweden

4 Volvo Articulated Haulers AB, S-351 83 Växjö, Sweden

Abstract

Laser welding of thick steel has been further developed providing high quality welds with minimum distortion at high speeds. Laser welding also gives new design opportunities. These properties have the potential to positively influence the manufacturing process, by shortening of production and lead times, as well as reduction of the amount of materials used.

In this paper results are presented on laser welding of thick structural steels used in the heavy mechanical and heavy automotive industry. The results include welding parameters for high power lasers up to 17 kW, weld metallurgy, static and dynamic weld strength of test specimens and components designed for laser welding.

Keywords: laser, welding, steels, thick, structural

1 Introduction

Industrial use of high power lasers for welding steel plate thicker than 5 mm is so far limited compared to their use in thin gauge applications and mass production of machined components. The need for a significant new welding process has been obvious for some time due to the known limitations of existing welding techniques as far as heat input and deformation, welding speed and process economy, work environment and potential for weld process automation are concerned.

R&D projects in ship building industry [1, 2, 3, 4] have been successful and the laser welding method is now accepted by the major classification organisations. These projects report full penetration in 12 mm I-, and T-joints using lasers of up to 14 kW. Joint gaps of up to 1,5 mm, were coped with and the mechanical strength, including fatigue strength, of the resulting joints were reported at least as

good as those obtained by arc welding. Impact toughness was reported to be substantially improved compared to arc welding. However, the sulphur and phosphor content of the steel was found to be more critical for the strength qualities in laser welding than for conventional welding. Other recent studies [5] investigated the influence of laser parameters and material composition on the formation of solidification flaws. Techniques to avoid such welding defects by the combined control of steel composition and welding parameters were presented. Laser welding of thick construction steels for the heavy automotive and heavy mechanical industries [6] has demonstrated excellent welding results in a number of high strength cold forming, structural and wear resistant steels. With recently developed high power lasers, penetration depths of up to 20 mm have been reported [7].

The aim of the current project was to develop the laser welding technique for thick plates ≥ 8 mm of structural steels of different types and strengths and to define the possibilities and limitations for laser welding materials of this type and thickness.

2 Experimental

2.1 Laser equipment

The majority of the experiments were performed by using laser II. The experimental set up is shown in figure 1.

2.2 Steel grades

Domex steels ≥ 8 mm. Four steel grades of Domex cold forming steels were included in the tests: Domex 460 MC (8 mm), Domex 600 MC (8 mm) and Domex 355 XP (10 mm) and Domex 390 XP (10 mm), table 2. Domex cold forming steels are high strength hot rolled strip with improved formability in comparison to conventional construction steels. The mechanical properties of the steels tested are shown in table 2. The chemical composition of these steels can be characterised by their low carbon content and very small quantities of non-metallic inclusions, which increases the steel's bendability. The required strength levels are achieved by small additions of micro alloying elements (Nb, Ti, V) in combination with thermo-mechanical rolling in the hot strip mill. In relation to their strength, the carbon equivalent values of Domex steels are very low.

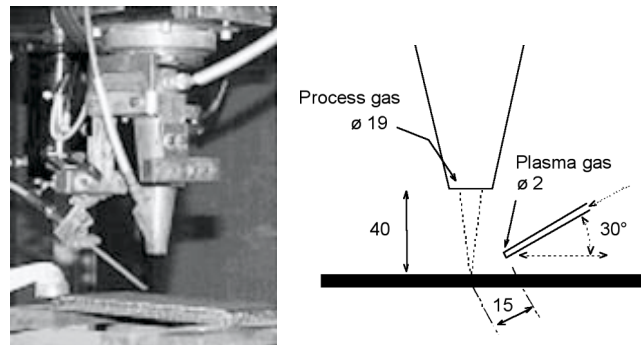


Figure. Experimental set-up (Laser II)

Table 1. Laser equipment used

Laser	I	II
Power [kW]	12	17
Focal length [mm]	270	300
Beam diameter in focus [mm]	0,5	0,8
Double focusing optics	0,6 mm between focal spots	
Shielding gas	He	He
Shielding gas arrangement	"Ring nozzle" ¹	Coaxial nozzle + plasma gas
Workstation	Moving laser beam, fixed work table	Fixed laser beam, x/y-table

¹ The ring nozzle has 4 holes $\phi 1,2$ mm placed in a ring around the laser beam

Table 2. Mechanical properties of the Domex steel samples.

Steel grade	$R_{p0,2}$ MPa	R_m MPa	$A_5 (A_{80})$ %	Charpy-V J/cm ² /C
Domex 355 XP 10 mm	376	462	38 (41)	344 / -20
Domex 460 MC 8 mm	523	616	19 (19)	223 / -20 220 / -40
Domex 600 MC 8 mm	674	749	22 (23)	103 / -20 80 / -40
Domex 390 XP 12 mm	410	507	28 (32)	363 / -20 295 / -40

The testing direction was transverse to the rolling direction for the tensile tests for Domex 355 XP and Domex 390 XP and longitudinal for tensile tests for Domex 460 MC and Domex 600MC and the Charpy specimen.

Table 3. Mechanical properties for WELDOX and HARDOX steels tested

Steel grade	T mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	A5 %	Charpy V J/°C	Hardness HB	CE _{IW} ³
WELDOX 960	10	1027	1073	13	35/-40 ¹	-	0,55
HARDOX 400	10	--	--	--	--	408	0,37
HARDOX 400	15	989 ⁴	1250 ⁴	12 ⁴	80/-40 ^{2,4}	400 ⁴	0,38

1) Specimen size 7,5x10 mm

2) Specimen size 10x10 mm

3) CE(%) = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Cu+Ni)/15 (according to IIW)

4) Typical values

Experiments were also done using structural (WELDOX) and wear resistant (HARDOX) steels. In the current investigation one high strength structural steel, WELDOX 960, and one wear resistant steel, HARDOX 400, were laser welded. The mechanical properties of these materials are shown in table 3.

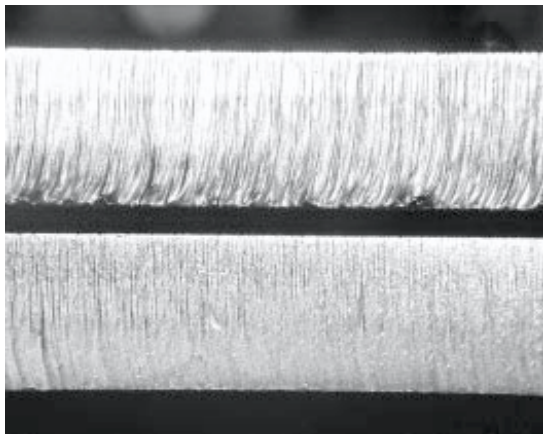
2.3 Joint types and joint preparation

Experiments have been made using different joint types and joint preparation

- i) I-joint (butt weld) autogenous, lasercut or milled edges
- ii) I-joint (butt weld) filler material, laser cut or milled edges
- iii) V-joint filler material
- iv) Edge joint 90°
- v) Edge joint 45°

The filler materials used were ESAB OK Autrod 12.51 and 12.64.

The oxides on the laser cut edges were removed by mechanical brushing. The cut quality was varying because different cutting machines were used at the industrial par-



Domex 390 XP 12 mm

Cutting machine 1 (above) Cutting machine 2 (below)

Figure 2. Examples of surface appearance for laser cut edges.

ticipants in the project and because cutting was made at different occasions. Typically the R_z-value varied for Domex 390 XP 12 mm between 18-33 mm and for Domex 355XP 10 mm between 12-17 mm. But it must be noticed that the R_z-value does not characterize the cut quality totally. Figure 2 shows some different cut qualities achieved by the different cutting machines used.

3 Results

3.1. Domex steels, summary

The steels tested are presented in table 2. For all welds referred to in this paragraph, the welds are butt welds in one pass and all edges were laser cut. Filler material was used only when welding Domex 390 XP 12 mm, which also was welded without filler material. The laser power used was 11-17 kW and welding speed were 1200-2100 mm/min, which gives an energy input of 0,3-0,70 kJ/mm. This is only about 1/3 or less of the energy input for conventional methods like MAG-welding. It must also be noticed that MAG-welding sheet thicknesses of 8-10 mm requires several weld passes.

The samples selected for this evaluation was selected to be free of solidification flaws. X-ray investigation did not show any other defects in the weld metal. The hardness in the weld metal was increased, but no softening of the heat affected zone could be noticed. Figure 3 shows the hardness and weld appearance for Domex 355 XP, 10 mm and Domex 600MC as examples.

All welds shows good mechanical properties like strength and elongation. The failure has always occurred in the substrate beside the weld metal. All welds passed the bending test (V-bend, 120 deg., mandrel diameter 4x sheet metal thickness). Also the impact strength showed acceptable values, as all specimens passed -20 °C and many also -40 °C and -60 °C.

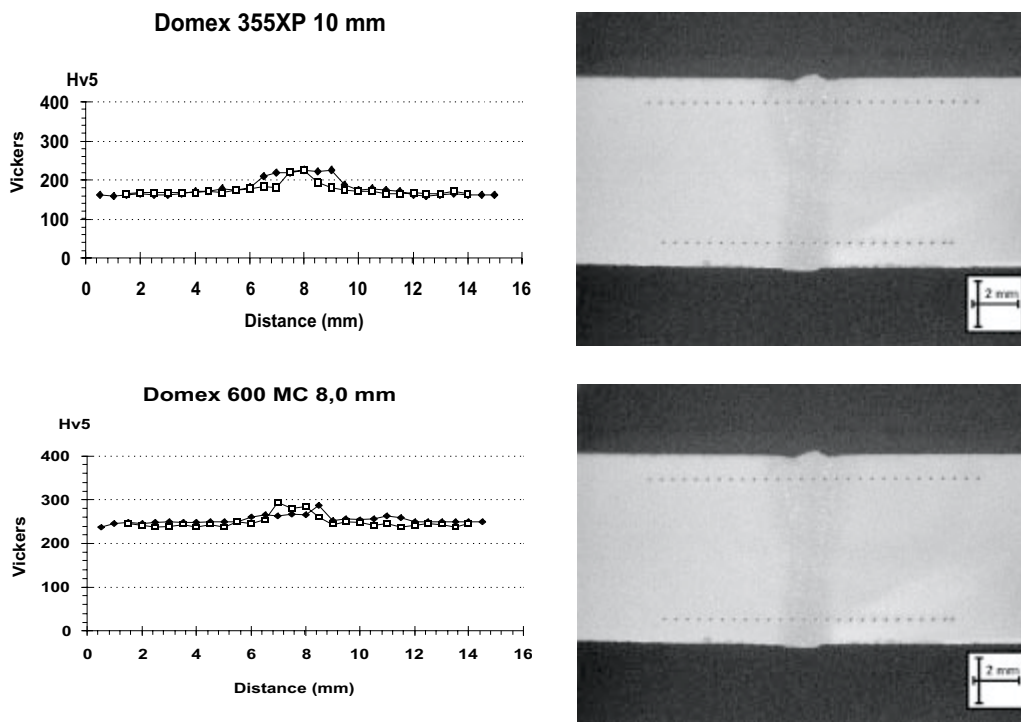


Figure 3. Hardness and weld appearance for Domex 355 XP and Domex 600MC, autogenous welding, laser cut edges.

3.2 WELDOX and HARDOX steels, summary

Autogenous laser welding has been done using various heat input in WELDOX 960 (10 mm) and HARDOX 400 (10 and 15 mm). The edges were machined by milling in all welds.

Generally the weld quality was very good. A few welds showed a few pores. No cracks or other defects could be observed, figure 4, although the penetration was as much as 21 mm in some samples.

All welds showed very high strength, in all cases exceeding 1000 MPa, table 4. In WELDOX 960 all failure was located in the base material and the elongation (A50) was more than 20%. The welded joints in WELDOX 960 do not fulfil the requirements of the impact toughness for the base material (20J at -40°C , specimen size 7,5x10 mm), but for many applications the impact toughness is quite suffi-

cient. The welded joints in HARDOX 400 obtain good impact toughness for cooling times $\Delta t_{8/5}$ (cooling time between 800 to 500 $^{\circ}\text{C}$) of 2 s. For most applications the impact toughness is quite sufficient for $\Delta t_{8/5}$ of 1 s.

3.3 Solidification flaws

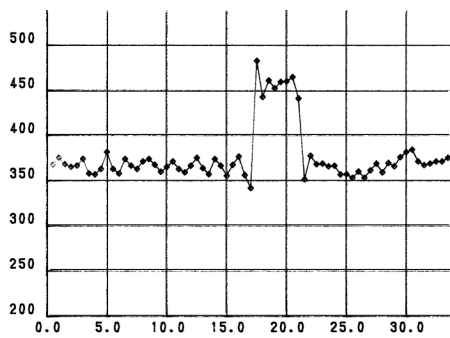
Solidification flaws are a welding defect that appears in laser welding of thick steels. In this investigation these defects have been observed primarily for the thickness of 12 mm. The solidification flaws appear both as small ($\approx 1\text{mm}$ long) defects as well as long continuous defects along the whole length of the specimen (200 mm or more). Analyses shows that these defects can be considered as a kind of binding defects like a longitudinal pipe along the weld.

The defects are located in the centre of the weld and normally in the middle or 1/3 up in the direction of the

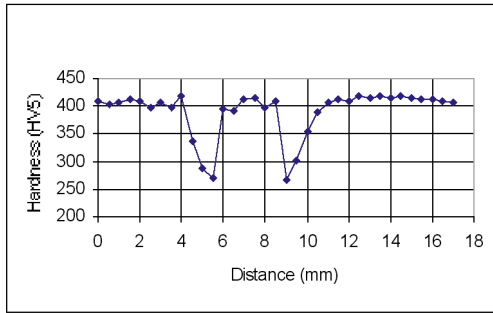
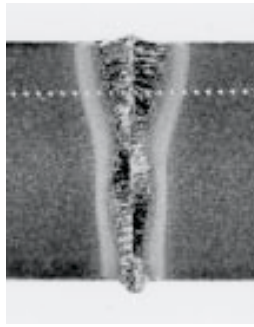
Table 4. Tensile strength¹ and impact toughness for laser welded WELDOX 960 and HARDOX 400.

Material	T [mm]	$\Delta t_{8/5}$ [s]	RP 0,2 [Mpa]	Rm [MPa]	A50 [%]	Fracture position	Charpy V toughness ⁵ -40°C [J] WM ³ /HAZ ⁴
WELDOX 960	10	6	1036	1088	24	BM ²	18/18
	10	2	1032	1086	23	BM	15/15
HARDOX 400	10	5	1032	1058	4	HAZ	20/22
	10	2	1108	1213	6	HAZ	30/15
	10	1	1114	1230	7	HAZ	23/20
	15	5	1011	1108	8	HAZ	30/27

1 According to EN 895 2 Base material 3 Weld metal 4 1 mm from fusion line 5 Specimen size 7,5x10mm



WELDOX 960 10 mm



HARDOX 400 10 mm

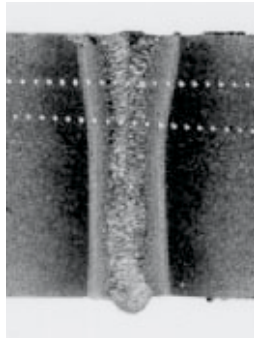


Figure 4. Hardness (HV5) and weld appearance for WELDOX 960 (10 mm) and HARDOX 400 (10 mm).

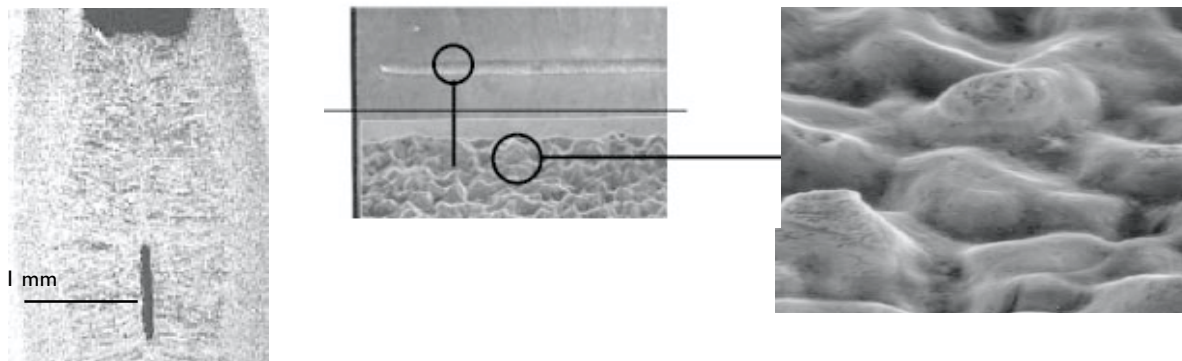


Figure 5. a.) Solidification flaw in laser welded cold forming steel; b.) SEM picture of the surface in the solidification flaw (upper part 40x, lower part 400x), c.) detail of surface from picture in 6b 2000x.

thickness. It can be assumed that the materials on the opposite sides of the flaw have been pulled apart just before solidification and the solidification has occurred without contact between the two sides. Figure 5a shows a typical solidification flaw and 5b and 5c shows the surface of the flaw. A typical dendrite structure can be observed.

These solidification flaws have been noticed in all experimental series for 12 mm thickness for the cold forming steel at both high and low welding speeds. As can be noticed from figure 5a, a significant widening of the weld metal can be observed at the location of the flaw. This is characteristic for the formation of the flaw. Different laser parameters like the focal point position can influence the geometrical shape of the weld and hence influence the formation of the solidification flaws.

trical shape of the weld and hence influence the formation of the solidification flaws.

3.4 Process windows

A special procedure, the welding envelope, (WE) developed by researchers at the FORCE Institute in Denmark has been used to identify the process windows where there are no solidification flaws or other defects like pores or extensive undercut (at low speeds). The WE is obtained by bead-on-plate welding at different power levels using different welding speeds and the welds are examined by x-ray. A typical process window for cold forming steel, DOMEX 390XP, 12 mm is shown in table 5.

Table 5. Typical process window for defect free welds in DOMEX 390XP, 12 mm. The shaded area indicates the defect free areas. Bead-on-plate laser welding.

Power [kW]	Welding speed [mm/min]							
	500	700	900	1100	1300	1400	1500	1600
11	500	700	900	1100	1300	1400	1500	1600
14	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
17	1000	1200	1500	1800	2000	2200	2400	2600

Welding envelopes have been established for 10 and 12 mm DOMEX and 10 mm HARDOX both for laser cut and machined surfaces as well as for autogenous welding and welding with filler material. The welding has been done at different occasions, normally at intervals of two to four months. The results have not been consistent from time to time; instead variations in the welding results have been experienced. Figure 6-8 shows typical process windows obtained by the WE-procedure for real butt joints.

It must be observed that the dotted lines in figure 6-8 only indicate the area of the process window where defect free welds can be obtained.

3.5 Influence of focal position and double focusing optics

As shown in figure 5, the solidification flaw normally appears in the centre of the weld metal and the formation of the flaw is regarded to be partially depending of

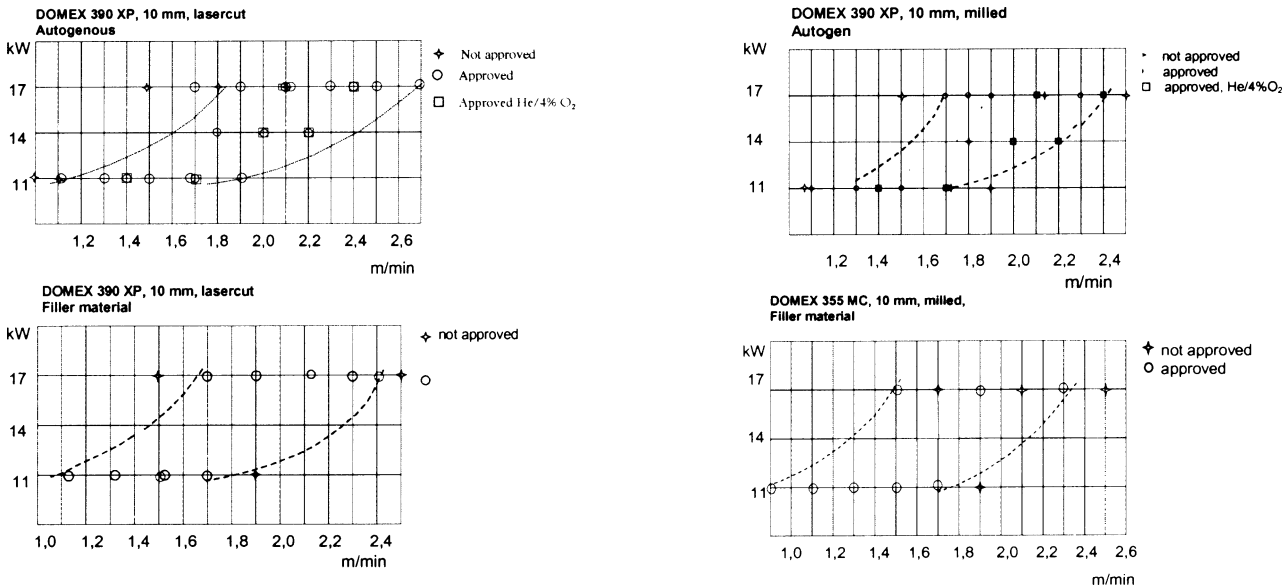


Figure 6. Process windows for DOMEX 390XP and DOMEX 355 MC. Plate thickness 10 mm, filler material Esab OK Autrod 12.5 I, Laser II, butt joints.

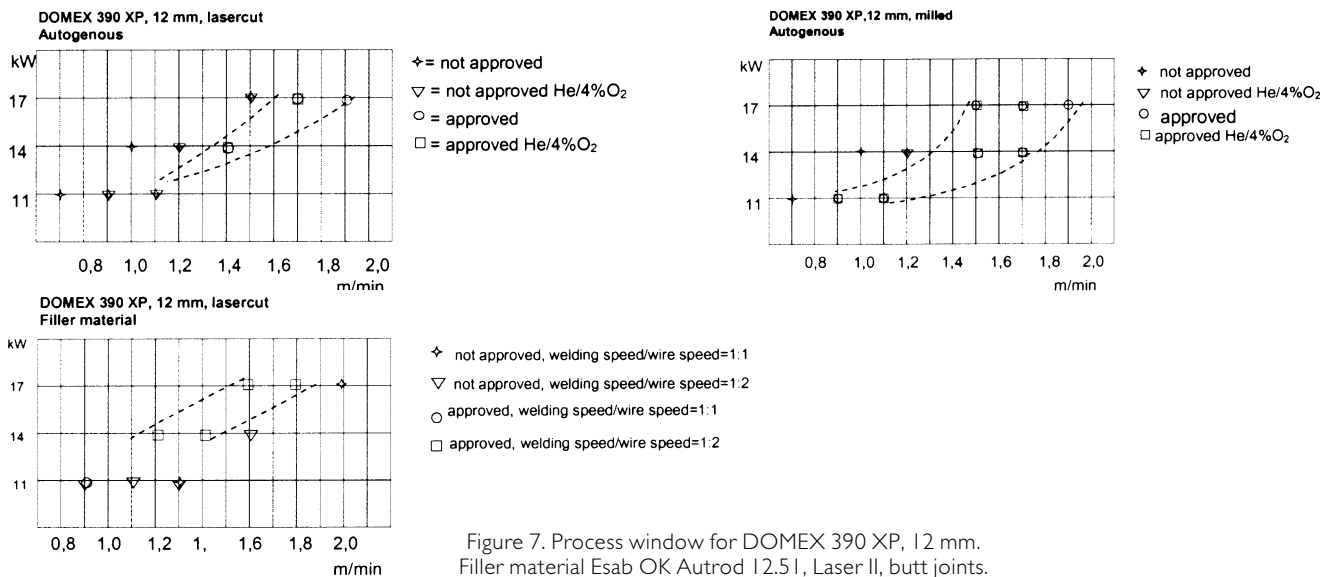
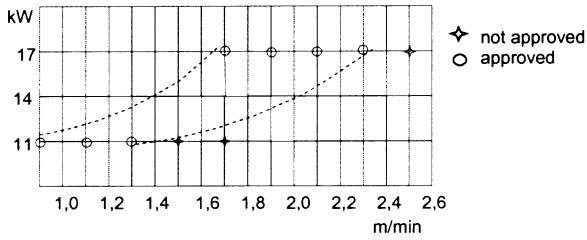


Figure 7. Process window for DOMEX 390 XP, 12 mm. Filler material Esab OK Autrod 12.5 I, Laser II, butt joints.

Hardox 400, 10 mm laser cut
Autogenous



Hardox 400, 10 mm, laser cut
Filler material

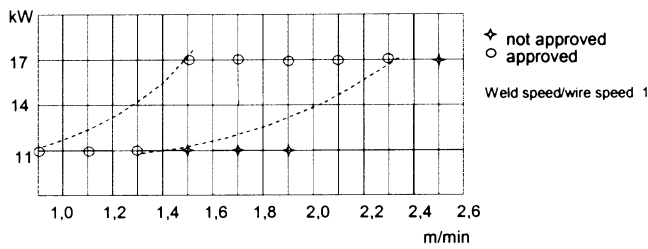


Figure 8. Process windows for HARDOX 400, 10 mm. Filler material Esab OK Autrod 12.5 I, Laser II, butt joints.

the broadening of the weld metal. The weld geometry can be modified by e.g. changing the focal point position. Experiments have been done using Laser I in 10 and 12 mm DOMEX 390 XP and defect free welds can be obtained as shown in figure 9.

Thickness [mm]	Focal point position [mm]	Weld geometry	Welding Speed [m/min]	Weld quality
10	+5		1,5	Approved
			1,8	Approved
	-5		1,2	Approved
12	± 0		1,5	Approved
	-5		1,5	Approved
	± 0		1,5	Not approved
	+5			Not full penetration

Figure 9. Weld geometry (schematic) as a function of focal point position. DOMEX 390XP 12 mm, Laser I (±0 at workpiece surface)

Also experiments using a laser beam divided in two focal spots at 0,6 mm distance has been tried, both where the points have been oriented parallel (L) and perpendicular (P) to the welding direction. The P-orientation showed acceptable results for 10 mm material, both when the edges were laser cut and milled. The L-orientation showed solidification flaws in the laser cut material. In 12 mm material only milled edges shows acceptable results, for both focal point orientations.

3.6 Fatigue test

A box beam, shown in figure 10 has been laser welded from DOMEX 355XP, where the thickness of the top and bottom parts are 8 mm and the rib 10 mm. The torsion fatigue strength has been evaluated and the result is shown in figure 11. These tests indicates that the torsion fatigue is significantly increased (>50%) by the laser welding process compared to conventional welding.

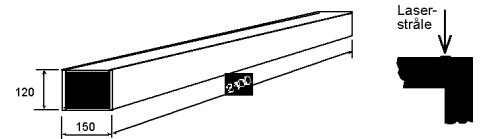
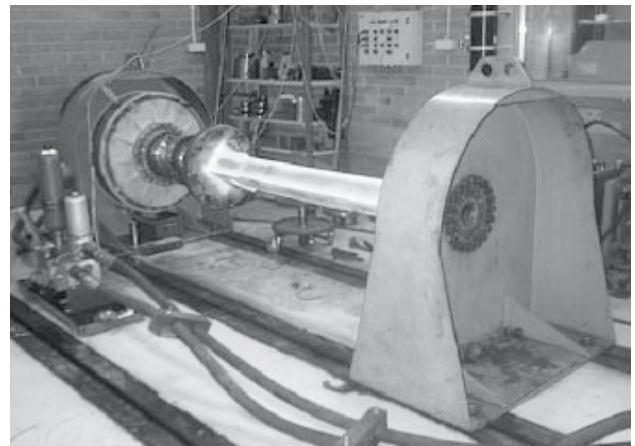
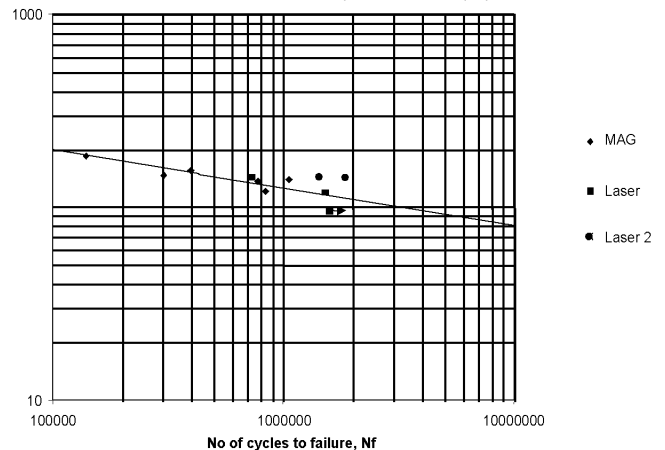


Figure 10. Design of laser welded box beam and torsion test equipment.

Figure 11. Torsion fatigue for laser welded box beams compared to MAG-welded. Laser welds made at different occasions and by different equipment



4 Conclusions

Two different lasers, 12 and 17 kW maximum output power has been used in this investigation. Laser I (12 kW) demands machined edges in normal autogenous laser welding. Welding of laser cut edges in 10 mm Domex 390XP requires double focusing optics where the focal points are oriented perpendicular to the welding direction. Defect free welds in 12 mm Domex 390XP can be achieved for machined edges. V-joints (7.5 degrees) has also shown defect free welds. Laser II (17 kW) gives a larger focal spot and together with the higher power, it is possible also to obtain defect free welds for laser cut edges in 12 mm Weldox 390XP.

For materials thickness to 10 mm fairly large process windows have been obtained, At 12 mm the process windows are reduced and it is recommended to use milled edges or filler material if laser cut edges are to be welded. We recommend making investigations of the process windows in the planning for industrial use of laser welding for thickness of 10 mm or larger.

The torsion fatigue strength of laser welded box beams is increased by >50% compared to welding of traditionally designed MAG-welded beams.

Laser welding of thick steels is considered as a most interesting and promising welding process with a large economic potential. But there is a need to further adapt this process for industrial use and to increase the understanding of the welding process in particular the interaction between laser parameters, edge preparation and the material composition.

5 Acknowledgements

This investigation has been performed within the frame of RACER, a national Swedish R&D-programme financed by NUTEK and the Swedish industry. The financial support is greatly acknowledged. The authors would also like to thank the steering committee for the RACER programme for valuable input and discussions.

6 References

1. Russell, J.D. SPIE Vol. 3097, 1997
2. Russell, J.D. Laser Weldability of C-Mn Steels. IV-744-99
3. Proc. Int Conference Exploitation of Laser Processing in Shipyards and Structural Steelwork. Glasgow, 30-31 May 1996, TWI, Abington Hall, Abington, Cambridge CB1 6AL, UK.
4. Bell J., High-power lasers weld ship-shape structures. Opto & Laser Europe, May 1996, pp17-21.
5. Kristensen, J.K. et al. Solidification Flaws in Laser Welds of Structural Steels – Materials and Process Aspects. 7th Nordic Conference in Laser Processing of Materials. Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta, Finland, Aug 23-24, 1999, ISBN 951-764-350-0.
6. Engström H. et al High Power Laser Welding of Thick Construction Steels. Proc, ICALEO 1999, San Diego, USA
7. Wegman H.G et al, Hohe Automatisierung durch richtungsweisenden CO₂-laser für den Schiffsbau. Lazer Magazin 1/98. pp 6-9.

Laser Welding of Copper to the Aluminium Alloy AA 2014

C. Lampa¹, M. Nilsson¹, H. Holmqvist²

1 IVF Industrial Research and Development Corporation Argongatan 30, SE – 431 53 Mölndal, Sweden;

2 Lasertech LSH AB, Box 106, SE – 691 22 Karlskoga, Sweden

Abstract

This paper describes the replacement of electron beam welding with Nd:YAG laser beam welding for a component where a cone made of 99,95 % pure copper is to be joined to the inside wall of a tube made of a precipitation hardened aluminium alloy AA 2014 (ISO Al-Cu4SiMg). It is

well known that copper and aluminium alloys are difficult to join together by fusion welding methods because of their difference in material and physical properties, such as melting temperature, thermal conductivity and thermal expansion coefficients. In this work it is however shown that if special care is taken, joints with satisfactory properties

can be achieved with a high power Nd:YAG laser and by using the opposite sector welding method. In this case special care includes measures to ensure that residual tension after welding is minimized and evenly spread. It is done by proper fixturing and by use of the opposite sector welding method, a method that is explained more in detail in this paper. Special care also involves minimizing of brittle intermetallic phases by limiting the amounts of material being mixed during welding.

Keywords: laser, welding, aluminium, copper

1 Introduction

The ever-increasing demands of manufacturing industries have resulted in a commercial interest in techniques capable of welding metal combinations that were previously thought to be more or less unweldable. The automotive, military, and aerospace industries have, as usual, led the way in developing techniques such as friction welding steel to aluminium to produce high-strength low-weight components. Aluminium has also been joined to brass and copper in this way but the process is limited in application because one component of any pair must be capable of being rapidly rotated about an axis of symmetry [1].

A more generally applicable joining technique that can be used for dissimilar and difficult metal combinations is laser welding. Laser welding of dissimilar metals, such as laser welding of copper to stainless steel [2] and of steel to aluminium [3], has increased in interest lately due to the possibility of tailor made constructions. Joining of aluminium to copper by using laser technology has previously been investigated by the author [4]. In that specific case tin was used as filler metal in between the components to be joined.

The success or failure of welding between dissimilar metals depends on the physical properties of the materials involved (melting points, thermal conductivity, atomic sizes and thermal expansion coefficients etc.). Weldability is established in most cases by empirical methods but analysis of the relevant alloy phase diagram can predict problems. For example, if intermetallic compounds are formed the welds may be brittle and if there are large differences in melting points, segregation of high and low melting point phases can cause hot cracking. This type of cracking can also be generated as a result of shrinkage stress if the thermal expansion coefficients of the two metals are substantially different. Levels of residual stress are also dependent of Young's modulus of elasticity and yield points of the materials involved.

This paper discusses an application where the dissimilar metals involved (copper and aluminium) have large differences in melting temperatures and are also expected to form very brittle intermetallic phases.

2 Theoretical discussion

Aluminium and copper are a difficult combination to weld together by many reasons. Firstly they have a substantial difference in melting points, 933 K and 1358 K for pure aluminium and pure copper respectively, and secondly they easily form brittle intermetallic phases when mixed, which can be seen by analysing the phase diagram in Fig. 1.

If an intermetallic phase can be limited to thickness of 10 mm or even less, it will not affect the strength of the joint [3]. One method to limit the growth of these intermetallic phases is to use a welding method with rapid heating and rapid cooling. Such welding methods are electron beam welding and laser welding.

Thermal conductivity is another material property that causes problem in welding of both copper and aluminium. High thermal conductivity materials require high energy input in order to melt the material. This is because the heat rapidly escapes away from the welding zone. At room temperature the thermal conductivity is $390 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ in copper and $145 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ in AA 2014. In comparison with steels, this is in the order of 10-20 times higher. Examples of material properties of the materials involved in this investigation are listed in Tab. 1

Both copper and aluminium shows high reflectivity for laser light of 1,06mm wavelength. At room temperature (293 K) and normal incidence the reflectivity of Nd:YAG laser wavelength is approximately 95% for aluminium surfaces and about 98% for copper surfaces. This can be compared with steel surfaces that reflect about 65% of this specific laser wavelength under the same conditions.

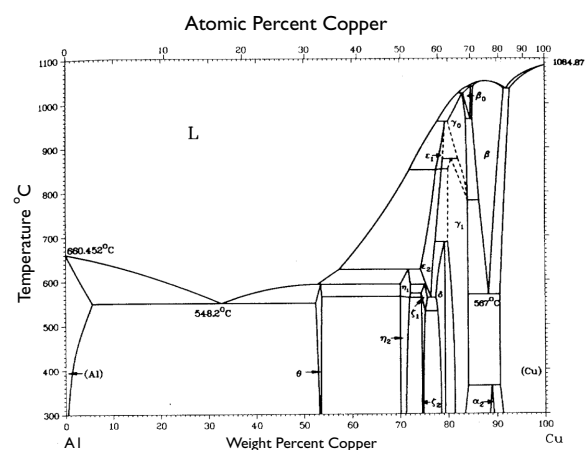


Figure 1. Aluminium – Copper phase diagram [5].

	Melting temperature (K)	Density (kgm ⁻³)	Thermal conductivity (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	Young's modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)
AA 2014	793-913	2 800	145	70	475
Cu (99,95%)	1358	8 930	390	120	250

Table 1. Material properties of AA 2014 and 99,95 % pure copper at 293 K

3 Experimental work and discussion

The subject of this work is to replace an electron beam welded joint with a laser welded one, without any modifications in the design of the component. The component consists of a conical shaped copper piece (99.95% Cu) inside a tube made of an aluminium alloy (AA 2014). The main part (80%) of the laser beam is focussed onto the aluminium alloy surface close to the interface between the wide end of the copper piece and the inner surface of the aluminium alloy tube, see Figure 2. For this study a continuous wave 2 kW Nd:YAG laser (Rofin-Sinar CW 020) with a fibre optic beam delivery system was used. The laser beam travels through the optical fibre (600mm diameter) to the focussing optic mounted on a robot (ABB IRB 2400 S4). The focal length of the optic is 120 mm. The component to be welded is fixtured on a rotating table that can be set to rotate with a constant speed. For the best results the laser was used in a pulsed mode. The parameters used are seen in Table 2.

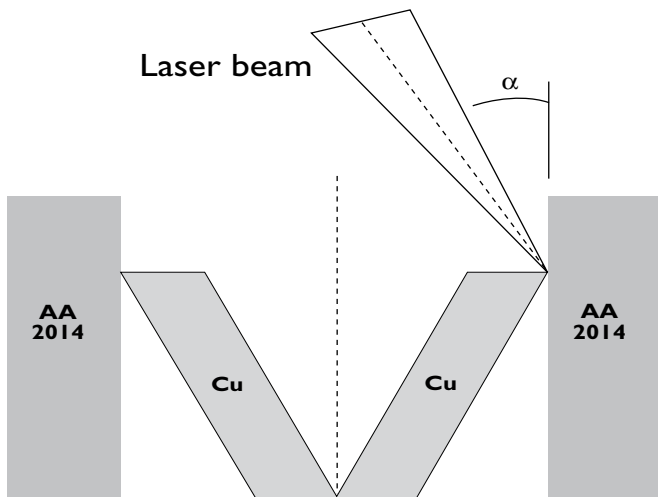


Figure 2. Schematic that shows the two materials being joined by a focused laser beam.

A very important factor is where at the joint the focused laser beam will hit the component. Due to the higher reflectivity of copper than aluminium, it is not possible to initiate a weld on the copper surface with this equipment. Therefore the larger portion of the laser beam has to be focused on the aluminium part of the joint. However, if the laser

beam is focused too much on the aluminium side of the joint there will be no weld between the two materials. Additionally, if the fixture is not rigid enough, the portion of the laser beam hitting the aluminium side will fluctuate during the whole lap, resulting in a bad weld.

Table 2. Laser welding parameters

Peak power:	5 kW
Pulse length:	2 ms
Pulse frequency:	170 Hz
Focal length:	120 mm
Welding speed:	3 m/min
Shielding gas:	Argon (30 l/min)
Incident angle, α :	20°

When welding this component in one turn or lap it is noticed that thermal distortion due to residual tension misaligns the copper and aluminium parts. One solution to this problem is to use two or three fibre optic beam delivery systems in order to distribute the laser power more even around the joint to be welded. The disadvantage of such method is that instead of 2 kW laser power, 4 or 6 kW (2 kW in each fibre) respectively would be needed. In this work however only one fibre is available.

Another solution that is easier and cheaper than using more laser power and/or more fibre optic beam delivery systems, is successfully used in this work. This solution is named *the opposite sector welding method*. In this case the lap to be welded is divided in sectors as shown in Figure 3. The sectors are then welded in the order as the numbers indicate.

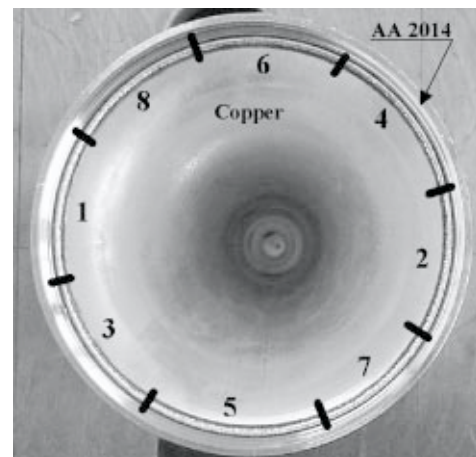


Figure 3. This figure shows a laser-welded component. The numbers indicates the sectors and in which order they are welded by using the opposite sector welding method.

3.1 Evaluation of the weld quality

The quality of the weld and the welded component was evaluated by a strength test and by a metallographic investigation. The strength requirement on the component is to withstand an axial load of 7800 N. In weld shear strength it is equivalent to 35 MPa if the weld width is 1 mm. The tensile strength of both the copper and the aluminium alloy is far above this value.

Successfully welded components can withstand an axial load of over 30 000 N. At this load the failure is in the copper cone.

The metallographic investigation revealed that totally crack free welds were not achieved during this experimental program. **Figure 4** shows the weld cross section of an electron beam welded component. As can be seen the electron beam has been directed to the copper side of the joint. A high amount of copper has been melted and in **Figure 5** small cracks in the close vicinity of the aluminium can be seen. The replacement of electron beam welding with laser beam welding required a different approach as mentioned earlier. To be able to couple the laser beam to the component, the major part of the focused laser beam has to hit the aluminium part. **Figure 6** shows the weld cross section of a laser beam welded component. As can be seen a high amount of aluminium has been melted and in **Figure 7** small cracks in the close vicinity of the copper can be seen.

4 Summary and conclusions

Nd:YAG laser welding of aluminium alloys to copper is a joining method that can be used for certain applications. In this special case the method is applied to a component where a copper cone is welded to the inside surface of a tube made of the aluminium alloy AA 2014. If special care is taken to minimize residual stresses and to minimize the existence of brittle intermetallic phases the strength of the joint can be sufficient even if it is not totally free from cracks.

The solution to this problem was as follows

- A stable and rigid fixture must be used.
- Approximately 80% of the focused laser beam should hit the aluminium part of the joint.
- By using the *opposite sector welding* method distortions due to thermal stresses are reduced.

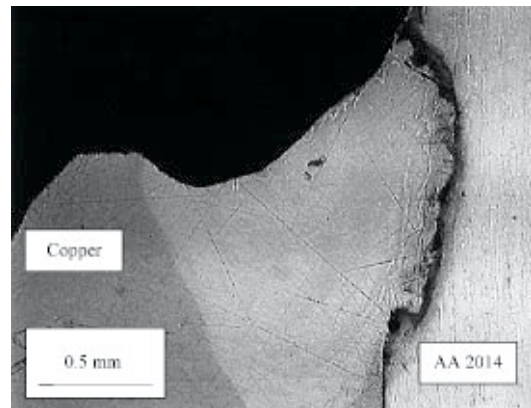


Figure 4. Weld cross section of an electron beam welded component.

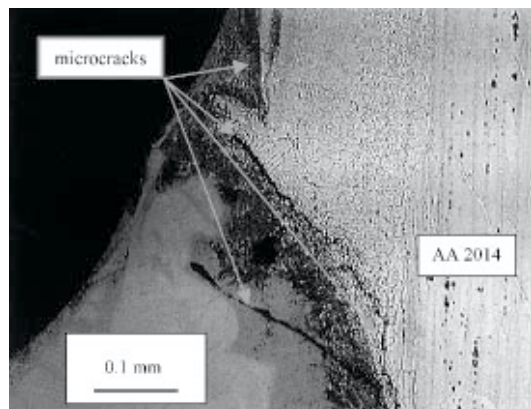


Figure 5. Micro cracks close to the aluminium side of an electron beam welded component.

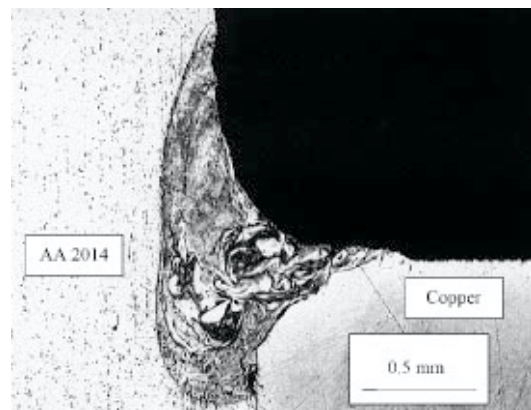


Figure 6. Weld cross section of a laser beam welded component.

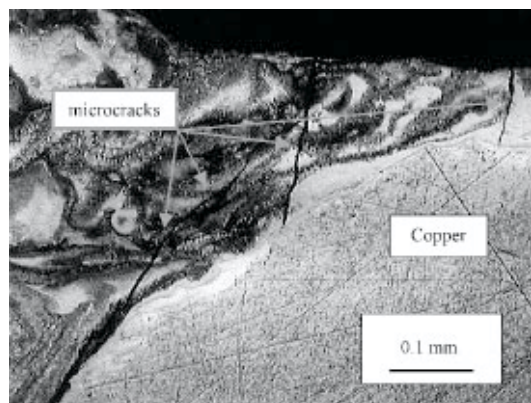


Figure 7. Micro cracks close to the copper side of a laser beam welded component.

5 Acknowledgements

The authors want to thank the Swedish Board for Industrial and Technical Development (NUTEK) for providing funding for this work through RACER, a Swedish national research programme involving laser materials processing and abrasive water jet cutting.

6 References

1. Welding Handbook 8th edition volume 2 Publisher: American Welding Society, Editor: O'Brien R L. ISBN: 0-87171-354-3. pp. 739-763. (1991).
2. Lampa, C.; Powell, J.; Magnusson, C.: **Laser Welding of Copper to Stainless Steel.** Proceedings of the Laser Materials Processing Conference ICALEO'97, San Diego CA, USA. Nov. 17–20 1997. ISBN: 0-912035-56-0. pp. G171-G180. (1997).
3. Sepold, G.; Schubert, E.; Zerner, I.: **Laser Beam Joining of Dissimilar Materials.** IIW Document IV-734-99. Presented at the 52nd Annual Assembly of IIW, Lisboa Portugal July 18-24 1999. (1999).
4. Lampa, C.; Sárady, I.; Powell, J.; Mattson, J.; Magnusson, C.: **Laser Welding of Dissimilar Metals.** Proceedings of the 4th NOLAMP Conference, Sønderborg Denmark Aug. 16-18 1993. ISBN: 87-984641-0-8. pp. 215-224. (1993).

5. Metals Handbook, volume 8. *Metallography, Structures and Phase Diagrams* Publisher: American Society of Metals (ASM). (1973).

IVF Industrial Research and Development Corporation

IVF Industrial Research and Development Corporation assists companies with research and development by means of direct custom projects, joint R&D projects with other companies operating in the same or similar fields and links through various sector networks. Its core areas are founded on the experience of 37 years of industry related research activities.

IVF has a staff of about 200 highly qualified scientists, engineers and support personnel, with a high proportion of graduate engineers and scientists, PhD candidates and doctors in various disciplines. We work with leading edge companies, universities, industry organisations and other industrial research institutes, both nationally and internationally.

Industrial Laser Technology is a working unit inside the area of *Joining and Forming*. IVF Industrial Laser Technology consists today of 5 persons and is equipped with two laser units, one 3 kW diode pumped Nd:YAG laser and one 150 W direct diode laser

Energy Redistribution during CO₂ Laser Cladding

H. Gedda¹, J. Powell², G. Wahlström³, W-B. Li¹, H. Engström¹, C. Magnusson¹

1. Luleå University of Technology, Division of System and Manufacturing Engineering, S-971 87 Luleå, Sweden Phone: +46 920 91 169, E-mail: Hans.Gedda@mb.luth.se
2. Laser Expertise Ltd., Acorn Park Industrial Estate, Harrimans Lane, Nottingham NG7 2TR, U.K.
3. Duroc AB, Industrivägen 8, S-901 30 Umeå Sweden

Abstract

This paper examines the factors that effect the efficiency of the CO₂-laser powder cladding process. By theoretical calculation and experimental work it has been possible to identify how much of the original laser energy contributes to the cladding process and how much is lost to the surrounding environment by reflection, radiation, convection etc. Every aspect of energy redistribution has been analy-

sed and quantified and this has lead to a deeper understanding of the process. The paper concludes with a number of suggestions for improving the efficiency of blown powder laser cladding.

Keywords: Laser cladding, Laser processing, Energy redistribution, Surface treatment

I Introduction

Laser cladding is a method of welding one metal onto the surface of another. There are two basic techniques:

1. Single stage or blown powder cladding: This involves blowing the cladding metal powder into a laser generated melt pool on the surface of the substrate. (see figure 1). This process is easily automated and has widespread commercial applications [1-3].
2. Two stage or pre-placed powder cladding: In this case a bed of powder is laid on the surface on the substrate and the laser subsequently passes over it (see figure 1). This process is difficult to automate and has limited commercial applications [4].

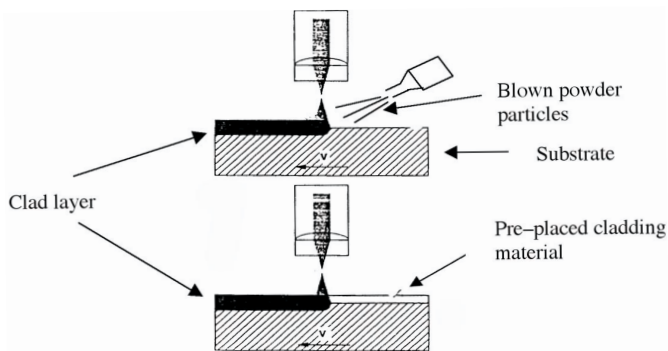


Figure 1. Schematic diagrams of laser cladding processes [5].

This paper considers the efficiency of the blown powder cladding process by analysing how much of the laser energy contributes to the cladding process and how much is lost to the surrounding environment by reflection etc.

2 Theoretical Discussion

An energy balance for laser cladding can be expressed as follows:

$$P_{\text{tot}} = P_c + P_L \quad (1)$$

Where:

- P_{tot} = the output power of the laser
- P_c = the power utilised in melting the cladding material and welding it to the surface of the substrate.
- P_L = the power lost by reflection, radiation, convection etc.

P_c in equation 1 can be expanded as follows:

$$P_c = P_p + P_s \quad (2)$$

Where:

- P_p = the power utilised in melting the cladding powder.
- P_s = the power utilised in melting the surface of the substrate in order to achieve a clad/substrate weld.

P_L in equation 1 can be similarly expanded:

$$P_L = P_A + P_B + P_D + P_E + P_F + P_G \quad (3)$$

Where:

- P_A = Power reflected off the surface of the clad zone.
- P_B = Power reflected off the powder particles as they approach the weld pool.
- P_D = Power lost by radiation from the cladding zone.
- P_E = Power lost by convection from the cladding zone.
- P_F = Power lost by conduction from the clad zone to the substrate.
- P_G = Power absorbed by the powder particles which do not enter the cladding melt pool.

Figure 2 gives a visual representation of equation 3. Of course these “losses” are to some extent necessary to the cladding process. It is not possible to heat a metal to well above its melting point without having radiant or convective thermal losses. A liquid sitting on a comparatively cool solid will always lose heat by conduction etc. For the purpose of this discussion however, it must be taken that any influence which could minimise P_A , P_B , P_D , P_E , P_F or P_G would increase the efficiency of the cladding process. This reduction in any of the factors of equation 3 would, of course, increase the proportion of the power available to the cladding process.

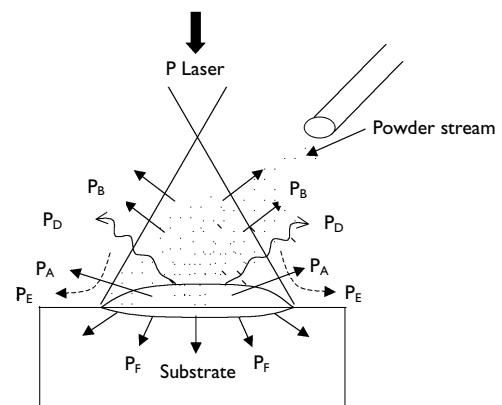


Figure 2. The redistribution of laser power during the cladding process

The aim of commercial cladding is to cover the surface of one metal with another at the lowest cost. Clad depths are usually stipulated and the biggest cost element of the process is laser time. Therefore the simple aim of commercial cladding can be expressed as follows:

- To cover metal A with a known thickness of metal B at the fastest possible rate with a high quality interfacial bond.

Returning to equation 2 it is clear that the process can be speeded up if there is an increase in the laser power available for melting the cladding material P_p . The requirement here would be to melt enough powder to achieve the correct clad thickness at a faster linear speed. Similarly an increase in P_s must not be employed to melt the substrate to a greater depth. The process must be accelerated to achieve the same (minimum) substrate melt depth at a higher process speed.

To summarise:

- The efficiency of laser cladding could be improved by minimising any of the losses in equation 3. This would lead to an increase in P_c and the process could be accelerated to produce the same clad depth with a minimal depth of substrate melting.

The following experimental section details an investigation to identify the relative magnitude of the components of P_c and P_L .

3 Experimental procedure

3.1 General

The substrate material used in this study was (SS 2172) steel with the following composition.

Table 1. Steel composition (substrate)

	C	Si	Mn	P	S	V	N	Fe
wt%	0.16	0.22	0.94	0.014	0.022	0.06	0.009	98.6

The cladding material was cobalt based with the following composition.

Table 2. Cladding powder composition

	Cr	C	Si	Mo	Ni	Fe	Co
wt%	27.2	0.27	1.0	5.5	2.3	0.3	63.4

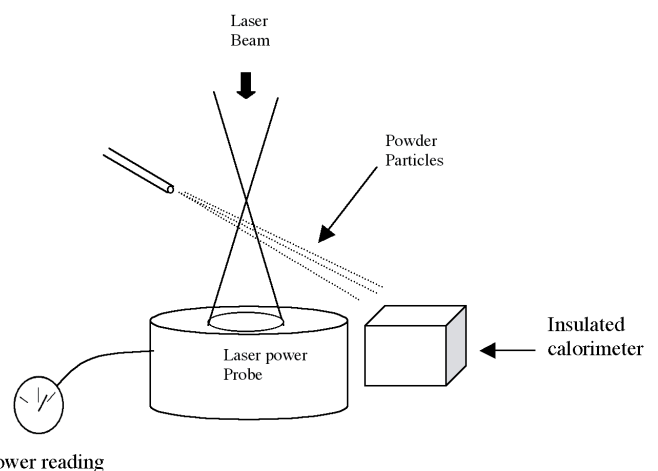
The laser used was a Trumpf CO₂-laser with a maximum output power of 12 kW. The shielding/carrier gas employed to propel the powder was argon. The substrate specimens were grit blasted before cladding was carried out.

A number of different experimental and theoretical analyses were carried out to estimate the relative importance of the components of equation 2 and 3. These are described separately below.

3.2 The power absorbed by or reflected off the powder cloud above the clad zone

During the cladding process the laser beam must travel through the powder cloud in order to reach the cladding zone (see figure 2). A proportion of the laser energy is reflected off the powder cloud and is lost to the cladding process. Another portion of the incident energy is absorbed by the particles but some of this energy is also lost to the process because not all the heated particles join the cladding melt pool.

A simple experiment was set up to discover what proportion of the original laser power would penetrate the powder cloud (see figure 3 below). A commercially available “power probe” was used to measure the laser power with and without the powder stream turned on. The powder flow rates were typical of the cladding process as were all the other process parameters. The average results from several such tests are presented in Table 3. The energy absorbed by the powder cloud was directly measured by measuring the average temperature rise of the powder after it had passed through the beam (see figure 3). The power reflected off the powder cloud could then be easily calculated as shown in table 3.



Power reading

Figure 3. The experimental arrangement for the analysis of the absorption and reflection of the energy by the powder cloud.

Table 3. Power absorbed and reflected by the powder cloud

Laser output Power* (Watts)	Powder flow rate (g/min)	Post powder cloud power absorbed by the powder cloud (Watts)	Total power reflected and powder cloud (Watts)	Power absorbed by off powder cloud (P _B) (Watts)	Power Reflected (Watts)
5300	35	4800	500	106 (2.0%)	394 (7.4%)
5300	45	4660	640	119 (2.2%)	521 (9.8%)
5000	35	4510	490	102 (2.0%)	388 (7.8%)
5000	45	4370	630	117 (2.3%)	513 (10.2%)
4700	35	4200	500	101 (2.1%)	399 (8.5%)
4700	45	4150	550	116 (2.5%)	434 (9.2%)
Average				2.2% (approx 2%)	8.8% (approx 9%)

* Measured by the powder probe but with zero powder flow.

** Percentages are approximate

It is clear from table 3 that we now have an approximate value for P_B for the commercial parameter range covered here:

$$P_B = 9 \% P_{tot} \quad (4)$$

One other component of equation 3 can also be identified from table 3 after the same parameters were used for actual cladding. This parameter is P_G, the level of power absorbed by particles which do not enter the cladding melt pool. A number of cladding trials were carried out and these showed that, over this range of parameters, the proportion of particles which formed the clad track was 60% (The range was 57%-63%). Then it can be concluded that 40% of the heat collected by the powder cloud (2% P_{tot} see table 3) does not contribute to the cladding process.

$$\text{i.e. } P_G = 0.8 \% P_{tot} \quad (5)$$

3.3 The power lost by radiation from the cladding zone (P_D)

The total energy radiated from the clad pool can be calculated from the pool temperature, surface area and emissivity. If the emissivity of the liquid metal pool is taken as equal to one then the calculation is simplified and the maximum possible radiation power can be estimated:

$$P_D = \sigma T^4 A \quad (6)$$

Where

σ is the Stefan-Boltzman constant ($5.7 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)

T is the surface temperature of the melt (K)

A is the area of the melt surface (m²)

In this case the surface temperature of the melt was approximately 2300 K and its surface area was 32 mm². The value of 2300 K has been chosen because it is half way between the melting point (1700 K) and the boiling point (3000 K) of the material.

This gives a maximum value for P_D of:

$$P_D = 5.7 \cdot 10^{-8} \cdot (2300)^4 \cdot 32 \cdot 10^{-6} = 51 \text{ Watts} \quad (7)$$

$$P_D \approx 1 \% \text{ of } P_{tot} \quad (8)$$

3.4 Power lost by convection from the clad zone (P_E).

The cladding zone is a molten alloy with a surface temperature of $\approx 2300 \text{ K}$ and a surface area of $\approx 32 \text{ mm}^2$. This melt is exposed to a stream of argon which carries the powder to the clad zone. The argon flow was measured and found to have an average flow velocity of 4.3m/sec.

The rate of convective cooling of a hot body exposed to a cooler gas is given by:

$$Q = hA\Delta t \text{ Watts} \quad (9)$$

Where:

h = heat transfer coefficient

A = surface area of the hot body

Δt = The difference in temperature between the body and the cooling gas.

Evaluation of h from a standard text on the subject [6] gives us a value of approximately 100 W/m²K.

$$Q = 100 \cdot (\pi \cdot 0.003^2) \cdot 2000 \quad (10)$$

$$PE = 5.6 \text{ Watts} \quad (11)$$

$$\text{Or } P_E = 0.1 \% P_{tot} \quad (12)$$

3.5 Power reflected off the surface of the clad zone (P_A).

Calorimetry was employed to measure the heat input to each clad sample (P_{in}). From this measurement it is possible to measure the power reflected off the cladding zone in the following way:

$$P_A = P_{tot} - (P_B + P_D + P_E + P_G + P_{in}) \quad (13)$$

Table 4 shows the results from the calorimetric measurements taken at different laser powers and powder feed rates.

Table 4. Calorimetric measurements

Laser output Power (Watts)	Powder flow rate (g/min)	Power input to clad sample (P_{in}) (Watts)	Power % input to sample
5300	35	1990	37.5 %
5300	45	1886	35.5 %
5000	35	2043	41.0 %
5000	45	2147	43.0 %
4700	35	1938	41.0 %
4700	45	1730	37.0 %
Average	40	1955	39.0 %

From our earlier results:

$$P_A = 100 - (9+1+0.1+0.8+39) \quad (14)$$

$$P_A = 50.1 \% \quad (15)$$

In summary it can be said that the clad zone reflects approximately half of the laser energy. This high reflectivity value confirms the work of other authors in the field [7] who suggest that the onset of melting is associated with a rise in material reflectivity. It is assumed that this is because a molten surface in an inert atmosphere (in this case argon) is smooth and oxide free. This smooth, oxide free surface acts as a better reflector than the solid, rough, oxidised surface which exists before melting.

3.6 The power utilised in melting the clad layer to the substrate (P_c)

Blown powder laser clad layers usually have a cross sectional geometry similar to that shown in figures 4 and 5.

As figure 4 demonstrates, the production of a clad layer usually involves melting the surface layers of the substrate.

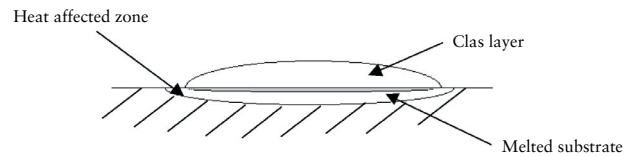


Figure 4. The cross sectional geometry of a blown powder laser clad layer. Note: the melted substrate and cladding material are mixed together during the process.

The amount of substrate melting can range from minimal to levels where the clad layer is really a dilute alloy of the substrate and cladding material. For this reason cladding which involves substantial substrate melting is called laser surface alloying.

P_c , the power utilised in melting the cladding material and welding it to the surface of the substrate can be calculated as follows:

$$P_c = Av\rho(C_p\Delta t + \Delta H_m) \quad (7)$$

Where:

A = The melt cross sectional area (m^2)

v = The Cladding speed (m/s)

ρ = The Density of the material

C_p = Specific heat capacity of the material

Δt = The difference between the average melt temperature and ambient

ΔH_m = Specific heat of melting of the clad melt.

Taking approximate average values of these variables in the case of our experiments gives following:

$$A = 3.4 * 10^{-6} m^2$$

$$v = 0.015 (m/sec)$$

$$\rho = 8020 kg/m^3$$

$$C_p = 500 J/kg K$$

$$\Delta t = 2000K$$

$$\Delta H_m = 300 kJ/Kg$$

$$P_c = 3.4 * 10^{-6} * 0.015 * 8020 * (500 * 2000 + 300 * 10^3)$$

$$P_c = 530 Watts$$

These values give us a typical value of P_c of $\approx 500 W$ or 10% of P_{tot}

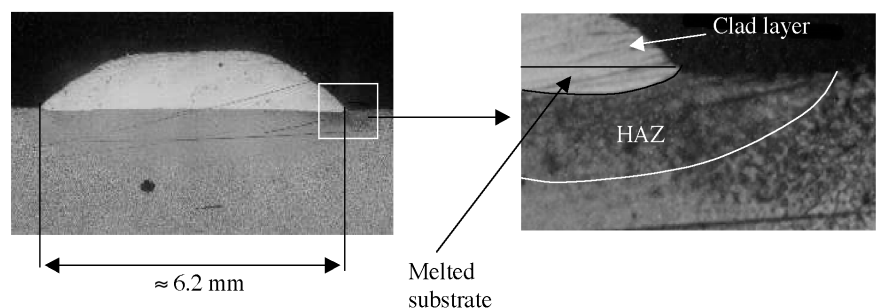


Figure 5. Macrographs of a typical laser clad sample in cross section. (see also figure 4)

3.7 Power lost by conduction from the clad zone to the substrate (P_F)

This value is easily established by subtracting (P_{\sim}) from the total power absorbed by the workpiece (P_C). Taking average values:

$$P_F = P_{In} - P_C \approx 30\% P_{tot}$$

4 Discussion

Figure 6 presents schematics of the redistribution of energy during the laser cladding process (approximate percentage).

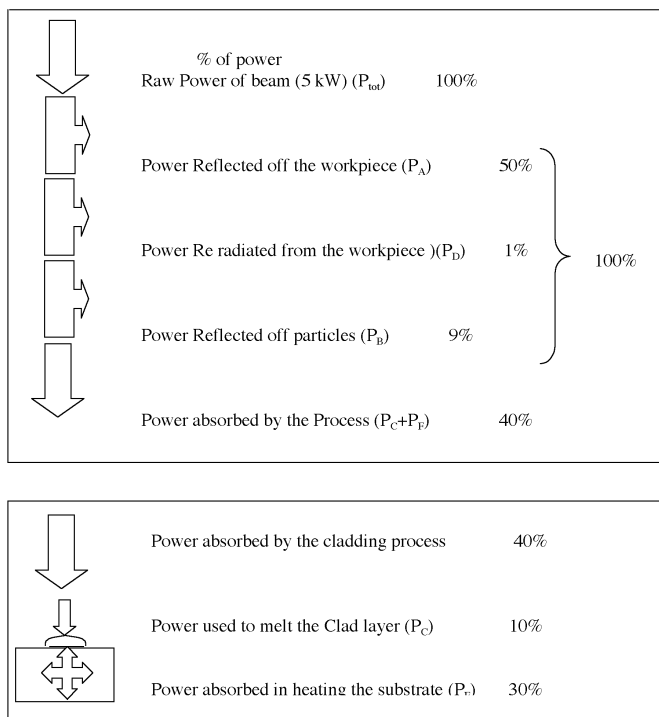


Figure 6. Schematic of the redistribution of energy during the laser cladding process.

Our calculations show that two of the variables included in equation 3; P_E and P_G are negligible as they account for less than 1% of P_{tot} (see equation 5 and 12). P_D also account for only 1% of P_{tot} and can therefore be ignored.

The major mechanism of energy loss to the process is that of reflection from the melt pool and the powder cloud. Reflection off the melt pool is a function of the condition of the melt surface. As this melt is produced in an inert atmosphere it experiences no surface oxidation and thus has a high reflectivity. Dilution of the inert shroud gas with an oxidising agent would decrease this reflectivity but may have disruptive consequences on the stability of the process and the metallurgy of the clad track. Overlapping such deliberately oxidised tracks could also prove problematic

The reduction of reflective losses from the powder cloud is comparatively easy. All that is necessary is an increase in the average particle diameter. During its passage through the laser beam the particle interacts with and reflects light over an area equal to its cross sectional area (πr^2) rather than half its surface area ($2\pi r^2$). This is because the shadow cast by any particle has an area of πr^2 where r is the particle radius. A particle of twice the original radius would cast a shadow four times as big but would have eight times the mass ($\text{mass} \propto r^3$). Thus it is clear that, for a set mass flow rate, larger particles interact with (and reflect) less of the beam. This is of course only useful within certain limits as the cladding process will break down if the particles are too large.

5 Conclusions

Of the powder absorbed by the cladding process (40%) three quarters is used in heating the substrate and only the remaining quarter (10% of the original laser power) is employed in melting the cladding material. From this it is clear that a pre heat involving a cheaper energy source than a laser would improve the economic efficiency of the process. Such a preheating method might employ flame, plasma, oven or induction techniques.

- 1) In commercial blown powder cladding the laser power is eventually re distributed as follows:
 - a) 50% is reflected off the cladding melt
 - b) 10% is reflected off the powder cloud
 - c) 30% is used to heat the substrate
 - d) 10% is used to melt the clad layer
- 2) Reflections off the powder cloud could be reduced for a given mass flow rate if the powder particle size was increased (within certain limits above which the process would break down)
- 3) The proportion of laser energy required to heat the substrate could be reduced by exploring in pre heat method which uses a cheaper energy source (flame, plasma, induction etc)
- 4) Acting upon 2 or 3 above could improve the cost effectiveness of laser cladding.

6 References

- [1] Ollier, B., N, Kreutz, E.W, Schluter, Gasser, H., Wissenbach, K. (1992) Cladding With Laser Radiation: Properties and Analysis. DGM Informationsgesellschaft mbH (Germany), pp. 687-692.
- [2] Li, W.B., Engström, H., A Model Of Laser Cladding By Powder Injection. (1996) Pre heating of the blown powders and powder redistribution of the laser beam. Conf. Proc. Of MSMM '96. June 11-13, Beijing, China.
- [3] Sahour, M.C, Vannes, A.B, Pelletier, J.M., (1991) Laser Cladding By Powder Injection: Optimisation Of The Processing Conditions. Journal De Physique IV, Vol 1. Dec. pp C7-51-C7-54.
- [4] Powell, J., Laser Cladding. PhD Theses. Imperial College of Science and Technology, Dept. Of metallurgy, London, UK, (1983).
- [5] Riabkina-Fishman, M., Zahavi, J. Laser alloying and cladding for improving surface properties, Applied Surface Science (Netherlands), vol. 106, no. 1-4, 1 Oct. 1996
- [6] Porier, D.R., Geiger, G.H. Transport Phenomena in Materials Processing. Heat Transfer and The Energy Equation. The Minerals, Metals & Materials Society (1994). ISBN 0-87339-272-8.
- [7] Bloes, W., Griinenvald, B., Dausinger, F., Hiigel. Recent progress in laser surface treatment: I. Implications of laser wavelength. Journal of laser applications 8 (1996) pp 15-23.

Laserdag hos SSAB Tunnpåt

Av
Hans Engström
Luleå tekniska universitet

SSAB Tunnpåt AB i Borlänge arrangerade den 10 oktober den andra laserdagen för året i ett strålande höstväder. Tony Nilsson var värd och han hade ordnat en intressant dag med besök ute i SSABs anläggningar samt hos E.M. Eriksson Plåt AB.



Bild 1. Tony Nilsson, (t h) värd för Laserdagen och Sven Jansson, guide oss runt i SSAB Tunnpåt anläggningar i Borlänge.

Dagen bjöd också som vanlig på ett par föredrag, där Tony Nilsson inledde med att presentera verksamheten vid SSAB Tunnpåt.

Bäst i världen är målet

- SSAB-koncernen, som är helt privatägd, har i dag verksamhet på 6 orter i Sverige berättar Tony. Vi producerar totalt ca 3 miljoner ton stål varav 2,4 miljoner ton är tunnpåt och resten grovpåt till vår marknad som är hela världen. Omsättningen är totalt 19 270 miljoner kronor varav SSAB Tunnpåt omsätter 9 500 miljoner kronor. SSAB ha totalt ca 19 000 anställda.

Tony fortsätter att berätta att SSAB Tunnpåt har anläggningar i Luleå med koksverk, masugn, stålverk och stränggjutning. I Borlänge finns valsverken för tillverkning av varm- och kallband samt anläggningar för metall- och färgbeläggning samt formatklippning.

Produktsortimentet omfattar

- DOMEX; varmvalsat kallformningsstål med sträckgräns upp till 700 MPa

- DOCOL; kallvalsad tunnplåt
- DOGAL; varmförzinkad plåt
- ALUZINK; tunnplåt med korrosionsskyddande beläggning av zink och aluminium
- PRELAQ; färgbelagd plåt
- DOBEL; folielaminerad plåt
- Det varmvalsade sortimentet svarar för ca 50% av produktionen, berättar Tony Nilsson, följt av kallvalsad plåt, metallbelagd plåt och sedan den färgbelagda.
- Vårt mål är att vara europaledande på höghållfast stål och världsledande inom det ultra höghållfasta området fortsätter Tony. Det innebär ständig produktutveckling och just nu arbetar vi med att utveckla DOMEX 750 och 800. Vi ligger idag i den internationella toppen både inom det varmvalsade- och kallvalsade området avslutar Tony Nilsson.

OSCAR

Johnny K. Larsson, Volvo Car Corp., Göteborg, berättade om delar av den pågående karossutvecklingen för de nya Volvobilarna. Idag så är mer än 50 % av karossen i S 80-modellen tillverkad i höghållfast plåt med sträckgräns högre än 220MPa. Motiven för att använda höghållfast material är främst att minska bränsleförbrukningen och därmed uppnå en minskad miljöbelastning.

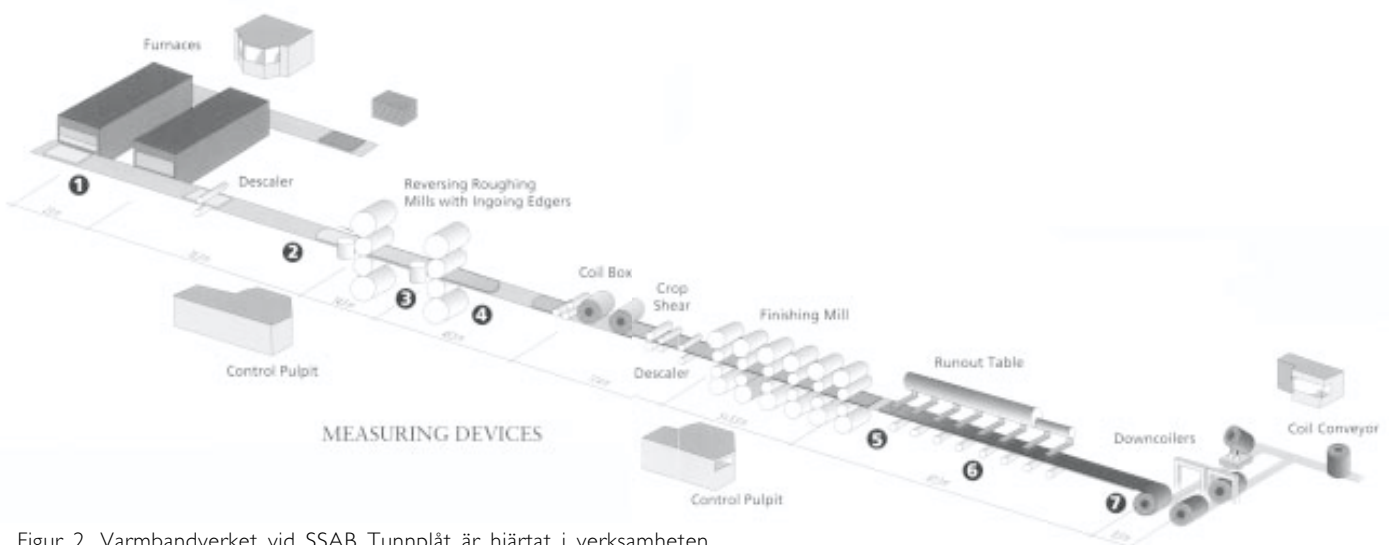
- OSCAR står för Optimized Steel Car Body och fokuserar på den nästa generationen stora bilar från Volvo, berättar Johnny. Vi arbetar inom åtta teknikområden

och målet är att hitta en optimal karossstruktur mot slutet av år 2002. Målet är 100% ökning av energiupptagningen, 25% viktsbesparing och 300 kr lägre tillverkningskostnad per kaross. De målen är redan uppfyllda, avslöjar Johnny.

- Vi arbetar efter tre spår där ett spår innebär förbättringar av nuvarande struktur; det andra innebär införandet av rullformade profiler och ett tredje med bl a hydroformade komponenter.

Det första spåret, som internt kallas P2X-Kaizen, innehåller bl a undersökningar av lasersvetsade förband i

- Dual Phase stål med hållfasthet 450-800 MPa
- s k TRIP stål med sträckgräns 700 MPa
- Varmformningstål från USIBOR
- Vi har utfört svetsproverna med vår 4 kW Nd:YAG-laser vid vår pilot-plant anläggning i Göteborg, berättar Johnny. Vi har svetsat överlappsfogar med typiska svetshastigheter på 3-4 m/min med 160 mm fokallängd på optiken. Positionen på fokalläget har varit 1.1 – 1.9 mm in i materialet för att få en tillräckligt bred svets. Även en del s k ”fillet welds” har utförts.
- Vi kan konstatera, summerar Johnny efter att ha redovisat en del försöksresultat, att vid statisk skjvbelastning har inte materialet så stor inverkan på hållfastheten. Vid fläcklast är det mjukaste stålet (DP450) starkast. Lasersvetsning står sig också bra jämfört med MAG-svetsning med höghållfast tillsatsmaterial, som uppvisar stor spridning.



Figur 2. Varmbandverket vid SSAB Tunnplåt är hjärtat i verksamheten. Härigenom passerar allt stränggjutet material som tillverkas i Luleå och Oxelösund.

- Utmattningsprovning av DP450 visar att nitning är bättre än svetsning i fläkbelastning. Lasersvetsning och MAG-svetsning är ungefär jämbördiga. För TRIP 700 syns ingen distinkt skillnad mellan svetsmetoderna. Processmässigt är TRIP 700 bra att svetsa, men knäckfrågan är metallurgin i svetsarna. Det kan möjligen påverkas positivt genom att använda tillsatsmaterial, avslutar Johnny K. Larsson.

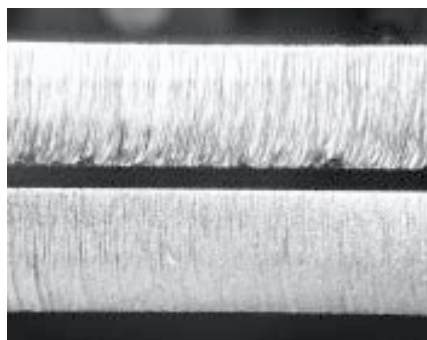
RACER II

Därefter tog Hans Engström, Luleå tekniska universitet över och berättade om några delresultat från RACER II-programmet. Det är ett industristyrkt utvecklingsprogram för laser och AWJ-bearbetning, som syftar till att öka konkurrenskraften hos svensk industri genom ökad användning av högteknologiska tillverkningsprocesser.

- Vi driver nu fem delprojekt inom RACER II berättar Hans. Programmet startade förra hösten och kommer att avslutas i december i år. Idag har vi 21 industrideltagare och F&U-arbetet utförs vid Luleå tekniska universitet, som är koordinator, Lunds tekniska högskola, IVF och Chalmers Lindholmen.

Hybridsvetsning av tjockt konstruktionsstål

- I detta projekt utvecklar vi hybridsvetstekniken för tjockkonstruktionsstål i tjocklekar från 6-12 mm, berättar Hans. Vi gör det tillsammans med SSAB Tunnbräns AB, SSAB Oxelösund AB, Esab AB, AGA AB, Volvo Articulated Haulers AB och Ferruform AB vilket har gett en fantastisk input av kunskap till projektet. Det mesta arbetet har varit inriktat mot att utveckla svets teknik för olika stumfogsvetsning med olika fogberedningar som laser- och plasmaskurna kanter, klippta kanter och som referens frästa kanter.
- Vi har nu nått bra resultat för alla typer av fogberedning och har också hunnit svetsa en del kälfogar. Vi har också med framgång hybridsvetsat en tvärbalk som idag



Figur 3. Hybridsvetsad DOMEX 390 XP 8 mm tjocklek. Laserskurna kanter

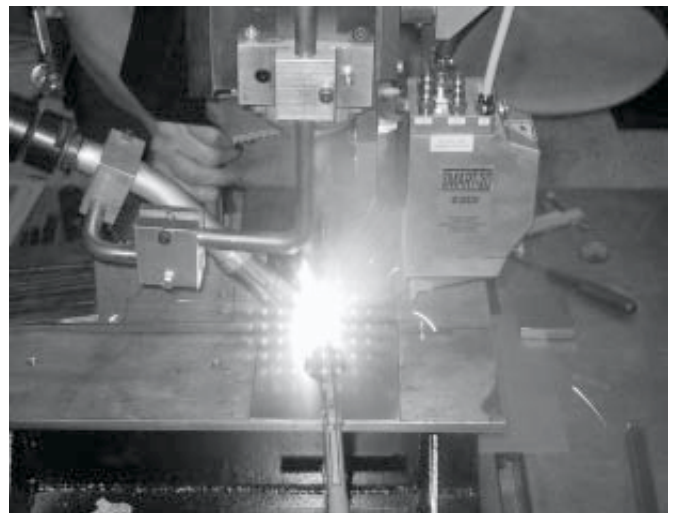
används i produktion hos en av deltagarna. Vi kan konstatera att hybridsvetstekniken väsentligt ökar möjligheterna att lasersvetsa av detaljer i tjockt konstruktionsstål i industriell miljö.

Påsvetsning med 12 kW laser

Ett annat projekt som drivs tillsammans med DAROS AB och Duroc AB syftar till att utveckla produktionstekniken för påsvetsning av 20 mm breda och 2 mm tjocka skikt på rotationssymmetriska komponenter med samtidig för- och eftervärmning. Vi har nu lyckats få en stabil och pålitlig process och har tillämpat tekniken på DAROS marina kolvringar, berättar Hans. De påsvetsade ringarna ska nu bearbetas och planerna är att sätta in dem i fältmässig test i någon fartygsmotor. Det slutgiltiga svaret på ringarnas slitstyrka kommer om två år då motorn har varit i drift 15 000 timmar.

Världsunik adaptiv lasersvetsning

Inom projektet robotiserad lasersvetsning som drivs tillsammans med Faurecia Exhaust Systems AB, Motoman Robotics Europe AB, Hägglund Vehicle AB utvecklar vi teknik för adaptiv lasersvetsning med robot och teknik för att svetsa svårsvetsade material som ferritiska rostfria stål och härdat stål fortsätter Hans Engström.



Figur 4. Adaptiv lasersvetsning med Nd:YAG-laser och industrirobot.

- Vi kan nu demonstrera fogföljning och adaptiv lasersvetsning av stumfogar där vi mäter spalten mellan plåtarna och adaptivt styr svetsprocessen så att vi får en fog av hög kvalitet oavsett spaltens storlek. Vi har testat med kontinuerligt varierade spalt upp till 0,75 mm i två mm tjockt material med utmärkt resultat. Utvecklingen av systemet har skett tillsammans med Motoman i

Japan som har svarat för att utveckla programvaran till roboten. Enligt Motoman är detta den första tillämpningen i världen på adaptiv lasersvetsning med industrirobot.

Svetsning av koppar till aluminium

Ett annat projekt inom RACER II drivs av IVF i samarbete med Lasertech LSH AB, och Bofors Missiles AB och syftar till att utveckla svetssteknik för att svetsa koppar mot aluminium i en speciell produkt. Den svetsstekniska utvecklingen har lyckats bra och nu pågår arbete med produktionsanpassning hos Lasertech.

- Detta är ett utmärkt exempel på hur vi försöker jobba inom RACER II, säger Hans. Nära samarbete med företagen ger snabb tekniköverföring och i detta fall kommer resultaten att omsättas i produktion av detaljer.

En utförlig presentation av detta projekt finns på annan plats i detta nummer av LaserNytt.

Branschrekommendation för AWJ skärning

Detta projekt handlar om att underlätta samspelet mellan beställare och utförare genom att ta fram en branschrekommendation för klassificering av AWJ-skurna ytor. Projektet drivs av Chalmers Lindholmen i samarbete med sju företag inom vattenskärningsområdet. Inom projektet har man gjort en utförlig intervju med alla deltagare för att få en utförlig bild av hur beställare och utförare ser på snittkvalitetens betydelse vid AWJ-skärning. Genom att använda delar av befintliga standards och komplettera dessa, bl a med experimentella resultat, så ska en branschrekommendation växa fram. Den kan senare vidareutvecklas till en standard inom området.

Avslutningsseminarium

- Vi kommer att arrangera ett seminarium där vi ger en utförlig presentation av alla projekt inom RACER II. Det kommer preliminärt att hållas i mars i södra Sverige, avslutar Hans Engström, som är koordinator för programmet.

Laserskärning och lasersvetsning av SSABs höghållfasta stål

Tony Nilsson avslutade föredragningarna med att berätta om deras arbete med att undersöka skär- och svetsbarhet för deras höghållfasta stål.

- SSAB Tunnpålar har undersökt olika stålqualiteter från den egna produktionen, DOMEX 240YP, DOMEX 420YP och DOMEX 690XP och jämfört dessa med St 37-2 och RAEX 250 och RAEX 355, berättar Tony.

DOMEX lika bra som "Laserstålen"

- Viktiga egenskaper är ytbeskaffenheten och stålsammansättningen och det är speciellt viktigt att ha låg Si-halt för att få bra skäregenskaper. Låg Si-halt ger också förbättrade ytor och är bra för varmförzinkning. Tätning med Al i stället för Si ger också bättre slagbild och åldringsegenskaper, säger Tony.
- Resultaten visar att våra DOMEX stål går lika bra att laserskära som de RAEX-material, som marknadsförs som "laserstål" konstaterar Tony Nilsson.

Tony Nilsson berättar också att man har lasersvetsat flera DOMEX-kvaliteter inom RACER-programmet. Lasersvetsning ger låg sträckenergi, 0,3-0,4 kJ/mm och svalningstiden mellan 800 och 500 grader är bara 1-2 sekunder jämfört med 10-30 sekunder vid konventionell svetsning. Hårdhetsökningen i svetsen blir trots allt mycket liten för DOMEX-materialen, men räcker till för att brotten vid dragprovning ska ske i grundmaterialet. Utförliga svetsresultat från dessa försök presenteras på annan plats i detta nummer av LaserNytt.

Laserhybridsvetsning av DOMEX 390XP ger fina svetsar, vissa smältdiken har dock kunnat iakttagas. Hårdheten är bra och svetsarna har bra mekaniska egenskaper. Slagsegheten i svetsen är också hög.



Figur 5. Föredragshållare vid Laserdagen var fr v Hans Engström Luleå tekniska universitet, Johnny K. Larsson, Volvo Car Corp. och Tony Nilsson, SSAB Tunnpålar AB.



Bild 6. Deltagarna i Laserdagen hos SSAB Tunnbrät.

Även ultrahöghållfasta material i DOCOL-serien har lasersvetsas med framgång. Hållfastheten är högre än för MAG-svetsning och i hållfasthetsnivåer upp till 1000 MPa är svetsens hållfasthet lika med grundmateriallets.

E.M. Eriksson satsar på stora format

Laserdagen avslutades med ett besök hos E.M. Eriksson Plåt AB, vars lokaler ligger inom SSABs område. Företaget har gamla anor för man härstammar från E.M. Eriksson Smides AB som grundades 1921 och som nu har 25 anställda och en omsättning på 30 miljoner kronor. 1992 bildades E.M. Eriksson Plåt AB.

EME jobbar bara med laserskärning berättar Sven Olsson, som är chef för E.M. Eriksson och vi satsar på plåt i de stora formaten, vilket avspeglar sig i maskinparken. Vi har tre lasermaskiner för planskärning. Den första, en Bystronic ByStar (4x2 m) köptes 1995 vilket följdes av en Trumpf (6x2m) 1998. Sedan dess har vi också tagit i drift den tredje maskinen, en Bystronic ByStar 4025 med 4 kW laser. Arbetsområdet är imponerande 8x2m vilket vi får

genom att positionera om plåten (skärområde 4X2m). Mellan 5000 och 6000 ton plåt passerar igenom maskinerna på ett år.

- Vi är ca 16 personer i företaget och omsätter ungefär 20 miljoner, avslutar Sven Olsson.



Bild 7. Sven Olsson berättar om verksamheten vid E.M. Eriksson.

EMO 2001 i Hannover var en fantastisk tillställning där all tänkbar tillverkningsteknik presenterades av mer än 2000 utställare i 23 hallar med en golvyta på 190 000 m². Även de största maskiner visades in action så ni må tro att luften dallrade av verkstads ljud. Jag var där för att bevaka och rapportera om vad som händer inom laserbearbetning. Och det blev ett digert arbete att besöka alla intressanta utställare och ta del av deras nya produkter.

Rofin visade skivlaser

Rofin Sinar Laser GmbH, Hamburg, visade en ny modell av den s k slab lasern, Rofin DC 040W, vilken ger 4 kW uteffekt. Detta är ett svar på ständiga krav på ökad effekt och denna laser är speciellt tänkt för svetsning. Stålkvaliteten är utmärkt med ett K värde > 0.9. Gasen i kaviteten byts bara var 72 timme vilket ger en mycket låg gasförbrukning. Rofin garanterar en tillgänglighet på >97% och med service kontrakt upp till 99%.



Bild 1. 4 kW CO₂-slab laser från Rofin Sinar visades för första gången på EMO.

Man visade också en ny diodpumpad Nd:YAG-laser med uteffekt 3 kW, Rofin DY 030 HP. Den effekten fås med bara tre kaviteter. Den ingår i DY-HP familjen där det finns lasrar från 1-6 kW med strålkvaliteten 25 mm x mrad, vilket är jämförbart med lampumpade Nd:YAG-lasrar. Inom DY familjen finns lasrar från 0.55 till 4 kW med stålkvaliteten 12 mm x mrad.

Dr Peter Wirth, vd för Rofin Sinar, sa vid Blech förra året att man kanske skulle ta och visa vad man gör för utveckling av skivlasern. Och vid EMO lättade man på sekretessen och visade en 750W skivlaser integrerad med



Bild 2. Rofin sinar visade också en 3 kW diodpumpad Nd:YAG-laser med strålkvalitet 25 mmxmrad.

0.1 mm fiberoptik. Verkningsgraden är mer än 20% bättre än motsvarande stav-laser och strålkvaliteten är superb; 5 mm x mrad. Bernd Ladiges, affärsområdeschef CO₂-och diodlasrar, tror att lasern kan finnas på marknaden inom 3-4 år.

- Rofin fortsätter att utvecklas starkt, säger Bernd Ladiges. Vi är nu 1100 anställda och omsätter ca 250 MECU. Tillväxten i år är 38%, men i den siffran ingår köpet av Carl Baasel Lasertechnik GmbH.
- Diodlasrarna utvecklas också starkt berättar Bernd. Vi har nu en 8 kW på gång för laserytbehandling. Även märkning är stort avslutar Bernd Ladiges.



Bild 3. Bernd Ladiges (t h) och Pierre Scheyvaerts visar stolt delar av Rofin Sinars produktprogram vid EMO.

Mazak utvecklar ny Fabri Gear

I Mazaks monter träffar jag Gunnar Thoursie, försäljningschef hos Ravema, som marknadsför Mazak i Sverige. Gunnar berättar att Mazak har upptäckt ett behov av en mindre Fabri Gear, som är Mazaks 6 axliga profilsjärmaskin, och lanserar därför till våren en ny maskin som klarar 6 meter långa profiler med en inskriven diameter 150 mm. Den större maskinen klarar 8 meters profiler med diameter 280 mm. Maskinerna bestyckas med lasrar från Panasonic med upp till 4 kW effekt.

Gunnar berättar också om de andra lasermaskinerna Space Gear Och Super Turbo 510 Mark II. I den senare har man flyttat resonatorn för att öka servicevänligheten. Tillförlitligheten är viktigast för Mazak enligt Gunnar.

- Vi har sålt två laserskärmaskiner för obemannad drift där hela hanteringssystemet tillverkas av Hestra Mekaniska AB, avslutar Gunnar Thoursie.

Trumpf kombinerar drivningstekniker

Trumpfs trumfkort på EMO var den nya bäddskärlasern Trumatic L3050 där man kombinerar linjärmotordrift med traditionell kuggstångsdrivning. Maskinen ger skärhastigheter på upp till 40m/min i 1 mm plåt. Kolstål kan skäras upp till 25 mm; rostfritt till 20 mm och aluminium till 12 mm.

Maskinen är en typisk ”flying optics-maskin”, berättar Jan Fransson, försäljningsingenjör hos Trumpf Maskin AB, där man konsekvent har infört lättviktsteknik. Det har gjort det möjligt att utnyttja linjärmotorer för drivning av y- och z-axlarna. För den långa x-rörelsen sker drivning med traditionell dubbelsidig kuggstångsteknik. Trots olika driv-

ningstekniker når axlarna samma hastighet på 200 m/min, vilket ger en simultan rörelse på ca 300 m/min. Maskinen är dessutom utrustad med trombon för konstant strålgängslängd, adaptiv optik, samt kan pulsas vid skärning av t ex små hål. Det sistnämnda gör det möjligt att sära hål med en diameter av 40% av plåttjockleken vilket för en 10 mm plåt ger 4 mm diameter.

- Maskinen behöver inget speciellt fundament utan kan ställas direkt på ett normalt verkstadsgolv, avslutar Jan Fransson.

Trumpf visade också en helt ny optisk mätmaskin, Qualifier 2500, för att mäta stansade och laserskurna detaljer.

- Noggrannheten är 30 mikrometer/m säger Stefan Wallén, säljledare vid Trumpf Maskin AB, som visar mig maskinen. Maskinen är byggd på ett granitblock för att nå den yttersta stabiliteten. Mätning sker med CCD-kamera som åker över objekten som ska mätas och tar 50 bilder/s. Kamerans position detekteras samtidigt i två axlar. Dessa bilder är indata till mätprogrammet som automatiskt gör jämförelser med inprogrammerade CAD-bilder. Mätprocessen tar beroende på storlek och komplexitet mellan några sekunder och några minuter. Resultatet visas på en monitor och alla avvikelser markeras i rött. En mät rapport skrivs också ut.
- Inte nog med detta, försätter Stefan. Maskinen kan också mäta formade detaljer med höjder upp till 40 mm med en noggrannhet på 0,1 mm. Detta sker också på optisk väg med laserdiod och triangulering.



Bild 4. Trumatic L3050 är en ny laserskärmaskin från Trumpf som kombinerar traditionell drivning med linjärmotordrift.

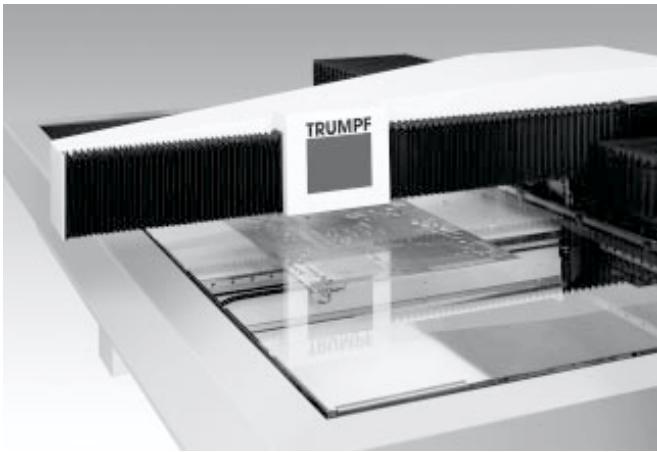


Bild 5. Qualifier 2500, Trumffs nya mätmaskin för stansade och laserskurna delar.

- Maskinen kan levereras i två storlekar, 2500x 250 mm och 1250x1250 mm. Så nu finns för första gången en mätmaskin som matchar laserskärmaskinerna i noggrannhet och snabbhet, avslutar Stefan Wallén.

Bystronic utmanar linjärmotordriften

Bystronic går sina egna vägar vad gäller utveckling av laserskärmaskiner. Nu introducerar man en ny maskin, Byspeed 3015 med 4 kW CO₂-laser.

- Det speciella med maskinen är både konstruktion och drivning säger Ulrich Bollier, Bystronic. En centralt placerad bom utgör fäste för styrning och drivning för x-axeln och i den hänger y- och z-axel. Drivningen sker med Bystronics skivmotorer vilka kallas DHM (Direct

Helical Motor). Accelerationen per axel är imponerade 30m/s² eller mer än 3g.

- Maskinen har också ett nytt skärhuvud med linskassett och självjusterande gasmunstycke. Adaptiv optik håller konstant fokalposition över hela arbetsytan som är 3000x1500 mm. Maskinen väger 19 ton vilket är som en ordinär laserskärmaskin och därför behövs inte något speciellt fundament.

Bystronics system för materialhantering kan naturligtvis användas och ger möjlighet till obemannad produktion. Därtill har man ett antal funktioner som Cross jet, övervakning av skärprocessen och automatisk rengöring av gasmunstycket.

- Maskinen ska börja levereras i april 2002 avslutar Ulrich Bollier.

Amada introducerar Quattro

Amada visade en ny liten laserskärmaskin som kallas Quattro för små detaljer och som kan passa i de flesta verkstäder. Den har arbetsområde 1260x1260x100 mm och är utrustad med en 1 kW CO₂-laser som skär upp till 6 mm stålplåt.

- Maskinen är byggd i en enhet, säger Jonas Hedqvist, och är en lågprismaskin för den lilla verksamheten. Prestanda är dock i samma nivå som vanliga maskiner med förflyttningshastigheter på 30 m/min och skärhastigheter på upp till 10 m/min.

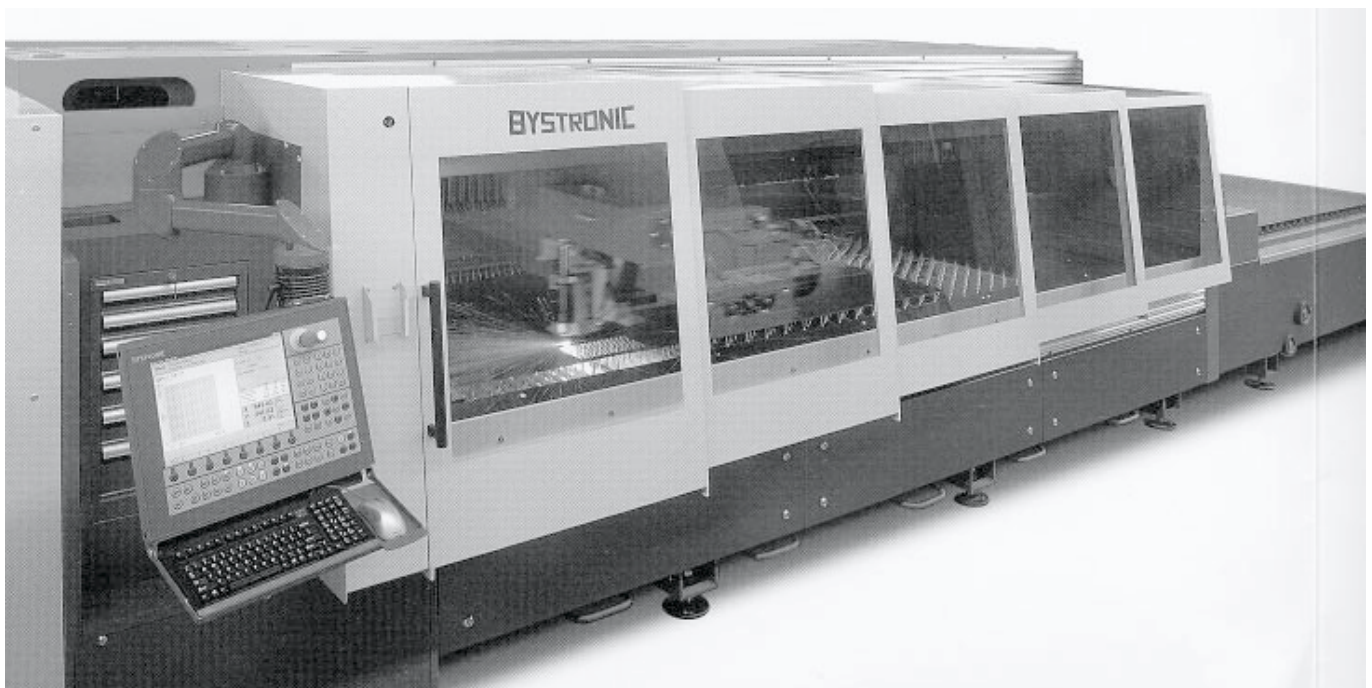


Bild 6. BySprint 3015 är Bystronics svar på linjärmotordriften.



Bild 7. Jonas Hedqvist visar Amadas nya lilla skärlaser, Quattro.

Amada har också investerat mer än 135 miljoner kronor i en ny fabriks anläggning i Charleville, Frankrike, där man ska utöka produktionen av maskiner för den europeiska marknaden.

Laserhoning i produktion

Vad mera av laserintresse från EMO? Ja, Finnpower visade t ex sin stolthet FPL6 med linjärmotordrift, och man kan inte annat än imponeras av farten i positionering och skärning. Den måste upplevas!

Salvagnini, LVD och Stiefelmeyer visade också laserskärmaskiner som funnits ett tag på marknaden. Adige ställde ut sin profilskärmaskin LT 652, som nu är ytterligare förbättrad. Omställningstiden för byte av profiltyp är nu mindre än 5 minuter upplyser Ing. Lino Grisoni.

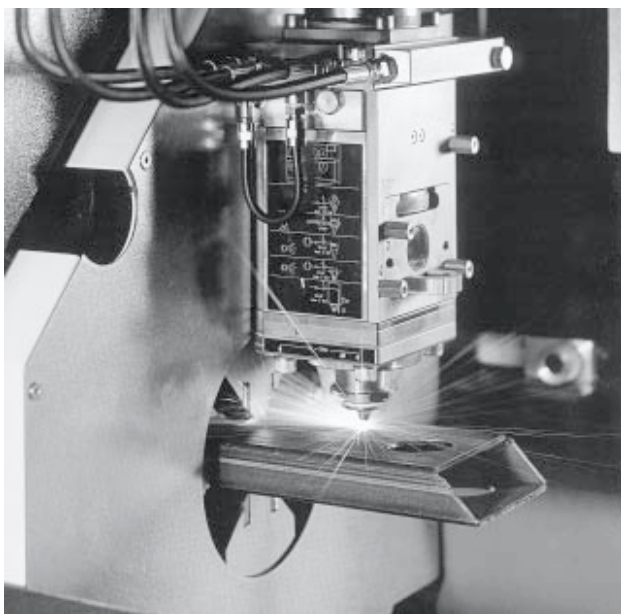


Bild 8. Adiges profilskärmaskin är helautomatisk och är utrustad med slablaser från Rofin Sinar och höjdhållningssystem från Precitec KG.

Om vi nu lämnar laserskärmaskinerna och tittar på övriga metoder så fanns ett rikt utbud på lasermärkmaskiner från t ex Östling, Gravograph, Borries och Baublys. Den sistnämnda har en hel mängd maskiner för märkning, djupgravering, och ytstrukturering.

Maschinenfabrik Gehring GmbH & Co. visade en mycket intressant teknik för ytstrukturering av cylinderfoder i bilmotorer som man kallar laser-honing. Tekniken går ut på att gravera små fickor i övre delen av cylindern med laser och därefter honas fodret. Laserhonade foder ger 50% reduktion i oljeförbrukning, mindre förorening av katalysatorerna, mindre utsläpp, lägre friktion och minskat slitage på foder och kolringar. Tekniken används nu i Opels 2.0 DTI 16V Echotec motor.

Alpha Laser GmbH visade en laserarbetstation för manuell ytbeläggning eller svetsning. Med denna kan man reparera diverse olika komponenter som verktyginsatser, gjutformar, stämplor mm.



Bild 9. Manuell laserarbetstation för ytbeläggning och svetsning från Alpha Laser.

EMO i Hannover bjuder som synes på ett rikt utbud av laserteknik. Laserskärmaskiner dominerar, men det finns också mycket annan laserteknik att titta på. Om Du dessutom är intresserad av tillverkningsteknik och verktygsmaskiner har du funnit en guldgruva att botanisera i. Jag säger som Sven Jerring sa om japanerna i den berömda fotbollsmatchen mot Sverige, men i EMO tappning: ”Maskiner, maskiner, maskiner – överallt maskiner!!

Väl mött på nästa EMO!!

Schweissen & Schneiden 2001

– allt för skärning och svetsning

Av
Hans Engström
Luleå tekniska universitet



Schweissen & Schneiden, S&S, världens största svets- och skärmässa hålls vart fjärde år i Essen, Tyskland. Det är en stor mässa men den känns mera ”hanterbar” än EMO eftersom området är koncentrat på ”bara” 12 hallar. Och allt handlar om svets- och skärteknik. Hallarna är också mindre vilket ger en tätare atmosfär och man kan verkligen känna mässpulsen. I år lockade S&S ca 1000 utställare vilket är 10% mer än vid förra tillfället. Man har också tagit i bruk en nya hall vilket ger totalt 105 000 m² utställningsyta.

Esab dominerar

När man anländer till S&S via huvudentrén till Hall 1 känner man sig riktigt stolt som svensk. Där, direkt innanför entrén, har som vanligt Esab (jag förtränger att de är i utländsk ägo) en jättelik monter där man visar ”allt” man har i maskiner, tillsatsmaterial samt övriga svets- och skärtillbehör.

På lasersidan har man en planskärmaskin, Alpharex, i det större formatet. Det största format man levererat har

en bredd på 5 m och en skärlängd på 28 m. Det ”normala” standardformatet är annars 2x6 m. Maskinen är av hybridtyp där laserkällan åker med i x-rörelsen. Lasrarna kommer från Trumpf. Trots det stora formatet har den en positioneringshastighet på 25 m/min.

En finess är möjligheten att ansluta ett fler-axligt huvud som gör det möjligt att skära faser i upp till 45 grader i 10 mm material.

Maskinen tillåter obemannad drift i upp till 8 timmar. Laddning och lossning kan ske under drift med ett palett-växlingsbord där palettväxlingen tar mindre än tre minuter.

Esab har naturligtvis tänkt på arbetsmiljön så Alpharex är också utrustad med effektiva utsug och filterkassetter som enkelt kan bytas.

Även Messer visade en stor planskärmaskin, LaserMat 5000, som har arbetsbredder på upp till 3.2 m. Även denna maskin kan skära faser och då är den försedd med ett Precitec CS skärhuvud. Messer använder Fanucs C4000A laser i maskinen.



Bild 1. Esab Alpharex är en laserskärmaskin för de stora formaten. Skärning av faser är möjligt med ett fler-axligt skärhuvud.

Högeffekt diodlaser

Laserline GmbH visade ett urval av sina diodlasrar. Effektområdet för de direktverkande lasrar är från 0.1 till 6 kW. Den minsta väger 3 kg och den största 18 kg! Fokalpunkts storlek är 0.45x0.45 mm respektive 0.9x4 mm.

Laserline har också fiberkopplade diodlasrar och här sträcker sig effektområdet från 0.1 till 4 kW. Fiberdiameter är 0.4 mm respektive 1.5 mm.

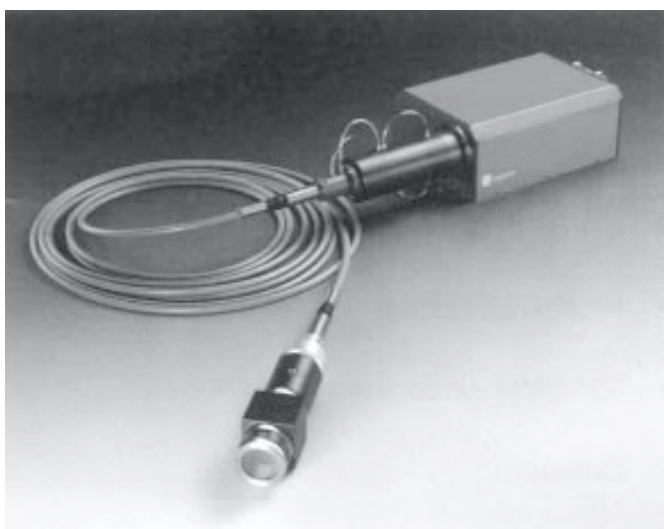


Bild 2. Fiberkopplad diodlaser från Laserline



Bild 3 Diodpumpad på 1 kW Nd:YAG-laser från Trumpf. Effekten garanteras under diodernas hela livslängd.

Diodpumpad Nd:YAG och remote welding från Trumpf

Trumpf hade också en stor monter vid S&S där man visade flera nyheter. Den kanske största är att man nu har diodpumpade Nd:YAG-lasrar till försäljning. På mässan visades en 1 kW med strålkvalitet 12 mm x mrad. Till den används fiberdiameter 0.3 mm. Den största diodlaser ger maximalt 6 kW med garanterade 4.5 kW på arbetsstycket under diodernas hela livslängd. Strålkvaliteten är 25 mm x mrad och till den lasern använder man 0.6 mm fiber.

Trumpf visade också en prototyp till remote welding med arbetsområde 760x760x350 mm. Den bestyckas med CO₂-lasrar på 3-5 kW. Portioneringshastigheten är 700m/min (11.7 m/s). Fokallängden på optiken är 1500 mm och man kan få en fokalpunkt på 0.5 mm i diameter. En riktig maskin kommer våren 2002 och mot slutet av året ska man ha framme en maskin med arbetsområde på 1.6x1.6 m.

Trumpf visade också sin programmerbara optik, PFO, som svetsar små detaljer blixtnabbt. Man hade också en station där man svetsade 5 mm aluminium med 5 kW CO₂-laser vid 5 m/min. För att få optimal svetskvalitet använder man dubbelfokusoptik, Twin Spot.

Manuell påsvetsning

Även Rofin Sinar fanns på S&S och visade bl a remote welding och ett system för manuell laserpåsvetsning kallat StarWeld Tool.

Det största systemet för remote welding ger ett arbetsområde på 1.5x2.4 x0.6 m och till den används en 3.5kW CO₂-slab laser. Fokallängden är 1600 mm och den positioneras med en hastighet av mer än 2 m/s. Rofin körde systemet "live" och det är imponerande att uppleva positioneringshastigheten över en så stor yta. Dödtiden mellan svetsarna är i princip eliminerad; däremot är svets hastigheten ännu begränsad till följd av den relativt stora fokalpunkten och frånvaro av skyddsgas.

StarWeld Tool systemet utnyttjar en 100W Nd:YAG-laser som ger 80J pulser vid 10Hz. Systemet är tänkt för såväl små som stora (max 350 kg och 125 l) detaljer och även vertikala ytor kan behandlas utan att arbetsstycket behöver tiltas. Påsvetsmaterialet är av tråd och man kan få hårdheter upp till 62 HRC. Systemet ska vara så ergonomiskt utformat att operatören ska kunna arbeta timmar i sträck utan problem.

Laserhybridsvetsning

Både Fronius och KUKA "pushade" för laserhybridsvetsning av aluminium med Nd:YAG laser. Fronius visade en

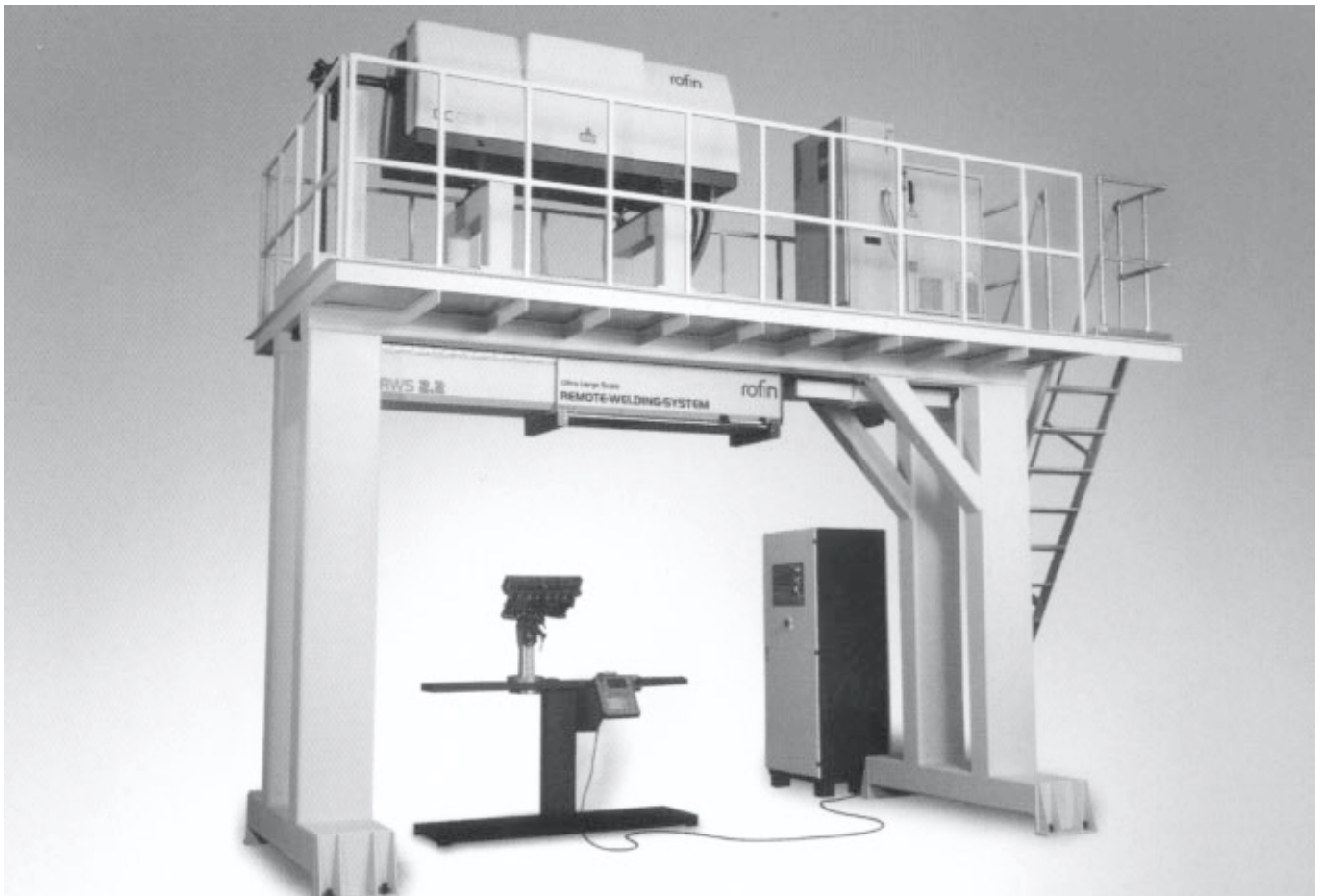
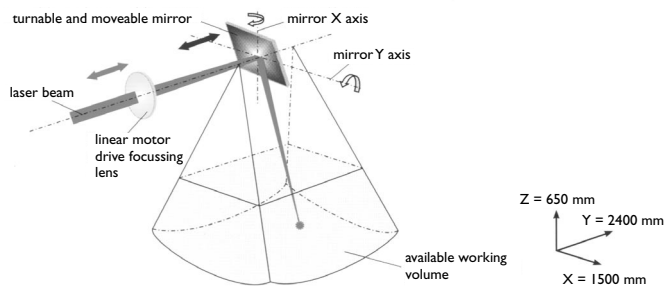


Bild 4 a. Remote welding system från Rofin Sinar.



4 b. Remote welding system från Rofin Sinar.

Hög puls på S&S

En dag på S&S går fort. Det finns mycket spännande svets-teknik, så den svetsintresserade har högtidsstunder, men det visades också mycket av rena standardprodukter. Vanliga svetsmaskiner finns i parti och minut för att inte tala om enkla tillbehör. Rullar med svetstråd finns också överallt. Men trots detta så tänker jag nog försöka uppleva S&S år 2005. Som sagt, mässpulsen är hög på S&S.

cell med ett integrerat svetshuvud och man uppger att svetsning kan ske med 3-8 m/min i effektområdet 2.5-3.5 kW. KUKA hade ingen visning men uppger att man kan uppnå 3 gånger högre svetshastighet med sitt laser-robot system! På tal om laser-robot så demonstrerade ABB ett system med ett skärhuvud från Permanova.

En spännande upptäckt var High Yag Lasertechnologie GmbH som visade processhuvuden för ett flertal tillämpningar som svets- och lödhuvud för både diod och Nd:YAG, svetshuvud för hybrid-MIG, svetshuvud för aluminium. Man har också standard fokuseringshuvuden för både Nd:YAG och diodlaser.

Att välja gas för laserskärning

Bo Williamsson AGA Gas AB

Inledning

Laserskärning lämpar sig för en stor mängd olika material och legeringar. Vid skärning i varierande material ställs krav på korrekta parameterkombinationer, där gasvalet ingår som en liten, men väl så betydelsefull del. Denna artikel är den första i en serie, där olika aspekter av gasval och gasparametrar kommer att belysas, och behandlar i detta avsnitt skärning av konstruktionsstål. Uppmärksamhet kommer också att fästas vid gasval för skärning av höghastighetsskärning.

Material

Gasvalet har stor inverkan vid skärning av olika material. Beroende på önskad snittkvalitet, prestanda och ekonomi finns i regel ett antal olika alternativ. Här tas endast upp de vanligaste materialen.

Konstruktionsstål

Standardgasen för skärning av olika konstruktionsstål har traditionellt varit syrgas. Syrgaset ger ett energitillskott vid förbränningen av materialet i snittet vilket borgar för hög skärhastighet. Skärhastigheten kan ökas ytterligare genom att använda syrgas av högre kvalitet. Nackdelen med syrgas är att den egenskap som ger förutsättningar för hög produktivitet också skapar problem i form av oxiderade snittytor. Detta gäller framför allt vid efterföljande pulverlackering. Krav på lackeringsbara snittytor har lett fram till utvecklingen av alternativa skärgaser, exempelvis syrgas/nitrogenblandningar eller helt ren nitrogen (kväve), var och en med sitt specifika användningsområde samt för- och nackdelar, se tabell 1.

Nitrogen förefaller vara ett gångbart alternativ för att lösa problemen vid efterföljande pulverlackering. Ett problem i sammanhanget kan möjligen vara att processen kräver betydligt högre effekt än vid skärning med syrgas.

Detta beror på att vi i detta fall saknar det exoterma tillskottet vid förbränningen av material i skärnsnittet. Skärning med nitrogen sker som ren smältskärning vilket nödvändiggör hög lasereffekt i kombination med god strålkvalitet. Som exempel kan nämnas att undertecknad har skurit 2 mm konstruktionsstål med samma hastighet som vid syrgas skärning. Snittkvaliteten var extremt hög, med slagg- och oxidfria snitt.

Skillnaden var att lasereffekten ökades till 2.8 kW mot tidigare 1,1 kW. Skärgasttrycket ökades också till moderata 10 bar. I övrigt användes parametrar för skärning av rostfritt stål, bl a flyttades fokalläget från överkant av plåten ner i materialet. Undersökningar pågår för att dokumentera skärparametrar vid skärning av tjockare plåt, upp till 8 mm.

I de fall lasereffekten är för låg kan i vissa fall blandningar av syrgas och nitrogen användas. Den lilla syrgas-tillsatsen ger ett tillräckligt stort energitillskott för att processen ska fungera. Nackdelen är att snittytan blir delvis oxiderad, dock i betydligt mindre utsträckning än vid skärning med ren syrgas.

Höghastighetsskärning

Höghastighetsskärning med laser intar en viss särställning i sammanhanget. Maskiner med linjärmotorer i kombination med lasrar med hög strålkvalitet skapar förutsättningar för mycket höga positionerings- och skärhastigheter. Skärhastigheter upp till ca 30 m/min i 1 mm konstruktionsstål gör att metoden i vissa fall kan konkurrera med stansning. Höghastighetsskärning används även vid skärning av andra material t ex aluminium och rostfritt stål.

Vid höghastighetsskärning används, i motsats till vid normal skärning i regel nitrogen. Detta framför allt på grund av att förbränningen av material i syrgas tenderar att störa skärprocessen snarare än underlätta den. Ett laminärt gasflöde

Tabell 1. Sammanställning av olika skärgaser för konstruktionsstål.

Gas	Fördel	Nackdel
Syrgas	Hög skärhastighet	Oxiderade snittytor
Nitrogen/Syrgas	Lägre skärhastighet	Mindre oxidation
Nitrogen	Ingen oxidation	Lägre skärhastighet i vissa fall Kräver hög lasereffekt

Tabell 2. Exempel på prestandaskillnad vid höghastighets-skärning kontra konventionell skärning.

Mtrl: konstruktionsstål t=1mm	Max pos.hastighet (m/min)	Max skärhast (m/min)
Konventionell skärning	80	10
Höghastighetsskärning	300	40

påverkar skärprestanda i gynnsam riktning. Prestanda ökas ytterligare genom den höga strålkvaliteten hos lasern. Hög strålintensitet i kombination med ett effektivt gasflöde skapar förutsättningar för höga prestanda.

Gastryck och flöden är i motsats till vid högtrycksskärning av rostfritt material relativt moderata. Gastryck upp till 5-10 bar är vanligt förekommande. Ett exempel på skillnaderna i prestanda mellan normal laserskärning och höghastighetsskärning visas i tabell 2.

Nästa artikel: Gasfrågor vid skärning av rostfritt stål och aluminium

M E D L E M M A R

ABB Assist AB
ABB Flexible Automation AB
AGA Gas AB
Air Liquide Gas AB
Alfa Laval Lund AB
AMADA/PROMECAM AB
Arbetslivsinstitutet
Bahco Metal Saws AB
BT Products AB
Bystronic AB
CEPA Industri AB
Dala Plåtteknik AB
Duroc AB
E. M. Eriksson Plåt AB
ERASTEEL Kloster AB
ESAB AB
Faurecia Exhaust System AB
Fribergs Verkstäder AB
Gamma Optronik AB
Hackman Wedholms AB

HIAB AB
Huskvarna Prototyper AB
Häggblunds Vehicle AB
Institutet för Metallforskning
IVF Industriforskning och utveckling AB
Kendrion JV AB
LASAB
Laser Centrum i Gnosjö AB
Luleå Tekniska Universitet
Ingenjörfirman Lundwall & Co AB
MAPRO Lasersystem AB
Henrik Murray Consulting HB
NUM Norden AB
Permanova Lasersystem AB
Permascand AB
Permascand Laser AB
Plåtspecialisten AB, Arlööv
Plåtspecialisten i Örebro AB
Pullmax Ursviken Scandinavia AB
Rotage AB

Saab Automobile AB
Salvagnini Scandinavia AB
Sapa profiler AB
Scania AB
Spånga Allmontage AB
SSAB Oxelösund AB
SSAB Tunnpå AB
St Jude Medical AB
Totalförsvarets Forskningsinstitut, FOI
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

K O N F E R E N S E R och S E M I N A R I E R 2 0 0 2

- 12 mars Racer II, Laserbearbetning och abrasiv vattenstråleskärning.
Avslutningsseminarium med presentation av resultat i samarbete med svensk industri.
Studiebesök vid Faurecia Exhaust System AB, Torsås
- 21 mars VI Laserseminarium "Möjligheternas teknik" Lasergruppen i samarbete med CEPA, Lund
- 16 maj Laserdag och årsmöte för Lasergruppen, Luleå tekniska universitet, Luleå
- 27-31 maj LAMP 2002, Osaka, Japan innehållande två konferenser:
LPM2002 – 3rd International Symposium on Laser Precision Microfabrication
HPL2002 – 1st International Symposium on High Power Laser Macro Processing
- 24-25 juni IIW Internationell svetskonferens, "Advanced Processes and Technologies
in Welding and Allied Processes", Köpenhamn
- 9-12 juli IBEC 2002, Paris. International Body Engineering Conference and Exhibition
- 18-20 sept Aachener Kolloquium für Lasertechnik, Aachen, Tyskland
- 14-17 okt ICALEO 2002, DoubleTree Paradise Valley Resort, Scottsdale, Arizona USA



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