

# Luisteren naar de las deel 2

Akoestische Emissie Monitoring (AEM) is een niet-destructieve methode om de kwaliteit van lassen tijdens het lasproces te beoordelen. Dit gebeurt door te 'luisteren' naar de las. In het project SoundWeld werkt het BIL samen met OQTON om de mogelijkheden van AEM voor het MIG/MAG-proces te onderzoeken en in de praktijk te testen. In dit artikel worden de resultaten voor hoeklassen gepresenteerd.

door Koen Faes, Jürgen Feytaerts - Belgisch Instituut voor Lastechniek  
Axel Vlaminck, Eli Reekmans - OQTON Belgium

**Voor** de lasindustrie is het belangrijk om eventuele lasdefecten snel, betrouwbaar en kosteneffectief op te sporen. De huidige destructieve en niet-destructieve technieken zijn tijdrovend, duur, en niet altijd geschikt om de laskwaliteit te beoordelen. Met AEM als in-line kwaliteitscontrolesysteem kunnen de beperkingen van conventionele inspectietechnieken worden overwonnen. AEM kan de selectieve inspectie na de productie elimineren of aanzienlijk verminderen, het aantal destructieve tests verminderen en de betrouwbaarheid van het assemblageproces verhogen.

## Trillingen en geluidsgolven

Kwaliteitsbewaking met behulp van AEM is ontwikkeld op basis van het feit dat elk materiaal natuurlijke trillingen vertoont en dat processen geluiden uitzenden. Wanneer een metaal wordt belast, bijvoorbeeld tijdens plastische vervorming, worden geluiden geproduceerd (akoestische emissie). De gegenereerde geluidsgolven veroorzaken verplaatsingen aan het oppervlak, die met sensoren kunnen worden gemeten. De AEM-techniek is gebaseerd op de detectie en omzetting van hoogfrequente geluidsgolven in elektrische signalen.

## AEM tijdens het lassen

Tijdens het lassen ontstaat akoestische emissie als gevolg 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 doel-

stelling van AEM tijdens het lassen is het verkrijgen van nuttige informatie over de kwaliteit van de verbinding en de geschiktheid van de gebruikte lasparameters. Door gebruik van de juiste apparatuur en instellingen en de bijhorende analysesoftware, kunnen de verschillende bronnen van akoestische emissie onderscheiden worden en kunnen mogelijke lasfouten aangetoond worden.

## Artificiële intelligentie

De AEM-sensoren genereren grote hoeveelheden data die op een snelle en effectieve manier verwerkt moeten worden. Intelligente software-oplossingen kunnen de grote hoeveelheden data die door een lasproces worden gegenereerd analyseren om trends en patronen te identificeren. Vervolgens kan deze informatie gebruikt worden om lasfouten te detecteren en om 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. Artificiële intelligentie (AI) biedt een enorm potentieel voor het analyseren van meetgegevens en het bewaken van de kwaliteit van lassen en gelaste producten.

In het kader van het SoundWeld-project, uitgevoerd aan het Belgisch Instituut voor Lastechniek, is geïnvesteerd in AEM-meetsystemen om de laskwaliteit realtime te beoordelen. De toepassing van deze veelbelovende technologie wordt onderzocht voor verschillende lasprocessen:

- booglassen (MIG/MAG)
- weerstandspuntlassen
- magnetisch pullassen
- wrijvingspuntlassen.

De materiaalovergang (interface) in de lassen die zijn geproduceerd met magnetisch puls- en wrijvingspuntlassen verschilt aanzienlijk van de interface in conventionele lassen. Dit resulteert in een groter risico om defecten over het hoofd te zien bij gebruik van conventionele NDO-methoden.

In het project SoundWeld worden de volgende doelstellingen nagestreefd:

- onderzoek naar de reproduceerbaarheid van de AEM-signalen
- bepaling van de nodige AEM-sensoren en instellingen
- onderzoek naar de detectiemogelijkheden van lasdefecten op basis van AEM-metingen
- ontwikkeling van een niet-destructief controlesysteem voor laskwaliteit op basis van AEM.

Om deze doelen te bereiken is een samenwerking opgezet met het bedrijf OQTON, dat gespecialiseerd is in de ontwikkeling van geavanceerde zelflerende, data-gedreven AI-modellen.



Meer over SoundWeld

## Experimenteel onderzoek

Tijdens het SoundWeld-project zijn experimenten uitgevoerd voor het monitoren van gerobotiseerd MIG/MAG-lassen op basis van akoestische emissie. Er werden verschillende soorten sensoren gebruikt: piëzo-elektrische sensoren en een microfoon. Lasexperimenten werden uitgevoerd voor twee soorten lassen:

- lassen neergesmolten op een plaat (bead-on-plate)
- hoeklassen.

De lassen werden geproduceerd met verschillende boogtypes van het MIG/MAG-proces. Lassen uitgevoerd met optimale parameters dienden als referentie. Daarnaast werden ook lassen gemaakt waarbij een bepaalde parameter werd gevarieerd, bijvoorbeeld lassnelheid, uitsteeklengte, toortspositie of -hoek, en lasrichting (trekkend of duwend), met als doel lasfouten te introduceren.

Voor het experimentele werk is een KUKA-lasrobot gebruikt (type KR 15/2). De robot werd gebruikt om op een stalen plaat te lassen die op een werktafel was geplaatst. De sensoren voor het opnemen van de AEM-signalen werden op de hoek van de plaat geklemd om hoge temperaturen ter plaatse van de sensor te vermijden.

**Resultaten hoeklassen**

Na de bead-on-plate lassen (zie LASTECHNIEK #4/5 2020) werden ook hoeklassen in het staal S235 gemaakt. Verschillende parametercondities werden toegepast om zowel lassen van goede kwaliteit als lassen met defecten te creëren. De testopstelling is te zien in figuur 1. Tabel 1 geeft een overzicht van de gebruikte parameterinstellingen.

De hoeklassen werden uitgevoerd met zes verschillende standaard parameterinstellingen. Bij gebruik van de parameterinstellingen FWa4-STA, FWa4-HA en FWa4-LA werden lassen uitgevoerd met standaard parameterinstellingen en instellingen met respectievelijk hoge en lage waarden van stroom en spanning. Bij gebruik van de instellingen FWa4-26, FWa4-36 en FWa4-46 werd de verplaatsingssnelheid van de toorts gevarieerd, en ingesteld op respectievelijk 26, 36 en 46 cm/min. De bedoeling was om lassen te maken met een keelhoogte (a-waarde) van 4 mm. Niet alle lassen, uitgevoerd met de standaardinstellingen, bleken te voldoen aan deze eis.



Figuur 1 Testopstelling gebruikt voor hoeklassen (Bron: BIL) (linkerpagina en hierboven)

Met behulp van de zes standaard parameterinstellingen werden lasfouten geïntroduceerd door bijvoorbeeld de toortspositie te variëren (categorieën 2, 3, 5, 6 en 8), of door nog lagere waarden van spanning en stroom te gebruiken (categorieën 4 en 7). De lassen uitgevoerd met standaardinstellingen werden drie keer herhaald (categorie 1). De lassen met lasdefecten werden twee keer herhaald. In totaal werd tijdens deze lasproeven ongeveer 20 minuten geluid opgenomen.

Voor de beoordeling van de laskwaliteit is de norm EN-ISO 5817 gebruikt. Deze internationale norm beschrijft de limieten voor lasonvolkomenheden voor drie kwaliteitsniveaus: streng (B), gemiddeld (C) en matig (D). EN-ISO 5817 classificeert 26 onvolkomenheden zoals scheuren, porositeit en holtes, vaste insluitels, gebrek aan inbranding en onvoldedige penetratie, vormonvolkomenheden en meerdere onvolkomenheden. De beschouwde onvolkomenheden worden gespecificeerd in tabel 2. De andere onvolkomenheden, genoemd in EN-ISO 5817, waren niet relevant of werden niet gevonden. Voor de beoordeling van de laskwaliteit is gebruik gemaakt van niveau C.

		Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 4	Cat. 5	Cat. 6	Cat. 7	Cat. 8
code	instellingen	standaard-parameterinstelling	hor. pos. +4 mm	vert. pos. +4 mm	nog lagere stroom & spanning	vert. pos. +2 mm +30-35°	45° duwend lassen	extreem lage stroom & spanning	hor. pos. +2 mm +30-35° +lage stroom
FWa4-STA	Standaard parameterinstellingen	1 / 2 / 3	4 / 7	5 / 8	-	6 / 9	-	-	-
FWa4-HA	Standaard parameterinstellingen met hoge stroom	1 / 2 / 3	4 / 7	5 / 8	-	6 / 9	-	-	-
FWa4-LA	Standaard parameterinstellingen met lage stroom	1 / 2 / 3	4 / 7	5 / 8	-	6 / 9	-	-	-
FWa4-36	Standaard parameterinstellingen met voortloop snelheid = 36 cm/min	1 / 2 / 3	4 / 10	5 / 11	6	7 / 15	8 / 16	13	14
FWa4-26	Standaard parameterinstellingen met voortloop snelheid = 26 cm/min	1 / 2 / 3	4 / 10	5 / 11	6	7 / 15	8 / 16	13	14
FWa4-46	Standaard parameterinstellingen met voortloop snelheid = 46 cm/min	1 / 2 / 3	4 / 10	5 / 11	6	7 / 15	8 / 16	13	14

Tabel 1 Overzicht van de parameterinstellingen voor het maken van de hoeklassen

**Limieten voor onvolkomenheden volgens EN-ISO 5817**

**bindingsfout (1.5)**

niet toegelaten

gebrek aan binding

**overmatige doorlassing (1.11)**

niet waargenomen

$h \leq 1 \text{ mm} + 0,6 \times b$ , met max. 4 mm

**randinkarteling (1.7)**

niet waargenomen

$h \leq 0,1xt$ , met max 0,5 mm

**onjuist aangevloeiide las (1.12)**

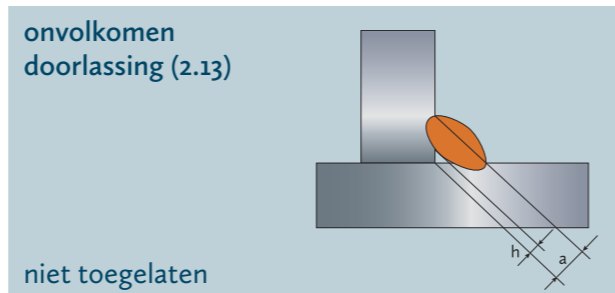
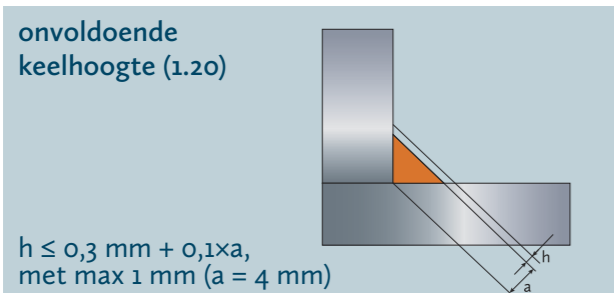
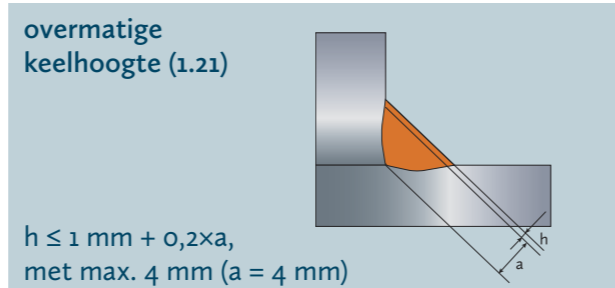
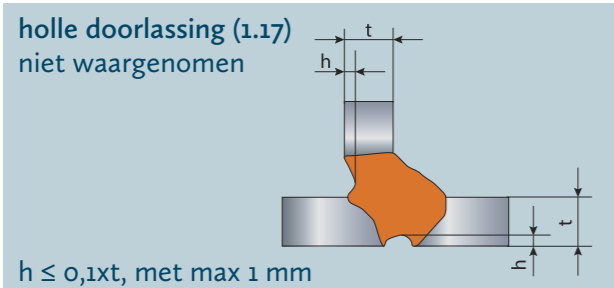
$\alpha \geq 100^\circ$

**te bolle hoeklas (1.10)**

$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15xb$ , met max 4 mm

**overmatige asymmetrische las (1.16)**

$h \leq 2 \text{ mm} + 0,15 \times a$



Tabel 2 Limieten voor onvolkomenheden

\* Gasporiën (2.3) niet waargenomen. Zie ISO 5817

Elke las is gecontroleerd aan de hand van de criteria vermeld in tabel 2. Als een las niet aan ten minste één van de criteria voldoet, is de las niet acceptabel. De resultaten van de kwaliteitsbeoordeling van alle gemaakte lassen zijn opgenomen in een overzichtstabel.

verschillende lasonvolkomenheden rechtstreeks voorspeld. Het model maakte ook gebruik van stroom- en spanningsmetingen tijdens het lassen. Voor deze metingen hoefde de modelarchitectuur niet te worden gewijzigd, omdat de metingen in hetzelfde formaat worden gegenereerd als de geluidsgolven.



Deze resultaten werden gebruikt als input voor de AI-modellen.

**Stroom- en spanningsmetingen**

Aan de hand van de stroom- en spanningsmetingen werd onderzocht of er patronen in de signalen kunnen worden gedetecteerd die gecorreleerd kunnen worden met de lasonvolkomenheden. Vergelijken we figuur 2 met figuur 3, dan zien we dat de spanningsgolf van de hoogwaardige las minder ruis heeft.

**Resultaten AI-modellen**

Data-gedreven AI-modellen werden gebruikt om de laskwaliteit te voorspellen en om optredende onvolkomenheden te herkennen en classificeren. Om patronen in de geluidssamples te detecteren, wordt het geluid omgezet naar een spectrogram. Een spectrogram is een weergave van de geluiden, waarbij de tijd op de horizontale as is uitgezet en de frequentie op de verticale as. In dit spectrogram leert het model patronen te herkennen, karakteristiek voor de kwaliteit van de las, de gebruikte lascondities en de mogelijke lasonvolkomenheden.

Voor het monitoren van hoeklassen werd hetzelfde model gebruikt als voor de bead-on-plate-experimenten (LASTECHNIEK #4/5 2020). De nieuwe meetgegevens die tijdens de experimenten werden verzameld werden ingevoerd in de modellen. Een verschil met de bead-on-plate lasexperimenten betreft de labels. Voor de bead-on-plate lassen werden de lasparameters voorspeld die een lasonvolkomenheid kunnen veroorzaken. Voor de hoeklassen werden de

**Experimenten**

Er werd onderzocht in hoeverre afwijkingen in het akoestische spectrum gelinkt kunnen worden aan het type lasonvolkomenheid. Met andere woorden: kun je aan de hand van het waargenomen akoestische spectrum een uitspraak doen over het type lasonvolkomenheid en de locatie van deze onvolkomenheid? Op basis van de relevante akoestische spectra is ook onderzocht of een lasonvolkomenheid acceptabel is of niet, volgens kwaliteitsniveau C van EN-ISO 5817.

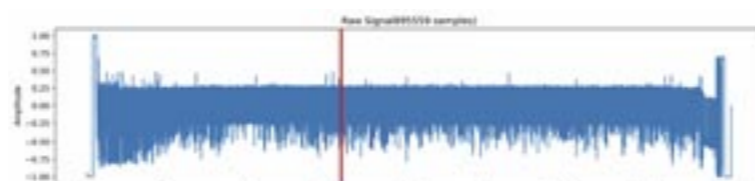
De informatie, aanwezig in de spannings-, stroom- en geluidsspectra, werd ook vergeleken door een model te trainen met elk van deze ingangssignalen. De nauwkeurigheid van deze modellen voor het extraheren van de informatie uit elk van deze signalen werd bepaald (tabel 3).

Op deze manier is het niet alleen mogelijk om lasonvolkomenheden in realtime te detecteren, maar er ook onmiddellijk een waardering aan toe te kennen op basis van het uitgezonden akoestische spectrum. Als de lasimperfectie niet acceptabel is, is het mogelijk om in continue installaties (zoals robotinstallaties) het systeem adaptief te laten reageren door de lasparameters aan te passen.

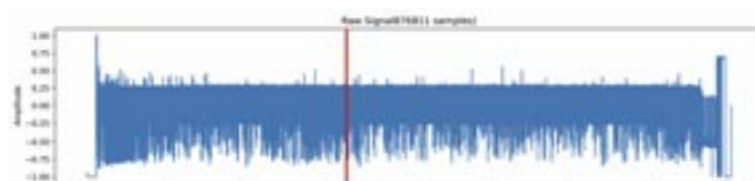
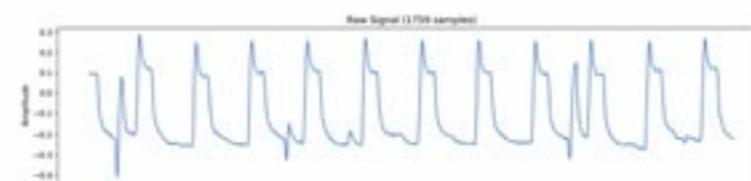
Uit tabel 3 zien we dat lasfouten zoals onvoldoende keelhoogte en onvolkomen doorlassing beter te detecteren zijn via auditieve signalen dan via de procesparameters. Overige lasfouten hebben een vergelijkbare detectiekans. Opgemerkt moet worden dat deze resultaten zijn verkregen op basis van een beperkte hoeveelheid gegevens (20 minuten aan geluid). De prestaties van het model kunnen verbeterd worden als er meer metingen worden uitgevoerd.

	Microfoon	Transducer 1	Transducer 2	Spanning	Stroom
Algemene laskwaliteit	79.6%	76.3%	77.8%	75.1%	77.4%
Bindingsfouten (1.5)	52.8%	46.3%	62.4%	52.9%	51.1%
Te bolle hoeklas (1.10)	68.0%	67.2%	67.1%	68.3%	68.1%
Onjuist aangevloede las (1.12)	65.7%	64.5%	66.4%	68.4%	68.8%
Overmatige asymmetrische hoeklas (1.16)	64.7%	54.9%	67.3%	63.6%	63.0%
Onvoldoende keelhoogte (1.20)	74.8%	70.0%	75.1%	70.4%	69.9%
Onvolkomen doorlassing (2.13)	74.5%	74.1%	74.2%	67.4%	66.0%
Gemiddelde	68.6%	64.8%	70.4%	66.5%	66.3%

Tabel 3 Voorspelling van de aanwezigheid van lasdefecten op basis van het AI-model (Bron: OQTON)



Figuur 2 Gemeten spannings signaal van een hoogwaardige las (FWa4-STA-1) (Bron: OQTON)



Figuur 2 Gemeten spannings signaal van een las van lage kwaliteit (FWa4-STA-6) (Bron: OQTON)



**Verder onderzoek**

De experimenten werden uitgevoerd in een laboratoriumomgeving met een minimale hoeveelheid aan gegevens. Er zijn meer gegevens nodig om de nauwkeurigheid van dit soort data-gedreven modellen te verbeteren, maar het experiment geeft al aan dat het mogelijk is om informatie te halen uit het geluid dat tijdens het lassen wordt geproduceerd. In een volgende stap moeten meer data worden verzameld en zal de werking van het model gevalideerd worden in een fabrieksomgeving, waar omgevingsgeluid een belangrijke storingsfactor zal zijn. Ook wordt 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 weergaven te combineren.

Voor meer informatie kunnen geïnteresseerde bedrijven contact opnemen met het Belgisch Instituut voor Lastechniek. Contact: Koen.Faes@bil-ibs.be - +32 (0) 9292 14 03