

Sensoren voor het laserlassen

Ronald Aarts en Gert-Willem Römer

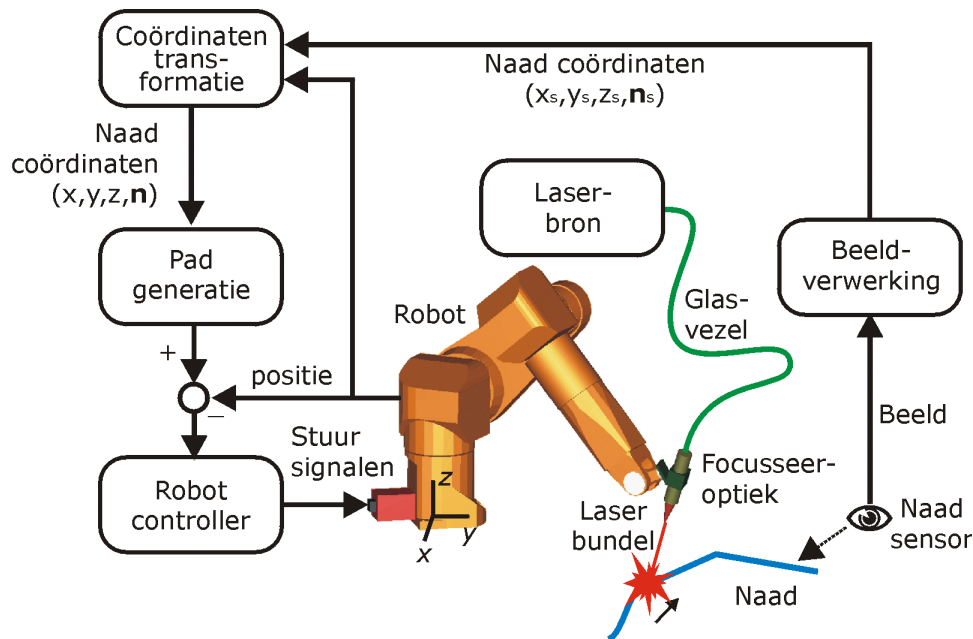
Vakgroep Werktuigbouwkundige Automatisering, Universiteit Twente, Enschede

Laserlassen mag zich in een voortdurend groeiende industriële belangstelling verheugen. Veelgenoemde voordelen zijn de beperkte warmte inbreng en de hoge snelheden die gerealiseerd kunnen worden. Er blijken echter ook hoge eisen aan de voorbereiding van de werkstukken en aan de gebruikte apparatuur te worden gesteld. Door een goede integratie van sensoren kan veel bereikt worden op het gebied van bewaking van het proces en het nauwkeurig volgen van de lasnaad. De toepasbaarheid van een aantal sensoren wordt in dit artikel besproken. Het betreft een selectie van resultaten en ontwikkelingen uit verschillende onderzoeksprojecten binnen de vakgroep Werktuigbouwkundige Automatisering van de Universiteit Twente. Een uitgebreider overzicht van onze activiteiten is te vinden op onze web pagina [1].

Voor het laserlassen in onze groep maken we voornamelijk gebruik van een Nd:YAG laser. Deze produceert laserstraling met een golflengte van 1064 nm. Deze (onzichtbare) straling kan met vrij gangbare optische middelen naar een werkstuk worden geleid. Concreet betekent dit dat de energie, bij onze laser maximaal 2000 W, in een glasvezel kan worden gebracht en getransporteerd. Aan het eind van de vezel zit de “laskop” waarin het licht met lenzen op de gewenste positie wordt gefocuseerd. Verder worden aan de laskop bijvoorbeeld voorzieningen voor schermgas en sensoren gemonteerd. Voordeel van het gebruikte type laser is dat de (flexibele) glasvezel vrij goed manipuleerbaar is. Dat is zeker belangrijk bij het gebruik van een robot, die dan met de laskop complexe 3D contouren kan volgen. De eisen die aan een dergelijk systeem worden gesteld zijn echter niet gering zoals het volgende rekenvoorbeeld laat zien.

In onze opstellingen is de diameter van de laserbundel in het focus in de regel 0,3 mm, waardoor een hoge energiedichtheid van meer dan 10^{10} W/m^2 wordt bereikt. Gevolg is dat de laserbundel zich als het ware het materiaal in “boort” waardoor een zogenaamde *keyhole* wordt gevormd. Daardoor wordt de energie niet alleen aan het oppervlak van het materiaal geabsorbeerd, maar over de hele diepte van de las. Dat leidt tot een gunstige diepte/breedte verhouding van de las, maar zorgt er ook voor dat de positionering van de bundel vrij nauwkeurig moet gebeuren. Voor staal hanteren we als richtlijn een maximale fout van 0,1 mm loodrecht op de naad zowel in de richting van de bundel (focus) als in het vlak van het werkstuk. Bij 3D producten speelt uiteraard ook de oriëntatie een rol om te voorkomen dat een naad wel aan de bovenkant maar niet aan de onderkant wordt gelast. De vereiste nauwkeurigheid moet worden gehaald bij hoge snelheden. Bijvoorbeeld een doorlas in 0,7 mm dik staal kan bij het maximale vermogen van onze laser worden gerealiseerd bij een snelheid van maximaal 270 mm/s (16 m/min). Om de naad met voldoende nauwkeurigheid te volgen werken we aan de koppeling van een naadvolgsensor aan de robot. Daarnaast zijn snelle sensoren nodig om lasdefecten te detecteren. Deze aspecten komen achtereenvolgens aan de orde.

De genoemde tolerantie van 0,1 mm positie nauwkeurigheid voor de laserspot stelt uiteraard hoge eisen aan de robot en aan de opspangereedschappen die het product t.o.v. de robot moeten fixeren. Zelfs onder optimale condities is het de vraag of de nauwkeurigheid wordt gehaald als er afwijkingen zijn t.g.v. maattoleranties in het een product of veranderingen door thermische vervorming van de onderdelen. Een oplossing wordt gezocht door de positie van de lasnaad te meten en de robot overeenkomstig bij te sturen. Figuur 1 toont de typische configuratie van een gerobotiseerde laserlas productiecel met een naadvolgsysteem. Aan de laskop met de focusseeroptiek is een vooruitkijkende naadvolgsensor gemonteerd die de te lassen naad detecteert. Omdat zelfs een nauwkeurige industriële robot een nauwkeurigheid heeft die niet beter is dan $50 \mu\text{m}$, dient de sensor de naad op $50 \mu\text{m}$ nauwkeurigheid (of beter) op te meten, om bovengenoemde positioneernauwkeurigheid te behalen. We werken momenteel aan de integratie van zo'n (optische) sensor van Falldorf GmbH met een Stäubli robot (Zwitserse-Frans fabrikaat, in Nederland geleverd door Morotech Robottechniek). Er zijn diverse andere systemen op de markt en er zijn ook combinaties beschikbaar. Met name die laatste bieden echter geen mogelijkheden voor eigen ontwikkelingen. Bij onze selectie van de systemen

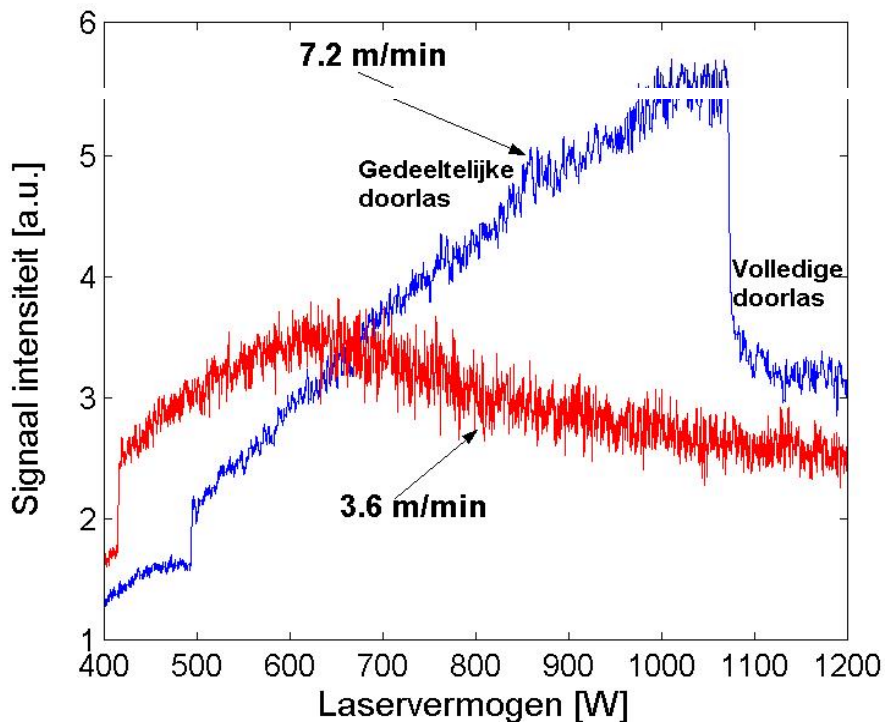


Figuur 1: Configuratie van een laserlas productiecel bestaande uit een robot, een laser bron en een naadvolgsysteem.

speelde de openheid in combinatie met de nauwkeurigheid een beslissende rol. Deze naadvolgsensor kan met 200 Hz informatie genereren over de positie en oriëntatie (de “pitch”) van de naad, de naad coördinaten. De sensor meet in zijn eigen coördinatensysteem zodat de metingen nog moeten worden vertaald naar het coördinatensysteem van de robot, zie figuur 1. Vervolgens wordt de informatie gebruikt om het te volgen pad zonodig aan te passen.

Bij het geautomatiseerd laserlassen van een serie producten kan dit systeem op twee momenten worden ingezet. Ten eerste kan dat “off-line”, d.w.z. voordat er gelast wordt. Met de naadvolgsensor wordt de positie van de te lassen naad gemeten. Dat zou zelfs kunnen zonder informatie vooraf en dus de hele naad moet worden bepaald. In de regel zullen er CAD gegevens beschikbaar zijn en is het in principe voldoende om m.b.v. de sensor de positie en oriëntatie van het product t.o.v. de robot bepalen. Vervolgens kan “on-line”, dus tijdens het lassen, nog worden gemeten om “real-time” te corrigeren voor afwijkingen tussen producten en andere fouten die tijdens het lassen aan het licht komen. Dan is een voordeel van het vooruitkijken dat dit mogelijkheden biedt om tijdig correcties te genereren waardoor een schokkerige reactie van de robot wordt voorkomen. Een aspect om rekening mee te houden is wel dat een dergelijke sensor maar een beperkt meetgebied heeft en de naad hierbinnen moet liggen. Aangezien de sensor vast zit aan de laskop legt dit wel beperkingen op aan de beweging van de laskop. Het lopende onderzoek richt zich op strategieën voor het naadvolgen en mogelijke verbeteringen aan de naadvolgsensor.

Zelfs als de laserbundel nauwkeurig op het werkstuk wordt gepositioneerd, kunnen er afwijkingen in het lasproces ontstaan door bijvoorbeeld veranderingen in de absorptie van de energie. Om deze afwijkingen te signaleren worden processensoren toegepast. In ons laboratorium gebruiken we een tweetal commercieel verkrijgbare systemen. Dit zijn optische systemen die een specifiek gedeelte van de processtraling opvangen. In één geval gebeurt dit met sensoren die aan de laskop zijn gemonteerd. Dit systeem van de firma Jurca GmbH is uitgerust met drie sensoren die respectievelijk de intensiteit van het zichtbare licht, de IR straling en het gereflecteerd laserlicht meten. Het andere systeem is de “Weldwatcher” dat een sensor gebruikt die zijn signaal krijgt nadat dit via de glasvezel de omgekeerde weg van het laserlicht heeft gevolgd. Deze sensor wordt dan ook in de laserbron gemonteerd. Dat is een voordeel bij gerobotiseerd laserlassen omdat het niet leidt tot extra massa en ruimtebeslag aan de laskop. Het Jurca systeem daarentegen kan meerdere signalen combineren om het proces te beoordelen.



Figuur 2: Gemeten signaal van de “Weldwatcher” als functie van het laservermogen bij het lassen van 0,7 mm dik staal bij twee snelheden.

Figuur 2 geeft een voorbeeld hoe een sensor signaal reageert op verschillende lascondities bij het lassen van 0,7 mm dik staal met een laag koolstofgehalte. Bij een snelheid van 120 mm/s (7,2 m/min) treedt tot ca. 500 W alleen geleidingslassen op. Bij meer vermogen wordt een keyhole gevormd en duidt het toenemende signaal op een toenemende penetratiediepte van de las. Bij ca. 1070 W treedt een neerwaartse sprong op die blijkt te corresponderen met de overgang naar volledige doorlas. Blijkbaar verandert het proces hier zodanig dat een groter deel van de processtraling niet meer via de bovenkant zichtbaar is. Ook voor andere sensorsignalen wordt een dergelijk verloop gevonden. Hieruit blijkt dat deze sensoren informatie geven over de status van het proces al blijkt ook uit de figuur dat voor lagere snelheden een andere relatie wordt gevonden. In onze groep wordt er aan gewerkt om met een zo hoog mogelijke snelheid het beschikbare laservermogen optimaal in te zetten voor het realiseren van een gewenste laskwaliteit [2]. Daarvoor gebruiken we de beschreven sensoren, maar wordt daarnaast ook gewerkt aan de ontwikkeling van een geavanceerdere sensor met een CMOS camera.

LITERATUUR:

[1] Zie bv. de brochure “Current Research” beschikbaar op <http://www.wa.wb.utwente.nl/> of via ons secretariaat, tel. (053) 489 25 02.

[2] Sjoerd Postma, Ronald G.K.M. Aarts and Johan Meijer (2000) Penetration detection in Nd:YAG laser welding of sheet metal by optical sensors, pag. E44-E51 in Proceedings of the ICALEO 2000, Dearborn (MI), USA, 2-5 oktober 2000.

DANKWOORD:

Voor dit artikel is gebruik gemaakt van materiaal dat is aangeleverd door Sjoerd Postma, die zijn promotie onderzoek doet in het kader van een project van Netherlands Institute for Metals Research (NIMR).