

ELEKTROMAGNETISCH PULSLASSEN VAN KOPER-STALBUISVERBINDINGEN

TOEPASSINGEN IN DE ELEKTRONICA EN HVAC-SECTOR

De stijgende eisen op het vlak van gewicht en functionaliteit in de industrie leiden tot de noodzaak van het verbinden van ongelijksoortige materialen. Tekortkomingen van de traditionele lastechnieken hebben geleid tot de ontwikkeling van innovatieve verbindingstechnieken, zoals de elektromagnetische pulstechnologie. Hierbij wordt gebruikgemaakt van elektromagnetische velden om op een efficiënte manier ongelijksoortige materiaalcombinaties te verbinden.

ir. Irene Kwee en dr. ir. Koen Faes, EWE – Belgisch Instituut voor Lastechniek

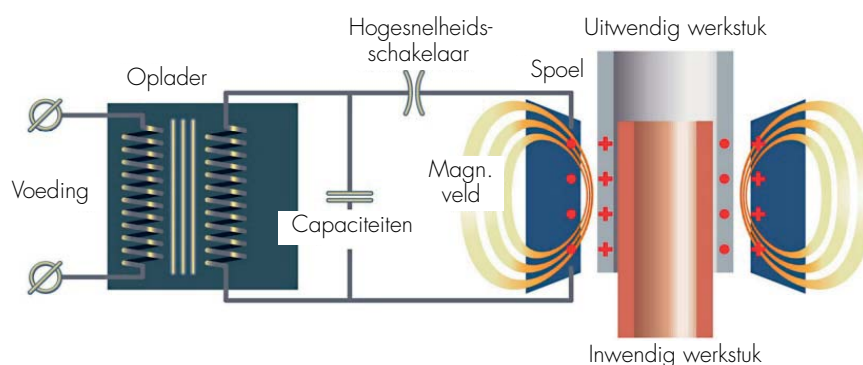
Momenteel loopt aan het Belgisch Instituut voor Lastechniek het Europese H2020-onderzoeksproject *Join'Em*^[1], waar het verbinden van aluminium-koper en koper-staal in buis- en plaatvorm via de elektromagnetische pulstechnologie centraal staat. Deze ongelijksoortige verbindingen vinden toepassing in verwarmings- en koelelementen, en elektrische apparatuur in de transport, witgoed, elektronica en HVAC-sectoren. Dit artikel geeft een uiteenzetting over de lasbaarheid van koper aan staal met behulp van het elektromagnetisch pulslaspen, in buis-staaf- en buis-buisverbindingen.

KOPER-STALBUISVERBINDINGEN

Koper-staalbuisverbindingen worden onder meer teruggevonden als onderdeel van een koelcircuit in persluchtdrogers, die gebruikt worden in alle koeltoepassingen in de machinebouwindustrie. Doorheen de koper-staalbuisverbinding stroomt een koudemiddel in gas- of vloeistofvorm, terwijl de buitenkant blootgesteld is aan een omgevingstemperatuur die kan oplopen tot 45 °C.

Momenteel wordt in het Belgische bedrijf Refco^[2], gespecialiseerd in het mechanisch vervormen en braseren (hardsolderen) van koperen buizen, de koperen buis manueel gebraseerd aan een koolstofstalen huls met behulp van een acetyleenbrander. Voor de buisverbindingen die deel uitmaken van een koelcircuit, wordt de huls vervolgens met een moer bevestigd aan de koelcompressor of aan andere componenten (zie afbeelding p. 12). Het hoofdcriterium waaraan de koper-staalbuisverbinding moet voldoen, is het verzekeren van de lektheid gedurende de levensduur van de persluchtdroger, die tot twintig jaar bedraagt. Verder is het corroderen van de buisverbinding niet toegelaten. Het gebruik van het elektromagnetisch pulslaspen als alternatief voor het braseren leidt tot een kostenbesparing. Dit is te wijten aan de eliminatie van toevoegmaterialen die nodig zijn voor het braseren, alsook het verkorten van de productiecycli. Er wordt ook een verbetering van de las kwaliteit verwacht.

Magnetisch pulslasstelsel



ELEKTROMAGNETISCH PULSLASSEN

De elektromagnetische pulstechnologie is een innovatieve geautomatiseerde productietechniek die gebruikmaakt van elektromagnetische krachten om werkstukken te vervormen en te lassen. Een spoel wordt over het te lassen werkstuk geplaatst, zonder er contact mee te maken. Tijdens de lascyclus wordt een grote hoeveelheid elektrische energie vrijgegeven in een korte tijd. Sommige systemen kunnen 2 miljoen ampère 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, en die werken elkaar tegen. Dit 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 vervaardigd moet zijn uit elektrisch geleidend materiaal, is dit proces geschikt voor het verbinden van gelijksoortige én ongelijksoortige materialen.

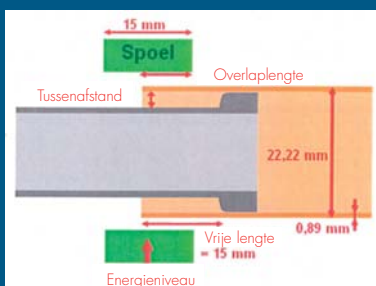
Enkele voordelen op een rij:
 • In vergelijking met conventionele lasprocessen is het magnetisch pulslasproces een

koud proces. Enkel door de wervelstromen en de plastische vervorming warmt het werkstuk op, maar dit blijft beperkt tot 50 °C. Hierdoor wordt er geen warmtebeïnvloede zone, noch een thermisch geïnduceerde degradatie gecreëerd, zodat het materiaal zijn eigenschappen niet verliest;

- **Hoge reproduceerbaarheid** wegens de nauwkeurige aanpassing van de aangelegde krachten;
- **Hoge productiesnelheid**;
- **Ecologisch lasproces**, want er wordt geen warmte, gas of lasrook geproduceerd.

LASBAARHEID VAN KOPER-STALBUISVERBINDINGEN

In het kader van het Europese onderzoeksproject *Join'Em* wordt het elektromagnetisch pulslaspen 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 beschrijft in het bijzonder de lasbaarheid van koperen (Cu-DHP R220) buizen aan koudvervormde 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 deze figuur. De overlap is de lengte tussen de spoel en de koperen buis. De vrije lengte is de lengte van de koperen buis die impacteert op de stalen buis/staaf. Samen met de tussenafstand tussen de koperen buis en de stalen buis/staaf bepaalt dit de hoek en de snelheid waarmee de koperen buis op de stalen buis/staaf impacteert. De impacthoek en -snelheid bepalen op hun beurt de kwaliteit van de lasverbinding

TABEL: BEREIK VAN LASLENGTES EN REDUCTIE VAN BINNENDIAMETER

	Buis-staafverbinding	Buis-buisverbinding	Buis-buisverbinding	Buis-buisverbinding
Laslengte (mm)	2,3-6,7	1,1-5,6	1,4-4,9	1,1-2,9
Reductie van de binnendiameter van de inwendige buis (mm)	-	0,9-1,3	2,4-3,0	5,7-7,7

Verschiede testreeksen werden uitgevoerd, waarin telkens de geometrische configuratie en de lasparameters gevarieerd werden. De buis-buisverbindingen werden bekomen met inwendig stalen buizen met 3 verschillende wanddiktes (1, 2 en 3 mm) zonder gebruik van een inwendige ondersteuning. Vervolgens werden de buis-buisverbindingen met een stalen wanddikte van 1 mm herhaald met gebruik van een inwendige ondersteuning. Deze bestaat uit een polyurethaan holle staaf (Shore-hardheid van A 90 Φ 5) [3], die met behulp van een bout en moer wordt opgespannen tot de buitendiameter gelijk is aan de binnendiameter van de inwendig stalen buis. De laskarakterisatie bestond uit het bepalen van de lekdichtheid door middel van een lektest met lucht en een metallografische analyse, waarbij het accent lag op de morfologie aan de lasinterface, de laslengte en de vervorming van de inwendig stalen buis. Aangezien de laslengte bepaald werd aan weerszijden van de dwarsdoorsnede, werden beide laslengtes gecombineerd in 1 arbitraire parameter, namelijk de laskwaliteitsindicator (WQI). Een eerste vergelijking werd gemaakt tussen de buis-staaf- en de buis-buisverbindingen zonder

inwendige ondersteuning. Hierbij werd het effect van de wanddikte van de inwendige stalen buis en de lasparameters op de lekdichtheid, de laslengte en de vermindering van de binnendiameter van de inwendige buis bepaald. 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 laskarakteristieken bekeken.

Staal-buis- en buis-buisverbindingen zonder inwendige ondersteuning

We beschouwen een koper-staalbuis-staafverbinding, gelast via elektromagnetisch pulsslussen. Op de metallografische dwarsdoorsnede van een buis-staafverbinding zie je de details van deze doorsnede zonder en met defecten (zie kaderstuk onderaan). Afhankelijk



Een koper-staalbuis-staafverbinding, gelast via elektromagnetisch pulsslussen

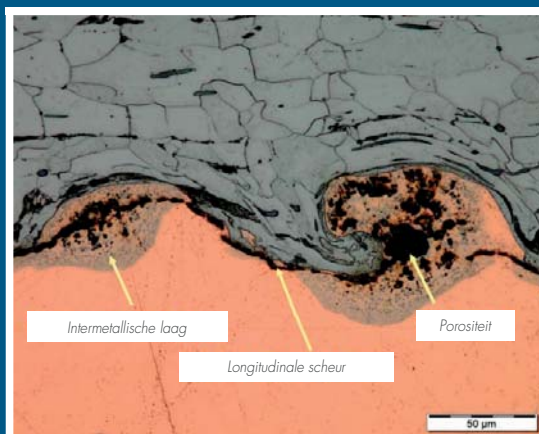
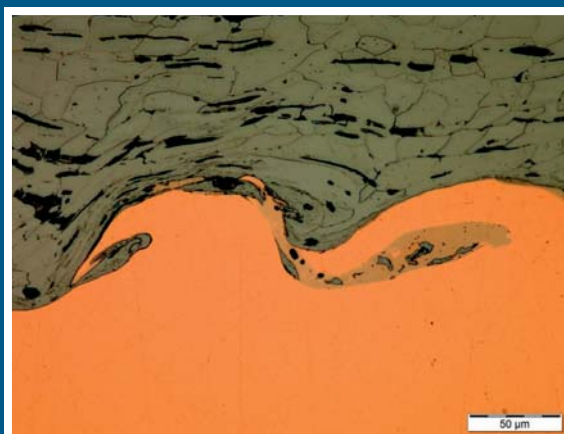
van de gebruikte lasparameters worden intermetallische lagen, scheuren en porositeiten geobserveerd aan de lasinterface. De overgang van een las met een continue lasinterface naar een discontinue lastinterface met niet-gelaste zones vindt plaats wanneer de wanddikte van de inwendige stalen buis vermindert. In de tabel staan 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 bekomen voor buis-buisverbindingen met een wanddikte van de inwendige buis gelijk aan 3 mm.

Tussenafstand

In het algemeen wordt vastgesteld dat voornamelijk de tussenafstand een rol speelt voor de grootte van de laslengte. Een grotere tussenafstand van 2 mm resulteert meestal in de grootste laslengte, wat aantoonde dat er voldoende afstand is waarover de koperen buis kan versnellen. In tegenstelling wordt de reductie van de binnendiameter van de inwendige stalen buis 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 toont aan dat de koperen buis nog niet is vertraagd bij de gegeven tussenafstand en dus nog een verhoogde impactsnelheid heeft.

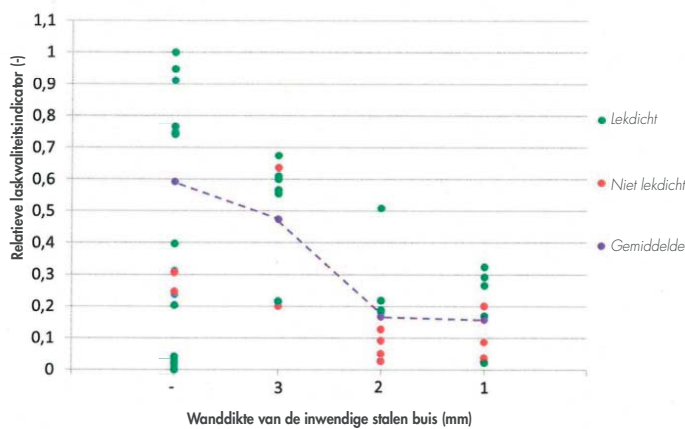
GRAFIEKEN

Grafiek 1 op de volgende pagina illustreert het verloop van de relatieve laskwaliteitsindicator als functie van de wanddikte van het stalen binnenstuk, bekomen voor de verschillende energieniveaus en tussenafstanden. De grootste relatieve laskwaliteitsindicator wordt bekomen voor buis-staafverbindingen, waarna de waarden dalen naarmate de wanddikte van de inwendige stalen buis vermindert. Dit stemt overeen met de metallografische dwarsdoorsnede van de verbindingen, waar een overgang van een continue lasinterface

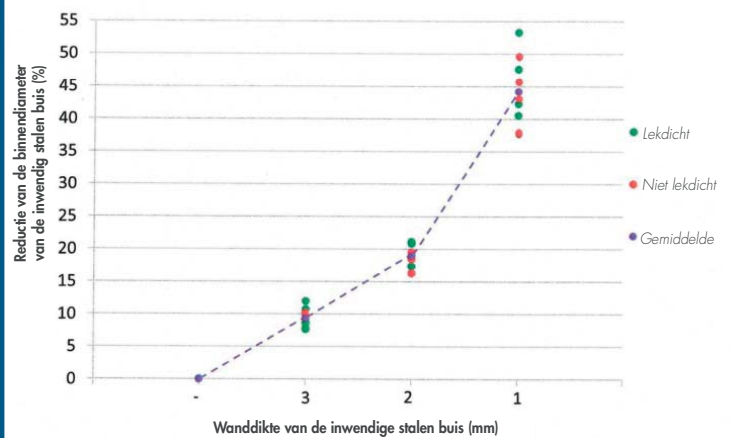


Metallografische dwarsdoorsnede van een buis-staafverbinding waarop je links geen defecten ziet en rechts wel

Grafiek 1



Grafiek 2



met een volledige gelaste zone naar een las-interface zonder gelaste zone plaatsvindt bij een vermindering van de wanddikte van de inwendige stalen buis.

Grafiek 2 toont aan dat naarmate de wanddikte van de inwendige buis vermindert, 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.

De lektheid van de buis-staaf- en de buis-buisverbindingen als functie van de tussenafstand en het energieniveau wordt geïllustreerd in **grafiek 3**. Een complete lektheid wordt bekomen 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 wordt bekomen bij kleinere tussenafstanden en voor stalen binnenstukken met een kleinere wanddikte.

Buis-buisverbindingen met en zonder inwendige ondersteuning

Bij een buis-buisverbinding met een wanddikte van de inwendige buis gelijk aan 1 mm, met inwendige ondersteuning, werd een vergroting van de buitendiameter ten opzichte van de originele buitendiameter van de inwendige stalen buis vastgesteld op 5 mm naast de impactzone van de koperen op de stalen buis. Dit is te wijten aan de samendrukking van de polyurethaanondersteuning die zich vlak onder de impactzone bevindt. Dit heeft als gevolg dat het polyurethaangedeelte vlak naast de impactzone expandeert, waardoor de buitendiameter van de inwendige buis stijgt. De minimale, maximale en originele binnendiameter van de inwendige buis van een buis-buisverbinding met inwendige ondersteuning wordt getoond op de afbeelding op de volgende pagina.

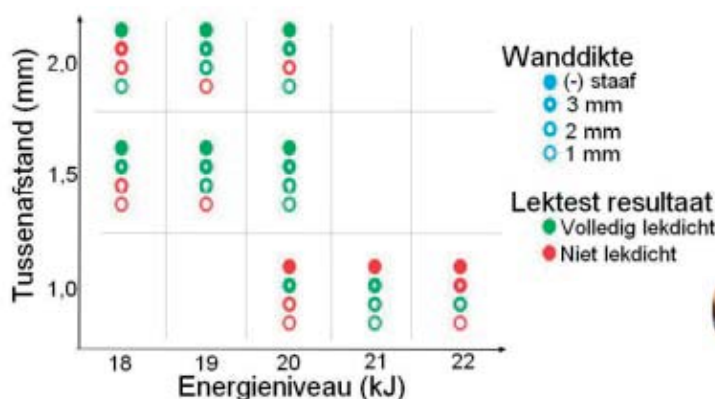
Het gebruik van een inwendige ondersteuning leidt tot een vermindering van de reductie van de binnendiameter met een factor 3,4. Het bereik van de reductie van de binnendiameter van buis-buisverbindingen met een inwendige ondersteuning varieert van 1,2 tot 2,2 mm, wat vergelijkbaar is met de waarden, bekomen voor buis-buisverbindingen met een wanddikte van de inwendige buis van 2 en 3 mm, zonder 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.

GRAFIEKEN

Grafiek 4 illustreert de reductie van de binnendiameter van de inwendige stalen buis als functie van de tussenafstand voor buis-buisverbindingen met een wanddikte van de inwendige buis gelijk aan 1 mm, geproduceerd met en zonder inwendige ondersteuning.

Grafiek 5 geeft de relatieve laskwaliteitsindicator weer in 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. Het bereik van de opgemeten laslengtes van buis-buisverbindingen met een inwendige ondersteuning varieert van 1,5 tot 5,7 mm. Lekdichte buis-buisverbindingen met de grootste relatieve laskwaliteitsindicator worden

Grafiek 3

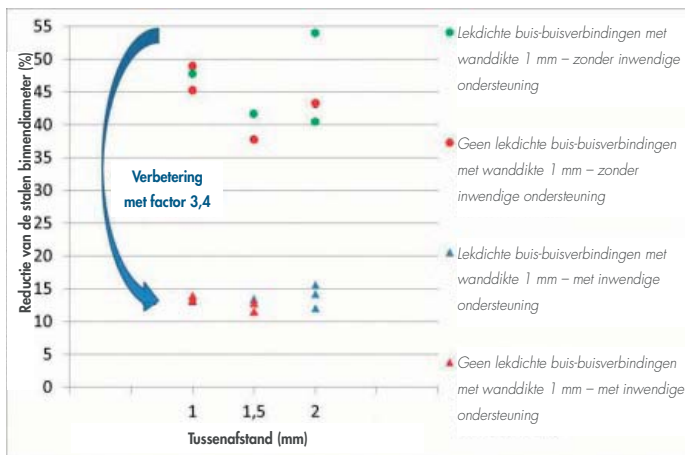


DE STIJGENDE EISEN OP VLAK VAN GEWICHT EN FUNCTIONALITEIT IN DE INDUSTRIE LEIDEN TOT DE NOODZAAK VAN HET VERBINDEN VAN ONGELIJKSOORTIGE MATERIELEN

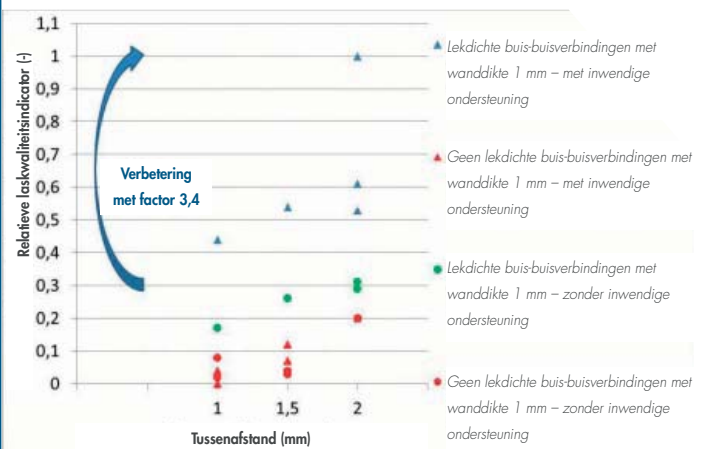
Onderdelen voor het verbinden van een koperen buis aan een koolstofstalen huls



Grafiek 4



Grafiek 5



bekomen voor 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.

SAMENVATTING

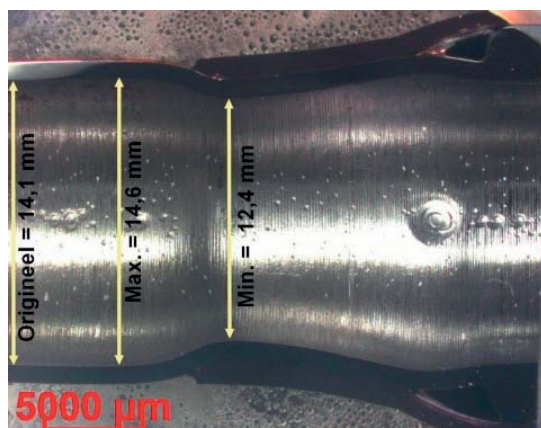
- Voor buis-staafverbindingen en buis-buisverbindingen zonder inwendige ondersteuning worden de grootste laslengtes behaald bij de grootste tussenafstand en bij een grotere wanddikte van de inwendige buis. De kleinste reductie van de binnendiameter van het inwendige stalen stuk wordt doorgaans bekomen voor het laagste energieniveau, de kleinste tussenafstand en een grotere wanddikte. De tussenafstand speelt een belangrijke rol bij het bepalen van de laslengte: bij de grootste tussenafstand is de koperen buis waarschijnlijk nog steeds in versnelling en heeft dus haar maximale impactnelheid nog niet behaald. Dit verklaart alsmede de grootste behaalde laslengtes, alsook 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 inwendige stalen buis leidt tot een vermindering van de reductie van de stalen binnendiameter en een verhoging van de laslengtes 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.
- 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 van 8 mm, voor buis-buisverbindingen met en zonder inwendige ondersteuning.
- De grootste laslengtes worden behaald bij een tussenafstand van 2 mm, een overlappende 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. □

De resultaten beschreven in dit artikel maken deel uit van het Europese 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 info omtrent de mogelijkheden van de elektromagnetische pulstechnologie, contacteer Koen Faes.
E-mail: Koen.Faes@bil-ibs.be



De minimale, maximale en originele binnendiameter van de inwendige buis van een buis-buisverbinding met inwendige ondersteuning wordt getoond op deze afbeelding

Referenties

- Join'Em project.
Online beschikbaar: www.join-em.eu
- Refco N.V.
Online beschikbaar: www.refco.be
- P+S. Elastomeer diepothan.
Online beschikbaar: http://www.pus-polyurethan.de/it_files/files/PDF-Products/P+S_Elastomer_springs.pdf

