

# Taking the stress out of composites testing

Helmut Fahrenholz - Zwick/Roell



H. Fahrenholz

Long fiber composite materials are increasingly being selected for use in a number of industry applications, including aerospace, automotive and wind turbines, where they offer unique advantages including high tensile strength and light weight.

The increased use of composites as a material system of choice for design and structural engineers has driven the requirement for more efficient methodologies related to the speed and ease with which these materials may be evaluated. The fiber orientation of makes measuring their properties disproportionately more complex than for other materials such as metals or plastics.

The process of testing composite materials is also complicated by the broad array of standards and test procedures in use. There are presently more than 150 standards – some more than 30 years old -- which describe the

physical testing of fiber-reinforced composites.

In addition to the international and national series of standards from ASTM, ISO, EN and DIN, there are aerospace industry standards, developed by Airbus, Boeing and NASA, plus standards from associations that no longer exist such as Suppliers of Advanced Composite Materials Association (SACMA).

Despite continuous development of these standards, complex test fixtures and expensive, time-consuming strain measurement methods are still the norm in many testing laboratories.

As the adoption of composites over other materials continues, the volume of testing scales



## Semplificare i test dei compositi

Helmut Fahrenholz - Zwick/Roell

*I materiali compositi a fibra lunga sono sempre più utilizzati per una serie di applicazioni industriali, inclusi il settore aerospaziale, automotive e quello delle turbine eoliche dove offrono vantaggi unici, compresi la resistenza alla trazione e il basso peso.*

*L'uso crescente dei compositi come materiali preferiti da progettisti e ingegneri strutturali, ha richiesto l'uso di metodologie più efficaci caratterizzate dalla velocità e dalla facilità con cui questi materiali possono essere valutati. L'orientamento della fibra rende la misura delle loro proprietà molto più complessa che per altri materiali come i metalli o le materie plastiche.*

*La procedura di analisi dei materiali compositi*

*è anche resa più complessa dalla vasta serie di standard e di procedure di test in uso. Attualmente esistono più di 150 standard, alcuni dei quali risalenti a 30 anni fa, che descrivono l'analisi fisica dei compositi fibrorinforzati.*

*Oltre alle serie internazionali e nazionali delle normative ASTM, ISO, EN e DIN, esistono gli standard dell'industria aerospaziale, messi a punto da Airbus, Boeing e NASA oltre alle norme provenienti da associazioni che non esistono più come la Suppliers of Advanced Composite Materials Association (SACMA).*

*Nonostante il continuo sviluppo degli standard, le attrezzature per test complessi e i metodi di test per la misura della deformazione, costosi e molto laboriosi rappresentano ancora la*

*norma generale per molti laboratori dedicati all'esecuzione dei test.*

*Con l'utilizzo sempre più diffuso dei compositi rispetto ad altri materiali, la quantità di test aumenta progressivamente creando così la necessità di una superiore efficacia dei test senza dover sacrificare l'accuratezza delle misure. Alla luce di ciò, la razionalizzazione della preparazione dei campioni e le metodologie dei test possono contribuire a semplificare i test sui compositi. Le soluzioni di automazione specializzate possono anch'esse contribuire ad eliminare le preoccupazioni dovute ai test dei compositi.*

*I test solitamente utilizzati per valutare la resistenza a trazione, alle forze di taglio e*

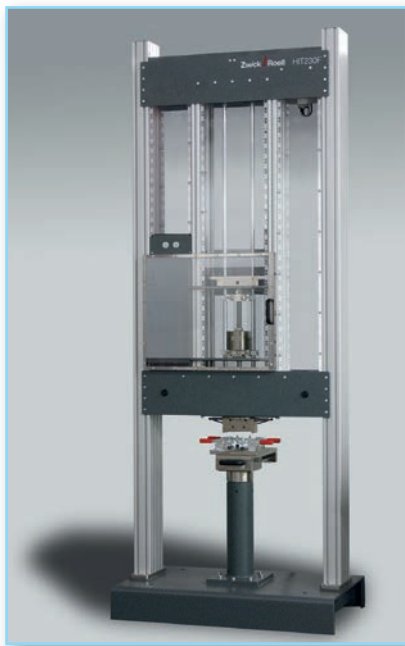


Fig. 2 HIT 230 F  
instrumented drop-weight tester is used to predamage specimens for the compression-after-impact (CAI) test  
*La torre di caduta HIT 230 F è utilizzata per l'urto su campioni destinati a test di compressione dopo l'impatto (CAI)*

dramatically, creating the need for efficiency in testing without sacrificing accuracy in measurement. In light of this, a rationalization of specimen preparation and testing methodologies can help simplify the testing of composites. Specialist automation solutions can also help take the stress out of composite testing.

Tests commonly used to evaluate tensile strength, shear strength and fatigue properties of metals are not as straightforward in the world of advanced composites. For example, the characteristics described by the tensile test differ greatly according to fiber direction and structure.

Compressive and flexural properties cannot be predicted on the basis of tensile properties and must therefore be tested independently. For shear properties several test methods have evolved to enable properties in different shear directions to be characterized.

*le proprietà di resistenza a fatica dei metalli non sono così ben definiti nel mondo dei materiali compositi avanzati.*

*Ad esempio, le caratteristiche descritte dal test della resistenza a trazione differiscono molto in base alla direzione e alla struttura della fibra. Le proprietà di flessione e di compressione non possono essere previste in base alle proprietà di trazione e devono quindi essere analizzate indipendentemente. Per quanto riguarda le proprietà di resistenza alle forze di taglio sono stati messi a punto diversi metodi di test per permettere di caratterizzare le proprietà in varie direzioni di taglio.*

*I test di resistenza a fatica, essenziali per le applicazioni strutturali in campo aerospaziale e lo sviluppo delle pale delle turbine eoliche devono anche considerare una vasta gamma di temperature e di umidità.*

*Oltre ai test tradizionali a compressione e flessione, ne esistono altri specifici per i compositi. Nell'ambito dell'industria aerospaziale, il CAI, test della compressione dopo l'urto (Compression After Impact) viene utilizzato per compiere indagini sulla tolleranza al danneggiamento del materiale composito indotto dall'urto in volo con un uccello o con altro corpo estraneo.*

*Il CAI richiede che le piastre vengano danneggiate da un urto con un'energia prefissata. L'attrezzatura idonea per compiere*

Fatigue tests essential to aerospace structural applications and the development of wind turbine blades must also take into consideration a wide range of temperatures and varying levels of humidity.

In addition to the classical tensile, compression and flexure tests, there are several tests that are specific to composites. In the aerospace industry, compression after impact (CAI) testing is used to investigate a composite material's tolerance of damage induced by a bird strike or contact with other foreign objects in flight.

The CAI test requires platens to be damaged by impact at a pre-determined energy. Suitable

test equipment for this is a drop-weight tester generating adjustable energies between 10 J and 100 J at a drop height greater than 0.5m (Fig. 2).

The precision of the drop-weight tester allows more exact monitoring of the damage process. Recording the impact process with a high-speed camera may also be worthwhile. The pre-damaged platens are then loaded to failure using a static testing machine and a standardized fixture (Fig. 3).

The damage is measured by the reduction in compression strength against that of an undamaged test platen.

High tensile strengths and sensitive flexural behavior are typical properties of a carbon fiber composite with a unidirectional layup. Two essential requirements for tensile tests are specimen loading over a large area, achieved by the use of load transmission elements in the form of bonded tabs, and a tensile load aligned exactly axially.

Specimen grips operating on a wedge or wedge-screw principle are normally used. The exact alignment can in simple cases be checked by using a specimen with three strain gauges applied and comparing the specimen strain measured. More advanced testing requires special aids to detect angular and axial errors in any direction. The variety of tests involved in evaluating the material properties of composites requires frequent equipment changes. Test systems that contain two test areas speed throughput by reducing changeover time in between testing routines.

An upper area accommodates tests such as in-plane shear (IPS) and open-hole tensile tests without requiring equipment changes.

Additional fixtures for three and four-point flexure tests, interlaminary shear strength (ILS) or the losipescu V-notch shear test can be conveniently attached via slide-in inserts used in the tensile grips in place of jaws. These inserts enable rapid equipment changes and have the added advantage of maintaining the pre-set axial alignment of the specimen grips (Fig. 5).

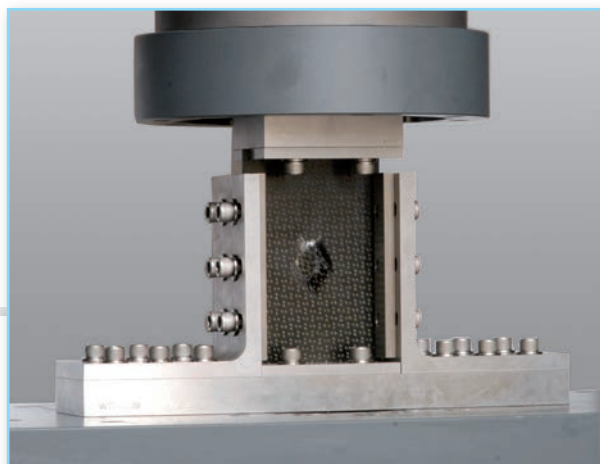


Fig. 3 Predamaged specimen is compression-loaded until failure; standards distinguish between guided and gripped retention in the fixture

*Il provino pre-danneggiato è sottoposto a compressione fino alla rottura; gli standard distinguono tra sistemi di tenuta del provino guidati o ammortati*

questo test è la torre di caduta che genera un quantitativo di energia variabile dai 10 ai 100 joules con una altezza di caduta superiore a 0,5 m (Fig. 2). La precisione del test di caduta consente di monitorare in modo molto preciso il processo di danneggiamento. Anche la registrazione dell'urto con una camera ad alta velocità può essere una procedura utile. I campioni pre-danneggiati vengono poi caricati fino a raggiungere lo stato di degradazione con l'aiuto della macchina da test statica e un sistema strumentale standard (Fig. 3). Il danno viene misurato con la riduzione della forza di compressione contro quella di un campione non danneggiato.

L'alta resistenza alla trazione e una risposta

sensibile alla flessione, sono proprietà tipiche di un composito a base di fibra di carbonio con layup unidirezionale. Due requisiti fondamentali dei test alla trazione sono il carico del campione su una ampia superficie, ottenuto grazie all'utilizzo di elementi di trasmissione del carico nella forma di tavole incollate e il carico a trazione allineato in modo perfettamente assiale.

Normalmente, sono utilizzati morsetti a cuneo costituiti da un corpo solido con ganasce intercambiabili o ganasce fisse. L'allineamento esatto può in alcuni casi essere controllato utilizzando un campione con tre misuratori della deformazione applicati e confrontando la deformazione del campione. Test più avanzati richiedono attrezzature speciali per trovare gli errori angolari e assiali nelle varie direzioni.

La varietà dei test eseguiti per valutare le proprietà del materiale dei compositi richiede di cambiare frequentemente le attrezzature. I sistemi di analisi che prevedono due velocità di analisi riducono le durate fra i cicli di test. Un'area in posizione elevata esegue test come

quello delle forze di taglio in piano (IPS) e i test della trazione a foro aperto senza richiedere variazioni delle attrezzature.

Ulteriori sistemi destinati ai test di flessione a quattro punti, di taglio interlaminare (ILS) o il test delle forze di taglio losipescu con intagli a V possono facilmente venire aggiunti mediante inserti a scorrimento utilizzati nelle prese di trazione al posto delle ganasce. Questi inserti consentono di cambiare velocemente le attrezzature con l'ulteriore vantaggio di mantenere l'allineamento assiale preimpostato dei sistemi di presa del campione (Fig. 5).

Il test della compressione permette di misurare le proprietà di tutto il composito oltre alla tenacità della fibra. La sfida consiste nell'indurre la deformazione da compressione fino a raggiungere la degradazione del materiale, se possibile senza schiacciamento; ciò significa evitare piegature in un campione piano e planare. Sono stati messi a punto vari metodi a tale scopo, fra cui il carico finale e il carico da taglio.

Il primo è stato messo a punto dal test della compressione sulla plastica in base ad ASTM D 695. Durante il processo di compressione il campione è posto fra due lastre di supporto





Fig. 4 Zwick has an extremely efficient modular solution which covers 21 different types of test and some 115 standards over a wide temperature range, using a single testing machine

*Zwick dispone di una soluzione modulare che permette di coprire 21 diversi tipi di prove e 115 standard in un vasto spettro di temperature usando una sola macchina di prova*

The compression test allows the properties of the whole composite to be measured in addition to fiber strength. The challenge lies in inducing compression deformation up to failure of the material, if possible without buckling; this means avoiding bending in a flat, planar specimen. Various methods have been developed for this, including end loading and shear loading. End loading was developed from the compression test on plastics to ASTM D 695.

During the compression process the specimen is located between two support plates designed to prevent buckling. Boeing developed the method further to ensure that the guide elements were positioned at right angles to the compression surface.

To determine the compression modulus, specimen grips without bonded tabs are used to ensure exactly axial loading of the composite in the measurement range.

To measure tensile strength, specimens with bonded tabs are used to avoid premature destruction of the composite at the loading points. During a shear loading test, load is applied via

progettate per prevenire lo schiacciamento. Boeing ha sviluppato ulteriormente il metodo per garantire che gli elementi guida venissero posizionati ad angolo retto rispetto alla superficie di compressione.

Per determinare il modulo di compressione, per garantire esattamente il carico assiale dei compositi nelle serie di misura, vengono utilizzati i sistemi di presa del campione senza tavole incollate.

Per misurare la resistenza alla trazione, vengono usati campioni con tavole incollate così da evitare la distruzione prematura del composito nei punti di carico.

Durante l'esecuzione del test del carico di taglio, il carico viene applicato con morsetti di trazione che permettono di determinare il modulo di compressione e la resistenza alla compressione in un'unica sequenza del test. Il metodo richiede di monitorare la flessione, che non deve superare il valore del 5% o del 10%, in base alla norma, nel range variabile dal 10% al 90% della compressione totale.

Esistono altre criticità nel test della compressione. Le attrezzature usate nei test della compressione possono ostruire il passaggio sul campione, rendendo più difficile la misura

della deformazione. Inoltre, i cunei devono mantenersi puliti e lubrificati uniformemente per garantire una trasmissione di carico assiale sufficiente. Le complessità implicate da questi test causano frequentemente fenomeni di eccessiva flessione del campione.

Una soluzione al problema è offerta dal sistema di compressione idraulico dei compositi (HCCF), commercializzato esclusivamente da Zwick con brevetto di IMA Dresda (Fig. 6). I cunei del sistema ITRI vengono sostituiti con un apparato di morsetti a funzionamento idraulico e a chiusura parallela con ganasce piane allineate esattamente l'una con l'altra.

Grazie all'utilizzo di HCCF, l'accesso al campione bloccato rimane eccellente.

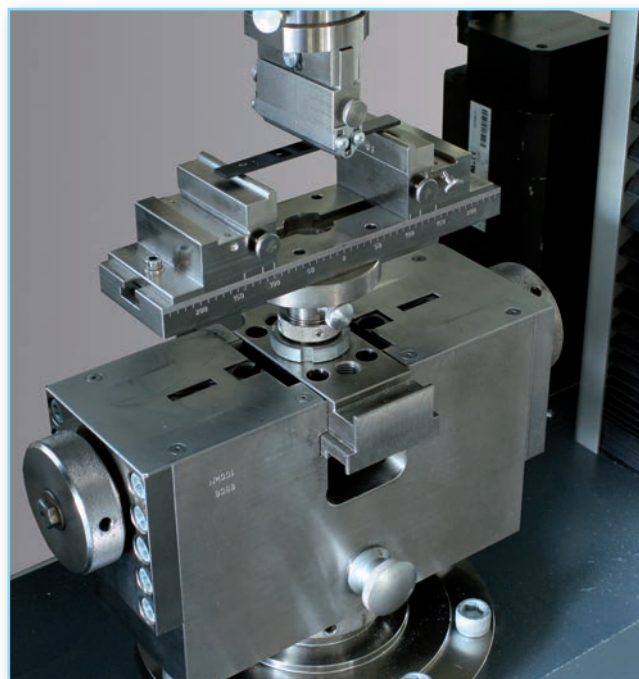
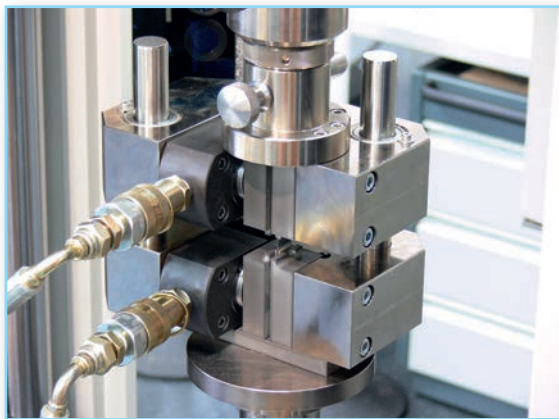


Fig. 5 Test fixtures mounted on specimen grips via T-slotted shoe connectors greatly simplifies equipment.

*Gli accessori di prova montati direttamente sugli afferraggi tramite gli slot a T semplificano notevolmente l'allestimento della macchina di prova*



**Fig. 6** Parallel-closing hydraulic composites compression fixture (HCCF) brings a high degree of rationalization to compression tests  
*Gli accessori idraulici a chiusura parallela per la compressione dei compositi apportano un alto grado di razionalizzazione alle prove di compressione*

tensioning clamps, allowing compression modulus and compressive strength to be determined in a single test sequence. The method calls for

monitoring of flexure, which must not exceed a value of 5% or 10% - depending on the standard - in the range between 10% and 90% of total compression. There are also complexities present in compression testing. Fixtures used in compression tests can obstruct access to the specimen, complicating strain measurement. In addition, the wedges must be kept quite clean and uniformly lubricated to ensure sufficient axial load transmission. The complexities involved in conducting these tests frequently lead to occurrences of excessive specimen flexure.

One solution to the problem is offered by the hydraulic composites compression fixture (HCCF), marketed exclusively by Zwick via a patent belonging to IMA Dresden (Fig. 6).

The wedges of the ITRI fixture are replaced by a parallel-closing hydraulic clamping arrangement with flat jaws aligned exactly with each

other. Using the HCCF, access to the clamped specimen remains excellent. The clamping procedure is greatly simplified and eliminates wedge movements during the test. Wedge movements have an undesirable tendency to amplify any bending moments arising. In addition the HCCF may also be used for the combined loading test method described in ASTM D 6641. While the test fixtures form the contact between specimen and test device, the software provides the link to the operator, giving access to test sequences, evaluation, data storage and logging. Pre-prepared standard test programs relieve the operator of complicated set-up operations and ensure tests can be repeated exactly. In addition to displaying curve graphics and results, Zwick's testXpert® II measurement and control software also enables typical misalignment and flexure monitoring functions.

Increased levels of testing and growing demands on test repeatability have placed the issue of full automation in the spotlight. Robotic positioning systems ensure the placement of specimens in

*La procedura di bloccaggio viene semplificata grandemente eliminando anche i movimenti del cuneo durante l'esecuzione del test. Il movimento dei cunei tende ad amplificare i momenti di flessione. Inoltre, HCCF può essere utilizzato per eseguire il test del carico combinato, descritto in ASTM D 6641.*

*Se da un lato le attrezzature del test creano il contatto fra il campione e le attrezzature dei test, il software dà la connessione all'operatore dando accesso alle sequenze di test, di valutazione, archivio dati e registrazione. I programmi di test standard preimpostati liberano l'operatore dalle complesse operazioni di impostazione garantendo l'esatta riproducibilità dei test. Oltre alla visualizzazione del grafico e dei risultati, le misure e il software testXpert® di Zwick permettono anche le funzioni di monitoraggio dei casi tipici di disallineamento e di flessione.*

*Le richieste pressanti di test e di riproducibilità dei test hanno posto il tema dell'automazione al centro dell'attenzione. I sistemi di posizionamento robotizzato garantiscono che il posizionamento dei campioni avvenga sempre nello stesso modo. Inoltre, i test di routine possono essere eseguiti al di fuori delle ore di lavoro*

*usuali in laboratorio, con un chiaro incremento delle funzionalità.*

*Hexcel U.K. (Fig. 7) è stato il primo produttore di compositi al mondo ad usare sistemi di test completamente automatizzati. Da allora i sistemi automatizzati sono stati utilizzati in tutta l'industria dei compositi, per eseguire i test di resistenza alla trazione su filamenti di fibra e campioni piani, eseguire misure della resistenza alle forze di taglio in piano (IPS) e di scorrimento per sovrapposizione. Le sequenze completamente automatizzate possono essere utilizzate per determinare*

*le proprietà di flessione con i metodi del test a tre-quattro punti oppure di resistenza alle forze di taglio interlaminari (ILS) a temperatura ambiente o in una cabina umidostatica. Le installazioni del sistema di test completamente automatizzato di Hexcel hanno per-*



**Fig. 7** Fully automated set-up for tensile/compression testing CFK materials at Hexcel Duxford, UK  
*Impianto completamente automatizzato per le prove di trazione/compressione su materiali CFK presso Hexcel, Duxford, UK*

*messo di eseguire i test in volume o su scala industriale.*

*Questa esperienza è la prova che con la scelta adeguata di attrezzature, sistemi e software operativi, i test sui compositi non sono più un motivo di preoccupazione.*

exactly the same way.

Additionally, routine tests can be performed outside the normal working hours of the laboratory, representing a genuine increase in capacity.

The UK site of Hexcel (Fig. 7) was the first composites manufacturer in the world to use fully-automated testing systems.

Automated systems have since been put into

operation throughout the composites industry, performing tensile tests on filament threads and flat specimens, measuring in-plane shear strength (IPS) and overlap shear.

Fully automatic sequences can be used to determine flexural properties via three and four-point test methods, or interlaminary shear strength (ILS) – at room temperature or in a

temperature chamber.

Installation of the fully automated testing system at Hexcel has enabled the company to perform volume testing on an industrial scale. Hexcel's experience is a testament to the fact that with proper choice of equipment, fixtures and operating software, testing composites does not need to be stressful.

**HELMUT FAHRENHOLZ** (Dipl.-Ing) has been employed at testing machine manufacturer Zwick GmbH & Co. in Ulm, Germany, in various capacities since 1987.

As Industry Manager for Composites he engages customers within several industry sectors around the globe to identify solutions to the challenge of characterizing material properties of composites. He also leads efforts that support the development of testing equipment.

**HELMUT FAHRENHOLZ** (Dipl.-Ing) è al servizio dell'azienda produttrice di attrezzature per test Zwick GmbH & Co., Ulm, Germania, con varie mansioni dal 1987. In qualità di manager di ambito industriale nel settore dei compositi opera con la clientela internazionale di vari settori industriali contribuendo ad individuare soluzioni per la caratterizzazione delle proprietà dei materiali compositi. Opera anche a supporto delle attività di sviluppo delle attrezzature per test.

about the  
author