



ELEKTROMAGNETISCHE PULSTECHNOLOGIE VOOR HYBRIDE METAAL-COMPOSITIETCOMPONENTEN

ONDERZOEKSPROJECT METALMORPHOSIS

De nood aan nieuwe hybride metaal-compositietcomponenten voor de automobielenindustrie brengt grote uitdagingen met zich mee betreffende verbindingen tussen verschillende materiaaltypen. Dit is de drijfveer achter het MetalMorphosis onderzoeksproject, momenteel lopende aan het BIL in samenwerking met acht Europese partners. Dit artikel geeft eerst een korte uiteenzetting over de opzet van het onderzoeksproject MetalMorphosis. Vervolgens gaat het dieper in op de ontwikkelde verbindingconcepten en het onderzoek, uitgevoerd rond de hybride metaal-compositiebuis- en plaatverbindingen via de elektromagnetische pulstechnologie. Ten slotte wordt de ontwikkeling van twee demonstratiestukken, namelijk een rempedaal en een schokdemper toegelicht, om de verworven kennis te valideren op industrieel niveau.



Figuur 2: BMW i8 Elektrische auto vervaardigd uit koolstofvezelversterkt composiet en aluminium [2]

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

LICHTGEWICHT MATERIALEN EN VERBINDINGEN TUSSEN METAAL EN COMPOSIT

Drijfveren achter de trend

De trend naar het gebruik van lichtgewicht materialen in de automobielenindustrie wordt gedreven door zowel de nood aan een verminderd brandstofverbruik als een toename in voertuigmassa, wegens de eisen aangaande veiligheid, passagierscomfort en elektronische systemen. In dit opzicht bieden lichtgewicht materialen een geschikte oplossing wegens hun aanzienlijk lagere dichtheid in vergelijking met de courant aangewende stalen. In het bijzonder zijn composieten in opmars in onderzoeksprojecten inzake structurele toepassingen in de voertuigtechnologie. Het grote voordeel van deze materialen is de goede verhouding tussen hun stijfheid en sterkte enerzijds en hun dichtheid anderzijds. Hierdoor bieden ze de mogelijkheid om aanzienlijke gewichtsbesparingen te behalen, met als gevolg een lager brandstofverbruik. Daarentegen bezitten ze een belangrijke beperking, nl. hun brosheid. Verbindingen tussen composieten en metalen zijn dus

noodzakelijk om de gewenste structurele eigenschappen te bekomen.

Onderzoek en productiemodellen

Europees industrieel onderzoek betreffende de structurele prestaties van hybride lichtgewicht voertuigen werd uitgevoerd in het SuperLightCar project. Hierin werden ontwerpconcepten ontwikkeld die toelaten om zowel 30% gewichtsbesparing te realiseren als te voldoen aan de kostbeperkingen. **Figuur 1**

HET GROTE VOORDEEL VAN DEZE COMPOSITIETEN IS DE GOEDE VERHOUDING TUSSEN HUN STIJFHEID EN STERKTE ENERZIJD EN HUN DICHTHEID ANDERZIJD

toont een voorbeeld van het vervaardigen van een dergelijke auto in verschillende lichtgewicht materialen.

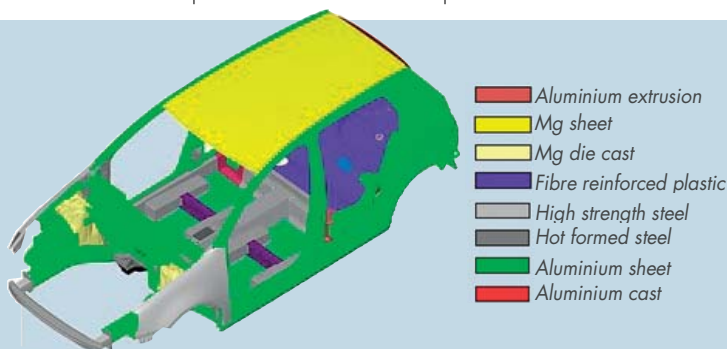
Verder zijn er de afgelopen jaren enkele productiemodellen in de markt geïntroduceerd die gebruikmaken van de concepten ontwikkeld in onderzoeksprojecten zoals het SuperLightCar project. Een voorbeeld hiervan is de BMW i8: een nieuwe generatie van elek-

trische auto's waarvan de structurele componenten grotendeels vervaardigd zijn uit koolstofvezelversterkt composiet en aluminium (**Figuur 2**).

COMPOSITIETEN EN HUN VERBINDINGSTECHNIKEN

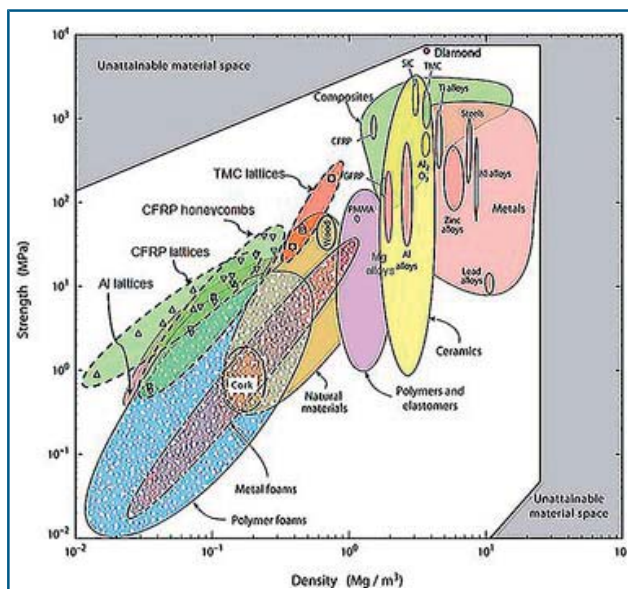
Hybride componenten

De belangrijkste mechanische eigenschap van composieten is hun hoge verhouding tussen sterkte en dichtheid. Composieten bieden dus de mogelijkheid om enorme gewichtsbesparingen te bekomen. Tegelijkertijd bezitten ze ook goede mechanische eigenschappen. De structuur van composieten bestaat enerzijds uit een verstevigingsmateriaal dat bijdraagt aan de mechanische eigenschappen van het composiet en zorgt voor de overdracht van trekkrachten. Anderzijds bestaat ze uit een matrix die de versteviging samenhoudt, alsook zorgt voor de overdracht van drukkrachten en schuifspanningen. Beide componenten combineren hun eigenschappen op een synergetische wijze. Het is daarom noodzakelijk om een goede combinatie van de samenstellende materialen te selecteren, met vezels als verstevigingsmateriaal en polymeerharsen als matrix. Aangezien automobielencomponenten doorgaans onderhevig zijn aan impacten doorheen hun hele levenscyclus in een voertuig, is een grote impactbestendigheid van de composieten vereist. Alhoewel vandaag composieten in de automobielenindustrie reeds gebruikt worden, vormen zij slechts 7,5% van de totale voertuigmassa. Bovendien zijn de reeds bestaande toepassingen eerder esthetisch van aard. Koolstofvezelversterkte kunststoffen (CFRP's) bezitten het meeste potentieel in lichtgewicht automobielen toepassingen, aangezien zij kunnen resulteren in meer dan 60% gewichtsbesparing in vergelijking met staal. De huidige beperkingen van koolstofvezels zijn echter hun hoge kost en lange



Figuur 1: resultaten van het SuperLightCar project: procentuele gewichtsbesparing en bijkomende kosten voor het vervaardigen van een auto in lichtgewicht materialen [1]

Weight reduction: ~ 30%
Additional part costs: < € 5,0/kg
Highlights:
• Mg Strut Tower (die cast)
• Mg Roof
• Hot formed steel door aperture
• FR plastic roof cross beam
• FR plastic rear floor
• Al Casting rear longitudinal
• Polymer reinforced seat cross-member



Figuur 3: Sterkte versus dichtheid voor verschillende materiaalklassen

processtijden. Niettegenstaande dat geavanceerde composieten geleidelijk meer en meer geïntegreerd zullen worden in voertuigstructuren, wordt niet verwacht dat metalen volledig vervangen zullen worden door composieten. In plaats daarvan zullen er hybride metaal-composietstructuren ontwikkeld worden, waardoor er ook rendabele processen nodig zijn voor hun assemblage.

Figuur 2 illustreert de sterkte versus de dichtheid van verschillende soorten materiaalklassen.

Verbindingstechnieken voor hybride metaal-composietcomponenten

De belangrijkste technieken om metalen met composieten te verbinden zijn de verlijmings-technologie en mechanische verbindingen. Deze zijn echter ontwikkeld voor specifieke toepassingen en leiden tot hoge operationele kosten. Verder bezitten de resulterende verbindingen slechts beperkte mechanische eigenschappen. Overige verbindingstechnieken voor hybride metaal-composietcomponenten zijn lasprocessen zoals het ultrasoon lassen, wrijvingslassen en laserlassen. Deze zijn momenteel in een ontwikkelingsstadium en bijkomende studies zijn dus vereist om de

haalbaarheid van de processen en de duurzaamheid van de verbindingen na te gaan.

PROJECT METALMORPHOSIS

Doelstelling en structuur

De globale doelstelling van het Europese onderzoeksproject MetalMorphosis is het ontwikkelen van een reeks nieuwe hybride metaal-composietcomponenten voor de automobiellindustrie, via de innovatieve elektromagnetische pulstechnologie. Deze technologie kan gebruikt worden voor het verbinden van ongelijksoortige metalen. In dit project zal het toepassingsgebied uitgebreid worden naar het verbinden van composieten met metalen. In het bijzonder beoogt MetalMorphosis de volgende doelstellingen:

- Ontwikkeling van nieuwe verbindingstechnieken gebaseerd op de elektromagnetische pulstechnologie, voor hoogperformante verbindingen van composieten met metalen voor plaat- en buisvormige toepassingen,
- Fundamentele kennis vergaren omtrent de eigenschappen van de verbindingen (sterkte, ductiliteit, microstructuur etc.) en hun toepassingen in de automobiellindustrie,

- Kostenbesparing voor hybride metaal-composietcomponenten via de elektromagnetische pulstechnologie: verbindingen worden sneller en efficiënter gerealiseerd, met als gevolg een minder kostelijk productieproces en een betere garantie van de laskwaliteit,
- Verhoogde compatibiliteit met het milieu wegens de milieuvriendelijke pulstechnologie.

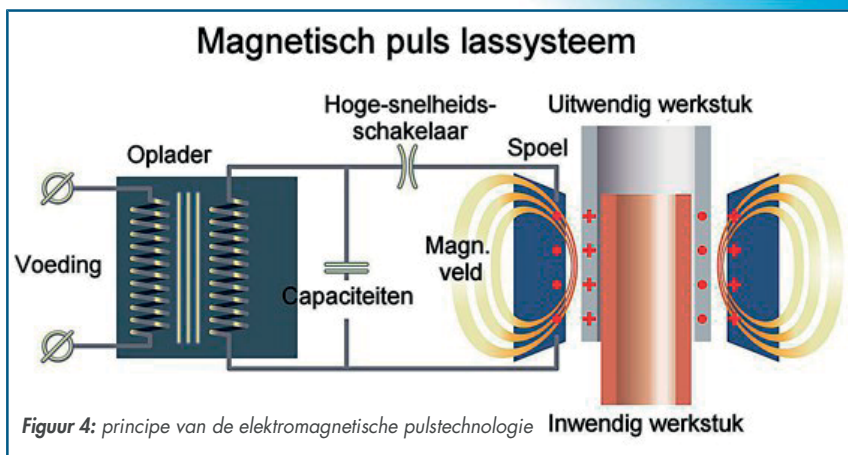
Het MetalMorphosis project bestaat uit zes technische werkpakketten die zich richten op onderzoek, gerelateerd aan de specificatie-, verbin-

dings- en karakterisatieactiviteiten. Daarnaast handelt een apart werkpakket over de productie van drie specifieke demonstratiestukken relevant voor de automobiellindustrie om zodus de ontwikkelde verbindingsmethodes en ontwerpstrategieën te valideren op industrieel niveau. In het bijzonder wordt in dit artikel dieper ingegaan op de ontwikkelde verbindingconcepten en het onderzoek, uitgevoerd rond de hybride metaal-composietbuis- en -plaatverbindingen via de elektromagnetische pulstechnologie. Verder wordt de ontwikkeling van twee demonstratiestukken, namelijk een rempedaal en een schokdemper, toegelicht om de opgedane kennis te valideren op industrieel niveau.

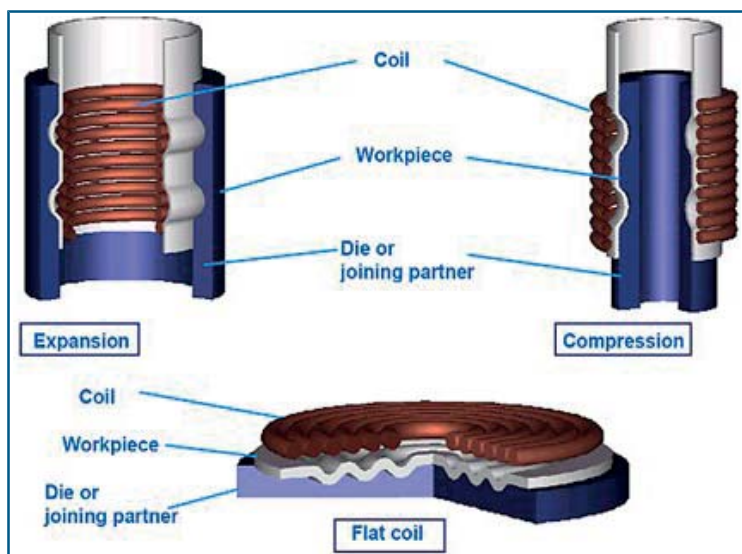
Het gespecialiseerde en multidisciplinaire consortium bestaat uit negen Europese partners, namelijk: Belgisch Instituut voor Lastechniek (België), Tenneco (België), Poynting (Duitsland), Centimfe (Portugal), Toolpresse (Portugal), Cidaut (Spanje), Ideko (Spanje), STAM (Italië) en Regeneracija (Slovenië). Het project wordt uitgevoerd met steun van het Europese 7e kaderprogramma voor onderzoek en technologische ontwikkeling (FP7).

Principe elektromagnetische pulstechnologie

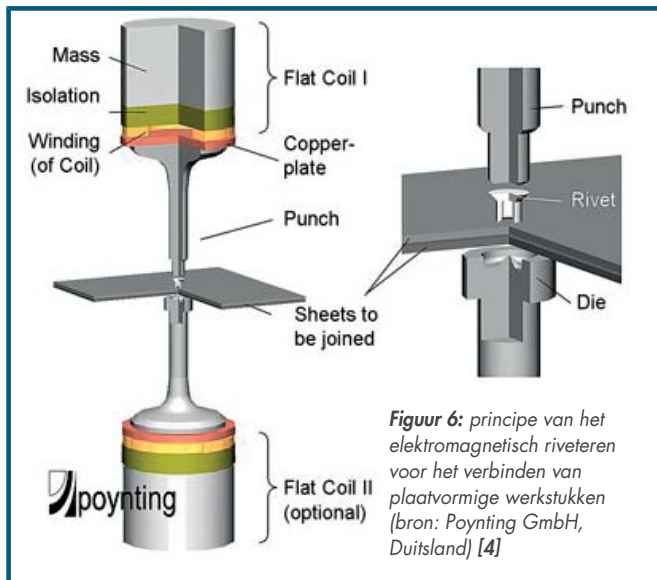
De elektromagnetische pulstechnologie is een zeer innovatieve, geautomatiseerde productietechniek die gebruik maakt van elektromagnetische krachten om werkstukken te vervormen en te lassen. Aangezien deze geavanceerde lastechniek geen gebruik maakt van warmte om een verbinding tot stand te brengen, biedt ze belangrijke voordelen ten opzichte van de conventionele lastechnieken. Ook biedt ze aantrekkelijke mogelijkheden voor het verbinden van ongelijksoortige materialen. Het basisprincipe van het proces wordt getoond in Figuur 4. 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 maar liefst 2 miljoen ampère ontladen in slechts 20 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.



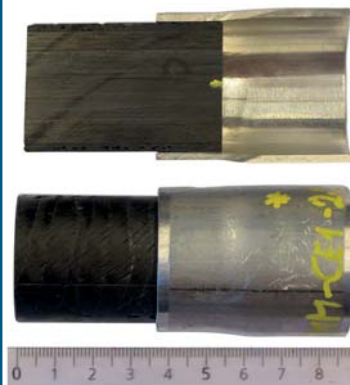
Figuur 4: principe van de elektromagnetische pulstechnologie



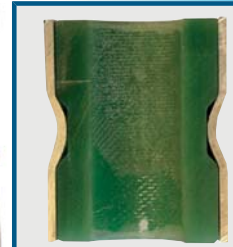
Figuur 5: mogelijke varianten van het elektromagnetisch pulsvormen voor het verbinden van plaat- en buisvormige werkstukken (bron: Institut für Umformtechnik und Leichtbau, Technische Universität Dortmund) [3]



Figuur 6: principe van het elektromagnetisch riveteren voor het verbinden van plaatvormige werkstukken (bron: Poynting GmbH, Duitsland) [4]



Figuur 7: dwarsdoorsnede van een krimpvverbinding, gebaseerd op wrijving (1ste verbindingconcept), tussen een aluminium buis en een continue koolstofvezelversterkte epoxystaaf (bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek)



Figuur 8a: dwarsdoorsnede van een krimpvverbinding, gebaseerd op een vormverbinding (2e verbindingconcept), tussen een aluminium buis en een lange glasvezelversterkte epoxybuis (EP GC22) (bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek)

Figuur 8b: dwarsdoorsnede van een krimpvverbinding, gebaseerd op een vormverbinding (2e verbindingconcept), tussen een aluminium buis en een korte glasvezelversterkte polyamide staaf (PA6.6 GF30) (bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek)



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 een blijvende vervorming, zonder terugveren van het werkstuk.

Figuur 5 toont de verschillende varianten van het proces: afhankelijk van de opstelling van de spoel en het werkstuk kunnen buisvormige werkstukken geëxpandeerd of ingedrukt worden of plaatvormige werkstukken aan elkaar verbonden worden.

Aangezien enkel het vervormde werkstuk vervaardigd moet zijn uit een elektrisch geleidend materiaal, is dit proces geschikt voor het verbinden van gelijksoortige of ongelijksoortige materialen, zoals twee verschillende metalen.

Zelfs verbindingen tussen metallische en niet-metallische materialen kunnen tot stand gebracht worden.

Specifieke voordelen verbonden aan de elektromagnetische pulstechnologie maken het mogelijk om snelle en kostenefficiënte verbindingen tussen niet-lasbare materialen te bekomen:

- In vergelijking met conventionele lasprocessen is het magnetische pulsp proces een 'koud' proces. Enkel door de wervelstromen en de plastische vervorming warmt het werkstuk op, maar deze temperatuur blijft beperkt tot 50 °C. Hierdoor wordt er geen warmtebeïnvloede zone, noch een thermisch geïnduceerde degradatie gecreëerd, zodat het materiaal zijn eigenschappen niet verliest. Dit betekent ook dat de werkstukken onmiddellijk na het lassen ontklemd en verder bewerkt kunnen worden,
- Hoge reproduceerbaarheid wegens de nauwkeurige regeling van de aangelegde krachten. Dit vormt dan ook de basis voor een constante laskwaliteit,
- Hoge productiesnelheid,
- Ecologisch lasproces, aangezien er geen warmte, gas, of lasrook geproduceerd wordt.

In het MetalMorphosis project wordt gebruik gemaakt van drie varianten van de elektromagnetische pulstechnologie, namelijk het elektromagnetisch pulskrimpen voor buisvormige werkstukken en het elektromagnetisch pulslassen en elektromagnetisch riveteren voor plaatvormige werkstukken.

Elektromagnetisch pulskrimpen

Verbindingen, gerealiseerd door middel van het elektromagnetisch pulskrimpen, kunnen onderverdeeld worden in twee categorieën volgens het overheersende verbindingmechanisme, namelijk verbindingen via wrijving of vorm.

Verbindingen op basis van wrijving worden vervaardigd door de plastische vervorming van het ene werkstuk en de elastische vervorming van het andere werkstuk. Hierdoor worden er wrijvingsspanningen tussen beide werkstukken gegenereerd. Daarentegen komen er verbindingen op basis van vorm tot stand door het vervormen van het ene werkstuk in een uitsparing (bijvoorbeeld een groef) van het andere werkstuk. Op deze manier is de verbinding bestand tegen externe krachten (cfr. mechanische interlock). Voor verbindingen op basis van zowel interferentie als vorm zullen er tijdens het MetalMorphosis project verscheidene innovatieve verbindingconcepten ontwikkeld worden.

Elektromagnetisch pulslassen

Het elektromagnetisch pulslassen wordt gebruikt voor het verbinden van een ingebed metaal in een composietwerkstuk aan een ander metaal werkstuk. Tijdens dit proces impacteren beide werkstukken met elkaar met een hoge snelheid en onder een bepaalde hoek, waardoor een intense plastische vervorming en een lokale verhitting plaatsvinden. Doordat het proces van zeer korte duur is, wordt er echter geen warmtebeïnvloede zone gevormd en zodus behouden de werkstukken hun eigenschappen.

Elektromagnetisch riveteren

Bij het elektromagnetisch riveteren wordt de elektromagnetische puls gebruikt om een stempel over een paar millimeters te versnellen tot een zeer hoge snelheid (10-100 m/ seconde).

Op deze manier kan een magnetisch versnelde klinknagel een hybride metaal-composietplaat verbinden met een metaal plaat. Het werkingsprincipe wordt getoond in **Figuur 6**. Aangezien riveteren een proces met een korte cyclustijd is, tot ongeveer 1 klinknagel per seconde, is het essentieel om te werken aan het laagst mogelijke energieniveau.

HYBRIDE METAAL-COMPOSITIEBUISSVERBINDINGEN

De hybride metaal-composiet buisvormige stukken werden vervaardigd m.b.v. het elektromagnetische pulskrimpen. Eerst werden enkele composieten geselecteerd die relevant zijn voor de automobielindustrie. Vervolgens werden er verschillende verbindingconcepten ontwikkeld om het composiet aan het metaal te verbinden. Ten slotte werden de bekomen metaal-composietverbindingen onderzocht naar hun breukgedrag en treksterkte.

Geselecteerde composieten

Aangezien automobielcomponenten doorgaans onderhevig zijn aan impacten doorheen hun hele levenscyclus in een voertuig, is een grote impactbestendigheid van het composiet noodzakelijk. Ook moet het composiet bestand zijn tegen hoge temperaturen. Polyamide kunststoffen zijn geschikte matrices, aangezien deze goede mechanische eigenschappen bezitten bij hogere temperaturen, alsook bestand zijn tegen wrijving en slijtage. Verder kunnen deze gemodificeerd worden om hun impactgedrag te verbeteren. Koolstofvezels zijn een van de sterkste en stijfste vezels die beschikbaar zijn, en hebben bovendien een zeer lage materiaaldichtheid, waardoor ze een uitstekende verhouding bieden tussen hun mechanische eigenschappen en gewicht. Gebaseerd op deze vereisten, werden de volgende composietklassen geselecteerd: lang koolstofvezelversterkt epoxy, lang glasvezelversterkt epoxy (EP GC22), en kort glasvezelversterkt polyamide (PA6.6GF30). De vezelvolumefractie en de lengte van de vezels (kort of lang) werden gevarieerd, om zo verschillende types van composieten te bekomen.

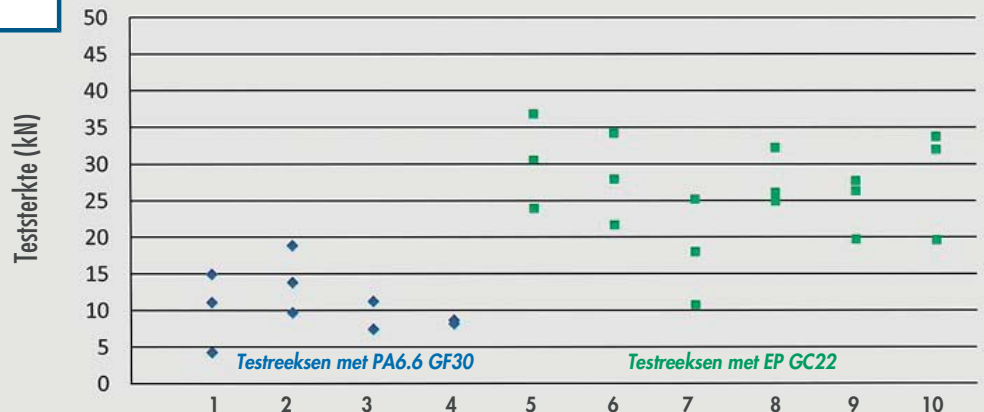
Verbindingconcepten voor hybride metaal-composiet buisvormige stukken

Verschiede verbindingconcepten werden ontwikkeld en geëvalueerd voor het elektromagnetisch pulskrimpen van de geselecteerde composieten en metalen in buisvorm. Deze verbindingconcepten zijn gebaseerd op verbindingen op basis van wrijving en op basis van vorm. Verschiede testreeksen werden gedefinieerd, gebaseerd op ofwel de geometrie van het composietwerkstuk of op de

Figuur 9: overzicht van de behaalde treksterktes van krimpverbindingen tussen een aluminium buis met enerzijds een korte glasvezelversterkte polyamide staaf (PA6.6 GF30) en anderzijds een lange glasvezelversterkte epoxybuis (EP GC22), voor de verschillende groef geometrieën (bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek)

- 1 TR1: Groef diepte: 2,5 mm, Groef straal: 1 mm
- 2 TR2: Groef diepte: 2,5 mm, Groef straal: 2 mm
- 3 TR3: Groef diepte: 1,5 mm, Groef straal: 1 mm
- 4 TR4: Groef diepte: 1,5 mm, Groef straal: 2 mm
- 5 TR1: Groef diepte: 2,5 mm, Groef straal: 1 mm
- 6 TR2: Groef diepte: 2,5 mm, Groef straal: 2 mm
- 7 TR3: Groef diepte: 2,5 mm, Groef straal: 1 mm, Groef hoek = 45°
- 8 TR4: Groef diepte: 2,5 mm, Groef straal: 2 mm, Groef hoek = 45°
- 9 TR5: Groef diepte: 2,5 mm, Groef straal: 1 mm, Groef hoek = 30°
- 10 TR6 Groef diepte: 2,5 mm, Groef straal: 2 mm, Groef hoek = 30°

Treksterkte van aluminium en glasvezelversterkt polyamide (PA6.6 GF30) & aluminium en glasvezelversterkt epoxy (EP GC22)



afstand tussen de metalen buis en het composietwerkstuk. Deze afstand werd bekomen door de wanddikte van de metalen buis of de buitendiameter van het composietwerkstuk te veranderen. Binnen elke testreeks werd het energieniveau gevarieerd. De bekomen hybride metaal-composietverbindingen werden eerst visueel onderzocht naar hun breukgedrag en vervolgens geanalyseerd voor hun trekkracht. Binnen eenzelfde verbindingconcept werd ook het gedrag van de verschillende metaal-composietverbindingen vergeleken. Een selectie van enkele verbindingconcepten en de bekomen onderzoeksresultaten wordt hierna besproken.

1e verbindingconcept

In een eerste verbindingconcept, gebaseerd op een interferentieverbinding, werd een aluminium buis gekrompen op een composietstaaf. De plastische vervorming van de aluminium buis en de elastische vervorming van de composietstaaf genereren wrijving en spanningen die bijdragen tot de kracht van de verbinding.

Figuur 7 toont de dwarsdoorsnede van zo'n krimpverbinding, gebaseerd op wrijving,

tussen een aluminium buis en een continue koolstofvezelversterkte epoxystaaf.

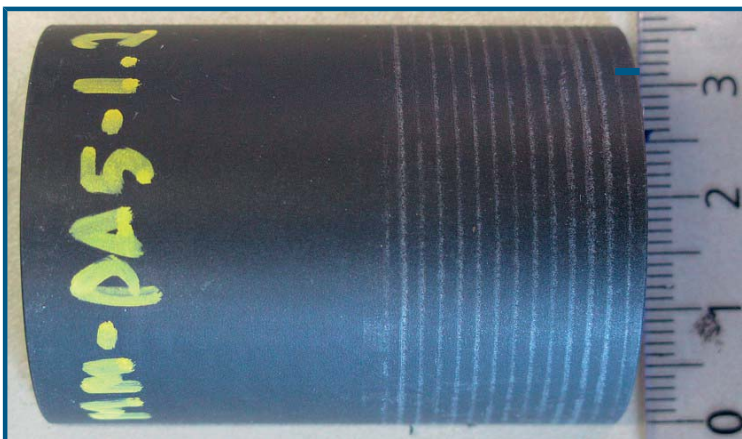
2e verbindingconcept

In een tweede verbindingconcept, gebaseerd op een vormverbinding, werd een aluminium buis gekrompen op een composietstaaf of -buis, met een groef. Op deze manier kan de aluminium buis in de groef van het composiet vervormen, waardoor er een mechanische interlock tussen de twee werkstukken bekomen wordt. Dit kan mogelijk resulteren in een hogere treksterkte. Het is noodzakelijk om te evalueren of de integriteit van de groef behouden blijft tijdens de krimpoperatie. Verschillende testreeksen werden gedefinieerd, gebaseerd op de geometrie van de groef (diepte, straal en hoek van de groef).

Figuur 8a toont een dwarsdoorsnede van zo'n krimpverbinding, gebaseerd op een vormverbinding, tussen een aluminium buis en een lange, glasvezelversterkte epoxybuis (EP GC22).

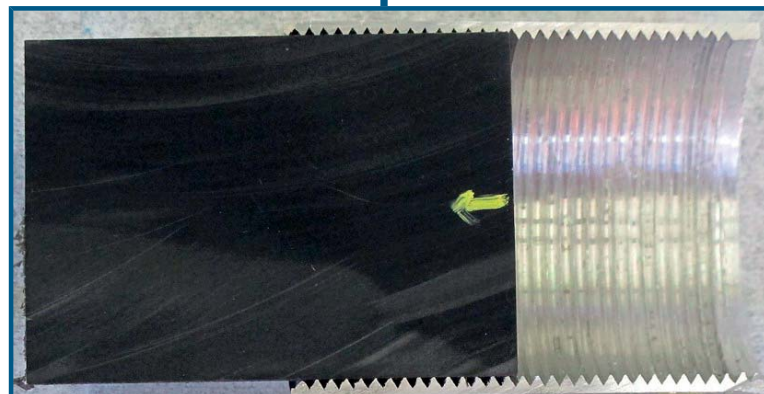
Figuur 8b toont een dwarsdoorsnede van een gelijksoortige krimpverbinding tussen een aluminium buis en een korte, glasvezelversterkte polyamide staaf (PA6.6GF30).

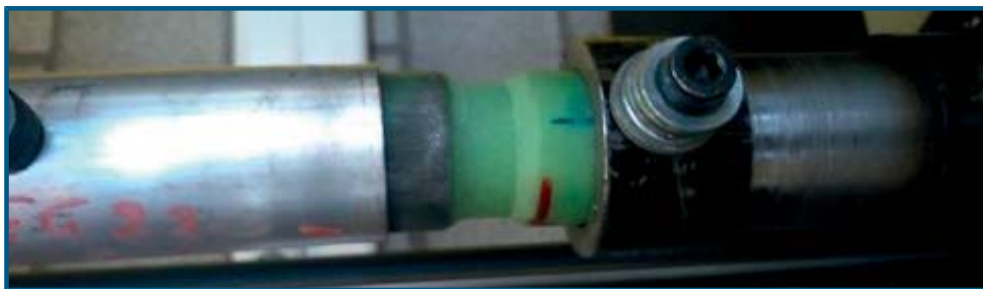
Figuur 9 toont een vergelijking van de trekkrachten, bekomen met de verschillende groefgeometrieën voor krimpverbindingen tussen een aluminium buis met enerzijds een korte, glasvezelversterkte polyamide staaf (PA6.6 GF30) en anderzijds een lange glasvezelversterkte epoxybuis (EP GC22). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de krimpverbindingen met een lange, glasvezelversterkte epoxybuis hogere trekkrachten opleveren dan de krimpverbindingen met een korte, glasvezelversterkte polyamide staaf. Dit kan mede verklaard worden door de hogere treksterkte van de lange glasvezelversterkte epoxybuis (typische waarde: 285 MPa) ten opzichte van de korte glasvezelversterkte polyamide staaf (152 MPa). In het algemeen werd een hogere trekkracht bekomen bij een hoger energieniveau en een grotere vervorming van de aluminium buis in de groef. Deze vervorming wordt mede bepaald door de geometrie van de groef. Twee verschillende manieren van het falen van de krimpverbindingen werden vastgesteld. Een eerste manier is dat de aluminium buis zich openzet en vervolgens uit de groef buigt, echter zonder breuk van de alumi-



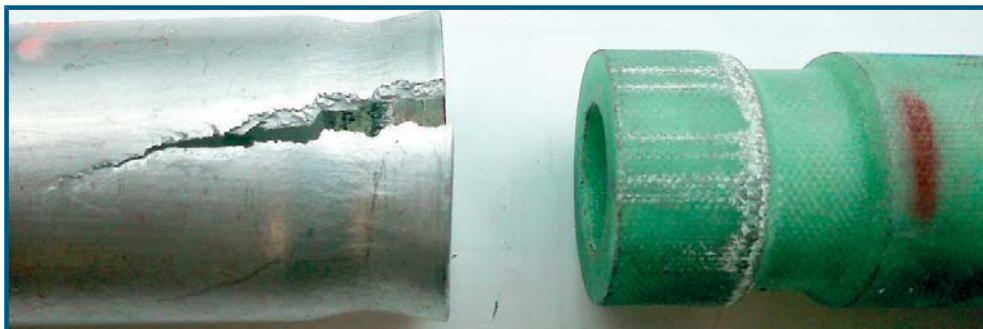
Figuur 11b: indentaties van de schroefdraad van de aluminium buis in de korte, glasvezelversterkte polyamide staaf (bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek)

Figuur 11a: dwarsdoorsnede van een krimpverbinding, gebaseerd op een vormverbinding (3e verbindingconcept) tussen een aluminium buis en een korte, glasvezelversterkte polyamide staaf (bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek)





Figuur 10a: eerste manier van falen van een krimpverbinding tussen een aluminium buis en een lange, glasvezel-versterkte epoxybuis (EP GC22) (bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek)



Figuur 10b: tweede manier van falen van een krimpverbinding tussen een aluminium buis en een lange glasvezel-versterkte epoxybuis (EP GC22) (bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek)

aluminium buis (Figuur 10a). Een tweede manier is dat de aluminium buis uit de groef buigt en vervolgens scheurt in de langsrichting (Figuur 10b).

3e verbindingconcept

In een derde verbindingconcept, ook gebaseerd op een vormverbinding, werd een aluminium buis met een interne schroefdraad gekrompen op een composietstaaf. Op deze manier kunnen de tanden van de interne schroefdraad een mechanische interlock creëren tussen de aluminium buis en de composietstaaf. Verschillende testreeksen werden gedefinieerd, gebaseerd op de variatie in de afstand tussen de metalen buis en de composietstaaf.

Deze afstand werd bekomen door de buitendiameter van de composietstaaf te veranderen. Binnen elke testreeks werd het energieniveau gevarieerd.

Figuur 11a toont de doorsnede van zo'n krimpverbinding tussen een aluminium buis met een interne schroefdraad en een korte, glasvezel-versterkte polyamide staaf (PA6.6 GF30).

Figuur 11b toont de indentaties van de schroef-

draad in de korte, glasvezel-versterkte polyamide staaf.

HYBRIDE METAAL-COMPOSIT-PLAATVERBINDINGEN

De hybride metaal-composit plaatvormige stukken werden vervaardigd m.b.v. het elektromagnetisch riveteren en het elektromagnetisch pulslussen.

Figuur 12 toont een voorbeeld van het elektromagnetisch riveteren van een metalen plaat (aluminium AW 5754; dikte: 1,5 mm) aan een sandwichplaat, bestaande uit twee metaallagen (staal DC04, dikte: 2 x 0,5 mm) met een composieten tussenlaag (koolstofvezel-versterkte kunststof; dikte: 0,8 mm).

Deze dwarsdoorsnede toont een goede verspreiding van de klinknagel in de verbinding alsook een vervorming van het koolstofvezelmateriaal zonder zichtbare vezelbeschadiging. Verder werd vastgesteld dat een lagere hardheid van de klinknagel een hogere treksterkte oplevert, in vergelijking met een hogere hardheid van de klinknagel.

DEMONSTRATIESTUKKEN

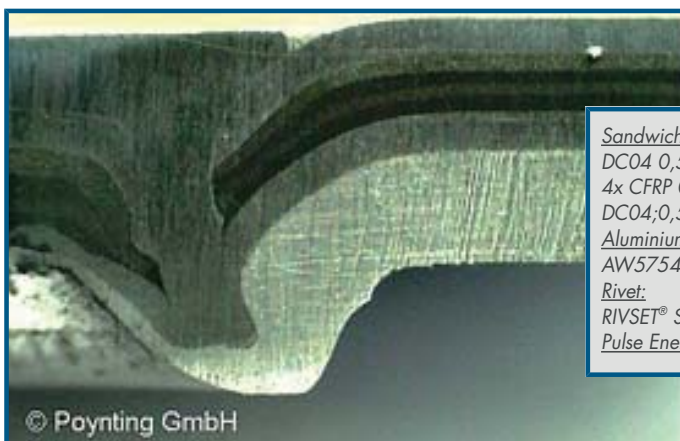
Drie specifieke demonstratiestukken, relevant voor de automobiellindustrie, werden geproduceerd om zodus de ontwikkelde verbindingsmethodes en ontwerpstrategieën te valideren op industrieel niveau. Hierna wordt er dieper ingegaan op twee demonstratiestukken, namelijk een rempedaal en een schokdemper.

Hybride metaal-compositrempedaal

Het Portugese bedrijf Toolpresse produceert o.a. rempedalen, volledig vervaardigd uit staal. In het MetalMorphosis project wordt een demonstratiestuk ontwikkeld waarbij een stalen component van deze rempedaal vervangen wordt door een composieten onderdeel.

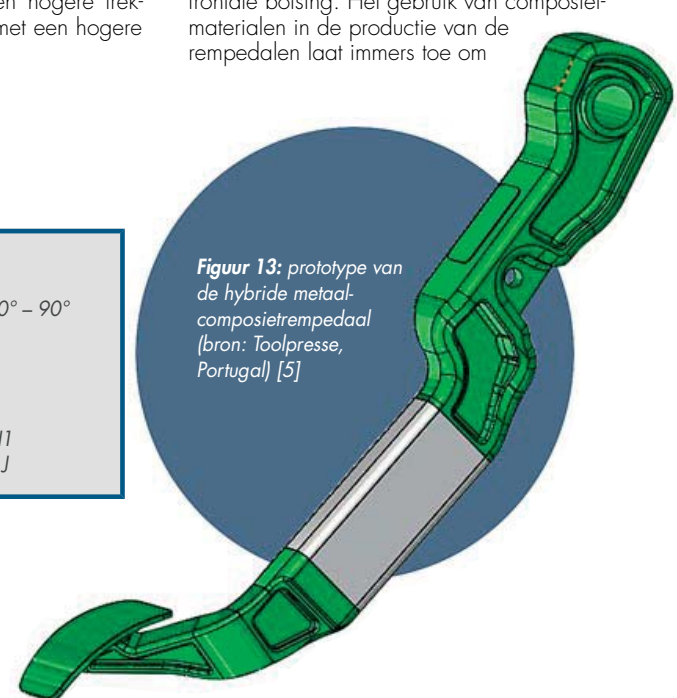
De volgende doelstellingen worden nagestreefd voor het vervaardigen van deze hybride metaal-compositrempedaal:

- Verlagen van de risico's op verwondingen van de ledematen van de bestuurder in een frontale botsing. Het gebruik van composietmaterialen in de productie van de rempedalen laat immers toe om

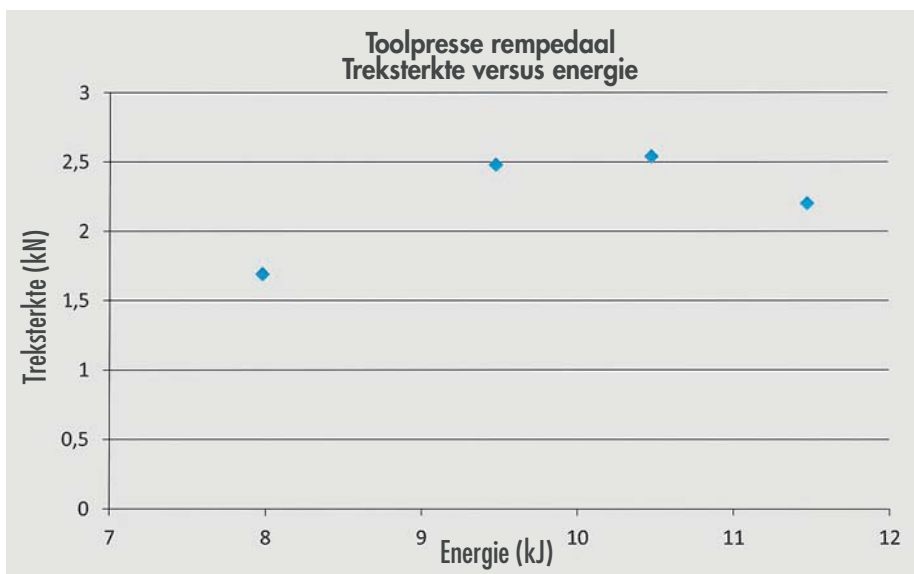


Sandwich:
DC04 0,5 mm,
4x CFRP 0° - 90° - 0° - 90°
DC04;0,5 mm
Aluminium Sheet:
AW5754; 1,5 mm
Rivet:
RIVSET® SKR 5 x 5 H1
Pulse Energy: 1.000 J

Figuur 12: dwarsdoorsnede van een verbinding tussen een aluminium plaat en een hybride staal-compositplaat, met behulp van het elektromagnetisch riveteren (bron: Poynting GmbH, Duitsland) [4]



Figuur 13: prototype van de hybride metaal-compositrempedaal (bron: Toolpresse, Portugal) [5]



Figuur 16: hybride metaal-composietrempedaal: treksterkte versus energie (bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek)

een 'niet-agressieve' geometrie te definiëren, namelijk zonder scherpe uiteinden. Op deze manier zijn de risico's op serieuze verwondingen drastisch gereduceerd en is tegelijkertijd het nieuwe ontwerp in overeenstemming met de internationale wettelijk voorgeschreven vereisten,

- Kost- en tijdsbesparing van het productieproces, wegens het verminderde aantal operaties en componenten,
- Gewichtsreductie van de volledige hybride metaal-composietrempedaalmontage, wegens het lage specifieke gewicht van composietmaterialen. De huidige rempedaal heeft een gewicht van 0,6 kg en met de gedeeltelijke vervanging door een composietmateriaal wordt een gewichtsreductie van 15% (i.e. 0,1 kg) beoogd.

De introductie van het composietmateriaal zou bij voorkeur moeten gebeuren zonder een stijging van de productiekost. Gebaseerd op commerciële overwegingen, zou een toename van totale productiekost van € 1 tot € 2/kilogram uitgespaard gewicht echter toegelaten zijn.

Figuur 13 toont het prototype van de metaal-composietrempedaal, waarbij een aluminium middenstuk verbonden wordt aan de twee composietendstukken, met behulp van het elektromagnetisch pulskrimpen.

Figuur 14 toont een vereenvoudigd model, vervaardigd uit een vierkante aluminium buis, gekrompen aan twee korte, glasvezelversterkte polyamide (PA6.6GF30) werkstukken met een groef, volgens het tweede verbindingconcept gebaseerd op een vormverbinding. Een doorsnede van deze verbinding wordt getoond in **Figuur 14**, waarbij de vervorming van de aluminium buis in de groef van het composiet getoond wordt. Deze mechanische interlock draagt mede bij tot de treksterkte.

Figuur 16 toont de grafiek van de behaalde trekkrachten in functie van het energieniveau. De maximale trekkraft van 2,5 kN wordt bekomen bij een optimaal energieniveau van 10,5 kJ, waarna de trekkraft weer daalt. Dit toont aan dat er een afweging bestaat tussen enerzijds de vervorming in de groef die bijdraagt tot de trekkraft, en anderzijds de

vermindering van de aluminium buis, die kan leiden tot een verminderde trekkraft.

Hybride metaal-composietschokdemper

Het Belgische bedrijf Tenneco produceert schokdempers, bestaande uit twee buisvormige werkstukken die volledig vervaardigd zijn uit staal. Deze hedendaagse schokdempers worden geproduceerd m.b.v. conventionele lastechnieken. In het project MetalMorphosis wordt m.b.v. het elektromagnetisch krimpen een innovatieve demonstratieschokdemper ontwikkeld, die enerzijds bestaat uit een stalen component en anderzijds uit een composietcomponent. De nieuwe staal-composietverbinding moet voldoen aan Tenneco's standaardvereisten, namelijk dat de verschillende elementen moeten worden beschouwd als structurele componenten en dat ze gasdicht moeten zijn en bestand tegen een hoge druk en een hoge temperatuur. Verder is een goede hoekopstelling noodzakelijk. De drijfveren achter de vervanging van staal door een composietmateriaal, zijn de vlotte integratie in de bestaande productielijnen en de beoogde gewichtsreductie. De hedendaagse stalen schokdempers hebben een gewicht van 1,8-2,2 kg en met de hybride metaal-composietschokdemper wordt een gewichtsreductie van 15% (i.e. 0,3 kg) nagestreefd. De introductie van het composietmateriaal zou bij voorkeur moeten gebeuren zonder een toename van de productiekost. Gebaseerd op commerciële overwegingen, zou een toename in de totale productiekost van € 1 tot € 3/kilogram uitgespaard gewicht echter toegelaten zijn.

BESLUIT

Het MetalMorphosis onderzoeksproject beoogt het ontwikkelen van innovatieve verbindingstechnieken via de elektromagnetische pulstechnologie. Hiermee kan een reeks nieuwe hybride metaal-composietcomponenten gepro-

duceerd worden die inspelen op de huidige trend naar lichtgewicht materialen in de automobieliindustrie. Demonstratiestukken die tijdens het project ontwikkeld worden, zijn een hybride metaal-composietrempedaal en schokdemper. □

REFERENTIES

- [1] SuperLightCar Life Cycle Assessment. [Online]. Beschikbaar: <http://www.worldautosteel.org/life-cycle-thinking/case-studies/super-light-car-life-cycle-assessment/>
- [2] Production FT-1 to use BMW chassis confirmed. [Online]. Beschikbaar: <http://www.ft1club.com/forums/showthread.php/87-Production-FT-1-to-use-BMW-chassis-confirmed>
- [3] Institut für Umformtechnik und Leichtbau, Technische Universität Dortmund. [Online]. Beschikbaar: <http://www.iul.eu/iul/index.php/en/>
- [4] Poynting GmbH. [Online]. Beschikbaar: <http://www.poynting.de/de/homepage.html>
- [5] Toolpresse [Online]. Beschikbaar: <http://www.toolpresse.pt/>

Figuur 14: verbinding van een rechthoekige aluminium buis met twee polyamide composietwerkstukken (bron: Belgisch instituut voor Lastechniek)

Figuur 15: Dwarsdoorsnede van figuur 14 (bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek)

