

Samenvatting project: Mechanisch verbinden van lichtgewicht materialen (Mech Join MLD)

Project: Mechanical Joining of materials with limited ductility (Mech Join MLD)

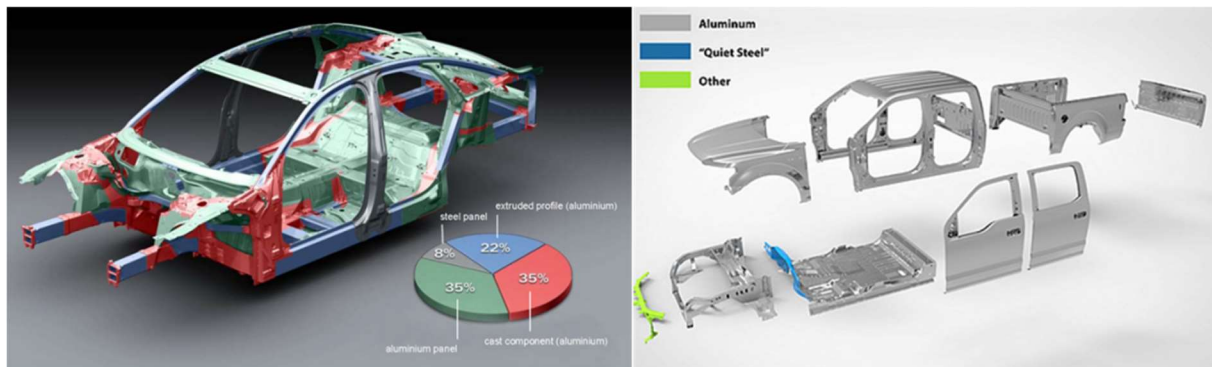
Programma: VIS/CO: Collectief onderzoek van Vlaamse Innovatiesamenwerkingsverbanden

Startdatum: 01/01/2015

Einddatum: 31/12/2017

1 Introductie

Geavanceerde lichtgewichtmaterialen, zoals hoog sterkte aluminium- en magnesiumlegeringen, worden gebruikt in een steeds groter wordende waaier van toepassingen in de transportsector, machine- en apparatenbouw en in metaalproducten.



Figuur 1: Visuele voorstelling van de materiaal soorten aanwezig in het frame van een Audi A8 (links, bron: Audi AG) en Ford F-150 (rechts, bron: Ford Corp.).

In tegenstelling tot staal is het thermisch lassen van deze materialen problematisch, aangezien zowel de statische als de vermoeiings-weerstand van de verbindingen alsook van het basismateriaal aangetast worden. Er is aldus een behoefte aan meer geschikte verbindingstechnieken met een lage warmte-inbreng om deze materialen op een kwalitatieve manier te verbinden.

De focus in dit onderzoek ligt op de toepassing van twee van de meest belangrijke mechanische en dus "koude" verbindingstechnieken (clinch en zelf-ponsend rivetteren) voor deze hoog sterkte lichtgewicht materialen. Het belangrijkste probleem in dit verband is dat deze materialen een beperkte ductiliteit bezitten, terwijl deze processen plaatselijk zeer grote plastische rekken veroorzaken. Derhalve gaat het verbinden van deze materialen gewoonlijk gepaard met scheuren die geïntroduceerd worden tijdens het verbindingsproces.

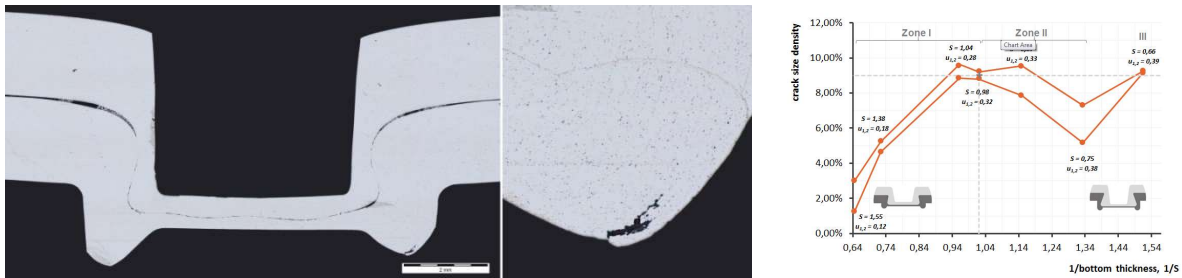
De wetenschappelijke doelstelling van dit project is om tot een beter begrip te komen van proces-geïnduceerde scheuren tijdens het verbinden. Het scheurgedrag van lichtgewicht materialen zoals aluminium en magnesium tijdens het clinchen of rivetteren, zal zowel numeriek als experimenteel onderzocht worden.

De technische doelstelling van dit project is het opstellen van richtlijnen hoe scheuren kunnen vermeden worden of welke scheuren (grootte, aantal, oriëntatie, ...) aanvaardbaar zijn met betrekking tot de gewenste verbindingseigenschappen.

2 Proces-geïnduceerde defecten tijdens clinchen

Allereerst werd onderzocht waar en wanneer scheuren ontstaan en hoe deze zich verder ontwikkelen tijdens het clinchen. Het onderzoek beperkte zich tot de studie van zogenaamde bodemscheurtjes die optreden langs de matrijskant. Na metallografisch onderzoek, zoals

weergegeven in Figuur 2, konden enkel scheuren worden gevonden in de bodem van een clinch verbinding, interne scheuren werden niet vast gesteld.



Figuur 2: Metallografische doorsnede van een clinch verbinding (links) en grafische voorstelling van de scheurontwikkeling tijdens het clinchen (rechts).

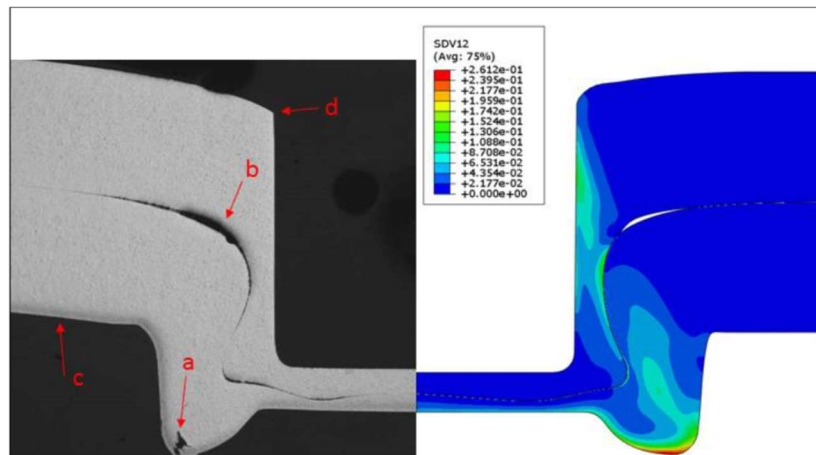
Hoe deze scheuren zich ontwikkelen is weergegeven in Figuur 2 (rechts). Tijdens het clinchproces zullen op een bepaald punt scheuren ontstaan t.g.v. de hoge plastische vervorming, naarmate het verbindingsproces zich verder zet en de interlock tussen beide platen groter wordt, zullen de ontstane scheuren groter worden. Op een bepaald punt, weergegeven in de grafische voorstelling, zal de scheurmond dicht gaan en daalt de totale scheurdensiteit.

Indien het clinchproces gestopt wordt in zone I, kan deze clinch verbinding gekarakteriseerd worden door een kleine interlock (0,12mm) en zullen er in de bodem van de clinch ondiepe, brede scheuren aanwezig zijn. Wanneer gestopt wordt in zone II en dus een interlock wordt bekomen groter dan 0,30mm, zullen er in de bodem van de clinch vooral diepe, smalle scheuren aanwezig zijn.

3 Simulatie van proces-geïnduceerde scheuren

Vanuit industrieel oogpunt is conventioneel rond clinchen de meest interessante clinch techniek. Het proces perforereert de platen niet waardoor er geen scherpe kanten ontstaan die de vermoeiingslevensduur van de verbinding negatief beïnvloeden. In vele gevallen laat de techniek zelfs toe om een oppervlakte coating in stand te houden en dus kan een goede corrosiebestendigheid gegarandeerd worden. Het clinchen van hoge sterkte metalen gaat echter vaak gepaard met het optreden van scheurtjes door de beperkte ductiliteit van de basis materialen. De meest voor de hand liggende oplossing is om de ductiliteit te verhogen door het proces uit te voeren op hogere temperaturen. Een alternatief is lokale warmtebehandeling te voorzien alvorens te clinchen. Deze oplossingen werken maar gaan gepaard met hogere kosten door een complexer productieproces. Koud clinchen geniet dus de voorkeur van de industrie. Om scheuren tijdens koud clinchen te vermijden worden de conventionele clinch tools aangepast. Zo kan bijvoorbeeld een scheur in de nek van de verbinding vermeden worden door de matrijsdiepte te reduceren. Bodemscheuren worden doorgaans vermeden door matrijs aan te passen zodat de hydrostatische druk toeneemt op de kritische plaatsen. Beide aanpassingen hebben echter een effect op de mechanische sterkte van de verbinding en het is dus van belang om doordachte aanpassingen te maken aan de tools. Dit adaptief ontwerp van de clinch tools kan met behulp van trial-and-error gebeuren, maar het is duidelijk dat dit tijdrovend en duur is terwijl een optimale oplossing niet kan gegarandeerd worden. Daarom werd in deze studie de mogelijkheid onderzocht om het adaptief ontwerp te ondersteunen met het gebruik van eindige elementen. Dergelijke aanpak heeft enkel een meerwaarde wanneer het FE model in staat is om de locatie en de initiatie van de scheur te voorspellen. Verschillende ductiele schade modellen werden onderzocht en gekalibreerd. Onderstaande figuur toont dat het FE model in staat is om geometrie van de verbinding accuraat te voorspellen. De selectie en kalibratie van het ductiel schade model is echter geen sinecure en er werd aangetoond dat dit momenteel een inverse methodiek vereist.

Onderstaande figuur toont dat de huidige modellen de locatie (a) van de bodemscheur goed voorspelt. Het simuleren van de scheurpropagatie is echter nog steeds problematisch in de meeste gevallen. Het huidige werk kan echter wel ingezet worden om adaptief ontwerp van clinch tools te ondersteunen.



4 Invloed van proces-geïnduceerde scheuren op het mechanisch gedrag.

De meest prangende industriële onderzoeksvraag is of proces-geïnduceerde bodemscheurtjes in clinchverbindingen een negatief effect hebben op de structurele integriteit van de verbinding. Statische testen (lap shear en pull-out) toonden aan dat bodemscheurtjes niet geactiveerd werden en dus de statische sterkte niet beïnvloedden. Verschillende cyclische testen werden uitgevoerd om de invloed te bepalen van aanwezig scheurtjes op de vermoeiingslevensduur van de onderzochte geriveteerde- of geclinchte proefstukken. Na evaluatie van de verschillende wöhler curven kon worden vastgesteld dat het vermoeiingsgedrag niet beïnvloed werd door de stempel geometrie of door de aanwezigheid van bodemscheurtjes na het mechanisch koud vervormen.



Figuur 3: Verschillende clinch verbindingen na een vermoeiingsproef, fretting zone is duidelijk zichtbaar op alle proefstukken.

Na analyse van het breukvlak onder de elektronen microscoop kon geen initiatiepunt worden vastgesteld vanuit een aanwezig scheur. De vermoeiingsscheur werd echter geïnitieerd doordat net rond de clinch verbinding de verbonden platen over elkaar wrijven (*fretting zone*) met een relatief kleine beweging. De scheur scheurt uiteindelijk verder naar de buitenkant van

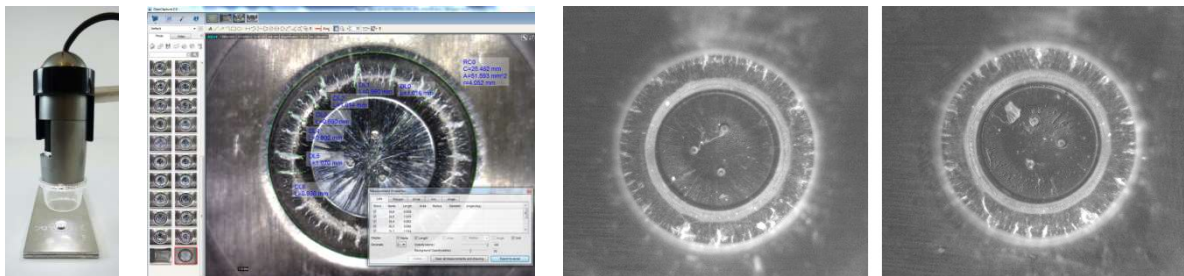
het proefstuk toe en faalt nadat het resterende materiaal onvoldoende is om de vermoeiingskracht te weerstaan.

5 Kwaliteitscontrole mechanische verbinding

Om de kwaliteit en betrouwbaarheid van een mechanisch verbonden product te controleren en om het productieproces onder controle te houden kan een niet destructieve beproevingsmethode worden toegepast. Tijdens het verloop van het project werden verschillende NDO-technieken onderzocht en beoordeeld naar toepasbaarheid voor de kwaliteitscontrole van een clinch en/of rivet verbinding.

Indien enkel gewenst is om de aanwezigheid van scheuren te valideren is visueel onderzoek een geschikte techniek. In combinatie met penetrant onderzoek is het mogelijk om ook haarfijne scheuren zichtbaar te maken die met het blote oog niet direct waargenomen kunnen worden.

Visuele controle d.m.v. een vision systeem en inductie thermografie bleken twee zeer goede snelle, technieken waarbij bottom cracks kunnen worden opgespoord en gemeten. In Figuur 4 worden de resultaten van deze twee technieken voorgesteld. Bijkomend voordeel van deze technieken is dat ze gemakkelijk geautomatiseerd kunnen worden voor producten met een hoge oplage.



Figuur 4: Visuele controle d.m.v. een vision systeem (links) en inductie thermografie (rechts).

Voor een optimale proces controle wordt aangeraden om, in combinatie met een vision systeem of inductie thermografie, gebruik te maken van actieve thermografie, deze techniek maakt het bv. mogelijk om ook uitlijning en mogelijke interne fouten te detecteren

Zowel conventionele radiografie als computed radiografie bleken niet geschikt voor het detecteren van scheuren en word dus ook niet aangeraden om toe te passen. Met computer tomografie is het wel mogelijk om zowel interne als oppervlakkige scheuren te identificeren en te kwantificeren. Echter is de investeringskost van zulk systeem hoog en is de toepasbaarheid beperkt.