

# INNOVATIEVE VERBINDINGEN VIA ELEKTROMAGNETISCHE PULS TECHNOLOGIE

## HYBRIDE METAAL-COMPOSITIE COMPONENTEN VOOR DE AUTOMOBIELINDUSTRIE

De nood aan nieuwe hybride metaal-compositie componenten automobiellindustrie brengt grote uitdagingen met zich mee k de verbindingen tussen verschillende materiaaltypes. Dit is d achter het onderzoeksproject MetalMorphosis dat momentee het BIL in samenwerking met acht Europese partners. In dit artikel presenteren we een overzicht van de hedendaag trend naar lichtgewicht materialen, de verschillende composi en de huidige verbindingstechnieken voor composieten en r. Daarnaast geven we een uiteenzetting van het onderzoeksproject MetalMorphosis.

Door Irene Kwee en Koen Faes  
(Belgisch Instituut voor Lastechniek)



BMW i3: de eerste elektrische auto vervaardigd uit koolstofversterkt composiet en aluminium [3]

### LICHTGEWICHT MATERIALEN EN VERBINDINGEN TUSSEN COMPOSITIEN EN METALEN

#### Drijfveren trend

De trend naar het gebruik van lichtgewicht materialen in de automobiellindustrie wordt enerzijds gedreven door de nood aan een verminderd brandstofverbruik, en anderzijds door een toename in voertuigmassa, wegens de eisen aangaande veiligheid, passagierscomfort en elektronische systemen. In dit opzicht bieden lichtgewicht materialen een geschikte oplossing, door hun aanzienlijk lagere dichtheid in vergelijking met de courante aangewende stalen. Nieuwe vorderingen in materiaalontwikkelingen en -processen hebben als gevolg dat sommige materialen die tot enkele jaren terug uitsluitend gereserveerd werden voor de luchtvaartindustrie nu ook hun intrede vinden in de automobiellindustrie. Dit is het geval voor composieten die recentelijk in opmars zijn in onderzoeksprojecten inzake structurele toepassingen in 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 aanzienlijke gewichtsbesparingen te behalen, met een lager brandstofverbruik als gevolg. Daartegenover staat evenwel een belangrijke beperking: hun broosheid. Verbindingen tussen composieten en metalen zijn dus noodzakelijk om de gewenste structurele eigenschappen te bekomen.

#### Onderzoek en productiemodellen lichtgewicht materialen

Het toenemende gebruik van lichtgewicht materialen heeft de jongste drie decennia geresulteerd in een geleidelijke vermindering van de hoeveelheid gietijzer en koolstofstaal voertuigen. Bijgevolg z deze materialen verward door hoogpreformantie (roestvast en hoogsterkt aluminium- en magnesiumlegeringen, en compos

Vandaag zijn er verscheidene toepassingen voor composieten in de automobiellindustrie aanwezig. Het gaat hierbij veeleer om componenten voor esthetische doeleinden dan voor structurele toepassingen.

Niettegenstaande zijn er al enkele onderzoeksprojecten uitgevoerd betreffende de structurele preformantie van hybride lichtgewicht voertuigen. De tabel hieronder [1] illustreert de procentuele gewichtsbesparing die verkregen wordt door een stalen plaat te vervangen door aluminium, magnesium of vezelversterkt composiet, voor de vervaardiging van een onderdeel van een Volkswagen. Voorts is in het SuperLightCar project een Europees industrieel onderzoek uitgevoerd, waarbij technologieën en ontwerpcenten ontwikkeld

werden die toelaten om zowel een gewichtsbesparing van 30% te realiseren als te voldoen aan de kostbeperkingen.

**Figuur 1** toont een voorbeeld van het vervaardigen van een auto in verschillende lichtgewicht materialen.

De gewichtsbesparing van 30% gaat gepaard met een bijkomende kost van minder dan 5 euro per kg.

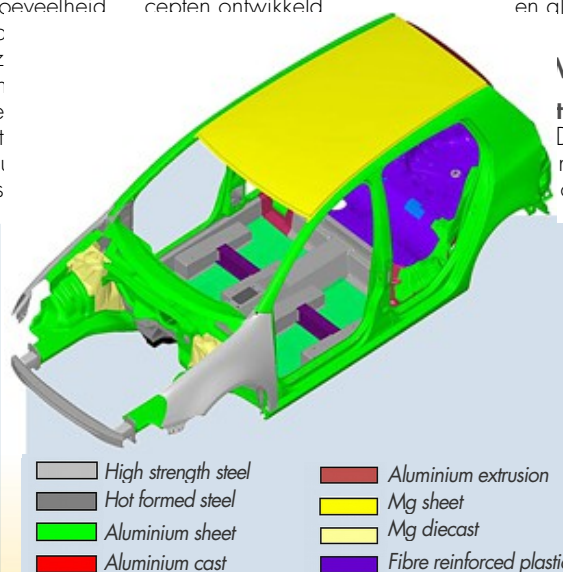
Ten slotte werden de afgelopen jaren enkele productiemodellen op de markt geïntroduceerd die gebruikmaken van de concepten die zijn ontwikkeld in onderzoeksprojecten zoals het SuperLightCar project.

De BMW i3 (foto hierboven, [3]) is de eerste elektrische auto waarvan de structurele componenten grotendeels vervaardigd zijn uit koolstofvezelversterkt composiet en aluminium.

### COMPOSITIEMATERIALEN

#### Structuur composieten

De belangrijkste mechanische eigenschap van composieten is de hoge



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

Fig. 1: Resultaten van het SuperLightCar project: procentuele gewichtsbesparing en bijkomende kosten voor het vervaardigen van een auto in lichtgewicht materialen [2]

GEWICHTSBESPARING - LICHTGEWICHT MATERIALEN		
MATERIAAL	MASSA (KG)	GEWICHTSBESPARING
STALEN PLAAT	6,54	referentie
ALUMINIUM PLAAT	3,38	48%
GLASVERSTERKT POLYAMIDE (PA 66 GF30)	2,87	56%
GLASVERSTERKT POLYPROPYLEEN (PP GF30)	2,35	64%
MAGNESIUM PLAAT (AZ 31)	2,18	67%

verhouding tussen sterkte en dichtheid. Composieten bieden dus de mogelijkheid om enorme gewichtsbesparingen te bekomen voor de nieuwe generatie van producten. Tegelijk bezitten ze goede mechanische eigenschappen. De structuur van composieten bestaat enerzijds uit een verstevigingsmateriaal dat bijdraagt aan de mechanische eigenschappen van het composiet en dat instaat voor de overdracht van trekkrachten. Anderzijds bestaan die uit een matrix die de versteviging samenhoudt en ook zorgt voor overdracht van drukkkrachten en schuifspanningen. Beide componenten combineren hun eigenschappen op synergetische wijze. Daarom is het noodzakelijk om een goede combinatie van de samenstellende materialen te selecteren, met vezels als verstevigingsmateriaal en polymeerharsen als matrix.

### Vezels als verstevigingsmateriaal

De belangrijkste functie van het verstevigingsmateriaal is de bijdrage tot de sterkte, de stijfheid en de schadetolerantie van het composiet.

De finale mechanische eigenschappen van het composiet zijn dus gerelateerd aan het gedrag van het verstevigingsmateriaal. Daarom is de specifieke elasticiteitsmodulus een van de meest gebruikelijke parameters om de mechanische eigenschappen van het verstevigingsmateriaal te bepalen.

**Figuur 2** toont een overzicht van de spanning-tek curves en elasticiteitsmoduli van enkele gebruikelijke vezels als verstevigingsmateriaal. Hieruit kan worden besloten dat, hoewel glasvezels wegens hun lage kost vandaag de dag in meer dan 90% van de structurele

toepassingen gebruikt worden, ze desondanks minder goede mechanische eigenschappen bezitten.

Hierdoor zou een grotere hoeveelheid glasvezels gebruikt moeten worden om de gewenste mechanische eigenschappen te bekomen.

De duurdere koolstofvezels vertonen daarentegen een hogere stijfheid en sterkte, waardoor een kleinere hoeveelheid nodig is om aan de structurele eisen te kunnen voldoen.

Bovendien bezitten ze een zeer lage dichtheid, waardoor ze een uitstekende verhouding vertonen tussen mechanische eigenschappen en gewicht.

Hierdoor vinden koolstofvezels als verstevigingsmateriaal steeds vaker hun intrede, o.a. in de energie-, luchtvaart- en automobiellindustrie.

Dit leidt tot een toename in de productie van commerciële koolstofvezels, wat resulteert in een gunstige invloed op hun prijzevolutie.

### Kunststofharsen als matrix

Er bestaan twee klassen kunststofharsen als matrix: thermoharders en thermoplasten.

Het grootste verschil tussen deze twee soorten is hun verschillende reactie als ze aan temperatuurveranderingen worden blootgesteld.

Thermoplasten verzachten en smelten met een stijgende temperatuur.

Het proces van smelten en verharden kan worden herhaald, zonder dat het uiteindelijk effect heeft op de eigenschappen van de thermoplast.

Thermoharders daarentegen vertonen een onomkeerbare reactie bij temperatuurstijging, en hun mechanische en fysieke eigenschappen veranderen aanzienlijk.

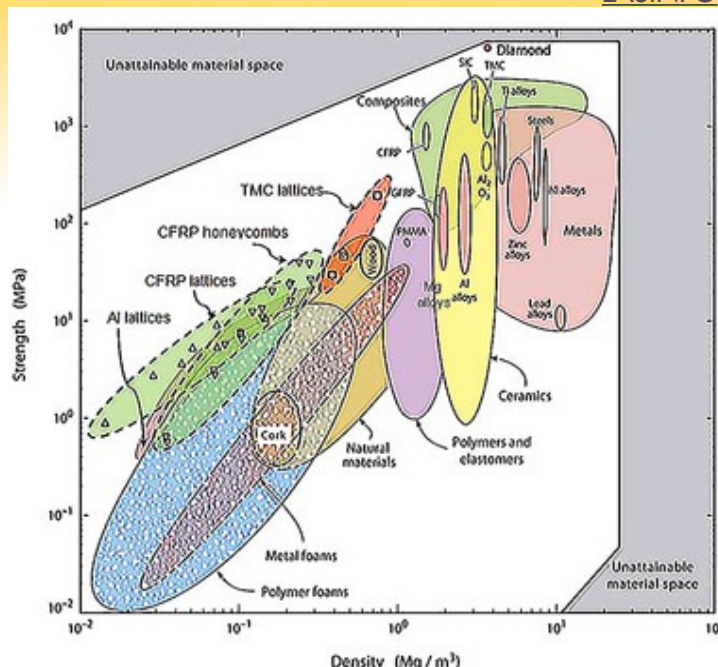


Fig. 3: Sterkte versus dichtheid voor verschillende materiaalklassen

Voorts bezitten thermoplasten een hogere ductiliteit dan thermoharders, alhoewel thermoharders ook hun breuktaaiheidsgedrag kunnen verhogen door toevoeging van additieven. Componenten voor de automobiellindustrie zijn doorgaans onderhevig aan impacten doorheen hun hele levenscyclus in een voertuig.

In dit opzicht zijn thermoplasten de optimale matrix als impactbestendigheid gewenst is, aangezien sommige thermoplasten extreem hoge rekken vertonen voor ze falen, in vergelijking met thermoharders. Hun hoge taaiheid gaat echter soms ten koste van hun mechanische eigenschappen.

### Huidige composieten voor hybride componenten

De eis omtrent gewichtsbesparing bevordert het gebruik van composieten voor de toekomst wegens

hun lichtgewicht eigenschappen. Zoals blijkt uit de 90 biljoen euro verkoop voorzien in 2015, wordt een groeiende aanwezigheid van composieten in de voertuigsector voorspeld. Alhoewel composieten vandaag al gebruikt worden in de automobiellindustrie, vormen zij slechts 7,5% van de totale voertuigmassa.

Bovendien zijn de al bestaande toepassingen zoals eerder gesteld veeleer esthetisch van aard. In interieuroepassingen zijn er voornamelijk korte glasvezelversterkte thermoplasten aanwezig, terwijl in structurele en semistrukturale toepassingen andere materialen noodzakelijk zijn, wegens de hogere structurele vereisten. Lange vezelversterkte thermoplasten (LFT) en glasmatthermoplasten (GMT) zijn reeds ontwikkeld voor semistrukturale toepassingen. Ook glasvezelversterkte sheet moulding compounds (SMC) met thermoharders zijn de meeste populaire composieten gebruikt in voertuigpanelen.

De populariteit van SMC vloeit voort uit de lage dichtheid en de lagere kost t.o.v. staal.

Echter, enkele beperkingen zoals de willekeurige vezeloriëntatie, de lage vezelvolumefractie en de lage performantie van de vezels hebben als gevolg dat de structurele performantie en de hoeveelheid gewichtsbesparing door SMC en GMT slechts gematigd zijn.

Hierdoor is hun potentieel om staal in voertuigen te vervangen veeleer aan de lage kant. Daarentegen worden meer geavanceerde composieten zoals continue vezelversterkte kunststoffen beschouwd als de meest logische vervanging van staal in voertuigstructuren, waar een hogere gewichtsbesparing gewenst is.

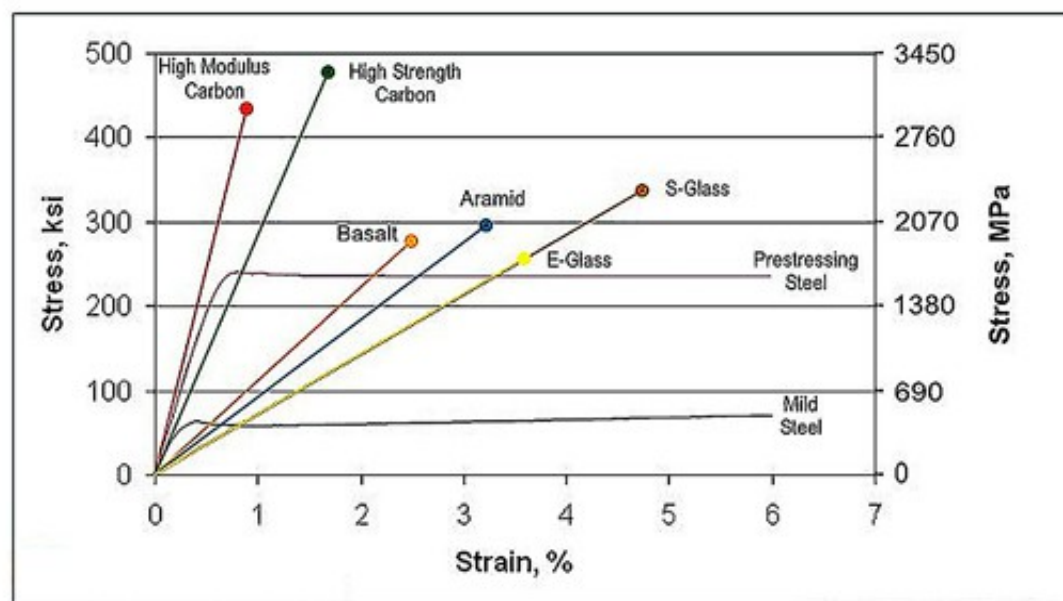


Fig. 2: Spanning-tek curves voor verschillende types vezels



## Magnetisch puls lassyteem

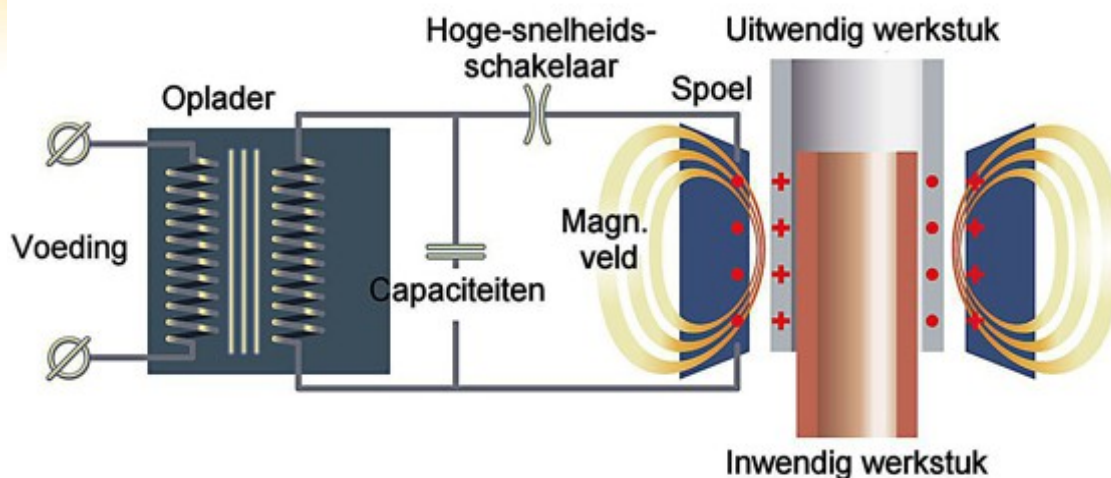


Fig. 5: Mogelijke varianten van het elektromagnetisch puls vervormen voor het verbinden van plaat- en buisvormige werkstukken

Continue vezelversterkte kunststoffen worden al veelvuldig gebruikt als lichtgewicht materiaal in lagevolumetoepassingen, voor het vervaardigen van lucht- en scheepvaartstructuren bijvoorbeeld.

In het bijzonder bezitten koolstofversterkte kunststoffen (CFRP) het meeste potentieel in lichtgewicht automobieltoepassingen. CFRP componenten kunnen resulteren in meer dan 60% gewichtbesparing in vergelijking met staal.

De meeste autofabrikanten werken dus aan de ontwikkeling van rendabele procestechnologieën voor de integratie van koolstof in structurele hoge volumecomponenten. Echter, de huidige beperkingen van koolstofvezels zijn hun hoge kost en de lange procestijden. Hoewel deze technologieën zullen bijdragen aan de geleidelijke integratie van geavanceerde composieten in voertuigstructuren, wordt niet verwacht dat metalen volledig vervangen zullen worden door composieten. In plaats daarvan zullen hybride metaal-composiet structuren worden ontwikkeld, waardoor ook rendabele processen nodig zijn voor hun assemblage.

**Figuur 3** illustreert de sterkte versus de dichtheid van verschillende soorten materiaalclassen.

### HUIDIGE VERBINDINGSTECHNIKEN VOOR HYBRIDE METAAL-COMPOSIT COMPONENTEN

De belangrijkste technieken om metalen met composieten te verbinden, zijn de verlijmingstechnologie, de mechanische verbindingen en de lasprocessen.

### Verlijmingstechnologie

De verlijmingstechnologie is een effectieve methode om ongelijksoortige materialen te verbinden. De belangrijkste functie van deze verbindingstechniek is overdracht van krachten door afschuiving. De mechanische sterkte van de verbinding is afhankelijk van de adhesieve eigenschappen (sterkte en ductiliteit) en de configuratie. De belangrijkste voordelen van de verlijmingstechnologie zijn de lage spanningsconcentraties, de mogelijkheid om een goede afdichting te bekomen, en het feit dat er geen gaten in de composietcomponenten gemaakt hoeven te worden.

Daar staan weliswaar enkele nadelen tegenover, zoals de hoge kost, ontvlambaarheid, temperatuurgevoeligheid en onderhevigheid aan thermische en omgevingsdegradatie. Voorts heeft ervaring aangetoond dat, alhoewel sommige lijmverbindingen een goede levensduur vertonen, andere falen of uitgebreid onderhoud vereisen gedurende een korte levensduur.

### Mechanische verbindingen

Composieten kunnen ook op mechanische wijze aan metalen verbonden worden met behulp van bevestigingsmiddelen, zoals inzetstukken en klinknagels.

Voorts zijn er ook andere mechanische bevestigingstechnieken voor metaalcomposietstructuren, zoals clinchen. Enkele voordelen van mechanische verbindingstechnieken zijn de eenvoudige technologie en de zekerheid van hun structurele integriteit door middel van voorspellingsmethodes.

Verschillende studies over mechanische bevestiging van composietmaterialen hebben echter aangetoond dat er zeer weinig relaxatie van spanningsconcentraties optreedt rond gaten. Het optreden van lokale spanningsconcentraties reduceert de sterkte van het composiet met meer dan 50%, waardoor de beoogde gewichtbesparingen geëlimineerd worden.

### ELEKTROMAGNETISCHE PULS TECHNOLOGIE KAN WORDEN GEBRUIKT VOOR HET VERBINDEN VAN ONGELIJKSOORTIGE METALEN

Voorts impliceert de broosheid van composieten dat er bijna geen mogelijkheid is voor herverdeling van de last indien één bevestiging in de gehele montage faalt.

Bovendien kunnen verschillen in de thermische uitzettingscoëfficiënt van composieten en metallische onderdelen leiden tot een toename van restspanningen.

Aldus is de efficiëntie van mechanische verbindingen in composieten zeer laag. Uit het voorgaande kan worden besloten dat de huidige methodes in de industrie voor het verbinden van metalen met composieten meestal ontwikkeld werden voor specifieke toepassingen. Bovendien leiden ze tot hoge operationele kosten en bezitten de verbindingen slechts beperkte mechanische eigenschappen.

### Lasprocessen

Overige verbindingstechnieken voor hybride metaalcomposietcomponenten zijn lasprocessen zoals het ultrasoonlassen, 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. Bijgevolg zijn deze lasprocessen nog niet in gebruik in de industrie.

## METALMORPHOSIS ONDERZOEKSPROJECT

### Doelstellingen

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

- ontwikkelen van nieuwe verbindingstechnieken gebaseerd op elektromagnetische puls technologie, voor hoogperformante

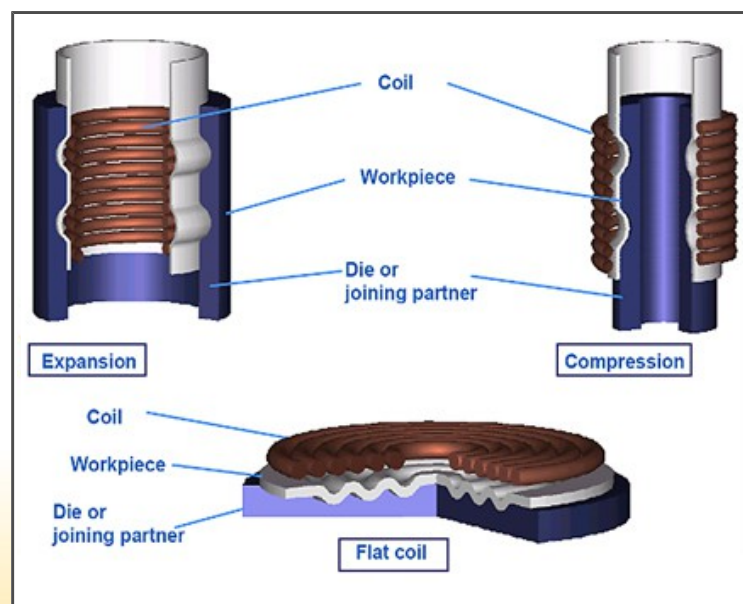


Fig. 4: Principe van de elektromagnetische puls technologie (bron: PST products GmbH)

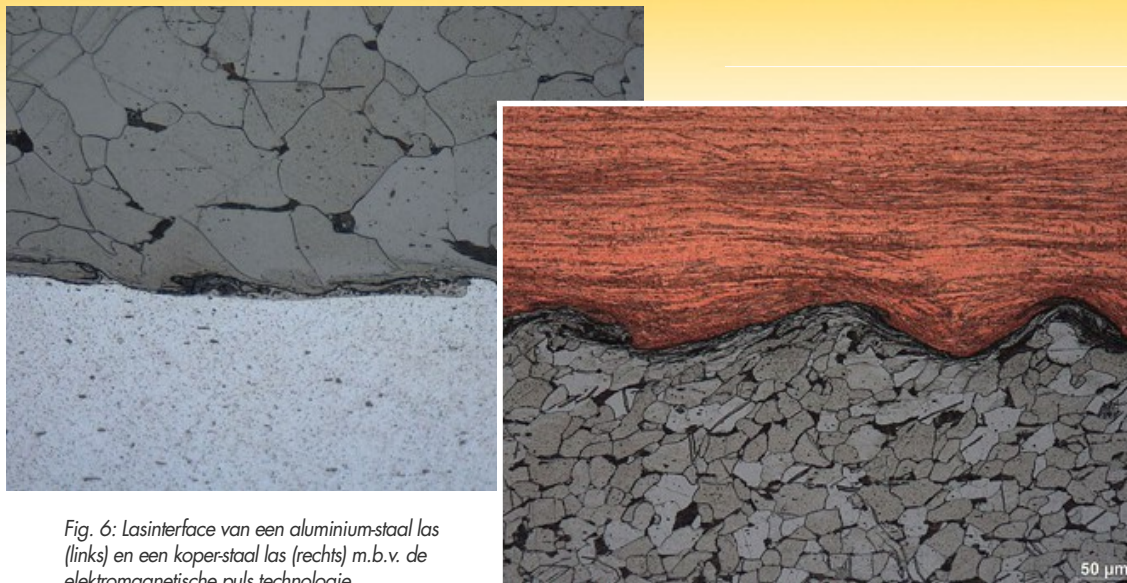


Fig. 6: Lasinterface van een aluminium-staal las (links) en een koper-staal las (rechts) m.b.v. de elektromagnetische puls technologie

- verbindingen van composieten met metalen voor plaat- en buisvormige toepassingen;
- fundamentele kennis vergaren omtrent de eigenschappen van de verbindingen (sterkte, ductiliteit, microstructuur, enz.) en toepassingen in de auto-industrie;
  - kostenbesparing voor hybride metaal - composiet componenten via elektromagnetische puls technologie: 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 door de milieuvriendelijke puls technologie.

#### Structuur

Het Metal/Morphosis project bestaat uit zes technische

werkpakketten die zich richten op onderzoek gerelateerd aan de specificatie-, verbindings-, en karakterisatieactiviteiten. Daarnaast handelt een apart werkpakket over de productie van drie specifieke demonstratiestukken, relevant voor de auto-industrie, om op die manier de ontwikkelde verbindingsmethodes en ontwerpstrategieën te valideren op industrieel niveau. Het eerste werkpakket besteedt aandacht aan de selectie van de materialen en demonstratiestukken en hun performantiedoelstellingen. Het tweede werkpakket concentreert zich op het ontwerp en de vervaardiging van composietwerkstukken. Dit wordt gedaan met behulp van geoptimaliseerde productieprocessen en eindigelementenmodellen om het effect van de aangelegde krachten op

de hybride componenten te evalueren.

In het derde en vierde werkpakket wordt er algemeen onderzoek verricht naar de haalbaarheid van het gebruik van elektromagnetische verbindingsprocessen voor het verbinden van buis- en plaatvormige werkstukken bestaande uit composieten en metalen. Ook worden de doorslaggevende factoren vastgelegd die de gewenste verbindingseigenschappen realiseren. Verschillende verbindingsconcepten worden ontwikkeld en geëvalueerd voor de geselecteerde materialen en materiaalcombinaties. In het vijfde werkpakket worden de specificaties vastgelegd die nodig zijn om een zo efficiënt mogelijk procesketen te bekomen.

Ten slotte handelt het zesde werkpakket over het opstellen van een levenscyclusanalyse om de gevolgen van de voorgestelde processen en activiteiten te evalueren. Hierdoor kan de rendabiliteit van de voorgestelde verbindingsmethodes vergeleken worden met andere competitieve technologieën.

#### Principe elektromagnetische puls technologie

Elektromagnetische puls technologie is een zeer innovatieve, geautomatiseerde productie-techniek die gebruikmaakt van elektromagnetische krachten om werkstukken te vervormen en te lassen.

Aangezien deze geavanceerde lastechniek geen warmte gebruikt om een verbinding tot stand te brengen, biedt ze belangrijke voordelen ten opzichte van de conventionele lastechnieken. Zodoende biedt ze aantrekkelijke mogelijkheden voor het verbinden van ongelijksoortige materialen. Het basisprincipe van het proces wordt getoond in **Figuur 4**.

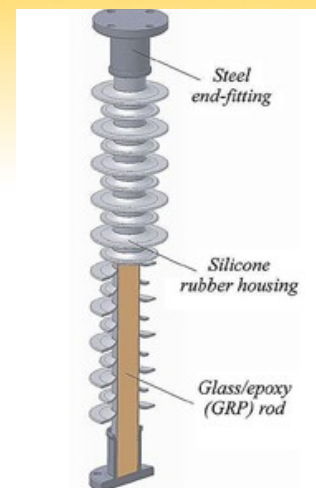


Fig. 8: Verbinding tussen stalen hulpstuk en glas-/epoxybuis in composieten isolator

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 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, die elkaar tegenwerken. De afstand 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.

**Figuur 5** toont de verschillende varianten van het proces: afhankelijk van de opstelling van de spoel en het werkstuk kunnen buisvormige werkstukken worden geëxpandeerd of ingedrukt, of plaatvormige werkstukken aan elkaar verbonden worden. Aangezien enkel het vervormde werkstuk vervaardigd moet zijn uit elektrisch geleidend materiaal, is dit proces geschikt voor het verbinden van gelijksoortige of ongelijksoortige materialen, zoals twee verschillende metalen bijvoorbeeld.

**Figuur 6** toont de lasinterface van een aluminium-staal las (links) en een koper-staal las (rechts). Zelfs verbindingen tussen metallische en niet-metallische materialen kunnen worden gerealiseerd.

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



Fig. 7: Verschillende verbindingen in lichtgewicht structuur voor passagiers in een auto [4]



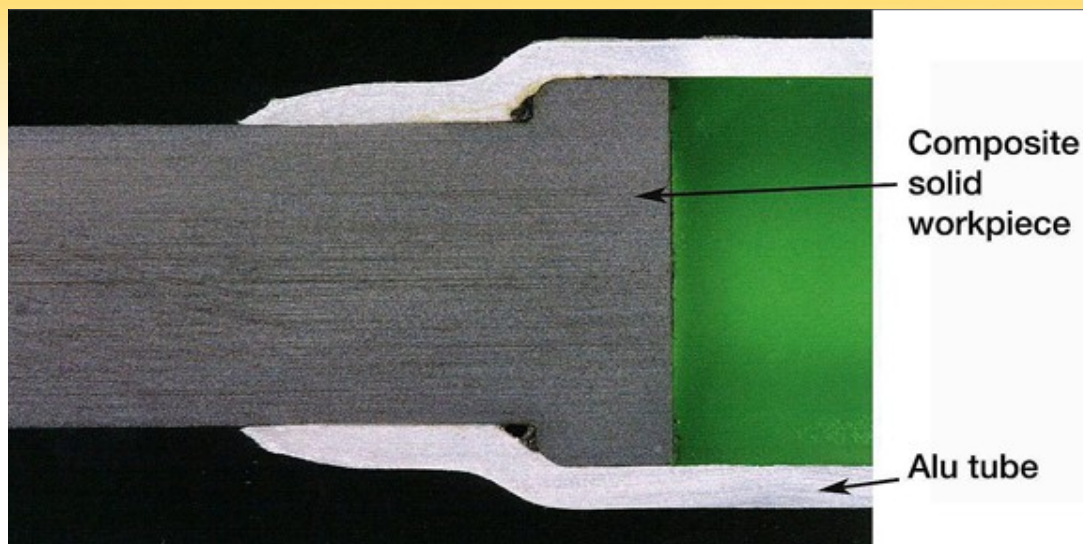


Fig. 9: Verbinding op basis van vorm tussen een composiet staaf en aluminium buis

- In vergelijking met conventionele lasprocessen is het magnetisch puls proces een 'koud' proces. Enkel door de wervelstromen en door de plastische vervorming warmt het werkstuk op, maar deze temperatuur blijft beperkt tot 50 °C. Hierdoor wordt 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 aanpassing 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 wordt geproduceerd.
- In het MetalMorphosis project wordt er gebruikgemaakt van twee varianten van de elektromagnetische puls technologie, namelijk het elektromagnetisch puls krimpen en het elektromagnetisch puls lassen.

#### Elektromagnetisch puls krimpen

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

Verbindingen op basis van interferentie worden vervaardigd door de plastische vervorming door de elastische vervorming van het ene werkstuk en de elastische vervorming van het andere. Hierdoor worden wrijvings- en interferentiespanningen tussen beide werkstukken gegenereerd.

**Figuur 7** duidt de verschillende verbindingen aan in een lichtgewicht structuur voor passagiers in een auto.

**Figuur 8** illustreert een verbinding in een composieten isolator, waar een stalen hulpstuk aan een glas-/epoxybuis is bevestigd. Daarentegen komen verbindingen op basis van vorm tot stand door het vervormen van het ene werkstuk in een uitsparing (bv. een groef) van het andere werkstuk. Op deze manier is de verbinding bestand tegen externe krachten (cfr. mechanische interlock).

**Figuur 9** toont een voorbeeld van een verbinding op basis van de vorm, waarbij een composiet staaf in een aluminium buis werd ingesloten.

Voor verbindingen zowel op basis van interferentie als op vorm zullen tijdens het MetalMorphosis onderzoeksproject innovatieve ontwerpconcepten ontwikkeld worden.

**Figuur 10** illustreert een dergelijke verbinding.

#### Elektromagnetisch puls lassen

Naast het elektromagnetisch puls krimpen, zal ook het elektromagnetisch puls lassen gebruikt worden voor het verbinden van een ingebed metaal in een composiet werkstuk aan een ander metalen 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 plaatsvindt. Doordat het proces van zeer korte duur is, wordt er geen warmtebeïnvloede zone gevormd, waardoor de werkstukken hun eigenschappen behouden.

**Figuur 11** geeft een voorbeeld van een elektromagnetische puls las van aluminium aan staal in een aandrijf-as voor de automobiellindustrie.

#### BESLUIT

Het MetalMorphosis onderzoeksproject beoogt het ontwikkelen van innovatieve verbindingstechnieken via de elektromagnetische puls technologie. Hiermee kan een reeks nieuwe hybride metaal-composiet componenten geproduceerd worden, die inspeelt op de huidige trend naar lichtgewicht materialen in de automobiellindustrie.

#### Aluminium Fitting

#### Rod (Solid)



Fig. 10: Verbinding aluminium hulpstuk composiet staaf (bron: Poynting GmbH, Duitsland) [5]

Het gespecialiseerde en multidisciplinaire consortium bestaat uit negen Europese partners, namelijk het Belgisch Instituut voor Lastechniek (België), Tenneco (België), Poynting (Duitsland), Centimfe (Portugal), Toolpresse (Portugal), Cidaut (Spanje), Ideko (Spanje), STAM (Italië) en Regeneracija (Slovenië). □

#### REFERENTIES

- [1] Volkswagen AG. *Proceedings on the International Conference on Innovative Developments for Lightweight Vehicle Structures*. 2009, Wolfsburg, Duitsland.
- [2] Superlight Car Project. Laatst bekeken: 15 maart 2014 [Online]. Beschikbaar: [http://www.superlightcar.com/public/index.php?option=com\\_content&task=view&id=28&Itemid=107](http://www.superlightcar.com/public/index.php?option=com_content&task=view&id=28&Itemid=107)
- [3] BMW i8 Concept Roadster makes its North American debut during BMW I Born Electric Tour. Laatst bekeken: 15 maart 2014 [Online]. Beschikbaar: <http://www.carpages.ca/blog/2012/11/16/bmw-i8-concept-roadster-makes-its-north-american-debut-during-bmw-i-born-electric-tour/>
- [4] S. Kallee, R. Schäfer, P. Pasquale. *The industrial use of EMPT. State of the art and future applications*. International Conference and User Meeting. 22 april 2010, Alzenau, Duitsland.
- [5] C. Beerwald, A. Brosius, M. Kleiner. *Fügen durch impuls magnetische Umformung*. (enkel in het Duits beschikbaar). Proceedings of 6. Sächsischen Fachtagung Umformtechnik SFU, 27.-28.11.1999, Dresden, Duitsland, p 411-423



Fig. 11: Elektromagnetische puls las van aluminium aan staal in een drijf-as voor de automobiellindustrie (bron: PST Products GmbH, Duitsland) [4]