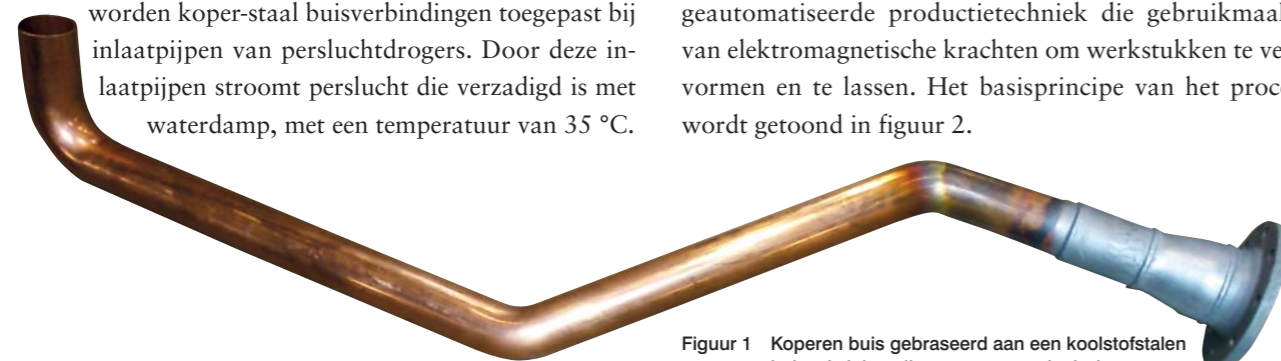


Elektromagnetisch pulslassen van koper-staal buisverbindingen

Bij het Belgisch Instituut voor Lastechniek loopt momenteel het Europese H2020 onderzoeksproject 'Join'Em', waarin het verbinden van ongelijksoortige materialen via elektromagnetisch pulslassen centraal staat. In dit artikel wordt nader ingegaan op de lasbaarheid van koper aan staal met behulp van het elektromagnetisch pulslassen in buis-staaf- en buis-buisverbindingen.

door Irene Kwee en Koen Faes, Belgisch Instituut voor Lastechniek

Verbindingen van aluminium-koper en koper-staal vinden hun toepassing in verschillende sectoren, zoals de elektronica en de HVAC-sector (heating, ventilation, and air conditioning). Koper-staal buisverbindingen zijn te vinden als onderdeel van een koelcircuit in persluchtdrogers, die gebruikt worden in alle koeltoepassingen in de machinebouwindustrie. Door de koper-staal buisverbinding stroomt een koudemiddel (gasvormig of vloeibaar), terwijl de buitenkant blootgesteld is aan een omgevingstemperatuur die kan oplopen tot 45 °C. Verder worden koper-staal buisverbindingen toegepast bij inlaatpijpen van persluchtdrogers. Door deze inlaatpijpen stroomt perslucht die verzadigd is met waterdamp, met een temperatuur van 35 °C.



Figuur 1 Koperen buis gebraseerd aan een koolstofstalen huls, als inlaatpijp voor een persluchtdroger

Alternatief voor braseren

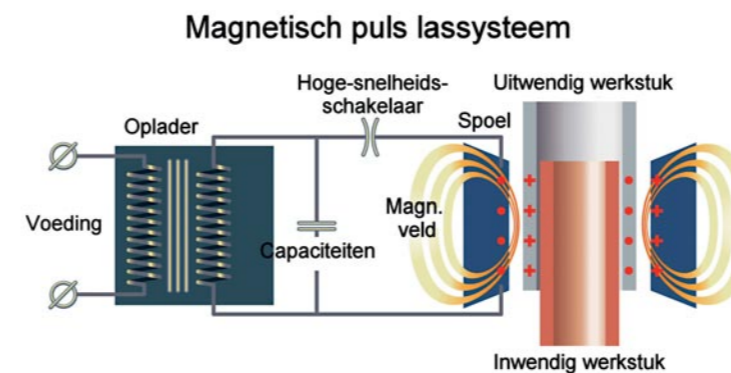
Bij het Belgische bedrijf REFCO [1], gespecialiseerd in het mechanisch vervormen en braseren (hardsolderen) van koperen buizen, wordt momenteel de koperen buis manueel gebraseerd aan een koolstofstalen huls met behulp van een acetyleenbrander. Voor de buisverbindingen die onderdeel uitmaken van een koelcircuit, wordt de huls vervolgens met een moer bevestigd aan de koelcompressor of aan andere componenten. Voor de buisverbindingen die gebruikt worden als inlaatpijp, wordt het geheel aan een koolstofstalen huls gelast (zie figuur 1). Het hoofdcriterium waaraan de koper-staal buisverbinding moet voldoen, is een gegarandeerde lektheid gedurende de gehele levensduur van de persluchtdroger, die tot 20 jaar bedraagt. Een andere eis is dat de buisverbinding niet mag corroderen.

Elektromagnetisch pulslassen als alternatief voor het braseren leidt tot een kostenbesparing in het verbinden van ongelijksoortige materialen. Dit is te danken aan het verkorten van de productiecyclus en de eliminatie van de toevoegmaterialen die voor het braseren nodig zijn. Bovendien wordt een verbetering van de laskwaliteit verwacht.

Elektromagnetische pulstechnologie

De elektromagnetische pulstechnologie is een innovatieve geautomatiseerde productietechniek die gebruikmaakt van elektromagnetische krachten om werkstukken te vervormen en te lassen. Het basisprincipe van het proces wordt getoond in figuur 2.

Een spoel wordt over het te lassen werkstuk geplaatst, maar maakt er geen contact mee. Tijdens de lascyclus wordt een zeer grote hoeveelheid elektrische energie vrijgegeven in een zeer korte tijd. Sommige systemen kunnen wel 2 miljoen ampères ontladen in slechts 100 microseconden. De hoge energiestroom loopt door de spoel, en deze stroomontlading induceert wervelstromen in het uitwendige werkstuk. Beide stromen induceren een magnetisch veld. Deze magneetvelden werken elkaar tegen. De afstoting tussen beide magneetvelden ontwikkelt een kracht die het uitwendige werkstuk met grote snelheid verplaatst in de richting van het inwendige werkstuk. Dit resulteert in blijvende vervorming, zonder terugveren van het werkstuk. Aangezien enkel het vervormde werkstuk



Figuur 2 Principe van de elektromagnetische pulstechnologie

vervaardigd moet zijn uit elektrisch geleidend materiaal, is dit proces geschikt voor het verbinden van zowel gelijksoortige als ongelijksoortige materialen.

Voordelen van de elektromagnetische pulstechnologie:

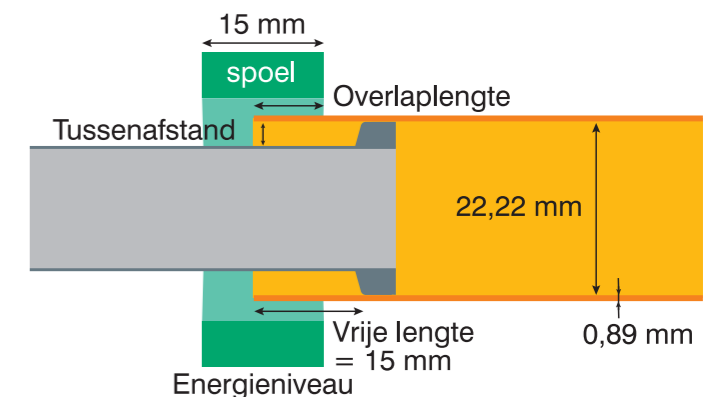
- In vergelijking met conventionele lasprocessen is het elektromagnetisch pulspulproces een 'koud' proces. Het werkstuk warmt alleen op door de wervelstromen en de plastische vervorming, maar deze temperatuur blijft beperkt tot 50 °C. Er ontstaat geen warmte-beïnvloede zone en er is geen sprake van thermisch geïnduceerde degradatie, zodat het materiaal zijn eigenschappen behoudt.
- De reproduceerbaarheid is hoog, dankzij de nauwkeurige aanpassingsmogelijkheden van de aangelegde krachten.
- De productiesnelheid is hoog.
- Het is een ecologisch lasproces, aangezien er geen warmte, gas, of lasrook geproduceerd wordt.

Lasbaarheid koper-staal buisverbindingen

In het kader van het Europese onderzoeksproject H2020 Join'Em [2], wordt het elektromagnetisch pulslassen van ongelijksoortige metalen onderzocht, meer specifiek het verbinden van aluminium aan koper, koper aan koolstofstaal, en koper aan roestvast staal, in zowel plaat- als buisvorm. Dit artikel behandelt in het bijzonder de lasbaarheid van koperen (Cu-DHP R220) buizen aan

koudvervormd koolstofstalen (11SMnPb30+C) staven en buizen, die een treksterkte bezitten van respectievelijk 220-260 MPa en 460-760 MPa.

De configuratie van de werkstukken in de spoel wordt getoond in figuur 3. De overlappende lengte is de lengte van de overlap tussen de spoel en de koperen buis. De vrije lengte is de lengte waarover de koperen buis met grote impact in de richting van de stalen buis/staaf zal vervormen. Samen met de tussenafstand tussen de koperen buis en de stalen buis/staaf bepaalt dit de hoek en de snelheid van de impact waarmee de koperen buis tegen de stalen buis/staaf wordt gedrukt. De impacthoek en -snelheid bepalen op hun beurt de kwaliteit van de lasverbinding.



Figuur 3 Configuratie van de koperen en stalen buis in de spoel

Uitvoering proeven

Verschiede testreeksen werden uitgevoerd, waarin telkens de geometrische configuratie en de lasparameters gevarieerd werden. In alle proeven was het uitwendige stuk een koperen buis en het inwendige stuk een stalen staaf of buis. De buis-buisverbindingen werden vervaardigd met stalen buizen in drie verschillende wanddiktes (1, 2 en 3 mm) zonder inwendige ondersteuning. Vervolgens werd de test herhaald voor stalen buizen met een wanddikte van 1 mm, maar nu mét gebruik van een inwendige ondersteuning. Deze bestond uit een polyurethaan holle staaf (Shore hardheid A 90 ± 5) die met behulp van een bout en moer werd opgespannen, tot de buitendiameter gelijk was aan de binnendiameter van de stalen buis.

De karakterisatie van de las bestond uit het bepalen van de lektheid door middel van een lekttest met lucht en een metallografische analyse, waarbij het accent lag op de morfologie aan de lasinterface, de laslengte en de vervorming van de stalen buis. Aangezien de laslengte bepaald werd aan weerszijden van de dwarsdoorsnede (zie ook figuur 4), werden beide laslengtes gecombineerd tot één arbitraire parameter: de laskwaliteitsindicator.

Een eerste vergelijking werd gemaakt tussen de buis-staaf- en de buis-buisverbindingen zonder inwendige ondersteuning. Hierbij werd het effect bepaald van de wanddikte van de inwendige stalen buis en van de lasparameters op de lektheid, de laslengte en de vermindering van de binnendiameter van de inwendige buis. Bij een tweede vergelijking tussen de buis-buisverbindingen zonder en mét inwendige ondersteuning, werd het effect van de inwendige ondersteuning en de lasparameters op dezelfde las karakteristieken bekeken.

Staaft-buis- en buis-buisverbindingen

Figuur 4 toont een koper-staal buis-staafverbinding, gelast via elektromagnetisch pulslasen. Een typische metallografische dwarsdoorsnede van een buis-staafverbinding en details van deze doorsnede zijn te zien in figuur 5.

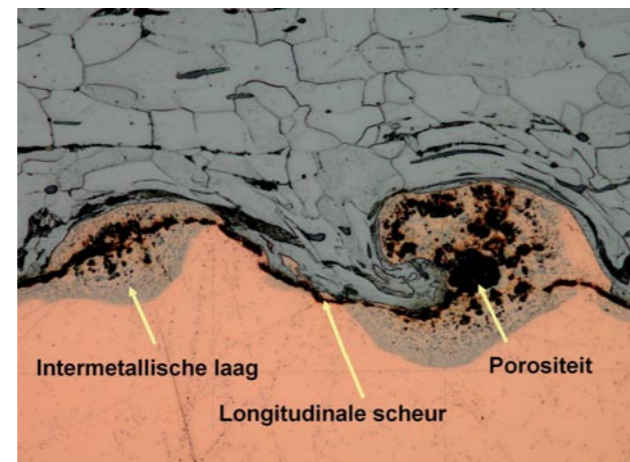
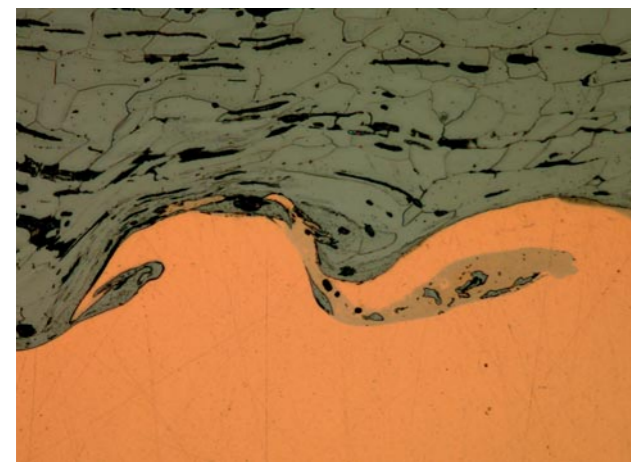
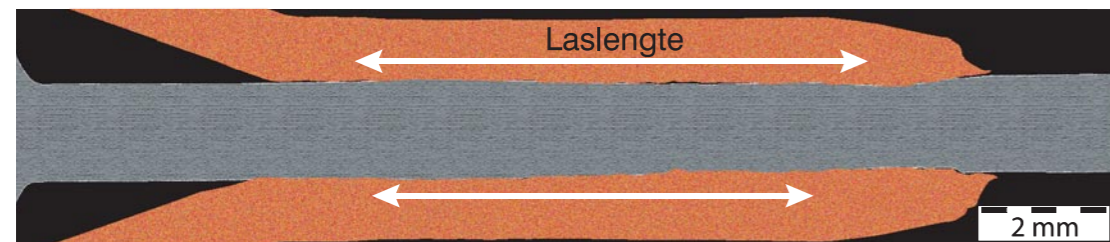
Afhankelijk van de gebruikte lasparameters worden intermetallische lagen, scheuren en porositeiten geobserveerd aan de lasinterface. Naarmate de wanddikte van de inwendige stalen buis kleiner wordt, vindt een overgang plaats van een continue lasinterface naar een discontinue lastinterface met niet-gelaste zones.

Tabel 1 toont het bereik van de laslengtes en de reductie van de binnendiameter voor de lekdichte buis-staaf- en buis-buisverbindingen zonder inwendige ondersteuning. De grootste laslengtes worden gemeten in de buis-staafverbindingen. De kleinste reductie van de binnendiameter van de inwendige buis wordt verkregen voor buis-buisverbindingen met de grootste wanddikte van de inwendige buis (3 mm).



Figuur 4 Koper-staal buis-staafverbinding, gelast via elektromagnetisch pulslasen

De laslengte wordt voornamelijk bepaald door de tussenafstand. De tussenafstand bedraagt 1,0; 1,5 of 2,0 mm. De grootste tussenafstand van 2 mm resulteert meestal in de grootste laslengte, wat aantoont dat er voldoende afstand is waarover de koperen



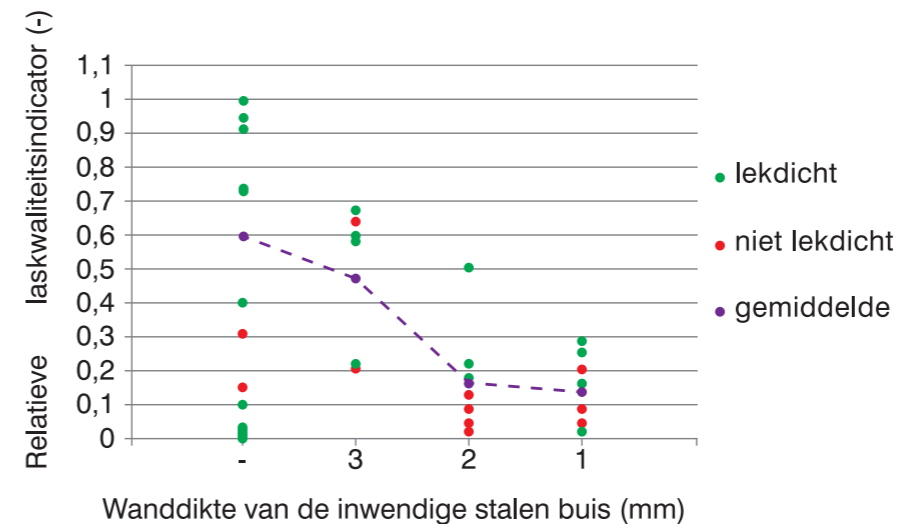
Figuur 5 Metallografische dwarsdoorsnede van een koper-staal buis-staafverbinding (boven) en bijbehorende detailopnames (onder), zonder en met defecten (rechts)

	Buis-staaf-verbindingen	Buis-buis-verbindingen		
		Wanddikte inwendige buis		
Laslengte (mm)	2,3 - 6,7	3 mm 1,1 - 5,6	2 mm 1,4 - 4,9	1 mm 1,1 - 2,9
Reductie binnendiameter inwendige buis (mm)	n.v.t.	0,9 - 1,3	2,4 - 3,0	5,7 - 7,7

Tabel 1 Bereik van de laslengtes en reductie van de binnendiameter van de inwendige buis voor lekdichte buis-staaf- en buis-buisverbindingen zonder inwendige ondersteuning

buis kan versnellen. De reductie van de binnendiameter van de inwendige stalen buis daarentegen, wordt bepaald door zowel de tussenafstand als het energieniveau. Een hoger energieniveau en een grotere tussenafstand leiden tot een grotere reductie van de binnendiameter van het stalen binnenstuk. Dit betekent dat de koperen buis nog niet is vertraagd bij de gegeven tussenafstand en dus nog steeds een verhoogde impactsnelheid heeft.

Figuur 7 toont aan dat naarmate de wanddikte van de inwendige buis kleiner is, de procentuele reductie van de binnendiameter van de inwendige buis toeneemt. Bij buis-buisverbindingen met een wanddikte van 1 mm van de inwendige buis treedt zelfs een niet-uniforme vervorming op, wat duidt op de noodzaak van het gebruik van een inwendige ondersteuning.

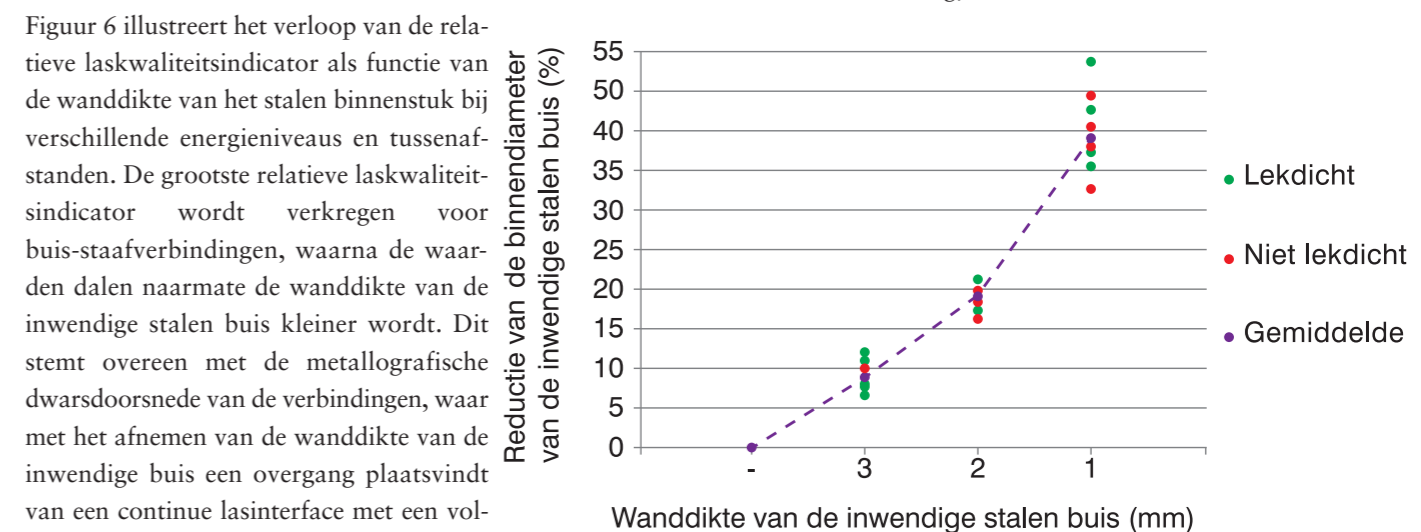


Figuur 6 Relatieve laskwaliteitsindicator als functie van de wanddikte van het stalen binnenstuk. (Uiteraard is er geen waarde voor wanddikte bij de buis-staafverbinding).

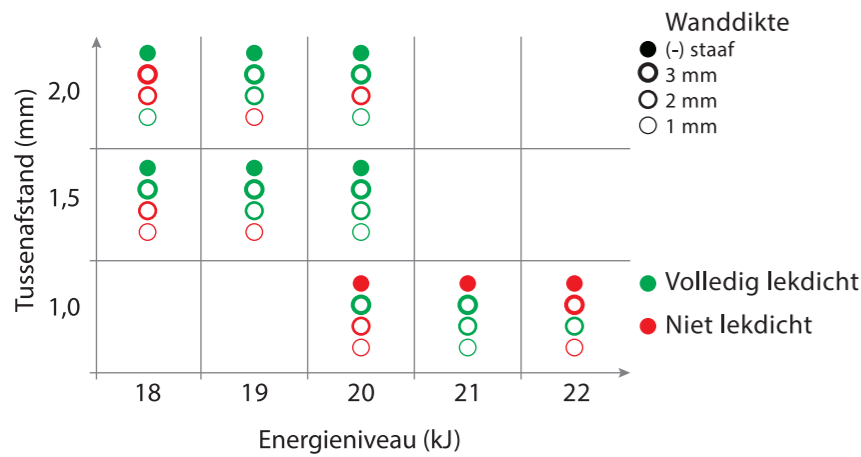
De lektheid van de buis-staaf- en de buis-buisverbindingen als functie van de tussenafstand en het energieniveau wordt geïllustreerd in figuur 8. Een complete lektheid wordt verkregen voor verbindingen met een grotere tussenafstand, buis-buisverbindingen met een grotere wanddikte en buis-staafverbindingen. De lektheid is gerelateerd aan de kwaliteit van de lasinterface, aangezien een discontinue lasinterface resulteert in een matige lektheid. Deze discontinue lasinterface ontstaat bij kleinere tussenafstanden en bij stalen binnenstukken met een kleinere wanddikte.

Invloed inwendige ondersteuning

De invloed van inwendige ondersteuning is onderzocht bij een buis-buisverbinding, met een wanddikte van de in-

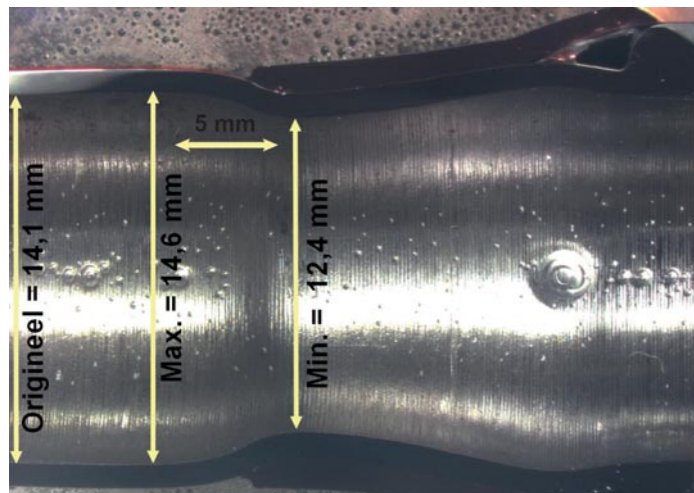


Figuur 7 Procentuele reductie van de binnendiameter van het stalen binnenstuk als functie van de wanddikte



Figuur 8 Lekdichtheid voor de buis-staafverbindingen en buis-buisverbindingen met drie verschillende wanddiktes van het inwendige stalen stuk, als functie van de tussenafstand en het energieniveau

wendige buis gelijk aan 1 mm. Bij gebruik van inwendige ondersteuning ontstaat een vergroting van de diameter van de stalen buis ten opzichte van de originele diameter, op 5 mm naast de impactzone (zie figuur 9). Dit is te wijten aan de samendrukking van de polyurethaan ondersteuning die zich vlak onder de impactzone bevindt. Dit zorgt voor uitzetting van het polyurethaangedeelte vlak naast de impactzone, waardoor de diameter van de buis op die plaats groter wordt.



Figuur 9 Verandering van de binnendiameter van de inwendige stalen buis na elektromagnetisch pulslas

Figuur 10 illustreert de reductie van de binnendiameter van de inwendige stalen buis als functie van de tussenafstand voor buis-buisverbindingen, geproduceerd met en zonder inwendige ondersteuning. Het gebruik van inwendige ondersteuning leidt tot een kleinere reductie van de binnendiameter (verbetering met factor 3,4). De reductie van de binnendiameter van buis-buisverbindingen met inwendige ondersteuning varieert van 1,2 tot 2,2 mm. Deze reductie is vergelijkbaar met de waarden voor buis-buisverbindingen met een wanddikte van de inwendige buis

van 2 en 3 mm, zónder inwendige ondersteuning. Lekdichte buis-buisverbindingen met en zonder inwendige ondersteuning, gecombineerd met de kleinste reductie van de binnendiameter, worden behaald bij een tussenafstand van 2 mm en een energieniveau van 18 kJ.

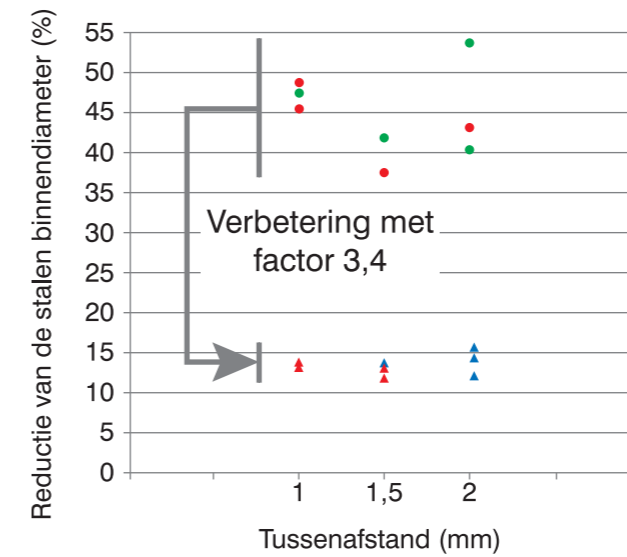
Figuur 11 geeft de relatieve laskwaliteitsindicator weer, als functie van de tussenafstand voor buis-buisverbindingen met en zonder inwendige ondersteuning. Ook in dit geval leidt het gebruik van een inwendige ondersteuning tot een verhoging van de relatieve laskwaliteitsindicator met een factor 3,4. De gemeten laslengtes van buis-buisverbindingen met een

inwendige ondersteuning variëren van 1,5 tot 5,7 mm. Lekdichte buis-buisverbindingen met de grootste relatieve laskwaliteitsindicator worden verkregen met een tussenafstand van 2 mm, in combinatie met een energieniveau van 19 kJ voor buis-buisverbindingen met inwendige ondersteuning, en met een energieniveau van 18 kJ voor buis-buisverbindingen zonder inwendige ondersteuning. Het gebruik van een inwendige ondersteuning leidt tot een volledige lekdichtheid voor enkele buis-buisverbindingen.

Conclusie

Voor buis-staafverbindingen en buis-buisverbindingen zonder inwendige ondersteuning worden de grootste laslengtes behaald bij een tussenafstand van 2 mm en bij een grotere wanddikte van de inwendige buis. De kleinste reductie van de binnendiameter van het inwendige stalen stuk wordt meestal verkregen met het laagste energieniveau, de kleinste tussenafstand en een grotere wanddikte. De tussenafstand speelt een belangrijke rol bij het bepalen van de laskwaliteit: bij de grootste tussenafstand is de koperen buis waarschijnlijk nog steeds in versnelling en heeft dus zijn maximale impactsnelheid nog niet behaald. Dit verklaart de grootste behaalde laslengtes, maar ook de grootste reductie van de binnendiameter van de inwendige stalen buis.

Het gebruik van een polyurethaan inwendige ondersteuning voor buis-buisverbindingen met een wanddikte van 1 mm van de stalen buis leidt tot minder reductie van de stalen binnendiameter en verhoging van de laslengte met een factor 3,4 (in vergelijking met buis-buisverbindingen met een wanddikte van 1 mm van de inwendige buis, zonder inwendige ondersteuning). Verder resulteert de inwendige ondersteuning ook voor bepaalde buis-buisverbindingen in het behalen van een volledige lekdichtheid.

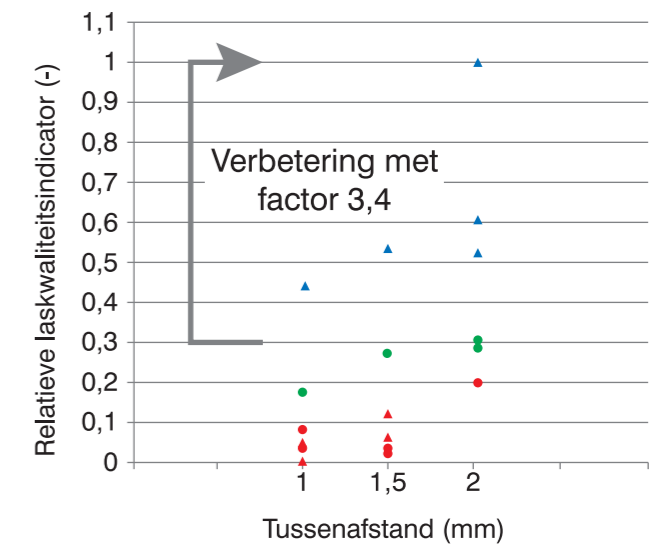


- lekdichte buis-buisverbindingen met wanddikte 1 mm zonder inwendige ondersteuning
- geen lekdichte buis-buisverbindingen met wanddikte 1 mm zonder inwendige ondersteuning
- ▲ lekdichte buis-buisverbindingen met wanddikte 1 mm met inwendige ondersteuning
- ▲ geen lekdichte buis-buisverbindingen met wanddikte 1 mm met inwendige ondersteuning

De kleinste reductie van de binnendiameter van de inwendige stalen buis treedt op bij een tussenafstand van 2 mm, een energieniveau van 18 kJ en een overlappende lengte van 8 mm, voor buis-buisverbindingen met en zonder inwendige ondersteuning.

De grootste laslengte wordt behaald bij een tussenafstand van 2 mm, een overlappende lengte van 8 mm, gecombineerd met een energieniveau van 18 kJ voor buis-buisverbindingen zonder inwendige ondersteuning en een energieniveau van 19 kJ voor buis-buisverbindingen met inwendige ondersteuning.

Een uitgebreid verslag van dit onderzoek is te vinden als download op www.vakbladlastechniek.nl.



Figuur 10 links Reductie van de binnendiameter van de stalen inwendige buis voor buis-buisverbindingen met en zonder inwendige ondersteuning, als functie van de tussenafstand

Figuur 11 rechts Relatieve laskwaliteitsindicator van de buis-buisverbindingen met en zonder inwendige ondersteuning, als functie van de tussenafstand

De resultaten beschreven in dit artikel maken deel uit van het Europees onderzoeksproject Join'Em. Dit project heeft financiering ontvangen van Horizon 2020, het kaderprogramma van de Europese Unie voor onderzoek en innovatie, onder subsidieovereenkomst nr. H2020-FoF-2014-677660 - JOIN'EM. Voor meer informatie kunt u contact opnemen met Koen Faes via koen.faes@bil-ibs.be

Referenties

1. Refco N.V.: www.refco.be
2. Join'Em project: www.join-em.eu

advertentie

SPECIALIST IN HEAT TREATMENT

Delta Heat Services

+31(0)187 - 496940 | WWW.DELTA-HEAT-SERVICES.COM