

Onderzoek treksterkte Chassis Inserts

N.M. van den Bos (1218123), F.T. Brussaard (1220268),

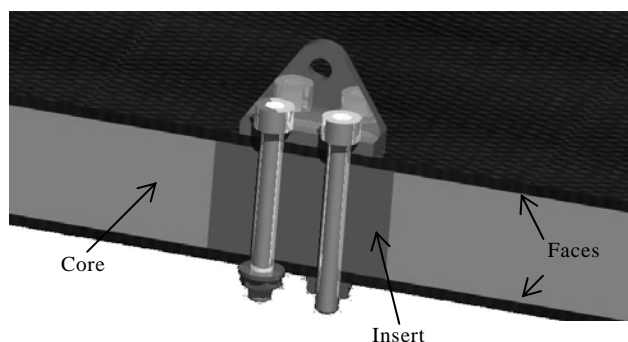
G. Uitslag (1230670) en W.N. Vlaar (1219138)

Samenvatting

In de Formula Student (FS) racewagen is de wielophanging aan de monocoque bevestigd met behulp van houten inserts in een sandwichconstructie. Er is onderzocht hoe de treksterkte loodrecht op het sandwichpaneel afhangt van de oppervlakte van een dergelijke insert. Er is eerst met behulp van bestaande literatuur een MATLAB model opgesteld om een inzicht te krijgen in het onderwerp en om de hypothese te formuleren. Vervolgens zijn er experimenten uitgevoerd om deze hypothesen te verifiëren. De uitkomsten van het onderzoek zijn dat de straal en de maximale belasting loodrecht op een insert niet lineair van elkaar afhangen. Verder kan er nu vastgesteld worden op welke manier een sandwichconstructie faalt, en bij welke uitrekking of kracht dit plaats vindt. Dit eerste onderzoek naar chassis inserts nodigt uit tot verder onderzoek naar onder andere de face materialen en de gebruikte hars.

1. Inleiding

De bevestiging van de wielophanging aan de monocoque (romp) is onderhevig aan grote krachten (>6kN volgens FS). Deze krachten worden overgedragen aan de monocoque via een boutverbinding. De monocoque bestaat uit 2 huiden opgebouwd uit koolstofvezel met daartussen een schuimlaag om de buigstijfheid te verhogen. Bij het vastzetten van de bouten blijkt de schuimlaag te vervormen waardoor er speling op de boutverbinding ontstaat en het materiaal scheurt. Bij de racewagen van het Team FS wordt er sinds dit jaar gebruik gemaakt van houten inserts in de monocoque van de auto om het vervormen van het schuim tegen te gaan en de krachten beter in het materiaal te geleiden (zie fig. 1).



Figuur 1: Ontwerp Formula Student

Omdat er bij FS op dit moment nog geen informatie bekend is over de benodigde grootte van deze inserts, zouden zij onderzoek gedaan willen hebben om de kritieke dimensies van de inserts onder gegeven belastingen te kunnen bepalen. Op dit moment kiest FS de grote van de insert met behulp van de vuistregel: de grootte van de insert is vier maal de gatdiameter. FS heeft tot nu toe gunstige resultaten bij het gebruik van deze inserts.

De vraag is of er met een analytisch model en door middel van testen een nauwkeurige en betrouwbare bepaling kan worden gegeven van de grootte van de insert bij een gegeven belasting.

2. Methode

Om te bepalen wat de belangrijkste variabele is bij het ontwerpen van een insert die een bepaalde kracht loodrecht op het sandwichpaneel kan doorstaan is er literatuurstudie gedaan^(1 t/m 5). Aan de hand van die informatie is er een formule samengesteld voor ronde inserts die de basis vormt van het model:

$$Q_{\max} = 2\pi r (h_{\text{schuim}} \hat{\tau}_{\text{schuim}} + 2h_{\text{carbon}} \hat{\tau}_{\text{carbon}}) \quad (1)$$

Uit dit model komt naar voren dat de oppervlakte van de insert de meest relevante factor is, andere belangrijke factoren waren de dikte en de afschuifsterkte van de face.

Daarnaast bleek dat er bij eerdere soortgelijke onderzoeken⁽⁵⁾ het kernmateriaal vaak de zwakste schakel in het geheel was. Met behulp van deze gegevens zijn de onderzoeksvraag en hypothese vastgesteld:

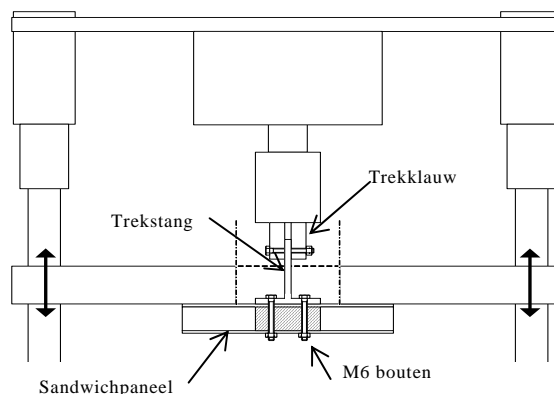
Onderzoeksvraag

- Wat is de relatie tussen de straal van een ronde insert en de maximale statische belasting, loodrecht op het oppervlak?
- Op welke manier faalt een sandwich paneel?

Hypothese

- Wanneer de straal van de insert x maal groter wordt, wordt de maximale belasting ook x maal groter.
- Als eerste vindt er afschuiving van de schuimkern plaats, waarna direct de beide faces ook afschuiven.

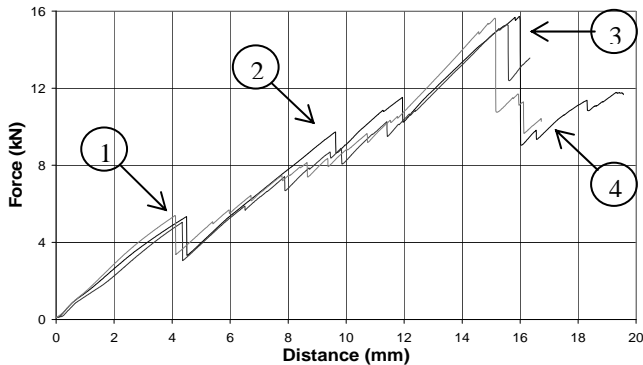
Voor de proeven zijn er sandwichpanelen gemaakt met drie verschillende insert diameters: 30, 45 en 60 mm. Verder is er gebruik gemaakt van KLEGECELL[®] R60 Structural Foam⁽⁶⁾ als kernmateriaal met een afmeting van 240x240x25 mm. Voor de face zijn er twee lagen koolstofvezel gebruikt: aan de buitenzijde van de face een mat met 0/90° geweven Tenax vezels van Ten Cate⁽⁷⁾, en aan de binnenzijde ±45° geweven vezels⁽⁷⁾. Per proefstuk is er 0,4 kg Daron XP 45 Hybrid hars⁽⁸⁾ gebruikt, dit zorgt voor de hechting tussen de vezels en tussen de verschillende delen, tevens zorgt dit voor de stevigheid in de constructie. Dit is dezelfde constructie die op dit moment in de FS auto gebruikt wordt, met uitzondering van de carbon matten; in de FS auto worden vijf lagen gebruikt, terwijl er bij de testen slechts twee lagen worden gebruikt, dit om zo de resultaten binnen het meetbare gebied te houden. De sandwichpanelen worden met de hand gemaakt, hierdoor zou er een grote spreiding kunnen ontstaan in de resultaten, daarom zijn de testpanelen in series van drie stuks getest (in totaal dus 3 x 3 = 9 teststukken). Op het sandwichpaneel wordt een trekstang bevestigd die ingeklemd wordt in de klauw van de trekbank⁽⁹⁾. Vervolgens wordt het sandwichpaneel 2 mm per minuut naar beneden bewogen. De trekbank (fig. 2) registreert vervolgens de gemeten kracht en de uitrekking van het sandwichpaneel.



Figuur 2: Schematische weergave testopstelling

3. Resultaten

Er is gekeken naar de maximale kracht die de sandwichpanelen in het extreme geval kunnen houden, d.w.z. het punt waar de hoogste trekkracht wordt bereikt in de kracht/uitrekkingscurve. Uit de resultaten blijkt dat voordat deze maximale kracht wordt bereikt, er verschillende faalmodes plaatsvinden. Echter hebben deze faalmodes geen verdere invloed op de stijfheid van de totale constructie, in de grafiek (fig. 3) is enkel een krachtterugval te zien waarna de grafiek met nagenoeg dezelfde helling verder stijgt.



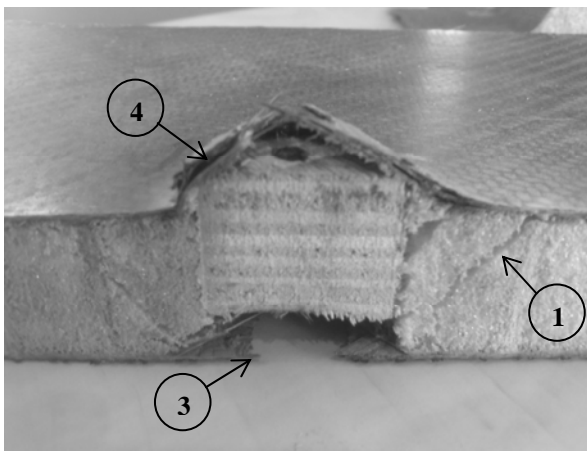
Figuur 3: Kracht/uitrekkingscurve van drie testen met testpaneel 30mm met bijbehorende faalmodes 1, 2, 3 en 4.

De verschillende faalmodes zijn als volgt te beschrijven:

1. Er klinkt een harde 'knal', verder is met het oog niets waar te nemen. We nemen aan dat hier afschuiving van de schuimkern plaatsvindt.
2. Op dit gedeelte zijn zachte tikjes te horen. Dit is te verklaren door het afbreken van vezels uit de koolstof matten waar de face uit bestaat.
3. Falen van de onderste face: de ringen en moeren komen door de laag (Maximale kracht vindt vlak voor deze faalmode plaats)
4. De insert wordt door de bovenste face getrokken, óf de bovenste face delamineert, dit laatste gebeurt echter pas als de insert groot genoeg is (60 mm).

De vierde faalmode is niet waar te nemen in de grafiek, vanwege de grote krachtsterugval die hiermee gepaard gaat. Deze faalmode is kenmerkend door een krachtsterugval van meer dan 50% waardoor het experiment automatisch stopgezet wordt.

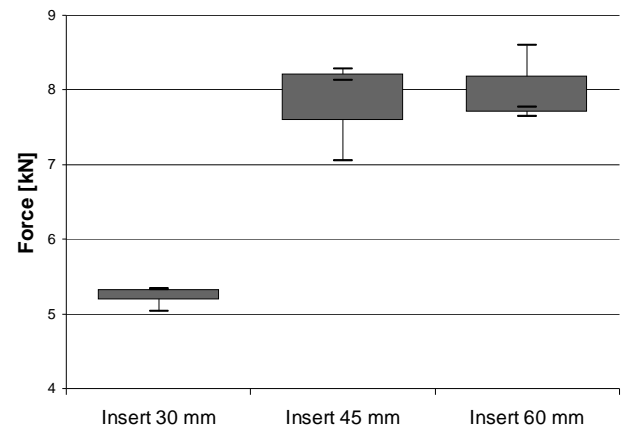
In figuur 4 zijn deze faalmodes (behalve faalmode 2) in de test stukken terug te zien:



Figuur 4: Dwarsdoorsnede testpaneel 30mm na trekproef met bijbehorende faalmodes 1, 3 en 4

Uit de boxplot (fig.5) blijkt de spreiding van de krachten bij de eerste faalmode gering te zijn; de afwijking van de mediaan is maximaal 13% (bij insert 45mm). Dit is gering te noemen vanwege de vele variabelen die een rol spelen bij de

productie van de sandwichpanelen, zoals harsmenging, harsdoorstroming, vezelrichting, enz.



Figuur 5: Boxplot bezwijkkracht 1° faalmode

4. Discussie en conclusies

Aan de hand van de resultaten kan er geconcludeerd worden dat het gehanteerde model, waar de hypothese op gebaseerd is, niet voldoet. Hoewel voor de eerste faalmode bij een vergroting van de straal met een factor 1,5, ook de kracht een factor 1,5 toeneemt (zie fig. 5), geldt dit niet voor de insert met een diameter van 60 mm. De oorzaak hiervan is dat er in het model geen rekening gehouden wordt met faalmodes die onafhankelijk van elkaar plaatsvinden. Het eerste gedeelte van de hypothese is dus gefalsificeerd m.b.v. de resultaten van het experiment.

Het tweede deel van de hypothese, de manier van falen van de sandwichconstructies, is ook gefalsificeerd. De eerste faalmode is zoals voorspeld inderdaad afschuiving van de schuimkern. Echter de faalmodes volgen elkaar niet direct op, zoals verondersteld: bij een uitrekking van ongeveer 5 mm faalt de schuimkern, en pas bij ongeveer 16 mm faalt de onderste face pas.

Voor FS is het belangrijk om te bepalen wat de eisen aan de verbinding tussen de monocoque en de wielophanging zijn. Is voor hen de eerste faalmode van belang, of wordt er naar de maximale kracht gekeken.

5. Aanbevelingen

Door onvoorziene omstandigheden, is het onmogelijk geweest om verder onderzoek te doen naar de eerste faalmode, onderzoek naar welke factoren deze faalmode kunnen uitstellen zodat een grotere kracht bereikt kan worden, kan zeer nuttig zijn. Daarnaast is het, om een completer overzicht te verkrijgen over het onderwerp, verstandig om onderzoek te doen naar de samenstelling en de dikte van de faces en de gebruikte hars.

Om de derde faalmode verder uit te stellen is het beter om onder de insert i.p.v. twee losse ringen, één grote ring te gebruiken. Hierdoor worden de krachten beter over de onderlaag verdeeld en zal de onderste face waarschijnlijk langer heel blijven.

Referenties

- 1 Zenkert, D., The handbook of sandwich construction, EMAS publishing
- 2 Altenbach H., Modern trends in composite laminates mechanics, Springer Wien New York
- 3 Powell, P.C., Engineering with fibre-polymer laminates, Chapman & Hall
- 4 Nijhof, A.H.J., Vezelversterkte kunststoffen, TU Delft
- 5 O.T. Thomsen et al., Structurally graded core junctions in sandwich elements, Aalborg University.
- 6 DIAB products KLEGECELL® R
http://www.diabgroup.com/europe/literature/e_pdf_files/ds_pdf/R_Grade_E.pdf
- 7 Ten Cate 0/90 and ±45 X-axis woven Tenax 6K carbon fibre-epoxy
<http://www.tencate.com/>
- 8 DSM Daron XP 45 Hybrid hars
http://www.dsm.com/en_US/html/drs/daron_xp.htm
- 9 Zwick 1455 2-tons trekbank
<http://www.dcmat-is.tudelft.nl/index.php?action=instrument&id=103>