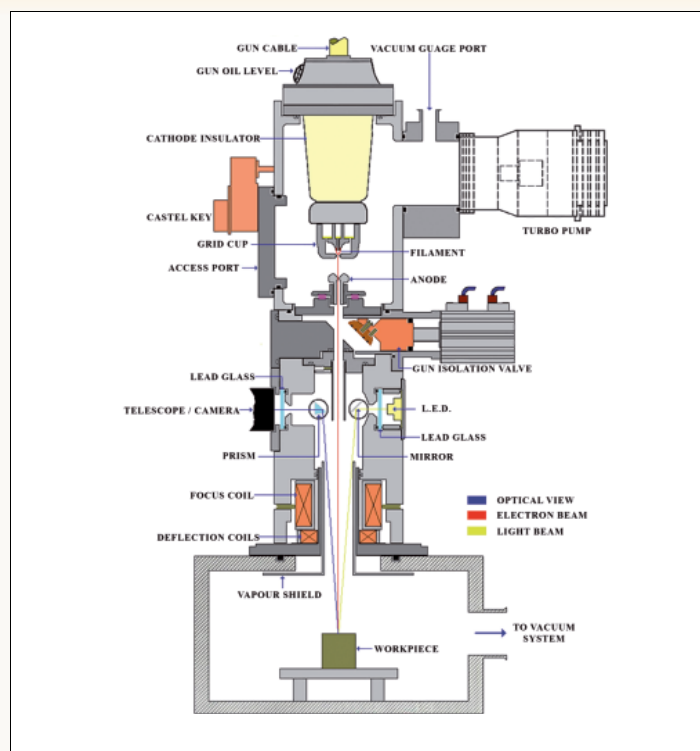


# ELEKTRONENBUNDELLASSEN

## TECHNIEK, APPARATUUR, LASPARAMETERS, LASFOUTEN, TOEPASSINGEN, VOOR- EN NADELEN

In het kader van de FEDER (Le Fonds Européen de Développement Régional) projecten, gaan het BIL en CEWAC (Centre d'études wallon de l'assemblage et du contrôle des matériaux) een toestel voor elektronenbundellassen aankopen. Deze aankoop kadert in het project MICROSOU, dat als doel heeft een platform op te richten. Dit platform groepeerd verschillende microlasprocedures en aangepaste, geavanceerde kwaliteitscontroles en stelt de technologieën van het microlassen ter beschikking van de bedrijven. We bespreken de techniek van het elektronenbundellassen, apparatuur, lasparameters, lasfouten, toepassingen, voordelen en beperkingen. Ook wordt de vergelijking met het laserlassen gemaakt.

Door Dr. ir. N. Van Caenegem – BIL  
Ing. Petra Svarova – CEWAC



Figuur 1: Opbouw van de apparatuur

### TECHNOLOGIE

Het elektronenbundellassen is een smeltlasproces waarbij de warmte wordt gegenereerd door de impact van elektronen uitgezonden en versneld door een elektronenkanon. De emissie, versnelling en het traject gebeurt onder vacuüm.

#### Emissie

Het elektronenkanon levert elektronen doordat het kathodemateriaal (wolfram, tantaal of LaB<sub>6</sub>) wordt verhit. De kathode of het filament is het enige verbruiksstuk van het kanon. Door oververhitting van het filament, foutieve positionering of thermische vermoeuing zal de emissiviteit van het kanon dalen. De emissiviteit moet daarom steeds opgevolgd worden, zodat indien nodig het filament vervangen kan worden.

#### Versnelling

De elektronen worden door een elektrisch veld tussen de kathode en de anode versneld. De specifieke geometrie van de wehnelt (of gridcup op *figuur 1*) en de anode geven de elektronen een zekere richting en stuurt ze naar één punt (cross-over). Het materiaal van de anode is afhankelijk van de constructeur.

#### Focusering

Aan de uitgang van de anode is de bundel zeer divergent. Deze wordt gefocuseerd door focuseringsbobbijnen die de rol spelen van magnetische lenzen. De convergentie

van de elektronen kan gestuurd worden door de intensiteit van de focuseringsstroom te variëren (magnetische zoom). Zo kan het focuseringspunt op het oppervlak van het werkstuk worden geregeld, net eronder of net erboven.

#### Impact met het materiaal

De hoge kinetische energie van de elektronen zorgt ervoor dat bij het botsen op het werkstuk, deze wordt omgezet in warmte (thermische energie). Door de hoge energiedichtheid smelt het metaal lokaal en verdampt het gedeeltelijk daarna. Hierdoor ontstaat een holte, die de elektronenbundel steeds dieper in het metaal brengt. Dit is vergelijkbaar met het laserlassen, hetgeen ook een keyholeproces is. Zo kan de elektronenbundel uiteindelijk tot op de bodem doordringen. Bij het voortbewegen van de bundel of beweging van het werkstuk kan zo een lasverbinding ontstaan. Het elektronenkanon wordt meestal vast opgesteld of kan zich lineair in één richting bewegen. Voor het werkstuk bestaan dan XY-tafels, rotatiemanipulators ... zodat het werkstuk in alle posities geplaatst kan worden om het te lassen.

#### Vacuüm

De elektronenbundel verliest in de lucht zijn energie, omdat de elektronen hun snelheid verliezen door botsing met luchtatomen. Vandaar dat het elektronenbundellassen het best plaatsvindt in vacuüm, hoewel er ook

apparatuur bestaat waarbij gewerkt kan worden in een minder diep vacuüm en onder atmosferische omstandigheden. Het lassen in vacuüm heeft als belangrijk voordeel, dat er geen oxidatie of wisselwerking met stikstof of waterstof kan optreden. Dit is ideaal voor het lassen van snel oxiderende metalen, zoals wolfram, titanium, molybdeen en zirkoon. Bovendien is ook de kans op waterstof- of koudscheuren klein. Het is mogelijk in hoogvacuüm te lassen ( $10^3$  tot  $10^6$  mbar). Dit geeft de maximale zuiverheid, grote precisie en de hoogste hoogte-/breedteverhouding van de las. In medium/laag vacuüm ( $10^{-1}$  tot  $10^{-3}$  mbar) wordt ook nog zuiver gewerkt, maar is de bundel meer dispers, hetgeen toegepast kan worden voor lagere precisieapplicaties bij het lassen van aluminium of toepassingen in de automobiël. Lassen in non-vacuüm is ook mogelijk, op voorwaarde dat de afstand tussen het elektronenkanon en het werkstuk klein genoeg is.

### LASPARAMETERS

De belangrijkste parameters van het elektronenbundellassen zijn:

- Het vermogen: de spanning (kinetische energie, de snelheid van de elektronen) en de lasintensiteit (hoeveelheid elektronen). Wanneer de lasstroom vergroot (of dus de hoeveelheid elektronen die per seconde het werkstuk bereikt vergroot), neemt ook de inbranding toe. Eveneens vergroot de inbranding

ding wanneer het spanningsverschil toeneemt. Typische waarden voor de hoogspanning zijn 30 tot 150 kV en voor de lasstroom wordt typisch 1 mA tot 1A gebruikt.

- De lassnelheid: relatieve snelheid van de bundel t.o.v. het werkstuk (m/min). Wanneer de lassnelheid toeneemt, neemt de inbranding af.
- De focusering van de bundel. Wanneer het brandpunt van de bundel boven het lasbad ligt, zal een ondiepe inbranding het gevolg zijn. Als het brandpunt onder het lasbad ligt, zal een V-vormig lasbad (en dus niet smal) het gevolg zijn.
- Deflectie en vibratie: vorm, amplitude, frequentie (Hz), richting.
- Werkdruk van de werkkamer en van het elektronenkanon.

### VOORBEREIDING/FOUTEN

Het elektronenbundellassen stelt hoge eisen aan de lasnaadvoorbereiding. Het werkstuk moet vuil- en vetvrij gemaakt zijn. Zo niet, worden de tijden voor het vacuüm maken onaanvaardbaar lang. Bovendien moeten de werkstukken gedemagnetiseerd zijn. Elke bron van magnetisme (bijvoorbeeld ook elk werktuig zoals een schroevendraaier die in de kamer is blijven liggen) zorgt voor een afbuiging van de elektronenbundel. *Figuur 2a* toont een voorbeeld van een las die afgebogen is door magnetisme. De te verbinden delen worden tot smelten gebracht zonder toevoegmateriaal. De delen moeten hierdoor zeer goed passen bij de lasnaad.

Bovendien moet er zeer precies gewerkt worden zodat de lasnaad niet gemist wordt door de dunne elektronenstraal. *Figuur 2b* toont een voorbeeld van een foute alignering van de bundel t.o.v. de lasnaad. Men kan de keuze maken om met een doorlassing te werken of om een naadtype te kiezen zonder doorlassing. Beiden hebben hun voor- en nadelen. Een doorlassing geeft een minder esthetisch aspect: de las kan een overdikte hebben, uitgezakt zijn, gemakkelijker inkartelingen vertonen. Het voordeel is dat er minder kans is op porositeiten. In het geval zonder doorlassing kan er gas gevangen raken aan de wortel van de las (*figuur 2c*). Zonder doorlassing kan een onregelmatige penetratiediepte ontstaan, waarbij men soms à la limite de lasnaad kan missen. Dit type fouten worden 'spikes' genoemd en is getoond in *figuur 2d*. Een naad zonder doorlassing heeft wel steeds een esthetisch mooi uitzicht. Doordat er geen toevoegmateriaal wordt gebruikt en door de grote hoogte-breedteverhouding is de kans ook groter op verticale scheuren of warm-scheuren (*figuur 2e*). Ook moeilijk te bereiken plaatsen kunnen met een elektronenbundelstraal gelast worden (*figuur 3*). Door de zeer smalle bundel kan deze bijvoorbeeld door een gat of spleet op de lasplaat worden gefocuseerd. Bv. een ring kan in één pas gelast worden aan bovenzijde en aan onderzijde; terwijl de onderzijde met een ander lasproces moeilijk of zelfs niet te bereiken is.

## VERGELIJKING LASERLASSEN

De twee technieken vertonen vele overeenkomsten. Er zijn echter ook verschillen. De laserbundel bestaat uit een stroom fotonen die zich met de lichtsnelheid voortbeweegt, terwijl de elektronenbundel bestaat uit elektronen met een snelheid die samenhangt met de wortel uit het spanningsverschil. De energie van een foton is in de orde van 0,1 tot 2,0 eV, terwijl de energie van een elektron 30 tot 150 keV is. De laserstraal kan gefocuseerd worden d.m.v. optische lenzen en spiegels, de elektronenbundel door middel van elektrostatische en magnetische middelen. Doordat beide technieken de straal op een zeer smal gebied kunnen concentreren, is de energiedichtheid enorm groot. Een laserbundel kan een behoorlijke afstand door de lucht bewegen zonder dat er veel energieverlies optreedt. De elektronenbundel verliest echter zeer snel zijn energie door botsingen met atomen in de lucht (gebruik van vacuüm is daardoor vaak noodzakelijk). Een laserbundel kan door een glad metaaloppervlak worden gereflecteerd, waardoor de energie-overdracht naar het werkstuk wordt verhinderd. Een elektronenbundel heeft dat nadeel niet, maar kan wel afgebogen worden door elke bron van magnetisme in de nabijheid van de bundel.

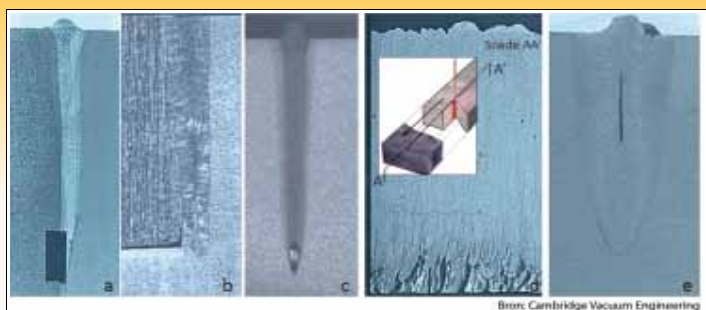
Het energetisch rendement van de elektronenbundel ligt zeer hoog; 95% vergeleken met 5 à 10% voor de laser. Wanneer een elektronenbundel een oppervlak raakt, worden er röntgenstralen geproduceerd, waardoor het lasapparaat goed afgeschermd moet worden. De laserbundel produceert geen röntgenstralen. I.v.m. kans op oogletsels en brandwonden door de hoge lichtintensiteit is voorzichtigheid zeker geboden.

## TOEPASSINGEN

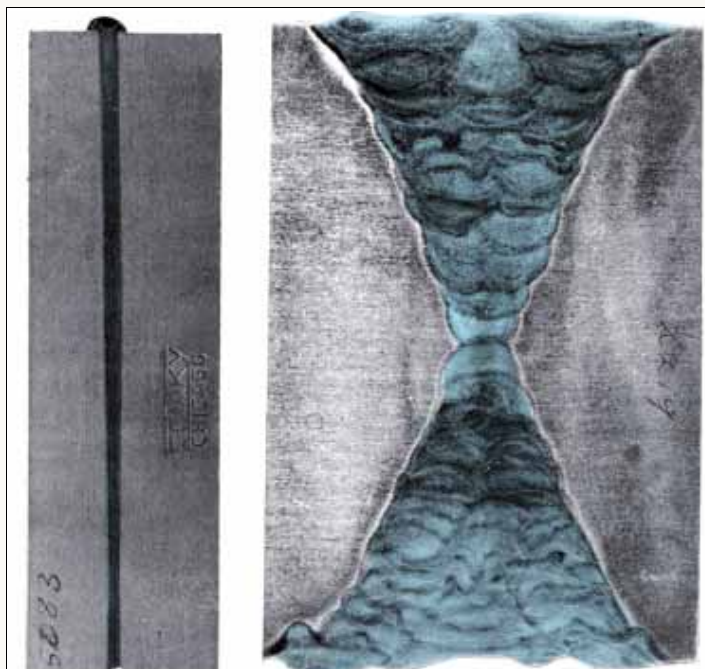
De elektronenbundeltechnologie is al lang gekend, sinds 1949 –aanvankelijk enkel op laboschaal– maar kende een industriële doorbraak door het grote voordeel dat met één pas grote diktes gelast konden worden. *Figuur 4* vergelijkt een stompe EBW-las, verbonden in één enkele pas, met X-naad gelast met MIG in maar liefst 94 passen op een dikte van 125 mm aluminiumlegering. Het vacuüm biedt voordelen voor het lassen van zirkonium en titanium ed, hetgeen zijn toepassingen kent in luchten ruimtevaart. Later kwam ook de interesse van de automobielsector: de minimale vervormingen heeft zijn voordeel voor het lassen van tandwielen van een versnellingsbak. Hier gaat het om grote productiereeksen. Oplossingen zijn ontwikkeld om de 'verloren' tijd te reduceren om de werkkamer tot vacuüm te brengen. Zo bestaan er rotatiesystemen zodat het ene werkstuk volledig voorbereid en klaargezet kan worden terwijl een ander werkstuk wordt gelast. Later volgden ook precisietoepassingen in de medische wereld: pacemakers, prothesen e.d. Ook elektronische componenten worden gelast met de elektronenbundel omwille van het voordeel van de grote precisie en lage warmte-inbreng, wat betekent dat gevoelige elektronica veilig afgeschermd kan worden. Enkele millimeters naast de las is er geen enkele invloed van warmte te merken. De toepassing van de elektronenbundel is dus tweeledig. Enerzijds hoge productiereeksen, met hoge reproduceerbaarheid (automobil, lintzagen ...), anderzijds zeer hoge precisietoepassingen (nucleair, lucht- en ruimtevaart, elektronica, medische toepassingen ...).

## ECONOMISCHE ASPECTEN

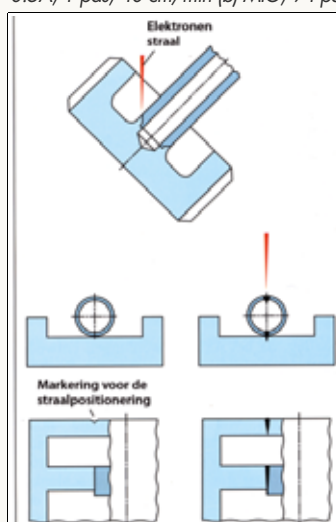
Het elektronenbundellassen moet het vooral hebben van zijn hoge-kwaliteitslassen en hoge productiesnelheden. Als deze twee argumenten belangrijk zijn, kan het elektronenbundellassen economisch aantrekkelijk zijn. Hiertegenover staan de hoge investering in apparatuur en de nauwkeurige voorbereiding van de onderdelen. Dit maakt dat het investeren in deze techniek verantwoord kan worden bij het lassen van grote series of het lassen van producten met een hoge toegevoegde waarde. □



*Figuur 2: Meest voorkomende lasfouten. (a) afbuiging door magnetisme (b) foute alignering bundel/Hasnaad (c) porositeit (d) spikes (e) warm-scheur*



*Figuur 4: Aluminiumlegering van 125 mm dik. (a) elektronenbundellas met 44/1 (hoogte-breedteverhouding), 54 kV, 0,5A, 1 pas, 40 cm/min (b) MIG, 94 passen, 1 cm/min*



*Figuur 3: Lassen van moeilijk toegankelijke naden, zelfs van niet-toegankelijke naden*

## VOORDELEN

- Diepe inbranding - lassen in één pas
- Weinig warmte-inbreng, smalle warmtebeïnvloede zone
- Minimale vervormingen
- Vacuüm: geen verontreiniging (Ti, Zr, Ta, W, Mo ...)
- Moeilijk bereikbare lasnaden
- Hoge lassnelheid
- Stomp zonder toevoeg, zowel dik als dun plaatmateriaal
- Ongelijksoortige verbindingen
- Metalen met hoge thermische conductiviteit (bv. Cu) zijn goed lasbaar
- Milieu: geen lasrook, geen fijnstofemissie, volledige afscherming van gevaarlijke straling

## NADELEN

- Dure apparatuur
- Nauwkeurige en grondige voorbereiding
- Vacuüm vraagt tijd
- De grootte van de vacuümkamer kan een beperking betekenen voor grotere werkstukken (er bestaan wel kamers van 700 m<sup>3</sup>)
- Gevoelig voor magnetisme
- Permanent magnetische materialen niet lasbaar
- Geen toevoegmateriaal en de hoge H/B-verhouding vergroten de kans op warm-scheuren
- Beperkte afstand in non-vacuüm