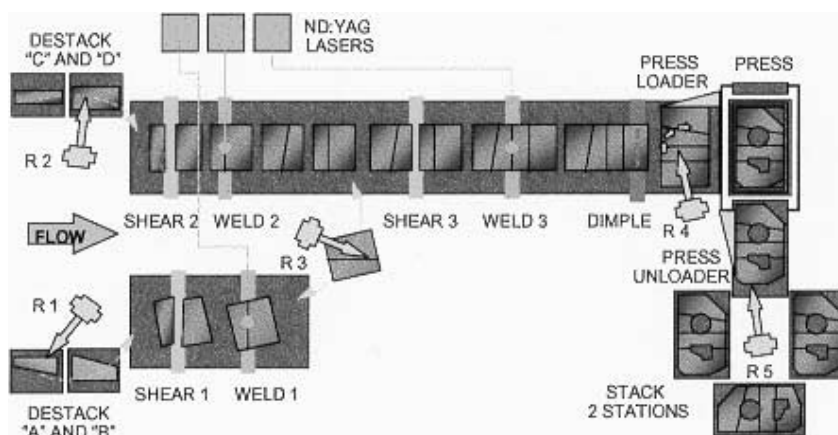




Figur 4. "Tailored blanking"-anläggning för karossidor till en GM Sport Utility Vehicle.

verktyg (figur 4). Därför kan detta vara fördelaktigt om tillverkaren, även om man inte avser att ämnesskarva i egen regi, har tillgång till FoU-anläggningar där man i tidiga projektfaser kan utvärdera detaljens geometri, svetsprocess samt formbarhet. Här nämndes VCBC's (Volvo Cars Body Components, Olofström) nyinstallerade 8kW CO₂-anläggning som exempel.

Processövervakning och kvalitetskontroll är andra viktiga aspekter vid ämnesskarvning. Här finns idag många exempel på mer eller mindre sofistikerade instrument, men trenden med alltmer avancerad processutrustning gör att kostnaden för ämnesskarvningen kan skjuta i höjden. Mr. Lewinski nämnde att det också var på väg att skapas en kultur där man eftersträvar breda svetsar för att "vara på den säkra sidan". Detta synsätt är ytterst alarmerande då breda svetsar är mindre formbara. Fokus måste i stället riktas mot mer robusta system för "in-process monitoring".

På senare år har begreppet "non-linear tailored blanking" myntats. Även om vi lär se väldigt få verkligt icke-linjära svetsar i ämnesskarvningssammanhang, måste vi till denna kategori även räkna svetsar som är vinklade i förhållande till detaljens huvudaxlar eller som byter riktning någon stans på detaljen. Mr. Lewinskis budskap var att fortsätta att eftersträva raka svetsar, eftersom andra konfigurationer kan "kosta mer än det smakar".

Bland utvecklingstrender nämndes avslutningsvis ämnesskarvning av höghållfast stålplåt samt aluminium, det senare med någon form av tillsatsmaterial. Referenser gjordes även till Alcans framgångsrika svetsning av aluminium med direktverkande diodlaser utan tillsatsmaterial samt till Thyssens hybridfogning av stål till aluminium.

Nd:YAG Laser Welding of Aluminium Tailored Blanks

K. Shibata, T. Iwase, H. Sakamoto, M. Kasukawa, K. Chiba, H. Sakei, Nissan Motor Co., Ltd.

Som jag inledningsvis nämnde hade en hel del delegater avstått från att infinna sig, vilket gjorde att jag ej fick möjlighet att träffa min gamle kollega Kimihiro Shibata från Nissan. Dock vill jag ändå förmedla ett koncentrat av informationen kring Nissans försök kring ämnesskarvning av aluminium med hjälp av Nd:YAG-laser. I undersökningen har man

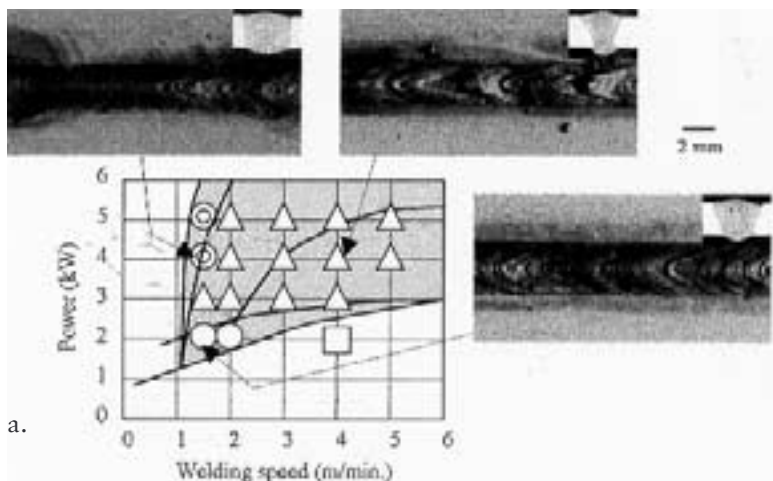
tittat på relationen mellan svetsens dimensioner och hållfasthet respektive formbarhet.

Eftersom Nd:YAG-lasern har en kortare våglängd jämfört med CO₂-lasern har dess stråle en bättre absorption i lättare metaller som t.ex. aluminium. Dessutom är Nd:YAG-laserstrålen mindre känslig för det plasma som bildas vid svetsningen. Dock påpekades att det finns ett antal utmärkande drag vid lasersvetsning i aluminium jämfört med stål:

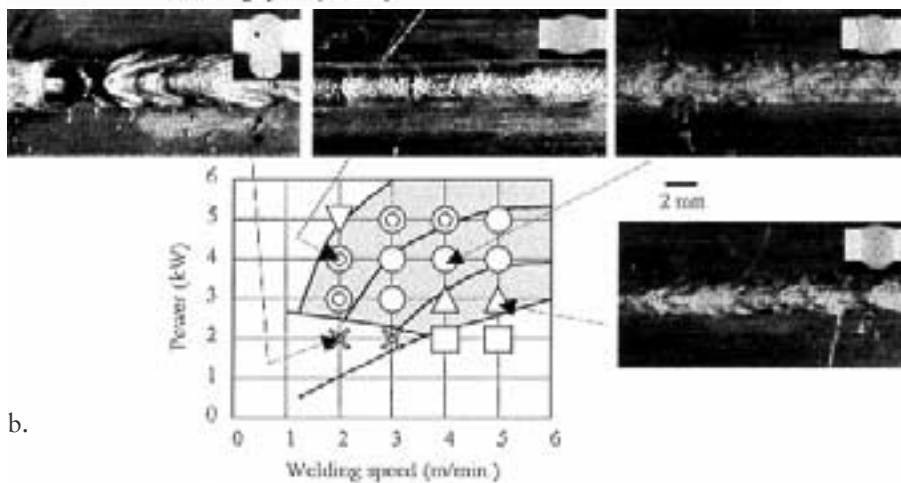
- Processfönstret är smalare p.g.a. den högre reflexionen
- Risken för porbildning då lösligheten av hydrogen skiljer avsevärt mellan fast och flytande (smält) form
- Svetsgodsets hållfasthet är lägre än grundmaterialets då det vid svetsningen sker en reduktion av Mg-innehållet

I den experimentella delen av arbetet svetsades 1.0 och 2.4 mm tjock AA5182-O aluminiumlegering i stumfog. Man undersökte svetsbarheten i intervallet 2-5kW för både Nd:YAG som CO₂ (figur 5 nästa sida). I Nd:YAG-fallet "parallellkopplade" man fibrerna från en 2kW- och en 3kW-källa för att uppnå maximal effekt. Genom att registrera svetshastighet mot effekt kunde man konstatera att Nd:YAG-processen var stabilare över ett större parameterområde vad gäller att erhålla visuellt acceptabla svetsar. Eftersom Nd:YAG-våglängden inte störs av plasmabildningen får man en jämnare energifördelning i djupled i svetsen. Vid CO₂-svetsningen upplevs denna energifördelning mer instabil just p.g.a. laserstrålens interaktion med plasmata.

Vid dragprov av lasersvetsade, tunna aluminiumplåtar har det visat sig att svetsens hållfasthet är lägre än grundmaterials. Vid svetsning av tunnplåt i stål visar sig däremot



a.

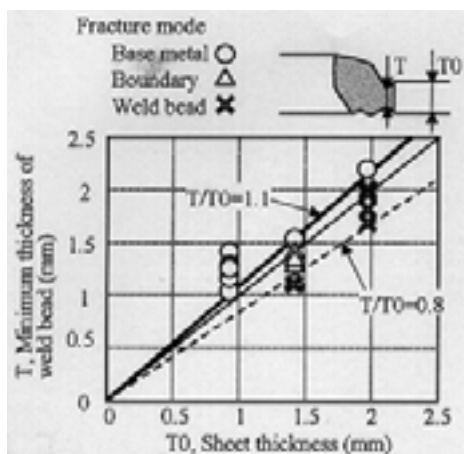


b.

Full penetration	Acceptable	Excellent	⊙
		Good	○
		Fair	△
	Unacceptable	Blowhole	▽
		Rough bead	✕
Partial penetration			□

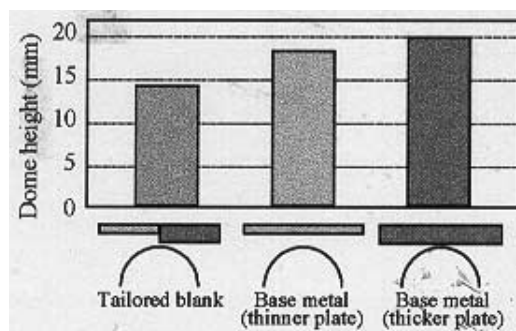
c.

Figur 5. Processfönster för Nd:YAG (a) och CO₂ (b). Klassifikationen tolkas enligt (c).



Figur 6. Relationen mellan svetsens och plåtens tjocklek med avseende på brottbeteende.

svetsen vara starkare. Därför hade Nissan via experiment kunnat fastlägga att vid stumsvetsning av aluminium måste svetsens höjd vara större än $1.1 \times$ plåttjockleken om brottet skall styras till grundmaterialet (figur 6). I annat fall sker det i svetsgodset eller i den värmepåverkade zonen. Formbarhetsprovning av skarvade aluminiumämnen gav vid handen en djupdragning, innan sprickor uppstod, som var 70% av den för grundmaterialet (figur 7).



Figur 7. Formbarhetstest för skarvat ämne respektive enskilda plåtar.



Figur 8. Bakdörrspanel i aluminium, ämnesskarvad av fyra olika plåtämnen.

Som ett avslutande praktikfall hade man ämnesskarvat en bakdörrspanel som bestod av 4 aluminiumplåtar representerande 3 olika tjocklekar. Dörrstyvhetsen provades i tre olika riktningar och gav vid handen att den hade ungefär samma styvhet som referensdörren som var tillverkade i stål (figur 8). Samtidigt måste man emellertid observera att aluminiumdörren vägde 46% mindre än ståldörren, varför den relativa styvhetsen för aluminiumdörren blir betydligt högre. Som avslutning kan också nämnas att ståldörren har 5 separata förstärkningar vilka ersätts av en enda i aluminiumfallet då man utnyttjar ämnesskarvning.

Welding of Automotive Polymeric Components Using Laser Radiation

H. Haferkamp, O.Thürk, A. von Busse, Laser Zentrum Hannover e.V.

Den i mitt tycke intressantaste presentationen var den som hölls av Mr. von Busse från LZH. Detta bidrag belönades också förtjänstfullt genom att erhålla priset för bästa och mest innovativa bidrag inom blocket "Manufacturing".

För sammanfogning/svetsning av plaster finns en uppsjö av tekniker att välja mellan. På senare år har högeffekts diodlasrar och diodpumpade Nd:YAG-lasrar adderats till verktygen. Fördelen vid lasersvetsning av plaster, och då företrädesvis termoplast, är den goda fokuserbarheten av strålen som resulterar i en precis och kontrollerad energitäthet. Vidare erbjuder lasern en kontaktfri bearbetning med mycket hög åtkomst även i svåra och trånga utrymmen. Slutligen är processen näst intill fri från nedsmutsning och erbjuder hög maskinflexibilitet.

Svetsning av plaster och polymerer sker genom s.k. transmissionssvetsning. I en överlappsfog är då det ena materialet transparent för laserstrålens våglängd medan det andra absorberar laserstrålen. Alltså penetrerar laserstrålen det transparenta materialet och absorberas därpå i skiktet mellan de två materialen varvid värme uppstår

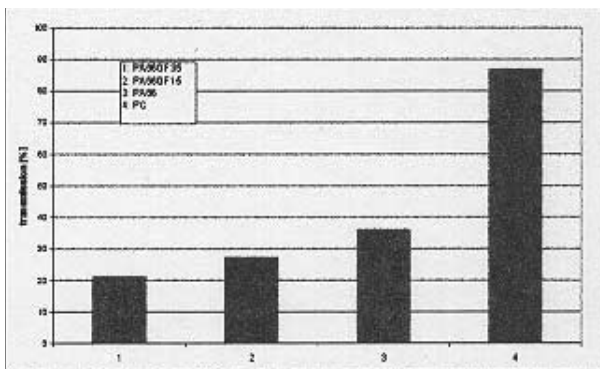
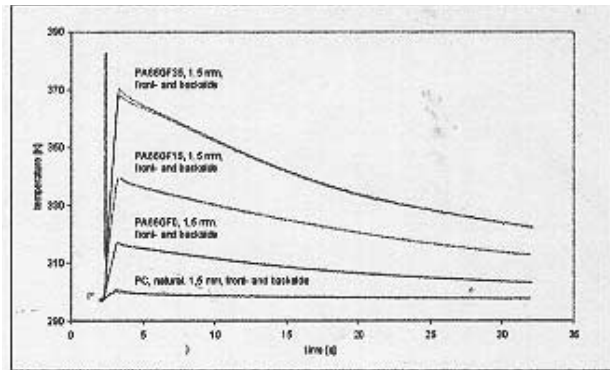
som på en mycket lokal bredd (100µm) smälter samman materialen. Transmission och absorption beror på:

- Laserns våglängd
- Plasternas kemiska komposition
- Plasternas morfologiska struktur
- Arbetsstyckenas temperatur
- Mängd och typ av tillsatser (pigment, plasticeringsmedel, fyllnadsmaterial och fibrer)

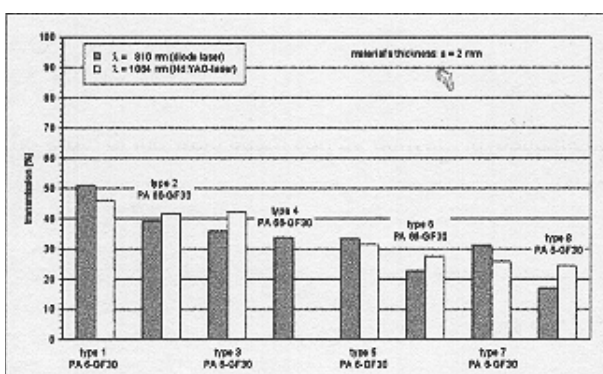
Eftersom det krävs väldigt låg effekttäthet för denna form av svetsning tycks direktverkande diodlasrar vara som skräddarsydda för ändamålet. Vid de experimentella försök som redovisades hade denna typ av laserälla använts med effekter mellan 45-100W. Polyamidplaster (PA6 och PA66) hade svetsats med 5mm överlapp i hastigheter mellan 2-22m/min. Vid dragprov låg hållfastheten kring 45N/mm². Inte bara svetsbredd utan också graden av penetration visade sig ha stor betydelse för hållfastheten - djupare "inbränning" gav högre hållfasthet.

Utgående från de ovan nämnda parametrarna som styr plastens absorptionsförmåga av laserstrålen och därmed kan utgöra ett kriterium för polymerens svetsbarhet har kollegorna på LZH utvecklat en termografiskt modell. Med hjälp av denna kan man snabbt och enkelt, och utan förstörande provning, utvärdera ett materials termiska och optiska egenskaper m.a.p. lasersvetsbarhet. Genom att värma de aktuella plastkvaliteterna med korta pulser (både från diodlaser $\lambda=810\text{nm}$ och Nd:YAG $\lambda=1064\text{nm}$) och registrera värmeutveckling och intensitet på såväl över- som undersida med hjälp av en IR-kamera skaffar man indata för den nämnda modellen (figur 9 nästa sida). Försöken visar att effekt och våglängd är av mindre betydelse vad gäller att uppnå god svetsbarhet. Den stora inverkan fås från hur plasterna har tillverkats. Polymerer

med i stort sett samma fiberinnehåll kan ändå uppvisa skillnader i transmissionsvärden på 20-50% (figur 10). Dessa skillnader är att härleda till olika typer av granulat, olika parametrar använda vid själva polymerisationsprocessen samt olika innehåll, storlek och storleksfördelning vad gäller fyllmedel.

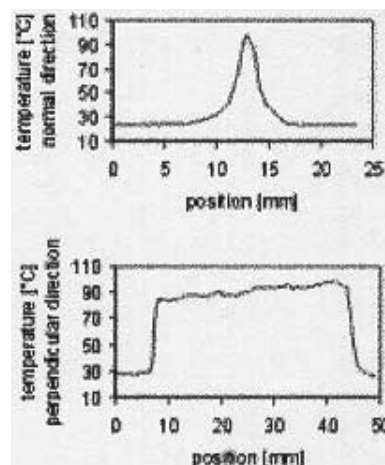
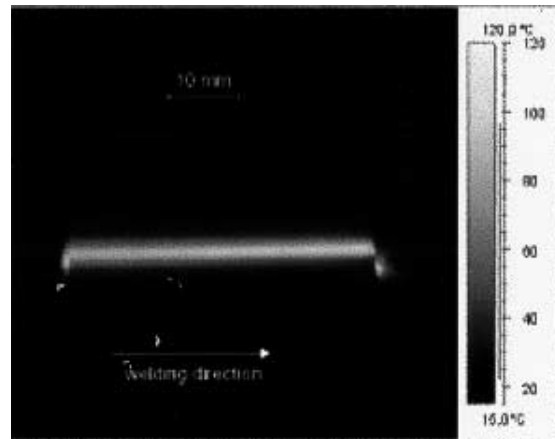


Figur 9. Registrering av temperatur och värmeledningsförmåga hos några olika polymerer.



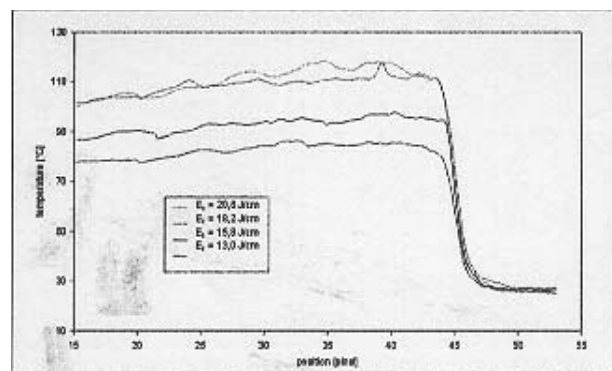
Figur 10. Transmissionsvärden för PA6-GF30 och PA66-GF30 från olika leverantörer.

En termografisk processövervakning har också utvecklats vid LZH. Man mäter helt enkelt temperaturlistributionen över ytan på den transparenta plastkomponenten med en IR-kamera och en mätfrekvens av 50Hz (figur 11). Man menar att denna teknik är överlägsen mätning med pyro-



Figur 11. Avbildning av temperaturhistoriken under lasersvetsning.

meter, eftersom denna endast mäter punktvis och ej ger möjlighet till att visualisera hur temperaturhistoriken förändras under svetsförloppet. Med denna form av temperaturkontroll är det möjligt att kontrollera förändringar i sträckenergi (figur 12) som kan uppkomma genom defekter och föroreningar på substratytan eller variationer i spelet mellan komponenterna. För att kompensera för dessa förändringar i sträckenergi kan antingen effekt eller svetshastighet justeras.



Figur 12. Temperaturprofilen vid olika sträckenergier.

Numerical Study of Zinc Coated Car Body Laser Welding

A. Loredo, B. Martin, H. Andrzejewski, M. Pilloz, D. Grevey, Université de Bourgogne, and P. Habert, L. Goby, M. Joly, Renault Techno-Centre

Som de flesta andra biltillverkare har även Renault upptäckt de problem som uppstår vid överlappssvetsning av zinkbelagd plåt. P.g.a. av att zink hinner övergå i ångfas innan stålet börjar smälta får man ett mycket instabilt svetsförlopp. Den förångade zinken inneslutes i nyckelhålssmältan, stör laserprocessen och resulterar i en dålig svetskvalitet. I ett samarbetsprojekt mellan Renault och Université de Bourgogne har man försökt komma tillrätta med problemet.

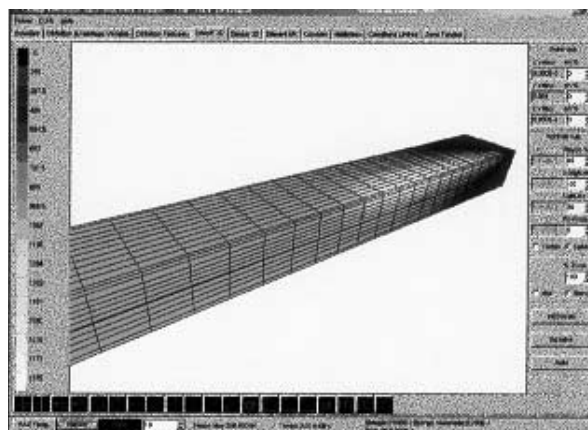
Mr. Loredo presenterade lösningen, den s.k. "two step"-metoden, vilken innebär att man arbetar med s.k. dubbel-fokusteknik. Från laserkällan, som är två parallellkopplade Nd:YAG-lasrar med vardera 3.5kW uteffekt går två fibrer fram till ett svetshuvud (figur 13), vilket innebär att man



Figur 13. Processupställning med två lasersvetshuvuden som används vid den s.k. "two-step"-metoden.

kan skapa två fokuspunkter med 40 mm individuellt avstånd från varandra sett i svetsförloppets riktning. Sekvensen är att man först skickar en laserstråle till den främre fokuseringsoptiken som snarare defokuserar strålen så att den har en elliptisk form och en bredd på ungefär 2 mm. Avsikten med denna fokuspunkt är att förångas den zink som finns mellan plåtarna och som leder till det ovan beskrivna svetsproblemet. När svetshuvudet har förflyttats en sträcka som motsvarar avståndet mellan fokuspunkterna, växlas laserstrålen över till den andra fibern och den bakre optiken, vilken fokuserar strålen till en så hög effekttäthet att nyckelhålssvetsning kan ske. Denna utförs då under en så lång sträcka som motsvarar avståndet mellan fokuspunkterna och där zinken redan har förångats bort, varpå laserstrålen ånyo växlas över till den främre optiken o.s.v. Nackdelen med denna typ av svetsförfarande är att man är begränsad till intermittent svetsning.

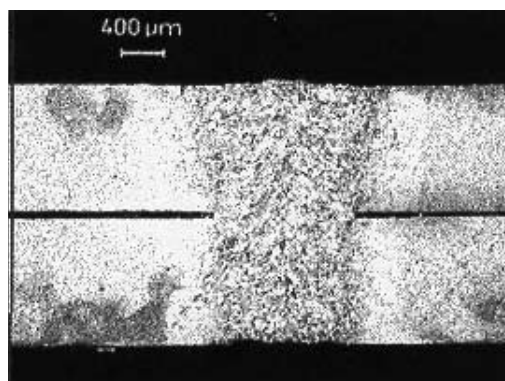
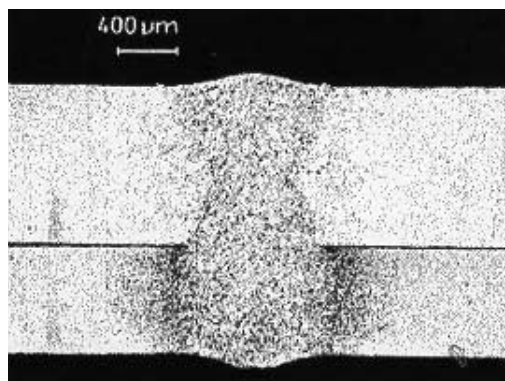
Man har i sammanhanget även utvecklat en numerisk FE-modell som beskriver förloppet (figur 14) och med vilken man kan variera svets hastighet, effekt, storlek samt formen



Figur 14. Elementindelad svets simuleringsmodell med identifierbart varmare område.

på de två fokuspunkterna. Koden är explicit och beskriver övergångarna från fast till flytande resp. flytande till ångfas. Modellen har tjänat som ett bra hjälpmedel för att finna den bästa kombinationen av de nämnda parametrarna.

"Two step"-metoden har utvärderats på olika tunnplåtskombinationer i tjockleksområdet 0.7-1.0mm och med en dubbelsidig zinkbeläggning på 10µm tjocklek (figur 15). Metoden verkar fungera som man avsett och korrelationen med simuleringsmodellen är god.



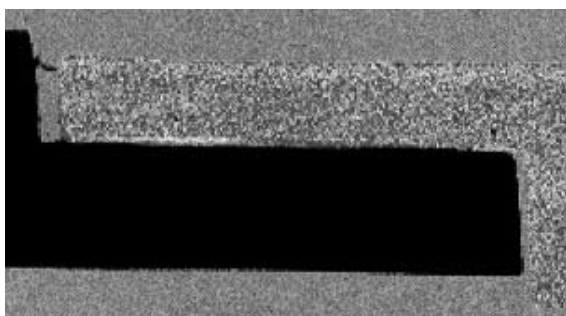
Figur 15. Metallografiska tvärsnitt på överlappsfogar; 1.0mm/0.7mm respektive 1.0mm/1.0mm.

New Advances in Plastics Joining for High Speed Production

G. McGrath, I.A. Jones, P.A. Hilton, E.J.C. Kellar, A. Taylor; Polymer Technology Group, TWI Ltd, and P. Sallavanti, Gentex

The Welding Institute (TWI) i Abington har under en lång följd av år sysslat med lasersvetsning, dock utan att kunna sätta "pricken över i" i forskningssammanhang. Nu har man kanske hitta en nisch inom området svetsning av plaster. Detta framkom som en del av en bredare presentation av Mr. McGrath som handlade om plastfogning och även tog upp metoder som AdhFAST™ (en typ av skruvelement med integrerade kanaler för liminjicering) och Vitresyn™ (en metod för att belägga mjuka plaster med abrasivt motståndskraftiga beläggningar).

Den lasermetod som man utvecklat för sammanfogning av plaster har man gett varunamnet ClearWeld™. Att sammanfoga plaster m.h.a. Nd:YAG- eller diodlasrar och transmissionssvetsning är inget nytt utan används i ett antal produkter idag, som t.ex. den elektroniska bilnyckel som Marquardt GmbH tillverkar åt bl.a. Mercedes Benz (se vidare om detta i författarens bidrag till NOLAMP 1999). Det som är unikt med TWI's metod är att man kan få en osynlig svets även vid helt transparenta material. Detta har hittills inte varit möjligt, utan för att "trolla bort" svetsen har man tidigare nödgats använda platser som är försedda med svart, absorberande pigment (*figur 16*).



Figur 16. Exempel på en transmissionslasersvets i 4mm tjock polypropylen svetsad med en 100W Nd:YAG-laser och en hastighet av 1.6m/min.

Eftersom absorptionen är våglängdsberoende behöver den absorberande komponenten inte nödvändigtvis vara svart, utan TWI har då utvecklat ett "medium" som av ögat upplevs som genomskinligt, men av laserljuset som en absorbent. Genom att infoga detta medium mellan två transparenta PMMA-plattor kunde man förevisa helt osynliga svetsar (*figur 17*). Processen fungerar på samma sätt som vid annan transmissionssvetsning med laser. Moleky-



Figur 17. ClearWeld – tekniken applicerad på två genomskinliga PMMA-plattor.

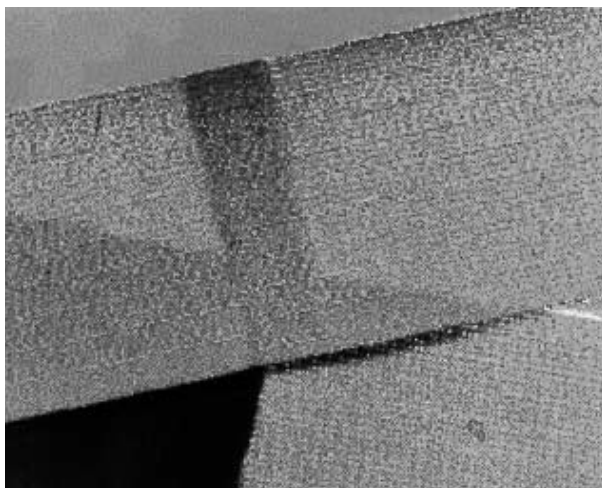
lerna i det framtagna mediet omvandlar den absorberade energin till värme som sammansmälter materialen.

Det finns ett stort antal olika sätt att introducera det absorberande mediet:

- Som en lös film som läggs mellan plastdetaljerna som skall sammanfogas
- Kan blandas in i polymerens bulk
- Kan läggas som en film i formen vid formsprutat material
- Ytor kan beläggas då mediet befinner sig i flytande form genom doppning, sprayning, målning
- Co-extrudering med en polymer innehållande mediet
- En impregnerad plastfilm kan gjutras över plastdetaljen om denna redan är tillverkad

De huvudsakliga parametrarna att iaktta vid dylik plastsvetsning är: mediets absorptionskoefficient, lasereffekt, svetshastighet samt energifördelningen i fokusfläcken.

Avslutningsvis visades på några praktikfall. Vattenavvisande Goretex™-material hade svetsats framgångsrikt med 1000W Nd:YAG-laser och hastigheten 500 mm/min (*figur 18*). En spännande applikation var en skjorta i polyester/viskos, där alla sömmar var lasersvetsade och där "fogarna" beretts genom beläggning med ClearWeld™ (*figur 19*). I detta fallet var den använda laserkällan en direktverkande diodlaser. Måne detta vara nästa utvecklingstrend inom textilindustrin?



Figur 18. Kontinuerlig överlappssvets i materialet Goretex där ett medium som absorberar infraröd strålning har placerats mellan textilerna.



Figur 19. Diodlasersvetsad skjorta i polyester/viskos.

Joining Technologies to Realize Dissimilar Joints for Automotive Applications

N. Akdut, J.R. Corostola, A.I. Koruk, L. Cretteur, OCAS N.V. Research Center of the SIDMAR Group, and I. Maronna, OCAS GmbH

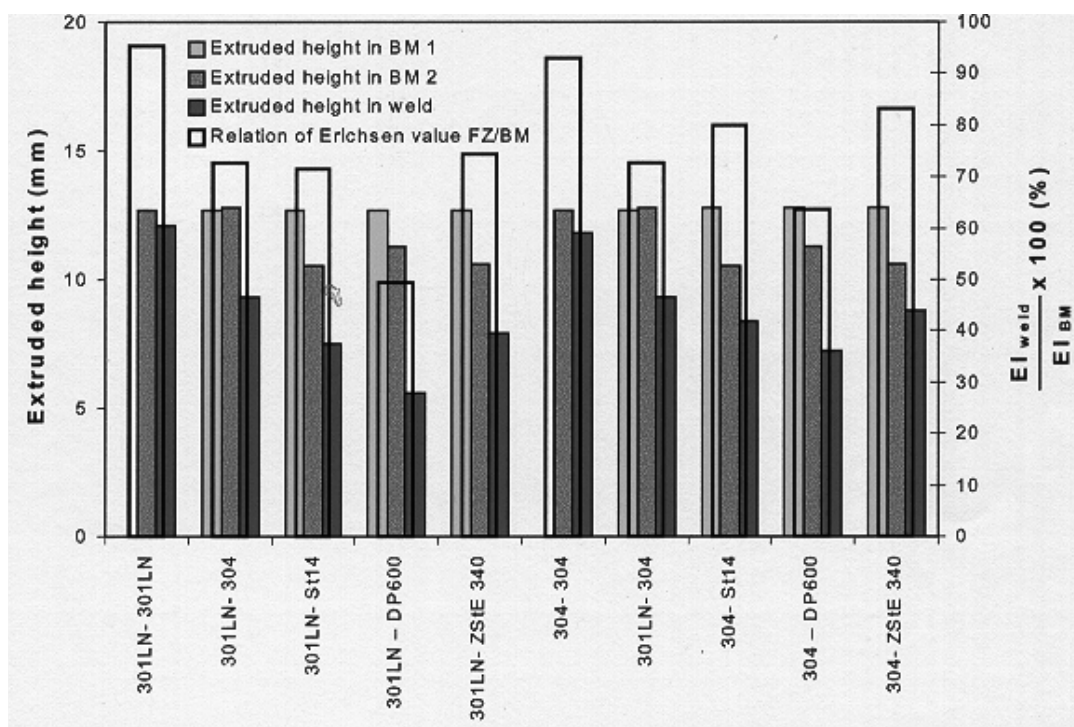
OCAS N.V. som är belgiska stålverket SIDMARs utvecklingscenter hade genomfört en bred studie av svetsbarheten av ett antal kol- och rostfria stål. Såväl motståndssvetsning som lasersvetsning hade utförts, men här kommer jag att begränsa mig till redovisning av resultaten från lasersvetsningen.

De material som ingick i studien var de austenitiska rostfria stålen EN 1.4301 (304) och EN 1.4318 (301LN) samt kolstålstyperna ZStE340, DP600 och St14. Materialen svetsades i stumfogsgeometri, typ ämnesskarvning, både "mot sig själva" samt i blandskarvskombinationer rostfritt/kolstål. Svetskvaliteten hade verifierats med såväl Erichsen-test som axiella dragprov.

Resultaten från Erichsen-proven framgår av tabell 1 och figur 20. Bäst formbarhet visade kombinationen 301LN-301LN, och sämst DP600 kombinerat med rostfritt. Man kan konstatera att de skarvade plåtarna har sämre formbar-

Basic Materials Tailored Blanks	Thickness (mm)	Extruded height (mm)	Formability ratio FZ/BM (%)	Fracture
304	1.2	12.8		In base metal
DP600	0.8	11.3		In base metal
301LN	1.2	12.7		In base metal
ZStE340	1.19	10.6		In base metal
DC04	1.0	10.5		In base metal
301LN - 301LN	1.2 / 1.2	12.1	95,3	Initiated in FZ then shifted to BM parts
301LN - DC04	1.2 / 1.0	7.5	71,4	Initiated in BM part of DC04 and propagated parallel to weld
301LN - DP600	1.2 / 0.8	5.6	49,6	Initiated in BM part of DP600 and propagated parallel to weld
301LN - ZStE 340	1.2 / 1.19	7.9	74,5	Initiated in BM part of ZStE 340 and propagated parallel to weld
304 - 304	1.2 / 1.2	11.8	92,9	Initiated in FZ then shifted to BM parts
301LN - 304	1.2 / 1.2	9.3	72,7	Initiated in FZ then shifted to BM parts
304 - DC04	1.2 / 1.0	8.4	80,0	Initiated in BM part of DC04 and propagated parallel to weld
304 - DP600	1.2 / 1.19	7.2	63,7	Initiated in BM part of DP600 and propagated parallel to weld
304 - ZStE 340	1.2 / 1.6	8.8	83,0	Initiated in BM part of ZStE 340 and propagated parallel to weld

Tabell 1. Resultat från Erichsen-provning av lasersvetsade ämnen där ingående plåtar är av såväl lika som olika kvalitet.



Figur 20. Dragdjup och Erichsen-värden för de i studien ingående plåtkombinationerna.

het än basmaterialet och att denna formningsförsämring ökar med ökande tjockleks- och/eller hållfasthetsskillnad mellan de ingående plåtarna. Två olika brottbeteenden kunde identifieras. För de helt rostfria kombinationerna skedde sprickinitiering i svetsgodset varpå sprickan propagerade vinkelrätt mot svetsen. För blandskarvarna uppstod sprickan i det tunnare materialet nära svetsen och propagerade parallellt med densamma.

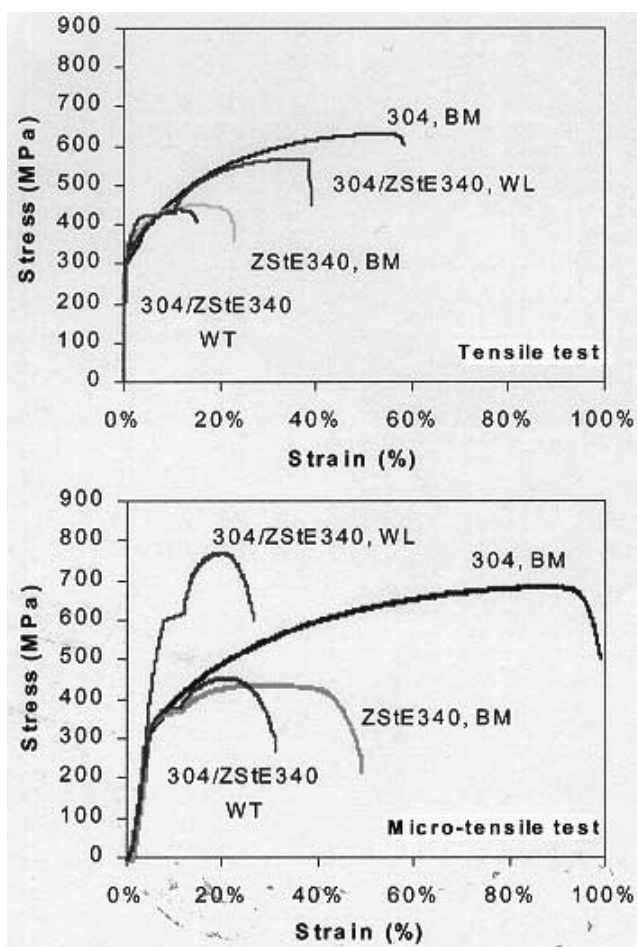
Dragproven genomfördes dels som standardiserade dragprov med svetsen orienterad såväl vinkelrätt som parallellt mot dragriktningen, dels som s.k. mikro-dragprov som endast innefattade svetsen och som då belastades såväl tvärs som parallellt med svetsriktningen. Alla dragprov vinkelrätt mot svetsen brast i grundmaterialet och för blandskarvarna kom brottet alltid i kolstålsdelen. Vid belastning parallellt med svetsen skedde brottet i svetsen.

För blandskarvarna var förlängningsvärdena lägre än för det rostfria materialet, men väl att märka högre jämfört med kolstålen.

Beträffande mikro-dragproven är det uppenbart att svetsens martensitiska struktur leder till högre sträck- och brottgräns än vad grundmaterialen uppvisar. Detta illustreras i *tabell 2 och figur 21 på nästa sida*. Särskilt kombinationen 304-DP600 visar på en brotthållfasthet av 1.070MPa, vilket kan vara en förklaring till de låga Erichsen-värden som man får för de kombinationer där DP600 ingår.

Table 3. Summary of BM, WT; WL mechanical properties of laser-welded joints determined by classic and micro-tensile test techniques								
Classic tensile	YS MPa	TS MPa	YS MPa	TS MPa	YS MPa	TS MPa	YS MPa	TS MPa
BM-304	286	630						
BM-301LN			352	780				
BM-ZStE340							350	448
BM-DP600					389	565		
Tailored blanks	304 - 304		301LN - 304		304 - DP600		304 - ZStE340	
WL	294	650	331	720	340	624	330	538
WT	284	617	315	650	402	580	300	438
Micro-tensile	YS MPa	TS MPa	YS MPa	TS MPa	YS MPa	TS MPa	YS MPa	TS MPa
BM-304		641						
BM-301LN				795				
BM-ZStE340								441
BM-DP600						566		
Tailored blanks	304 - 304		301LN - 304		304 - DP600		304 - ZStE340	
WL		700		750		1070		775
WT		458		680		532		469

Tabell 2. Sammanställning av mekaniska egenskaper hos de lasersvetsade fogarna, uppmätta från såväl "klassiska"- som mikro-dragprov.



Figur 21. Dragprovkurvor från "klassiska" dragprov (ovan) och mikro-dragprov (under).

Vid hårdhetsmätningar kunde också stora skillnader observeras mellan rostfria skarvar och blandskarvar (figur 22). För de helt rostfria svetsade kombinationerna kunde bara en marginell hårdhetsökning konstateras, medan blandskarvarna gav en avsevärd hårdhetsökning i svets-

godset p.g.a. martensitbildning. Däremot kunde något överraskande konstateras att svetsastigheten hade mycket liten inverkan på svetsgodsets hårdhet. Av större betydelse är i så fall svetsens geometri, där ett långsammare svetsförlopp leder till en bredare svets, vilket kan vara en nackdel ur formbarhetssynpunkt. För att förbättra formbarheten vid ämnesskarvning nämndes idén med någon form av eftervärmning av svetsen för att på så sätt reducera dess hårdhet.

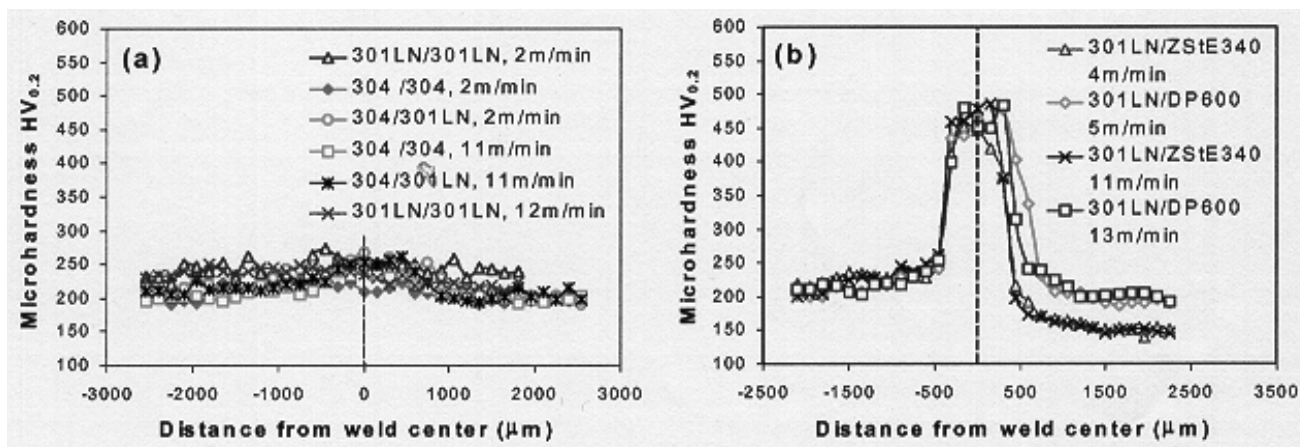
Advanced Welding Technologies for Magnesium Alloys

G. Kohn, Rotem Industries Ltd., A. Stern, Ben Gurion University-Negev, A. Munitz, Nuclear Research Centre-Negev

Mr. Kohn, en långväga gäst från Rotem Industries i Israel, redogjorde för diverse svetsförsök på magnesium som man hade gjort. Följande metoder hade undersökts i avseende att finna ett alternativ till den TIG-metod som idag används vid svetsning av den handikapp-scooter som illustreras i figur 23 på nästa sida:

- Magnetic Pulse Welding (MPW)
- Friction Stir Welding (FSW)
- Laser Beam Welding (LBW)
- Electron Beam Welding (EBW)

Svetsarnas kvalitet beträffande porer och inre bindfel hade undersökts med röntgen och ultraljud. Vidare hade man utfört metallografi samt mätt hårdhet och hållfasthet hos svetsarna. Det kunde konstateras att samtliga fyra metoder gav defektfria svetsar vid svetsning i magnesium. I det



Figur 22. Hårdhetsmätningar tvärs svetsgodset för ämnen i rostfri plåt (till vänster) och för blandskarvar rostfritt/kolstål (till höger).