

## **Guidelines for biaxial testing of fibre reinforced composites using a cruciform specimen**

**Carla Ramault**

During the last few decades, continuous fibre composites have become an integral part of everyday life. Their excellent mechanical performance together with their low specific weight explain why these materials are popular for applications in various industries. Although these materials have many benefits over traditional materials, their use also presents some drawbacks. One of them is the prediction of the behaviour of the material in a structure, which is not straightforward due to the complex nature of the composites. The multiaxial characterization of these materials will lead to a better understanding of its mechanical behaviour and therefore the execution of biaxial experiments is of paramount importance.

A popular method to introduce a biaxial stress state in a material is through the in-plane loading of a cruciform specimen. Although an increasing amount of researchers is interested in this subject, the available biaxial data is limited. The lack of a standard test procedure, a standard specimen or a protocol to analyse the obtained data complicates the comparison of biaxial results and prevents the further development of this test method. As a reaction to this, the present thesis aims at contributing to the answer on two important questions: *how should a biaxial test be performed* and *how should biaxial results be analysed*. As a response to the first question, the instrumentation of the test bench is examined and the specimen geometry is studied severely. The influence of its production, layup and tapering angle on the biaxial results are investigated. An elaborate study on the behaviour of the specimen under biaxial loads is accomplished. Additionally, the performance of a numerically optimized cruciform geometry is experimentally validated. All of this is examined for quasi-static tests as well as for dynamic tests. For the second question, the focus lies mainly on the biaxial characterization of the composite material. An elaborate study on the strain fields and failure strains in the cruciform is performed, for which an evaluation of several measuring techniques was necessary. Also the determination of the stresses in the centre of the specimen is investigated. Additionally, the stiffness of the composite under biaxial loading is investigated by using a stress based inverse method. The elastic stiffness as well as the local stiffness in a fatigued specimen are identified.

The combination of these studies lead to the formulation of guidelines for the execution and analysis of in-plane biaxial tests on cruciform composite specimens.

## Richtlijnen voor biaxiaaltesten op composieten

### Carla Ramault

Gedurende de voorbije decennia zijn continue vezel composieten een integraal deel geworden van het dagdagelijkse leven. Hun uitstekende mechanische prestaties samen met hun laag soortelijk gewicht zorgen ervoor dat deze materialen populair zijn voor applicaties in diverse industrieën. Alhoewel deze materialen vele voordelen hebben ten opzichte van traditionele materialen, zijn er ook enkele nadelen verboden aan hun gebruik. Een van deze nadelen is het voorspellen van het gedrag van het materiaal in een structuur, wat niet makkelijk is door de complexe aard van de composieten. De multiaxiale karakterisering van deze materialen zal tot een betere inzicht leiden van hun mechanisch gedrag en daarom is het uitvoeren van biaxiale experimenten belangrijk.

Een populaire manier om een biaxiale spanningstoestand te introduceren in een materiaal is door het in het vlak belasten van een kruisvormig proefstuk. Hoewel steeds meer onderzoekers zich interesseren in dit onderwerp, is de beschikbare biaxiale data echter beperkt. Het gebrek aan een standaard testprocedure, een standaard proefstuk of een protocol voor de analyse van de verkregen data bemoeilijkt de vergelijking van biaxiale resultaten en verhindert de verdere ontwikkeling van deze testmethode. Als reactie hierop beoogt de huidige thesis een bijdrage te leveren aan het antwoord op twee belangrijke vragen : *hoe moet een biaxiale test uitgevoerd worden* en *hoe moeten de biaxiale resultaten geanalyseerd worden*. Voor de eerste vraag is de instrumentatie van de testbank bekeken en is de geometrie van het proefstuk uitgebreid bestudeerd. De invloed van de productie, layup en afschuiningshoek op de biaxiale resultaten is onderzocht. Een uitgebreide studie over het gedrag van het proefstuk onder biaxiale belasting is uitgevoerd. Bijkomend werd de prestatie van een numeriek geoptimaliseerde kruisvorm experimenteel gevalideerd. De studies werden uitgevoerd voor zowel quasi-statische als dynamische testen. Voor het antwoord op de tweede vraag ligt de nadruk eerder op de biaxiale karakterisering van het composietmateriaal. Een uitgebreide studie over de rekvelden en de faalrekken in de kruisvorm is uitgevoerd, waarvoor een evaluatie van verschillende meettechnieken noodzakelijk was. Ook de bepaling van de spanningen in het centrum van het proefstuk is onderzocht. Bijkomend is de stijfheid van het materiaal onder biaxiale belasting bestudeerd, gebruik makend van een inverse methode. Zowel de elastische stijfheid als de lokale stijfheid in dynamisch belaste proefstukken werden onderzocht.

De combinatie van deze studies leidden tot de formulering van richtlijnen voor het uitvoeren van biaxiaaltesten op kruisvormige proefstukken en de analyse van de bekomen resultaten.