

REALTIME KWALITEITSCONTROLE VAN LASPROCESSEN

DETECTEER LASKWALITEIT TIJDENS OF METEEN NA HET LASSEN

De lasindustrie wordt geconfronteerd met de nood om de kwaliteit van gelaste producten en structuren beter te bewaken, om zo de structurele kwaliteit en functionaliteit van gelaste producten te garanderen. Een grote zorg is het snel, betrouwbaar en goedkoop defecten opsporen. Traditionele inspectietechnieken zijn echter tijdrovend en duur. De opkomst van nieuwe, innovatieve lasprocessen en de trend naar het verbinden van ongelijksoortige of moeilijk lasbare materialen maakt de kwaliteitscontrole nog moeilijker. De oplossing is een realtime inspectie.

Koen Faes en Jürgen Feyaerts – Belgisch Instituut voor Lastechniek
Axel Vlaminck en Eli Reekmans – Oqton Belgium



Figuur 1: meetapparatuur met infraroodsensor



Figuur 2: ultrasone sensoren

VOORDELEN VAN REALTIME KWALITEITSCONTROLE

De realtime controle van de laskwaliteit vermindert het aantal destructieve testen en schroot. Dergelijke systemen bieden flexibiliteit in de productie en de mogelijkheid om 100% van de lassen te controleren, om op die manier de kost van energie, materialen en mankracht te verlagen. Realtime controle kan de steekproefsgewijze inspectie na de productie elimineren of aanzienlijk verminderen en de betrouwbaarheid van de lasprocessen en de eindproducten vergroten. Het biedt ook het voordeel van een volledige traceerbaarheid van de productie of het bijhouden van productie-auditgegevens. De data, afbeeldingen of video's kunnen worden opgeslagen voor kwaliteitsdocumentatie. realtime kwaliteitsinspectie kan ook de doorlooptijd ter bepaling van de procesvensters reduceren en daarmee ook de kosten die hiermee gepaard gaan. Bovendien zijn de procesparameters soms afhankelijk van de

variëaties van de eigenschappen van de basismaterialen (bv. als gevolg van het gebruik van verschillende batches materialen). Maatregelen voor het constant houden van de laskwaliteit kunnen eerder genomen worden. Een optimaal productieproces moet immers ook de reproduceerbaarheid garanderen, die kan worden verhoogd door de vroegtijdige opsporing van afwijkingen van de kwaliteit. Indien een voldoende nauwkeurigheid en precisie van de meettechnieken wordt bereikt, kan de laskwaliteit synchroon met de productie worden gegarandeerd. realtime controle laat toe om parameteraanpassingen door te voeren tijdens het proces zelf. Andere materialen of geometrieën die een aanpassing van de lasparameters vereisen, kunnen worden gelast door gebruik te maken van procesregelkringen.

MEETTECHNIEKEN

De voorbije decennia zijn er veel nieuwe meetmethodes op de markt verschenen die

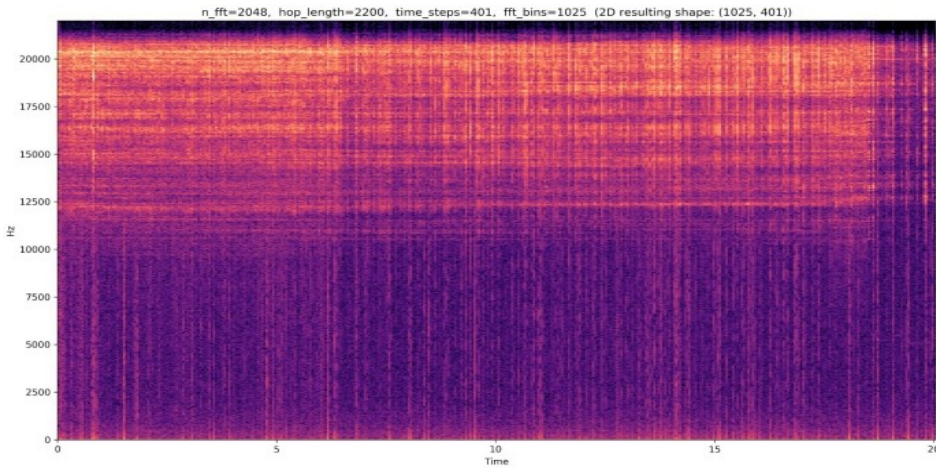
belangrijke informatie opleveren over de kwaliteit van lasverbindingen en gelaste producten. Zo bestaan er verschillende soorten sensoren om realtime bewaking van het lasproces uit te voeren.

Boogsensoren

Boogsensoren controleren de booglengthe via een automatisch spanning/stroom-regelsysteem, wanneer de positie van de electrode t.o.v. het werkstuk wijzigt. Zo kan bij het TIG-lassen de lastoorts, voorzien van een servo-mechanisme, het signaal gebruiken van een boogsensor om de positie van de wolfram-elektrode t.o.v. het werkstuk aan te passen. Dit om de gemeten spanning gelijk te maken aan de gewenste referentie spanning.

Optische sensoren

Er zijn vele soorten optische sensoren volgens de verschillende principes en toepassingen (elektro-optische, CCD-, CMOS-sensoren, hogesnelheidscamera). Het licht dat door de optische sensoren wordt gedetecteerd, kan



Figuur 3: spectrogram van een geluidsfragment

worden gebruikt om de variabelen van het lasproces te meten of in te schatten en om de lasparameters in realtime aan te passen. Visiegebaseerde systemen worden bv. gebruikt om de conditie van het smeltbad te bepalen. Optische sensoren zijn vergelijkbaar met het menselijk oog van de lasser, die naar het smeltbad kijkt en de parameters zoals de stroom of snelheid aanpast op basis van wat hij ziet.

Infraroodsensoren

Infraroodsensoren kunnen de infraroodstraling uitgezonden door het materiaal detecteren (Figuur 1). Daarom worden deze sensoren gebruikt voor thermische lasprocessen, om die te bewaken en te controleren. Ze zijn vergelijkbaar met optische sensoren die de emissie aan het oppervlak van de las meten en informatie geven over de afkoelsnelheid, de lasbreedte en penetratiediepte. Ze kunnen ook worden gebruikt voor lasnaadvolgsystemen.

Ultrasonen sensoren

Ultrasonen sensoren (Figuur 2) meten de akoestische emissie tijdens het lassen. Het gaat hier om hoogfrequente geluidsgolven, die geproduceerd worden tijdens of kort na het lassen. De controle via akoestische emissie wordt uitgevoerd voor alle karakteristieke fasen van het lasproces: tijdens het lasproces zelf, onmiddellijk na het lassen en tijdens de levensduur van de las.

TOEPASSING VAN ARTIFICIELE INTELLIGENTIE METHODEN

Dergelijke sensoren genereren grote hoeveelheden data, die op een snelle en effectieve manier moeten worden verwerkt. Intelligente software-oplossingen kunnen de data analyseren om trends en patronen te identificeren, die vervolgens gebruikt kunnen worden om lasonvolkomenheden te detecteren en de lasprocessen bij te sturen of efficiënter te maken. Op deze manier passen installaties zich voortdurend aan nieuwe omstandigheden aan en worden ze geoptimaliseerd zonder dat er input van de operator nodig is. Bovendien kunnen cloud-gebaseerde, Internet of Things besturingssystemen (IoT) gebruikt worden om producten, installaties, systemen en machines te connecteren en om de enorme

hoeveelheden data nuttig te maken voor optimalisatie, simulatie en besluitvorming. Artificiële intelligentie biedt een enorm potentieel voor het analyseren van meetgegevens en het bewaken van de kwaliteit van de lassen en gelaste producten. Het maakt de productie efficiënter, flexibeler, betrouwbaarder en goedkoper. De hierboven beschreven Industrie 4.0-concepten bieden voor ondernemingen grote mogelijkheden: kostenverlaging, grotere flexibiliteit, massaproductie op maat van de klant, nieuwe businessmodellen ...

ARTIFICIËLE INTELLIGENTIE MODELLEN

Artificiële intelligentie heeft de afgelopen jaren processen gerevolutioneerd in verschillende industrieën waar automatisatie voorheen niet mogelijk geacht werd. Deze processen werden doorgaans aanzien als eenvoudig voor een mens, maar onmogelijk voor een computer. Een voorbeeld hiervan is het detecteren van de objecten in een foto: een computer kan vandaag duizenden verschillende objecten herkennen, zoals de hond op je vakantiefoto.

Datagedreven

Het automatiseren van deze processen wordt mogelijk gemaakt door systemen die leren uit voorbeelden. Een computer leert objecten in een foto herkennen door vele foto's met gekende objecten door het systeem te laten verwerken. Inwendig gaat een model patronen detecteren, om die vervolgens te koppelen aan bepaalde objecten. Het leren van patronen uit voorbeelden noemen we een datagedreven systeem. Vroeger ging men anders te werk: een expert moest herhaaldelijk voor elk object het patroon definiëren. Het spreekt voor zich dat dit proces zeer arbeidsintensief was en het leverde in vele gevallen slechtere resultaten op dan de nieuwe, datagedreven leermethoden. Deze datagedreven methode werd gebruikt om op basis van het geluid van een las de laskwaliteit te bepalen, en de eventuele onvolkomenheden die optreden te herkennen en te classificeren.

Spectrogram

Voor het detecteren van patronen in de geluidsamples wordt het geluid omgezet naar een spectrogram (zie Figuur 3). Hierin leren we patronen herkennen die bepalend zijn

voor de kwaliteit van de las, het boogtype en eventueel de lasonvolkomenheid. Een spectrogram is een weergave van geluid waar de tijd op de horizontale as wordt uitgezet en de frequentie op de verticale as (zie figuur 3). De hoeveelheid energie op een gegeven tijdstip in een bepaalde frequentieband wordt weergegeven door de verkleuring in het diagram. Door het tweedimensionale karakter van een spectrogram kan het op dezelfde manier voorgesteld worden als een traditionele foto, met een matrix van pixels. Hierdoor is het mogelijk om bepaalde AI-modellen die ontwikkeld werden voor het analyseren van foto's te gebruiken voor het analyseren van het geluid, opgenomen tijdens het lassen. De modellen herkennen op een gelijkaardige manier patronen in de tweedimensionale matrix.

LASEXPERIMENTEN

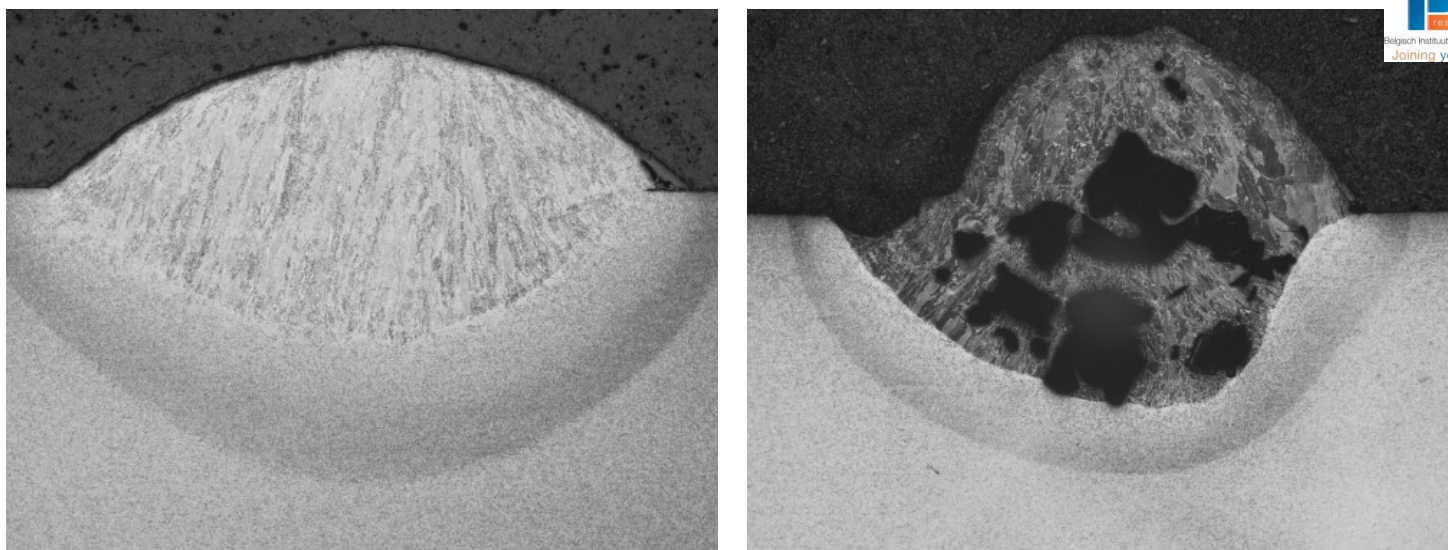
In het kader van het SoundWeld project (zie kaderstuk) werden experimenten uitgevoerd waarbij het gerobotiseerd MIG/MAG-lassen werd gemonitord op basis van akoestische emissies. Verschillende types sensoren werden hiervoor gebruikt; zowel piëzo-elektrische sensoren als een microfoon. Lassen werden uitgevoerd met de verschillende boogtypes van het MIG/MAG-proces; kortsluitbooglassen, globulair lassen, sproei-booglassen en gepulseerd lassen. Lasrupsen werden hiervoor neergesmolten op een plaat ('bead on plate')

PROJECT SOUNDWELD

In het kader van het project 'SoundWeld' werd er geïnvesteerd in een akoestisch emissiemeetsysteem, dat kan worden gebruikt als niet-destructieve techniek voor het beoordelen van de laskwaliteit tijdens het lassen. In dit project wordt deze nieuwe niet-destructieve in-line beproevings-techniek geëvalueerd voor verschillende lasprocessen.

Deze beproevingsmethode is ontwikkeld, gebaseerd op het feit dat elk materiaal natuurlijke trillingen vertoont en dat machines en processen geluiden uitstoten. Tijdens het maken van een lasverbinding ontstaat een akoestische emissie, ten gevolge van de vorming van de las, het ontstaan van defecten of storende invloeden. De vorm waarin akoestische emissie optreedt, is afhankelijk van het lasproces, het materiaal, de temperatuur en de geometrie van het werkstuk.

De fundamentele doelstelling van deze controle is het verkrijgen van nuttige informatie over de kwaliteit van de verbindingen en de geschiktheid van de gebruikte lasparameters tijdens het lassen. Door gebruik van de correcte apparatuur en instellingen, en de bijhorende analyse-software, kunnen we de verschillende bronnen van akoestische emissie onderscheiden en kunnen mogelijke lasonvolkomenheden worden aangetoond.



Figuur 4: dwarsdoorsnede van een las (referentieconditie; sproeihooglassen) – las met onvolkomenheden (sproeihooglassen uitgevoerd met een te grote uitsteeklengte)

lassen). Lassen werden uitgevoerd met optimale parameters, die dienden als referentie. Daarnaast werden eveneens lassen uitgevoerd waarbij één parameter gevarieerd werd; de lassnelheid, de uitsteeklengte, de toortshoek en de lasrichting (trekkend of duwend). Dit om lasonvolkomenheden te introduceren. Ook werden er lasproeven uitgevoerd zonder beschermgas. Een lagere voortloopsnelheid leidt tot een bredere las, een grotere overdikte en een diepere inbranding, en dit voor alle boogtypes. Bij een hogere snelheid wordt het omgekeerde effect vastgesteld, met mogelijks porositeiten tot gevolg, vooral dan bij het sproeihooglassen en het gepulseerd lassen. Bij het vergroten van de uitsteeklengte wordt de las iets smaller en wordt de overdikte iets groter. Vooral bij het sproeihooglassen worden via deze parameterinstelling porositeiten geïntroduceerd en er worden ook randinkartelingen vastgesteld (zie **Figuur 4**).

RESULTATEN

Zelflerende modellen, gebaseerd op artificiële intelligentie, werden gebruikt voor het herkennen en voorspellen van de gebruikte procescondities (boogtype en de lasparame-

ters, die al dan niet aanleiding geven tot lasonvolkomenheden). De voorspelde lascondities, op basis van de akoestische emissiemetingen, werden hierbij vergeleken met de in praktijk gebruikte condities. Modellen gebruikt tijdens de preliminaire testen behaalden hierbij een nauwkeurigheid van 85%. Onderstaande tabel geeft de nauwkeurigheid weer van de voorspellingen van de gebruikte lascondities. De X-as toont de voorspellingen, de Y-as toont de effectief gebruikte condities tijdens het laswerk. De diagonaal van linksboven naar rechtsonder geeft de fragmenten weer waarbij de voorspelling overeenkomt met de werkelijke mode; de andere fragmenten kregen dus een foute voorspelling. Een aantal van de gebruikte lascondities geven effectief aanleiding tot lasonvolkomenheden, gebaseerd op het metallografisch onderzoek van alle lasverbindingen. Lasonvolkomenheden die optreden door het gebruik van deze lascondities kunnen bijgevolg gedetecteerd worden door de modellen.

Vervolgstappen

Dit experiment is uitgevoerd in een labo-omgeving met een minimale hoeveelheid data. Om de nauwkeurigheid van dit soort datagedreven modellen te verbeteren, is er meer data vereist. Maar het experiment geeft al aan dat het mogelijk is om informatie te onttrekken uit het geluid dat geproduceerd wordt tijdens het lassen. In een volgende stap zal er meer data verzameld worden en zal de werking van het model ook gevalideerd worden in een fabrieksomgeving, waar omgevingsgeluid een belangrijke stoorfactor zal vormen. In een volgend stadium zal ook onderzocht worden in welke mate afwij-

kingen in het akoestische spectrum kunnen worden gelinkt aan het type lasimperfectie, gedefinieerd volgens EN ISO 6520-1. Met andere woorden: kan het waargenomen akoestische spectrum een uitspraak doen over het type lasimperfectie dat in de las aanwezig is en waar in de las deze imperfectie zich voordoet?

Voorts zal er onderzocht worden of via het desbetreffende akoestische spectrum kan worden afgeleid of een lasimperfectie al dan niet aanvaardbaar is volgens EN ISO 5817 (kwaliteitsniveau C). Op deze manier zou het niet alleen mogelijk worden om lasimperfecties in realtime op te sporen, maar er ook onmiddellijk een appreciatie aan toe te kennen op basis van het uitgezonden akoestische spectrum. Wanneer de lasimperfectie niet aanvaardbaar zou zijn, is het in volcontinue installaties (bv. robotinstallaties) mogelijk om op basis van deze data het systeem adaptief te laten reageren door de lasparameters bij te sturen.

Tot slot wordt er nog onderzocht of het combineren van verschillende sensoren een betere analyse kan opleveren. De architectuur van de gebruikte AI-modellen laat toe om signalen van verschillende sensoren met verschillende voorstellingen heel eenvoudig te combineren.

CONCLUSIE

Een veelbelovende methode voor kwaliteitsborging is akoestische emissie. Deze methode is een niet-destructieve onderzoekstechniek, die kan worden toegepast tijdens het productieproces. Om de mogelijkheden van deze techniek in kaart te brengen en aan de praktijk te toetsen, voert het Belgisch Instituut voor Lastechniek een onderzoeksproject uit. Het doel is het evalueren van deze techniek voor verschillende lasprocessen, onder andere voor het gerobotiseerd booglassen. Lasproeven werden uitgevoerd met verschillende procescondities om lassen te vervaardigen met verschillende kwaliteitsniveaus. Datagedreven modellen worden gebruikt om de las kwaliteit en de eventuele onvolkomenheden te voorspellen via het geluid opgenomen tijdens het lassen. De modellen gebruikt tijdens de preliminaire testen behaalden hierbij een nauwkeurigheid van 85%. Dit onderzoek wordt verder gezet voor het verbeteren van de voorspellingen. □

