

HYBRIDE LASERLASSEN VAN STAAL

COLLECTIEF ONDERZOEKSPROJECT

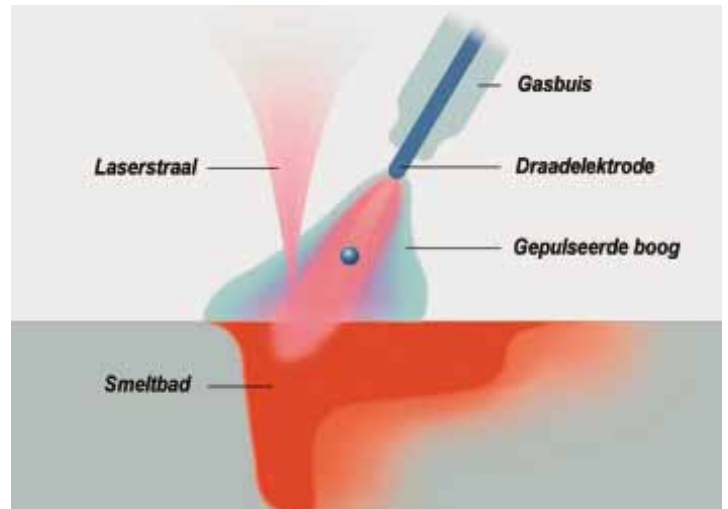
Begin 2006 werd het project HYLAS opgestart. Dit tweejarig collectief onderzoeksproject wordt gesubsidieerd door IWT-Vlaanderen (IWT 50739), en heeft het hybride laserlassen van diverse staalsoorten als onderwerp. Een dertigtal –bijna uitsluitend Vlaamse– bedrijven en onderzoeksinstituten zijn betrokken. De hoge productiviteit van het proces in combinatie met goede laskwaliteit en verhoogde flexibiliteit zijn de voornaamste redenen voor interesse van Vlaamse bedrijven in dit proces.

Door ir. Wim Van Haver, Onderzoekscentrum van het BIL

HYBRIDE LASERLASTECHNIEK

De industrie vormt de motor achter onze samenleving. De toenemende concurrentiestrijd met lageloonlanden dwingt onze bedrijven in de metaalverwerkende industrie tot innovatie. Deze moet beantwoorden aan stijgende kwaliteitseisen, verhoging van productiviteit, en kostenverlaging. In dit kader moet de opkomst van lasers in de productiehal voor het snijden en lassen gesitueerd worden. Het wordt erkend dat investering in laserapparatuur economisch verantwoord is indien aan de nodige randvoorwaarden zoals seriegrootte en inschakeltijd voldaan is. Het laserlassen krijgt meer en meer succes. De belangrijkste voordelen zijn: hoge lassnelheid, diepe en smalle doorlassing, lage vervorming, lagere warmte-inbreng en hogere sterkte. Vanuit technologisch standpunt is een van de

voornaamste minpunten van het laserlasproces de grote gevoeligheid ten aanzien van dimensionele variaties van de te verbinden werkstukken, zoals slechte uitlijning en te grote open stand, in vergelijking met de traditionele booglasprocessen. In de meeste gevallen wordt immers geen toevoegmetaal gebruikt, zodat een open stand groter dan 10% van de plaatdikte leidt tot onaanvaardbaar lasuitzicht en –eigenschappen. Daarom dient aan lasnaadvoorbereiding grotere zorg besteed te worden om lasfouten en onaanvaardbaar lasuiterlijk te voorkomen. Dat gaat natuurlijk gepaard met een extra kost. Reeds in de jaren '70 van de vorige eeuw werd het "hybride laserlas" proces ontwikkeld door Prof. Steen aan de Universiteit van Liverpool. In het Engels worden verschillende aanduidingen gebruikt voor één en dezelfde techniek, zoals "Hybrid Laser



Figuur 1: schematische voorstelling van het hybride laserlasproces (Bron: Fronius - Oostenrijk)

Welding" (HLW), "LaserHybrid Welding" of "Arc-Augmented Laser Welding". Hierbij combineert men een laser met een booglasproces in dezelfde proceszone. Typische lasers die hiervoor gebruikt worden zijn de CO₂ of de Nd:YAG laser, en recent ook de fibre en de disc laser. Het booglasproces op haar beurt kan het halfautomatisch lassen (MIG/MAG), TIG of plasmalassen betreffen. Men stelt in de praktijk vast dat, bij combinatie van laserlassen met booglassen, in essentie de voordelen van de beide processen gecombineerd worden. Aangezien in project HYLAS steeds MAG lassen wordt gebruikt als booglasprocédé, beperkt de volgende bespreking zich daartoe. **Figuur 1** geeft de schematische voorstelling van het hybride laserlassen met gepulseerde boog, terwijl **figuur 2** aangeeft hoe beide processen

in de realiteit worden gecombineerd, namelijk dmv een hybride laskop. Samen met de hoger genoemde voordelen van het laserlassen, verkrijgt HLW dankzij de inbreng van de halfautomaat een gecontroleerde metaaltoevoer aan het smeltbad. Daarenboven is boogvermogen veel goedkoper dan laservermogen, en is de energetische efficiëntie hoger. Daardoor daalt de benodigde investeringskost, en stijgt het rendement ten opzichte van het laserlasproces. Precies door de synergie van beide processen is een nóg hogere inbranding en lassnelheid mogelijk in vergelijking met het laserlassen, en stelt men een grotere processtabiliteit vast. Het gevolg hiervan is dat grotere dimensionele onvolkomenheden aan de lasnaad veel beter en op een gecontroleerde manier kunnen overbrugd worden dan bij laserlassen zonder toevoegmetaal. De maximale open stand bij HLW bedraagt 50% van de plaatdikte, tegenover de eerder vermelde 10% voor laserlassen. Dit betekent een wereld van verschil wat betreft benodigde lasnaadvoorbereiding. De hoge inbranddiepte bij HLW kan ook tot gevolg hebben dat omdraaien van het werkstuk overbodig wordt, en dus direct langs één kant doorgelast wordt, wat de lastijd en vooral de manipulatielijktijd in sterke mate terugdringt (a fortiori bij zeer zware stukken, zoals in de scheepsbouw). Dit zijn voor de meeste reeds bestaande toepassingen de belangrijkste redenen waarom hybride laserlassen verkozen werd boven

Figuur 2: uitvoering van hybride laserlaskoppen bij VITO (links) en OCAS (rechts)



laserlassen of traditionele lasprocessen. Een andere reden waarom HLW technisch zeer interessant kan zijn, is van metallurgische aard. Sommige staalsoorten laten zich niet zonder toevoegmetaal lassen, omdat dit zou resulteren in lasproblemen of onaanvaardbare laseigenschappen. De duplex staalsoorten zijn hiervan een bekend voorbeeld. Zonder gebruik van toevoegmetaal zou te sterk afgeweken worden van de 50% ferriet – 50% austeniet verhouding in het lasmetaal, met een belangrijke daling van de corrosie-eigenschappen tot gevolg. Tenslotte moet ook rekening gehouden worden met het feit dat bij HLW aan het toevoegmetaal extra zuiverende elementen (bv mangaan voor het binden van zwavel) kunnen worden toegevoegd, zodat minder problemen te verwachten zijn inzake de vorming van warmscheuren dan bij laserlassen zonder toevoegmetaal. Je kan het booglas- en laserlaskarakter van het proces instellen, en hiermee innig verbonden ook de warmte-inbreng, die voor vele staalsoorten van de nieuwe generatie uitermate van belang is. Een nadeel van HLW is de grote complexiteit van dit proces. Niet enkel dient men de parameters in te stellen van de laserinstallatie en deze van de halfautomaat (wel wordt vaak hiervoor een synergetische stroombron aangewend). Ook de interactieparameters zijn uitermate van belang. Voorbeelden zijn de afstand tussen laser en boog, de relatieve hoeveelheid ingebracht boogvermogen t.o.v. het laservermogen, en de positie van de laser t.o.v. de boog (eerst de laser, of eerst de boog?). Deze bepalen immers de invloed van beide lasprocessen op het uiteindelijke resultaat. Een slechte afstelling kan ertoe leiden dat de synergie tussen de processen verbroken wordt, zodat belangrijke voordelen verloren gaan, of zelfs dat de beide processen elkaar verstoren in plaats van versterken. In het onderzoek naar de optimale lasparameters is het daarom belangrijk te zien welke de invloeden zijn. Wat betreft parameteroptimalisatie voor dit proces blijkt een high speed camera, zoals beschikbaar op het VITO, een krachtig hulpmiddel (zie verder). De investeringskost voor een hybride laserlasinstallatie blijft natuurlijk aan de hoge kant, en praktische kennis van HLW toegepast op staal is in handen van overwegend Duitse of Scandinavische bedrijven die belangrijke uitgaven hebben gedaan op het gebied van eigen onderzoek en ontwikkeling, of in samenwerking met de lokale

onderzoek in Vlaanderen, zoals het project HYLAS, naar deze innovatieve lastechniek, is noodzakelijk om de geïnteresseerde bedrijven te adviseren en om nieuwe wegen aan te geven aan de lasbedrijven. Zeer belangrijk is dat Vlaamse onderzoeksinstellingen omvangrijke experimentele ervaring opdoen, om in de toekomst niet enkel bedrijven te kunnen adviseren wat betreft de aanschaf van een dergelijke installatie, maar ook om troubleshooting toe te laten eens een dergelijke installatie commercieel in bedrijf is. Vlaanderen is goed voorzien op gebied van HLW: zowel VITO en OCAS beschikken over de apparatuur. De nodige ervaring wat betreft HLW van staal was tot dusver eerder beperkt. Dit project wil daar een eind aan stellen.

PROJECTPARTNERS

Op heden telt het door IWT-Vlaanderen gesubsidieerde collectief onderzoeksproject "Hybride laserlassen van staal" (HYLAS) 29 bijna uitsluitend Vlaamse partners. Het staat bedrijven nog steeds vrij om deel te nemen, dat loopt tot eind 2007. Het BIL, dat het projectvoorstel heeft ingediend, staat in voor de karakterisatie van de gerealiseerde lasverbindingen en de coördinatie van het project. Binnen HYLAS zullen niet enkel hybride laserlassen worden onderzocht. In sommige gevallen zullen ook laser- en booglassen uitgevoerd worden om de microstructuur en mechanische eigenschappen verkregen met de 3 processen te vergelijken. CLUSTA staat in voor het basismateriaalonderzoek binnen project HYLAS. VITO en OCAS tenslotte nemen de optimalisatie en uitvoering van de hybride laserlassen (alsook de laserlassen) voor hun rekening. In beide gevallen is MAG het gebruikte booglasproces, waarbij een synergetische lasbron van Fronius wordt aangewend. De laser- en randinstallatie is bij deze partners wel sterk verschillend. Bij VITO maakt men gebruik van een 4,4 kW diode gepompte Nd:YAG laser van Rofin. De hybride laskop werd gemonteerd op een ABB robot (Figuur 3). OCAS daarentegen beschikt over een CNC bestuurd portaal met een 12 kW CO₂ laser van Trumpf. De installatie van OCAS is weergegeven in figuur 4. De door IWT-Vlaanderen gesubsidieerde Technologische Adviesdiensten van BIL, CLUSTA en VITO staan tijdens het project én daarna garant voor de nodige kennisoverdracht naar alle bedrijven



Figuur 3: experimentele uitrusting bij VITO voor het hybride laserlassen binnen HYLAS



Figuur 4: experimentele uitrusting bij OCAS voor hybride laserlassen binnen HYLAS

STAALSOORT	LEVERANCIER	DIKTE (MM)	LAS-GEOMETRIE
DC04	Arcelor Gent	1,5	stomp
DP600	Arcelor Gent	1,4	stomp
S240D	Arcelor Gent	5	stomp
Docol 140 DP A M	Sadef	1,8	stomp + overlap
MS-W 1200	Sadef	3	stomp + overlap
AISI 304	VITO	3	stomp
AISI 316Ti	Ellimetal	12	stomp
P355NL1/NH	Ellimetal	12	stomp
AISI 316L	Metes	2 aan 4	hoeklas
X2CrNiMoN 22-5-3	Industeel	10	stomp
S235	Femstaal	2 tot 6	hoeklas
S355	Arcelor	2 tot 6	hoeklas
S690	Arcelor Gent	6	stomp

Tabel 1: lijst van te lassen staalsoorten binnen project HYLAS (onder voorbehoud)

Tabel 2: voornaamste parameters van de door het BIL onderzochte hybride laserlassen

MATERIAAL	LAS NUMMER	LAS-SNELHEID (MM/MIN)	LASER-VERMOGEN (W)	WARMTE-INBRENG (KJ/CM)
DC04 1,5 mm	VH1/1	7.200	4.400	0,54
	VH1/2	4.800	3.000	0,64
	OH1/1	3.000	3.000	1,33
DP600 1,4 mm	VH2/1	9.000	4.400	0,57
	VH2/2	4.800	4.400	0,81
	OH2/1	3.000	3.000	1,14
S240D 5 mm	VH3/1	1.800	4.400	2,70
	VH3/2	1.200	4.400	3,55
	OH3/1	2.000	6.000	2,85

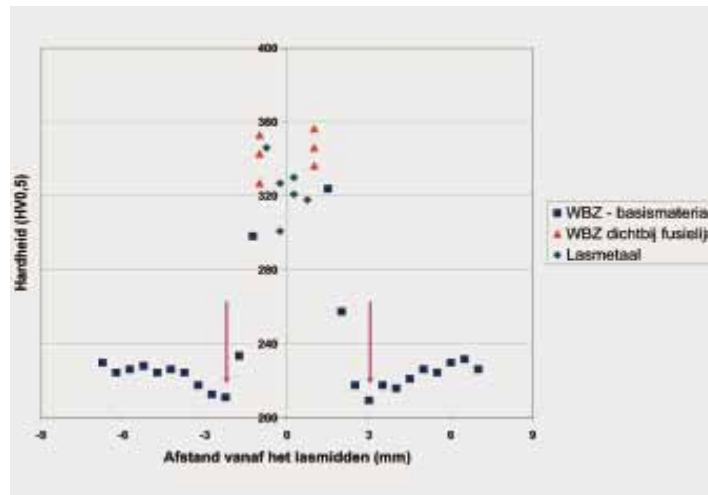
die baat kunnen hebben bij de projectresultaten.

EXPERIMENTELE RESULTATEN

In deze eerste periode van experimenteel onderzoek werden de te lassen basismaterialen vastgelegd in samenspraak met de industriële partners. Van de in **tabel 1** opgesomde staalsoorten werden tot dusver drie staalsoorten gelast met HLW. Deze werden alle geleverd door Arcelor Gent, en worden hieronder apart besproken. De voornaamste parameters van de geoptimaliseerde hybride laserlassen, die het BIL onderzocht heeft, worden weergegeven in **tabel 2**. De daarin vermelde warmte-inbreng is in feite een bovengrens: bij de berekening werd ervan uitgegaan dat alle laservermogen én elektrisch boogvermogen met een rendement van 100% voor de vorming van de las zorgt. Het is desalniettemin duidelijk dat in alle gevallen de warmte-inbreng heel laag is. Het te gebruiken toevoegmateriaal werd geselecteerd in samenspraak met de leverancier van toevoegmateriaal (Soudometal) en de betrokken bedrijven. Op basis daarvan werd ook het beschermgas gekozen door OCAS en VITO. De bedoeling van het onderzoek in de eerste periode was vooral voeling te krijgen met het proces. In sommige gevallen was het lasuiterlijk voor verbetering vatbaar. In een volgend stadium zal vergeleken worden met de afzonderlijke processen, en nagegaan worden welke toleranties aan de lasnaad kunnen gesteld worden opdat de las nog voldoet aan de gestelde criteria. Uiteindelijk moet dit leiden tot het opstellen van een kosten-baten analyse.

• DC04, dikte 1,5 mm

Het dieptrekstaal DC04 werd hybride lasergelast in dikte 1,5 mm door VITO en OCAS. De basismateriaalmicrostructuur bestond uit ferriet en fijne carbiden. Het koolstofequivalent van dit staal bedroeg 0,08%, wat aangeeft dat het gehalte aan legeringselementen in dit staal laag is. Zowel bij VITO als bij OCAS laste men met een M21 beschermgas (5-25% CO₂, rest Ar). In beide gevallen werd gelast met ER70S-G massieve draad ("Union K 40"). Aan de hand van buigproeven en trekproeven werd vastgesteld dat de mechanische eigenschappen van de las uitstekend waren: alle buigproeven konden buiging over 180° weerstaan, en tijdens de trekproef trad breuk op in het basismateriaal.



Figuur 5: hardheidsstraverse over een hybride laserlas in DP600, uitgevoerd door OCAS met lassnelheid 3m/min, 3 kW laservermogen (OH2/1 uit tabel 2)

DP600, dikte 1,4 mm

Dit geavanceerde hogesterktestaal dankt zijn combinatie tussen sterkte en goede vervormbaarheid aan de specifieke warmtebehandeling die het ondergaat tijdens de fabricage, waarbij een microstructuur ontstaat bestaande uit ongeveer 90% ferriet en 10% martensiet ("dual-phase"). Op basis van chemische analyse werd het koolstofequivalent van het basismateriaal vastgesteld op 0,42%. Voor het hybride laserlassen werd zowel door VITO als OCAS gebruik gemaakt van ER70S-6 massieve draad ("Union SG 2-H") en een M21 beschermgas. Geen scheuren konden worden ontdekt bij de buigproef over 180°. Er kan opgemerkt worden dat de vervorming tijdens de buigproef erg inhomogeen optrad: de vervorming werd geconcentreerd in de verzachte warmte-beïnvloede zone (WBZ). Dat inderdaad (zij het beperkte) verzachting optrad in deze erg nauwe zone, door ontlaten van de in het basismateriaal aanwezige martensiet, kon worden aangetoond door hardheidsmetingen (**figuur 5**). De hardheidsmetingen tonen ook aan dat in belangrijke mate verharding optrad in het lasmetaal en in de WBZ dichtbij de fusieliijn. Bij de lassen uitgevoerd door VITO lag de hardheid in deze zone overigens nog hoger

Figuur 6: metallografische doorsnede van een hybride laserlas in 5 mm dik S240D staal, uitgevoerd door VITO met lassnelheid 1,8 m/min, en 4,4 kW laservermogen (MH3/1 uit tabel 2)



(400 – 450 HV0,5); dat heeft natuurlijk te maken met de lagere warmte-inbreng door de hogere lassnelheid, zodat de afkoeling vlugger kon plaatsgrijpen en hardingsstructuren ontstaan. Tijdens de trekproef trad breuk op in de verzachte zone in de WBZ, bij een spanning gelijk aan ongeveer 90 tot 95% de treksterkte van het basismateriaal.

• S240D, dikte 5 mm

Dit constructiestaal met verbeterde vormgevingseigenschappen heeft een basismateriaal microstructuur bestaande uit ferriet en perliet, en een koolstofequivalent van 0,15. Door VITO en OCAS werden hetzelfde toevoegmetaal en beschermgas gebruikt als voor het hybride laserlassen van DP600. Net als bij DC04 waren de mechanische eigenschappen uitstekend: breuk in het basismateriaal tijdens de trekproef, en geen scheurvorming werd vastgesteld bij buiging over 180°. Een metallografische doorsnede van een hybride laserlas in S240D wordt getoond in **figuur 6**.

Het is interessant op te merken dat VITO ook over de mogelijkheid beschikt het lasproces in situ te registreren met behulp van een "high speed camera". Hierdoor wordt de optimalisatie van het lasproces vergemakkelijkt, omdat men in situ kan observeren wat de invloed is van de veelheid aan parameters op het lasproces. Een voorbeeld wordt gegeven in **figuur 7**. In de

Figuur 7: high speed camera momentopnames van VITO van het hybride laserlassen met gepulseerde boog, voor twee verschillende booglengtes



linkse momentopname is de booglengte duidelijk te kort. De materiaaloverdracht van het toevoegmateriaal (rechtbovenhoek) naar het smeltbad (centraal) gebeurt onstuimig en onregelmatig, met veel spatten en een bedenkelijke laskwaliteit tot gevolg. In de rechtse momentopname werd hiervoor gecorrigeerd door een grotere booglengte. De heldere vlek linksonder is de "keyhole" van de laser. De vloeibare metaaldruppel (centraal) werd mooi afgesplitst van het draaduiteinde, en naar het warmste punt "getrokken" – vandaar de langgerekte druppelvorm. Tussen de druppel en het draaduiteinde kan het boogplasma waargenomen worden.

CONCLUSIE

Tot dusver werden in dit project drie staalsoorten onderworpen aan het hybride laserlasproces. Hoge lassnelheden werden bereikt (> 1m/min), en over het algemeen goede mechanische eigenschappen. Enkel bij het DP600 materiaal werd in de warmte-beïnvloede zone een verzachting vastgesteld. Op reeds bestudeerde materialen zullen ook het laserlassen en MAG-lassen toegepast worden, om een vergelijking mogelijk te maken. Daarnaast zal nagegaan worden welke de benodigde lasnaadvoorbereiding is (in termen van toleranties) voor het succesvol hybride laserlassen. Vanzelfsprekend zullen ook de andere staalsoorten, met vaak zeer uiteenlopende eigenschappen, op dezelfde wijze worden onderworpen aan het hybride laserlassen. Uiteindelijk kunnen de deelnemende bedrijven aan de hand van een kosten-baten analyse uitmaken of investering in dit innovatieve lasproces gerechtvaardigd is voor hun specifieke toepassing en staalsoort. Geïnteresseerde bedrijven kunnen nog steeds deelnemen aan dit project. (Contact: BIL) □