

DOOR: THEO LUIJENDIJK

EB-lassen

onderschat lasproces (I)

Het elektronenbundellasproces (EB-lassen) is al meer dan 50 jaar oud. Voor het lassen van reactieve materialen en voor het maken van lasverbindingen van hoge kwaliteit is het een algemeen geaccepteerd lasproces. Maar recente ontwikkelingen op het gebied van de vacuümtechnologie maken het mogelijk aanzienlijk grotere constructies te lassen en van geavanceerde technieken gebruik te maken zoals bundelsplitsing. Het toepassingsgebied van dit proces is daarmee aanzienlijk groter geworden en beperkt zich niet meer alleen tot de exotische materialen.

Het elektronenbundellasproces vond in eerste instantie toepassing in de nucleaire industrie, maar kort daarna ook in de lucht- en ruimtevaartindustrie. EB-lassen wordt veelal toegepast voor het verbinden van kritische onderdelen voor de genoemde industrieën en kan kostenbesparend werken. Omdat onder vacuüm gelast moet worden, zijn de afmetingen van het te lassen onderdeel of constructie beperkt.

Werking EB-proces

Het EB-lassen is een smeltlasproces waarbij gebruik wordt gemaakt van een hoog energetische elektronenbundel. De elektronen worden aan een kathode of emitter onttrokken en in een hoogspanningsveld aangetrokken door de anode en zo versneld tot snelheden van 30% tot 70% van de lichtsnelheid. De versnelspanning tussen kathode en anode ligt daarbij in het gebied van 25 kV tot 200 kV. Via een opening in de anode verlaten de elektronen het kanon en worden door een stelsel van elektromagnetische lenzen tot een elektronenbundel van hoge energiedichtheid gefocuseerd (zie figuur 2). Het kanon dat zorgt voor de emissie van elektronen werkt op dezelfde manier als een kathodestraalbuis in een televisie. Het verschil zit in de intensiteit (energieniveau) van de elektronen. Bij een televisie scannen de elektronen het oppervlak van een luminescentiescherm af en bij het EB-lassen bombarderen zij het oppervlak



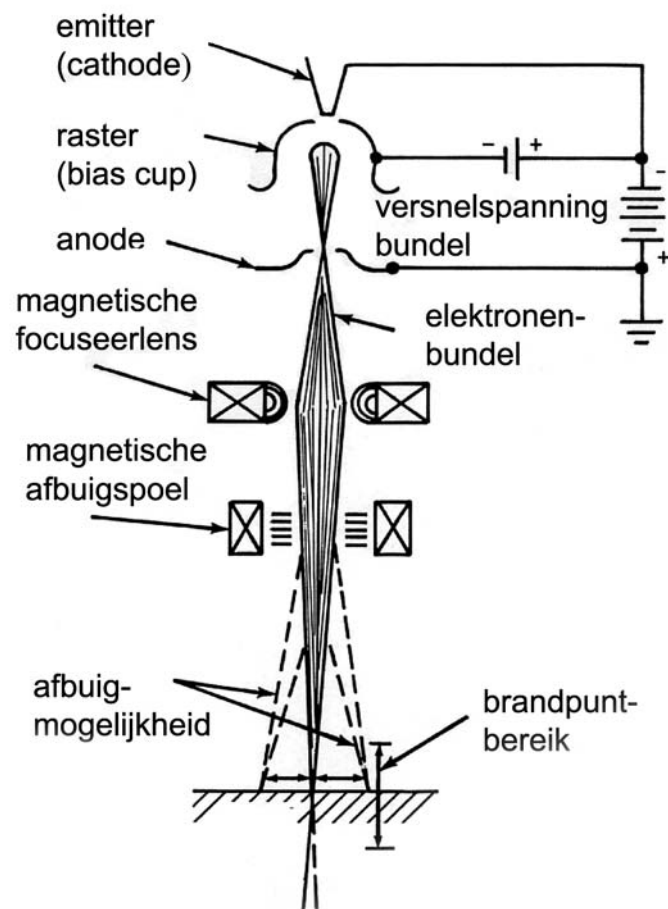
Figuur 1. Een met de elektronenbundel gelast groot onderdeel. Op de achtergrond staat de immense vacuümkamer van de elektronenbundellasinstallatie (foto's: Pro-beam)

van een lasverbinding en brengen deze tot smelten. De divergentie en convergentie van de hoog energetische elektronenbundel is door de magneetlenzen gering en de focuseerdiepte van de bundel bedraagt circa 2 cm.

Vermogensdichtheid

De versnelspanning voor de elektronenbundel ligt in het gebied van 25 kV tot 200 kV en de

stroomsterkte varieert daarbij van 50 mA tot 1000 mA. De spotgrootte van de elektronenbundel varieert tussen 0,25 mm tot 0,75 mm. Het vermogen en de intensiteit van de bundel kunnen daarbij waarden bereiken van respectievelijk 100 kW en 16 kW/mm². Het maximale vermogen is daarbij aanzienlijk groter dan bij het laserlassen, maar de vermogensdichtheid kan bij het laserlassen even groot zijn. De ver-



Figuur 2. Schematische voorstelling van de opbouw van een elektronenbundel(las)apparaat

mogendichtheid bij het EB-lassen ligt wel aanzienlijk hoger dan bij de booglasprocessen en het keyhole-lassen (een techniek die ook met het plasmabooglasproces mogelijk is). Verder kan het grote vermogen en de hoge vermogensdichtheid benut worden voor het realiseren van een grote inbrandingsdiepte bij een kleine warmtebeïnvloede zone.

Vacuümkamer

Het EB-lassen heeft niet alleen voordelen. Een belangrijk nadeel van het EB-lassen is dat dit lasproces onder vacuüm moet worden uitgevoerd. Het lassen moet dus plaatsvinden in een afgesloten ruimte die vacuüm gezogen moet worden. Een voordeel van dit vacuüm is wel dat er in de las geen gasporeusheid zal voorkomen, ook niet bij hoge lassnelheden (voortloopsnelheden). Bij het laserlassen daarentegen zal de poreusheid in de las toenemen met toenemende voortloopsnelheid. Hoewel het mogelijk is om het elektronenbundellassen in een geringer vacuüm of zelfs onder atmosferische om-

standigheden uit te voeren, wordt dit zelden gedaan omdat dit ten koste gaat van de voordelen van dit proces. Met name de inbrandingsdiepte zal afnemen en poreusheid is niet meer te voorkomen.

De afmetingen van de kamer waarin gelast wordt, nemen met de ontwikkelingen op het gebied van de vacuümtechnologie toe. Met de afmetingen van de vacuümkamer zal ook de

Bundel kwispelt over oppervlak

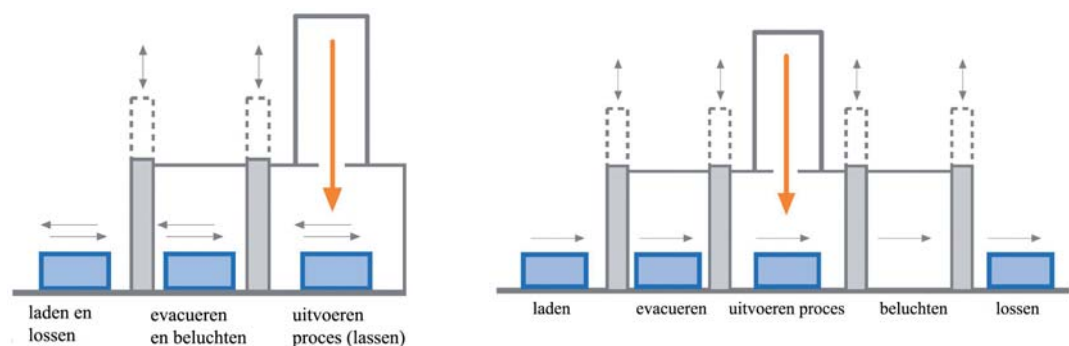
Een ander belangrijk voordeel van de elektronenbundel ten opzichte van de laserstraal is de mogelijkheid de elektronenbundel met behulp van een magneetveld af te buigen. Dit kan met hoge frequentie gebeuren en de elektronenbundel kwispelt als het ware over het oppervlak. Dit biedt ongekennde mogelijkheden. De elektronenbundel kan op die manier gebruikt worden om het te lassen oppervlak voor te verwarmen. Voor het lassen van hoogsterke materialen en laag en hoog gelegen staal kan voorverwarmen nodig zijn om scheurvorming bij afkoeling te voorkomen. Dezelfde elektronenbundel kan dus gebruikt worden voor het voorverwarmen en het lassen van het materiaal.

prijs van de EB-installatie toenemen. Zo biedt de firma Pro-beam kamermachines met een inhoud van 0,6 m³ tot 630 m³ aan. De afmetingen van de kleinste kamer zijn daarbij 1150 mm bij 700 mm bij 720 mm (L x B x H). De maximum grootte voor het te lassen werkstuk is daarbij 470 mm bij 290 mm bij 300 mm. Voor de grootste kamer zijn de maximale afmetingen van het werkstuk gelijk aan 12.000 mm bij 4500 mm bij 6000 mm. Het elektronenbundellassen beperkt zich niet tot het lassen van werkstukken van geringe afmetingen.

Productiesnelheid

Voor het lassen moet steeds vacuüm gezogen worden en dat kost enige tijd. Om de procestijd (laden, vacuüm zuigen, lassen en lossen) te verkorten kan met een zogenoemde load-lock machine gewerkt worden. De EB-installatie is daarbij voorzien van een extra kamer. In die kamer wordt het product gereden waarna het vacuüm getrokken wordt. Het vacuüm in de werkkamer kan dan gehandhaafd blijven. Op die manier wordt een geringere productietijdverkortening verkregen. Een nog hogere productiesnelheid >>>

Figuur 3. Load-lock shuttle en load-lock transfer machineopstellingen





kan bereikt worden door nog een extra kamer te plaatsen, load-lock transfer EB-installatie (zie figuur 3). Het gelaste product wordt na het lassen daarin gereden en belucht. Op die manier wordt een doorgaande cyclus verkregen en wordt de werkkamer optimaal benut wat tot een aanzienlijke productietoename leidt. Probeam levert een dergelijke installatie voor een maximale productgrootte van 800 mm bij 500 mm bij 480 mm.

De conventionele EB-machines hebben een stationaire opstelling van de elektronenbundel. Daarbij moet het product onder de elektronenbundel gemanoeuvrerd worden. Lassen vindt dan ook altijd onder de hand (PA-positie) plaats. Tegenwoordig kan de kop waarin de elektronenbundel wordt gegenereerd op een robotarm geplaatst worden, waardoor in nagenoeg elke positie gelast kan worden. Complexe vormen kunnen derhalve zonder al te veel beperkingen met dit proces gelast worden. De beperkingen liggen niet meer bij de geometrie van het te lassen product, maar bij de afmetingen

len, mogelijkheid tot het verbinden van ongelijksoortige materialen, enz. De vermogensdichtheden van de laser en EB-bundels zijn vergelijkbaar. Echter, de energiekosten bij het laserlassen liggen aanzienlijk hoger. Met name is dit het geval bij de vastestof-Nd:YAG-laser. In vergelijking met een laser van 4 kW kan met het EB-lasproces in Europa op jaarbasis een besparing aan energiekosten van circa 50.000 euro behaald worden. Voor het EB-lassen is geen beschermgas nodig en gaat niet zoals bij het laserlassen een groot deel van het opgenomen vermogen verloren aan koeling van de apparatuur. De kosten voor het creëren van vacuüm zijn bijvoorbeeld lager dan de kosten voor het beschermgas. Met de ontwikkeling van de disk-laser en fiberlaser zijn de verhoudingen wel anders komen te liggen, maar het EB-lassen vraagt nog steeds aanzienlijk minder energiekosten. Bij vergelijkbaar vermogen van de bundel is de inbrandingsdiepte van de elektronenbundel een factor twee groter dan de inbrandingsdiepte bij het laserlassen. Wat te denken van een inbran-

Inbrandingsdiepte met breedte/diepteverhouding van 1:50 in aluminium

van de vacuümkamer: 15 m x 7 m x 7 m. Figuur 1 toont een voorbeeld van een met de elektronenbundel gelast groot onderdeel.

EB versus laser

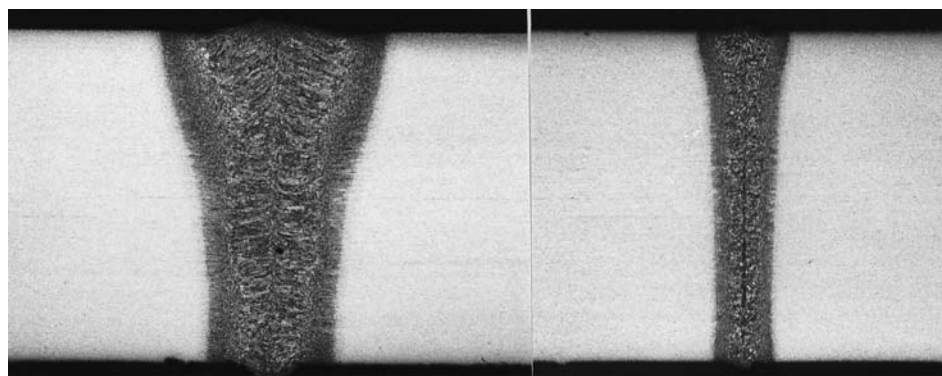
Het is verleidelijk om het EB-lassen te vergelijken met het laserlassen. Het gaat daarbij om de aanschaf van de benodigde apparatuur, de levensduur en de energiekosten per laslengte, maar ook om de technische mogelijkheden zoals inbrandingsdiepte, de te lassen materia-

alsdiepte van 150 mm in het laag gelegeerde staal 16MnCr5. Verder is de verhouding tussen lasbadbreedte en lasbaddiepte voor het EB-lassen veel gunstiger dan voor het laserlassen (zie figuur 4).

Minder smelten

Met de elektronenbundel wordt slechts minder dan de helft van het basismateriaal omgesmolten dan met de laser. Dat is gunstig voor de optredende slink en krimp na het stollen van de las-

Figuur 4. Verschil in afmetingen van het lasbad voor twee materialen



laserlassen

EB-lassen



Figuur 5. Voorbeelden van EB-lasverbindingen in aluminium (diepte 150 mm) en in een verbinding tussen staal en brons (diepte 30 mm)

en daarmee voor de vormvastheid van het gelaste product. In aluminiumlegeringen kan een inbrandingsdiepte gehaald worden van meer dan 300 mm bij een lasbadbreedte/lasbaddiepte-verhouding van 1:50. De las is bij een plaatdikte van 300 mm slechts 6 mm breed. Met geen enkel ander lasproces is dit haalbaar. Figuur 5 toont twee voorbeelden van dergelijke lasverbindingen.

Daarnaast biedt het splitsen van de bundel en het sturen van de bundel de mogelijkheid tot het boren van gaten, het harden van een oppervlak en het aanbrengen van coatings, zie hiervoor deel 2 van dit artikel.

Het positioneren van de elektronenbundel is tegenwoordig eenvoudig. Voor het positioneren wordt gebruik gemaakt van gereflecteerde (back-scatter) elektronen. Met het beeld dat deze gereflecteerde elektronen opleveren kan de elektronenbundel exact op de juiste positie aangebracht worden. Op eventuele maatafwijking in het product en/of lasnaadgeometrie kan daarbij gemakkelijk gereageerd worden. <<<

Deel 2

In dit eerste deel van 'Elektronenbundellassen, een onderschat lasproces' werd vooral het proces beschreven en de vergelijking gemaakt met laserlassen. In het tweede deel over elektronenbundellassen wordt juist ingegaan op een aantal andere toepassingen van dit proces, namelijk veel kleine gaten maken, harden en coaten van oppervlaktes en verdere ontwikkelingen op het gebied van EB-lassen.

