

# Nieuwe metaal-composietcomponenten dankzij elektromagnetische pulstechnologie

De behoefte aan nieuwe lichtgewicht materialen met goede structurele eigenschappen voor de automobiellindustrie brengt grote uitdagingen met zich mee, die verband houden met de verbinding tussen verschillende materiaaltypes. Binnen het onderzoeksproject MetalMorphosis wordt een reeks nieuwe hybride metaal-composietcomponenten ontwikkeld via de elektromagnetische pulstechnologie.

door Irene Kwee en Koen Faes (medewerkers Belgisch Instituut voor Lastechniek)

De trend naar het gebruik van lichtgewicht materialen in de automobiellindustrie wordt gedreven door de noodzaak om het brandstofverbruik te verlagen. Anderzijds neemt de voertuigmassa toe, wegens eisen die te maken hebben met veiligheid, passagierscomfort en elektronische systemen. Lichtgewicht materialen bieden in dit opzicht een geschikte oplossing. Vooral composieten zijn in opmars en worden onderzocht op hun structurele toepassingsmogelijkheden in de voertuigindustrie.

Het grote voordeel van deze materialen is de goede verhouding tussen hun stijfheid en sterkte enerzijds en hun dichtheid anderzijds. Composieten hebben echter een belangrijke beperking; hun brosheid. Verbindingen tussen composieten en metalen zijn dan ook noodzakelijk om de gewenste structurele eigenschappen te verkrijgen. Dit is de drijfveer achter het onderzoeksproject MetalMorphosis.

## MetalMorphosis

Het project MetalMorphosis wordt uitgevoerd door het Belgisch Instituut voor Lastechniek, in samenwerking met acht Europese partners. De globale doelstelling van dit onderzoeksproject 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 materialen, waaronder het verbinden van composieten met metalen.



Afb. 1 BMW i3 - Eerste elektrische auto vervaardigd uit koolstofvezelversterkt composiet en aluminium

## Structuur van composieten

De belangrijkste mechanische eigenschap van composieten is de hoge verhouding tussen sterkte en dichtheid. Gebruik van composieten kan dus een enorme gewichtsbesparing opleveren. Composieten zijn opgebouwd uit verschillende componenten. Enerzijds bestaan ze uit een verstevigingsmateriaal, dat bijdraagt aan de mechanische eigenschappen en dat zorgt voor de overdracht van trekkrachten. Anderzijds bestaan ze uit een matrix die de versteviging samenhoudt en zorgt voor de overdracht van drukkrachten en schuifspanningen. Beide componenten combineren hun eigenschappen op een synergetische wijze. Daarom is het noodzakelijk een goede combinatie van samenstellende materialen te selecteren, met vezels als verstevigingsmateriaal en polymereharsen als matrix.

## Huidige verbindingstechnieken

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

De verlijmingstechnologie is een methode om ongelijksoortige materialen te verbinden, waarbij overdracht van krachten plaatsvindt door afschuiving. De mechanische sterkte van de verbinding is afhankelijk van de adhesieve eigenschappen (sterkte en ductiliteit) en van de configuratie. Voordelen van de verlijmingstechnologie zijn de lage spanningsconcentraties, de goede afdichtingsmogelijkheden en het feit dat de composietcomponenten intact blijven. Nadelen zijn de hoge kosten, onvlambaarheid, temperatuurgevoeligheid, en gevoeligheid voor thermische en omgevingsdegradatie.

Composieten kunnen ook op mechanische wijze aan metalen verbonden worden met behulp van bevestigingsmiddelen, zoals inzetstukken en klinknagels. Hoewel mechanische verbindingstechnieken eenvoudig te hantieren zijn, is aangetoond dat er lokale spanningsconcentraties optreden die de sterkte van het composiet reduceren met meer dan 50 %, waardoor de beoogde gewichtsbesparing teniet wordt gedaan. De hoge brosheid van composieten betekent dat er bijna geen herverdeling van belasting optreedt indien één bevestiging in de hele montage faalt. De efficiëntie van mechanische verbindingen in composieten is dus zeer laag.

Andere verbindingstechnieken voor hybride metaal-composietcomponenten zijn lasprocessen zoals het ultrasoon lassen, wrijvingslassen en laserlassen. Deze zijn momenteel in een ontwikkelingsstadium. Nader onderzoek is nodig om de bruikbaarheid van deze processen en de duurzaamheid van de verbindingen na te gaan.

Het MetalMorphosis onderzoeksproject beoogt het ontwikkelen van innovatieve verbindingstechnieken via de elektromagnetische pulstechnologie. Hiermee kan een reeks nieuwe hybride metaal-composietcomponenten geproduceerd worden, waarmee ingespeeld wordt op de huidige trend naar lichtgewicht materialen in de automobiellindustrie. Het gespecialiseerd en multidisciplinair consortium bestaat uit negen Europese partners: Belgisch Instituut voor Lastechniek (België), Tenneco (België), Poynting (Duitsland), Centimfe (Portugal), Toolpresse (Portugal), Cidaut (Spanje), Ideko (Spanje), STAM (Italië) en Regeneracija (Slovenië).

- **Vezels als verstevigingsmateriaal**  
De belangrijkste functie van het verstevigingsmateriaal is het bijdragen aan de sterkte, stijfheid en schadetolerantie van het composiet. De uiteindelijke mechanische eigenschappen van het composiet zijn dus gerelateerd aan het gedrag van het verstevigingsmateriaal. Vooral koolstofvezels vertonen een hogere stijfheid en sterkte, waardoor een kleinere hoeveelheid nodig is om aan de structurele eisen te voldoen. Bovendien bezitten ze een zeer lage dichtheid, waardoor de verhouding tussen mechanische eigenschappen en gewicht uitstekend is.
- **Kunststofharsen als matrix**  
Er bestaan twee klassen kunststofharsen: thermoharders en thermoplasten. Aangezien automobiellcomponenten gedurende hun hele levenscyclus onderhevig zijn aan allerlei belastende invloeden, is een goede bestendigheid tegen deze condities gewenst. In dit opzicht zijn thermoplasten de optimale matrix, omdat sommige thermoplasten in vergelijking met thermoharders een extreem hoge rek vertonen voordat ze falen. Echter, deze hoge taaiheid gaat soms ten koste van de mechanische eigenschappen.

## Composieten voor hybride componenten

Composieten worden wel al toegepast in de automobiellindustrie, maar zij vormen slechts 7,5 % van de totale voertuigmassa. De bestaande toepassingen zijn meestal esthetisch van aard. In interieurtoepassingen zijn voornamelijk korte glasvezelversterkte thermoplasten aanwezig, terwijl in structurele en semi-structurele toepassingen andere materialen noodzakelijk zijn. Vooral koolstofversterkte kunststoffen (CFRP, carbon-fiber-reinforced polymer) hebben veel potentieel. CFRP-componenten kunnen resulteren in meer dan 60 % gewichtsbesparing, vergeleken met staal. Beperkingen van koolstofvezels zijn hun hoge kostprijs en lange procestijden.

Hoewel geavanceerde composieten meer en meer geïntegreerd zullen worden in voertuigstructuren, wordt niet verwacht dat ze metalen volledig zullen vervangen. In plaats daarvan zullen hybride metaal-composietstructuren ontwikkeld worden, wat vraagt om rendabele processen voor hun assemblage.



**Doelstellingen van het MetalMorphosis onderzoeksproject:**

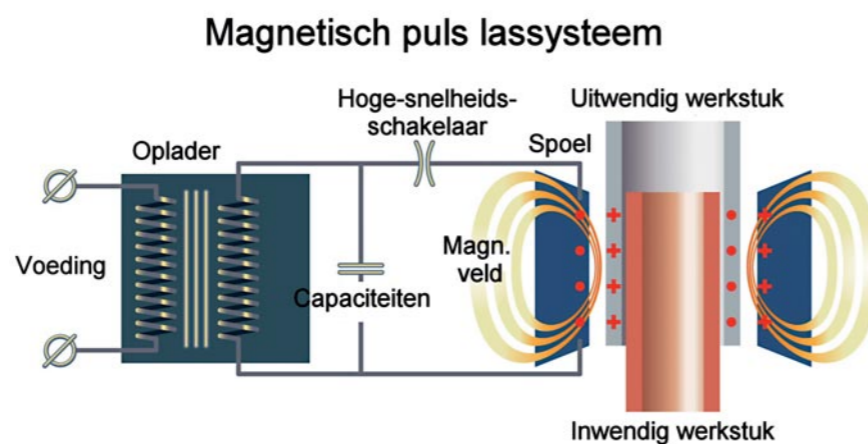
- De ontwikkeling van nieuwe verbindingstechnieken, gebaseerd op de elektromagnetische pulstechnologie, voor hoog-performante verbindingen van composieten met metalen voor plaat- en buisvormige toepassingen.
- Het vergaren van fundamentele kennis omtrent de eigenschappen van de verbindingen (sterkte, ductiliteit, microstructuur, enz.) en hun toepassingen in de automobiellindustrie.
- Het besparen van kosten voor de productie van hybride metaal-composietcomponenten via de elektromagnetische pulstechnologie: verbindingen worden sneller en efficiënter gerealiseerd met als gevolg een minder kostbaar productieproces en een betere garantie van de laskwaliteit.
- Het vergroten van de milieuvriendelijkheid dankzij de toepassing van elektromagnetische pulstechnologie.

**Elektromagnetische pulstechnologie**

De elektromagnetische pulstechnologie is een zeer innovatieve geautomatiseerde productietechniek die gebruik maakt van elektromagnetische krachten om werkstukken te vervormen en te lassen. Het principe van deze techniek is weergegeven in afbeelding 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 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 magnetische velden, die elkaar tegenwerken. 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. Er zijn 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 elektrisch geleidend materiaal, is dit proces geschikt voor het verbinden van gelijksoortige of ongelijksoortige materialen. Niet alleen verbindingen tussen twee verschillende metalen, maar ook verbindingen tussen metallische en niet-metallische materialen zijn mogelijk.

Afbeelding 3 toont de verbindingen tussen aluminium en staal en tussen koper en staal.

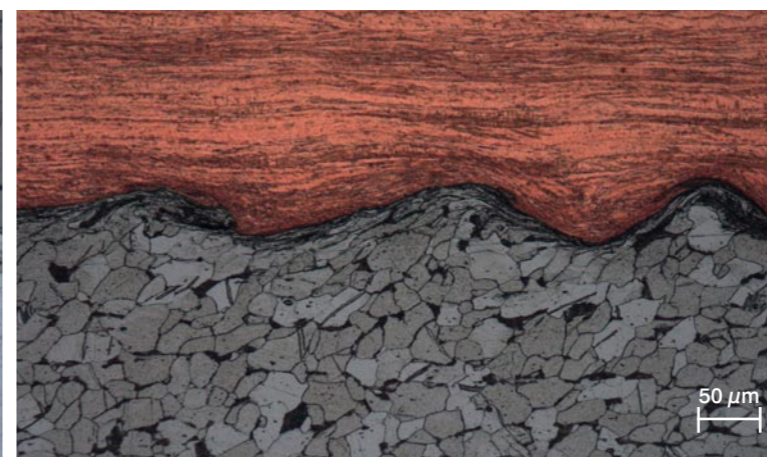


Ab. 2 Principe van de elektromagnetische pulstechnologie

In het MetalMorphosis project wordt gebruik gemaakt van twee varianten van de elektromagnetische pulstechnologie, namelijk het elektromagnetisch pulskrimpen en het elektromagnetisch pulslassen.



Ab. 3 Lasinterface van een aluminium – staal las (links) en koperstaal las (rechts) via elektromagnetische pulstechnologie

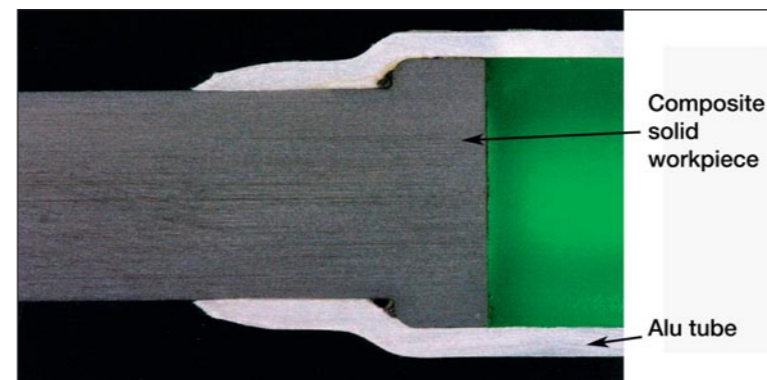


De elektromagnetische pulstechnologie maakt het mogelijk om snelle en kosten-efficiënte verbindingen te maken tussen ongelijksoortige materialen. De technologie biedt een aantal specifieke voordelen:

- In vergelijking met conventionele lasprocessen is het elektromagnetisch pulsp proces een ‘koud’ proces. Het werkstuk warmt op door wervelstromen en plastische vervorming, maar de temperatuur blijft beperkt tot 50 °C. Er ontstaat geen warmte-beïnvloede zone en er treedt geen thermisch geïnduceerde degradatie op. Het materiaal behoudt dus zijn eigenschappen.
- Het proces kent een hoge reproduceerbaarheid wegens de nauwkeurige aanpassing van de aangelegde krachten.
- De productiesnelheid is hoog.
- Het is een ecologisch lasproces, aangezien er geen hitte, gas, of lasrook vrijkomt.

**Twee varianten**

In het MetalMorphosis project wordt gebruik gemaakt van twee varianten van de elektromagnetische pulstechnologie, namelijk het elektromagnetisch pulskrimpen en het elektromagnetisch pulslassen.



Afb. 4 Elektromagnetische krimpvverbinding op basis van vorm, tussen een composietstaaf en een aluminium buis

Verbindingen gerealiseerd via elektromagnetisch pulskrimpen worden onderverdeeld in twee categorieën op basis van het overheersende verbindingmechanisme: interferentie of vorm.

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

Verbindingen op basis van vorm komen tot stand door het vervormen van het ene werkstuk in een uitsparing (zoals een groef) van het andere werkstuk. Op deze manier is de verbinding bestand tegen externe krachten (mechanische interlock, afb. 4).

**Elektromagnetisch pulslassen**

Naast het elektromagnetisch pulskrimpen wordt elektromagnetisch pulslassen gebruikt voor het verbinden van een ingebed metaal in een composiet werkstuk aan een ander metalen werkstuk. Tijdens dit proces botsen beide werkstukken met elkaar met hoge snelheid en onder een bepaalde hoek, waardoor een intense plastische vervorming en een lokale verhitting optreedt. Doordat dit proces van zeer korte duur is, wordt er geen warmte-beïnvloede zone gevormd en behouden de werkstukken hun eigenschappen.



Afb. 5 Elektromagnetische pulslas van aluminium aan staal in een drijf-as voor de automobiellindustrie (PST products GmbH, Duitsland)