

Kohlenstofffasern

Wohin geht es mit den Faserkapazitäten, Produkten und Entwicklungstrends?

Unbestritten ist, dass die Zukunft leichter und hochbelastbarer Werkstoffe den Kohlenstoff-faser-verstärkten Materialien mit ihren hervorragenden Eigenschaften gehört. Komposit-Bauteile aus Kohlenstofffasern verdrängen in immer mehr Bereichen etablierte Materialien oder machen neue Anwendungen erst möglich. In den letzten Jahren war die Nachfrage der Luftfahrt-, Sport & Freizeit-, Maschinenbau- und Windkraftindustrie nach Kohlenstofffasern so hoch, dass Kapazitätserweiterungen in der ganzen Welt vorgenommen wurden. Dieser Artikel erläutert unter anderem die Entwicklung der Faserkapazitäten, thematisiert die damit hergestellten Verbundwerkstoffe und zeigt detailliert Entwicklungstrends auf, die neue Absatzmärkte und -produkte generieren.

Definitionsgemäß spricht man bei Kohlenstofffasern (englisch: carbon fiber) von einem Endlosfilamentgarn, das aus mindestens 90 % Kohlenstoff-Atomen besteht. Die restlichen Anteile sind Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff. Ein Material mit einem so hohen Kohlenstoffanteil kann nicht zu Fasern versponnen werden. Daher bedient man sich geeigneter spinnbarer Vorstufen, sogenannter Precursoren. Diese sind textiler Natur und bestehen meist aus Polyacrylnitril (PAN) oder in seltenen Fällen aus Cellulose (Rayon). Darüber hinaus kann auch aus Mesophasenpech (Pitch) ein Precursor hergestellt werden. Jedoch kann niemals Koh-

le versponnen werden, weshalb der weit verbreitete Begriff ‚Kohle-faser‘ irreführend ist.

Die Precursoren werden zunächst in sauerstoffhaltiger Atmosphäre bei zirka 300 °C stabilisiert, um als unschmelzbares Filamentgarn unter Stickstoffatmosphäre pyrolysiert zu werden. Hierbei durchläuft die Faser den Carbonisierungs-ofen mit über 1300 °C. Schließt sich noch eine Wärmebehandlung bei Temperaturen zwischen 2000 °C und maximal 2800 °C unter Argonatmosphäre an, erhält man Fasern mit einem hohen Modul (graphitische Fasern). Während der Produktion verliert der Precursor etwa die Hälfte seines Gewichtes. Eine



»Das wachsende Wissen über die Einflüsse der Prozesstechnologie und das Verständnis für den Precursor-Einfluss auf die Fasereigenschaften führt zur Entwicklung leistungsfähigerer Fasern mit höherer Festigkeit und Steifigkeiten.«

Katja Schult ist verantwortlich für Marketing Communications bei der Toho Tenax Europe GmbH.



Tenax Kohlenstofffaser-Spulen (Bild: TTE)

anschauliche und vereinfachte Darstellung des chemischen Reaktionsmechanismus ist in [Bild 1](#) dargestellt.

Die Art des Precursors, dessen Reinheit, chemische Zusammensetzung und physikalische Struktur beeinflussen die Eigenschaften der resultierenden Kohlenstofffaser. Einen orientierenden Überblick über Fasertypen gibt [Tabelle 1](#).

Verkaufsfähige Kohlenstofffaser-Spulen bestehen aus einem Garn mit mehreren tausend einzelnen Filamenten. Sogenannte ‚regular tow‘ Garne werden in Größen von 1K, 3K, 6K, 12K und 24K angeboten und ‚heavy tow‘ Garne in den Größen von 48K bis 80K.

FASERKAPAZITÄT

Um die Produktionslinien der verschiedenen ‚regular tow‘ Hersteller zu vergleichen, werden Kapazitäten angegeben. Diese Zahl entspricht einer theoretischen Jahresproduktion 12K. Da auf einer Produktionslinie meist auch andere Produkte hergestellt werden,

entspricht der tatsächliche Output ca. 2/3 der angegebenen Kapazität.

Die weltweiten Kapazitäten zur Produktion von Kohlenstofffasern verteilen sich zu jeweils einem Drittel auf Europa, Nordamerika und Asien. Somit werden die Bedarfe weitgehend aus regionaler Produktion gedeckt. Im Vergleich zu anderen Faserkapazitäten, wie z.B. Glasfasern oder Polyesterfasern sind die Kapazitäten der Kohlenstofffasern eher gering, so dass man noch von einem Spezialprodukt sprechen kann. Alle Hersteller haben weltweit ihre Kapazitäten für Kohlenstofffasern kontinuierlich ausgebaut bzw. planen diese noch auszubauen. Nur dadurch kann die gesteigerte Nachfrage der Luft- & Raumfahrt und den wachsenden industriellen Anwendungen, beispielsweise Windenergie zukünftig bedient werden.

Auf die drei Marktführer (Toray, Toho Tenax und Mitsubishi) entfallen bereits 72% der bestehenden ‚regular tow‘ Kapazitäten. Diese Unternehmen produzieren in Japan, Mitteleuropa und USA, gehören von der



»Ein großer zukünftiger Entwicklungstrend stellt die Verschnittreduktion der Halbzeuge dar, die zu einer deutlichen Kostenreduktion führen soll, um die Wirtschaftlichkeit von Bauteilen zu verbessern.«

Dr. Karsten Rettig ist Leiter der physikalisch-technischen Labore bei der Toho Tenax Europe GmbH.

TABELLE 1 Fasertypen, Eigenschaften, Herstellungsbedingungen

Fasertyp	E-Modul GPa	Festigkeit MPa	Bruchdehnung %	Filamentdurchmesser µm	Herstellungstemperatur °C
high tenacity (HT)	240	4000-4300	1,7-1,8	7,0	1500
standard type (ST)	240	4000	1,8	7,0	1500
ultra-high tenacity (UT)	240	> 4800	> 2,0	7,0	1500
intermediate modulus (IM)	265-320	> 5600	1,9	5,0	1500
ultra high modulus (UM)	> 320	> 4000	1,1	4,7-4,8	2000-2800

Unternehmensstruktur her jedoch zur jeweiligen japanischen Muttergesellschaft. Weitere 10 % werden in Taiwan (Formosa Plastics) produziert. Daneben gibt es kleinere aufstrebende Anbieter aus China (Dalian Xingke), der Türkei (Aksa) und Indien (Kemrock), deren Kapazitäten noch gering sind, aber zukünftig ihre Marktposition ausbauen wollen, Bild 2. Kohlenstofffasern auf Basis eines Pech-Precursors (Pitch) erreichen weltweit nicht die Produktionskapazitäten der PAN-basierten Fasern. Der Herstellungsprozess hat zwar den Vorteil günstiger Rohmaterialien, aber zum Erreichen von wettbewerbsfähigen Festigkeiten sind kostenintensive Aufreinigungen des Pechs notwendig. Diese Fasern zeichnen sich durch einen hohen E-Modul und somit Steifigkeit aus, jedoch ist die Bruchdehnung vergleichsweise niedrig. Die Verarbeitung ist dadurch recht schwierig, so dass sich weltweit nur drei Firmen, Tabelle 2, auf dieses Herstellungsverfahren spezialisiert haben.

VON DER C-FASER ZUM BAUTEIL

Kohlenstofffasern können in verschiedenen Verfahren verarbeitet werden, und ebenso unterschiedlich sind die herzustellenden Bauteile, Bild 3.

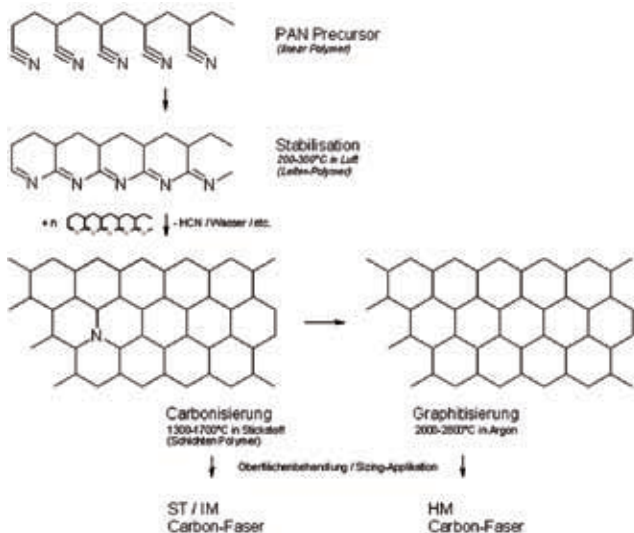


BILD 1 Reaktionsmechanismus der Synthese einer Kohlenstofffaser

Zur Erstellung C-Faser-verstärkter Bauteile sind oft mehrere Prozesse notwendig. Vielfach werden Kohlenstofffasern von spezialisierten Unternehmen zu Geweben, (Multiaxial-) Gelegen oder Geflechtern verarbeitet. Diese trockenen Halbzeuge werden dann beim Bauteil-Hersteller in heizbaren Bauteilformen mit einem Harzsystem injiziert und ausgehärtet.

Der größte Teil der Kohlenstofffasern wird jedoch zu Prepregs verarbeitet. Ein Prepreg ist ein Halbzeug, das aus einer breiten Lage prä-impregnierter (pre-impregnated) und parallel ausgerichteter Filamentgarne besteht. Die Fasern werden mit einem dünnen viskosen Harzfilm imprägniert. Aufgrund der Temperaturempfindlichkeit und Klebrigkeit wird es anschließend zwischen zwei schützenden Folien kühl gelagert. Je nach Bauteilstruktur und mechanischer Anforderung werden mehrere Lagen Prepreg zugeschnitten und in vorgegebener Orientierung abgelegt. Der Aufbau wird anschließend in einem Autoklaven bei hohem Druck von bis zu 10 atm und Temperaturen bis zu 180 °C ausgehärtet.

Es gibt nur wenige Verarbeitungsverfahren, um aus dem vom Faserhersteller gelieferten Garn ohne weitere Zwischenschritte ein Bauteil herzustellen. Beispielsweise beim Wickeln wird das Garn in niedrig-viskosem Duroplastharz getränkt und anschließend in mehreren Lagen auf einen Stützkörper gewickelt. Nach der thermischen Aushärtung kann das Bauteil zum Beispiel als Rohr oder Druckbehälter direkt eingesetzt werden. Welches dieser Verfahren schließlich ausgewählt wird, hängt von vielen Faktoren ab. Besonders entscheidend sind hierbei die erforderliche Bauteilqualität, die Stückkosten, die Größe und Form des Bauteils sowie das Harzsystem.

EINSATZ VON C-FASERN

Kohlenstofffasern finden überall dort Anwendung, wo hohe technische Anforderungen und geringes spezifisches Gewicht gefordert sind. Die Einsatzbereiche von C-Fasern werden in drei Segmente gegliedert: Luft- & Raumfahrt, Industrieanwendungen sowie Sport & Freizeit, Bild 4.

LUFT- UND RAUMFAHRT

Die Luft- und Raumfahrt ist der traditionelle Sektor für C-Fasern. Bereits in den 80er Jahren gab es die Anforderung, das Gewicht der Flugzeuge zu reduzieren. Ohne den Einsatz von C-Fasern würde beispielsweise das Konzept des Airbus A380 nicht aufgehen. Da jedes einges-

TABELLE 2 Weltweite Produktionskapazität Pech-basierter Kohlenstofffasern

Hersteller	Jahr 2008	Jahr 2010
Nippon Graphite Fiber	180 to	180 to
Mitsubishi Plastics	1000 to	1250 to
Cytec	400 to	400 to
Gesamt	1580 to	1830 to

parte bewegte Kilogramm den Treibstoffverbrauch senkt, werden aufgrund der zu erwartenden steigenden Erdölpreise immer mehr Bauteile der neuen Generation durch Kohlenstofffaser-Komposite ersetzt. So spricht Airbus vom A380 als 3-l-Flugzeug und auch Boeing rechnet mit einer Kerosinersparnis von 20-30 % pro Passagier.

Während die Boeing B777 nur 12 % Kompositbauteile aufweist, besteht der kommende Dreamliner B787 schon zu 50 % auf Kompositbasis. Ähnliche Zahlen gibt Airbus bekannt: Der aktuelle A340/600 besteht zu neun Tonnen aus Kompositen. Im neuen A380 hingegen stecken 33 t Leichtbauteile, von denen 85 % auf Kohlenstofffasern basieren. Die großen Bauteile in diesem Flugzeug sind die Druckkabinen, das Höhen- und Seitenleitwerk, der zentrale Flügelkasten, das Heckrumpfteil, der Fußboden, die Triebwerksbefestigung, die Seitenklappen (Flaps) und die tragenden Bauteile der Flügel.

Des Weiteren bestehen Rotorblätter, aber auch Cockpitzellen von Helikoptern, militärischen Drohnen und ballistische Raketen vollkommen aus C-Faser verstärkten Bauteilen.

WINDENERGIE

Ein großer Industriemarkt ist die Windenergie. Die Steifigkeit der Rotorblätter von Windkraftanlagen wird durch verstärkte Holm-Profile im Inneren der Blätter erhöht. Der Rotor bei Blättern bis 42 m Länge besteht überwiegend aus Glasfaserverbundwerkstoffen. Die Windkraftanlagen der neuen Offshore Windparks mit Blattlängen von bis zu 60 m sind aufgrund ihres Eigengewichtes und der höheren Windgeschwindigkeiten stärkeren Belastungen ausgesetzt. Zur Verstärkung erfordern die Blätter einen höheren C-Faser-Anteil und auch die Rotorschalen werden mit Kohlenstofffasern gefertigt.

AUTOMOBIL-INDUSTRIE

Aufgrund der relativ hohen Preise von komplexen kohlenstofffaserhaltigen Automobil-Bauteilen, eignen sich diese noch nicht für Großserien. Vielmehr werden gegenwärtig Prototypen oder Kleinserienmodelle wie Sportwagen mit Bodenstrukturen, Fahrgastzellen, Sichtteile (zum Beispiel Dach des BMW M6) oder tragende Säulen aus Kohlenstofffaserkompositen gebaut. Durch den Einsatz eines C-Faser-Bauteils werden mehrere (Metall-) Bauteile ersetzt und folglich die Herstellungskosten reduziert (TECABS Studie).

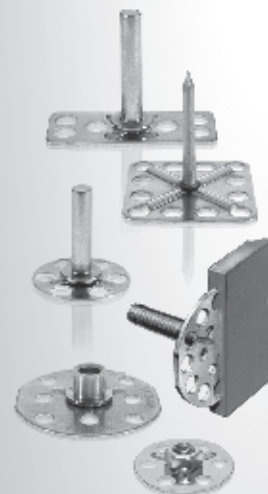
In größeren Stückzahlen werden derzeit nur wenige komplexe Bauteile durch das sogenannte SMC- oder BMC-Verfahren (sheet/bulk molding compound) hergestellt, in dem glas- oder kohlenstofffaserhaltige Harz-



Koenig Verbindungstechnik GmbH

bigHead

Befestiger



ISO 9001:2008
zertifiziert!

NEU!

- ab- und ausreißfeste Verbindungen
- einfache Montage
- für höchste Ansprüche

400 Standardtypen zum:

- Einbetten
- Einpressen
- Umgießen
- Ein- oder Ankleben

aus nichtrostendem Stahl

und Stahl für Einsatz in Kunststoffen, Metallen, Faserverbundstoffen, Holz oder Laminaten

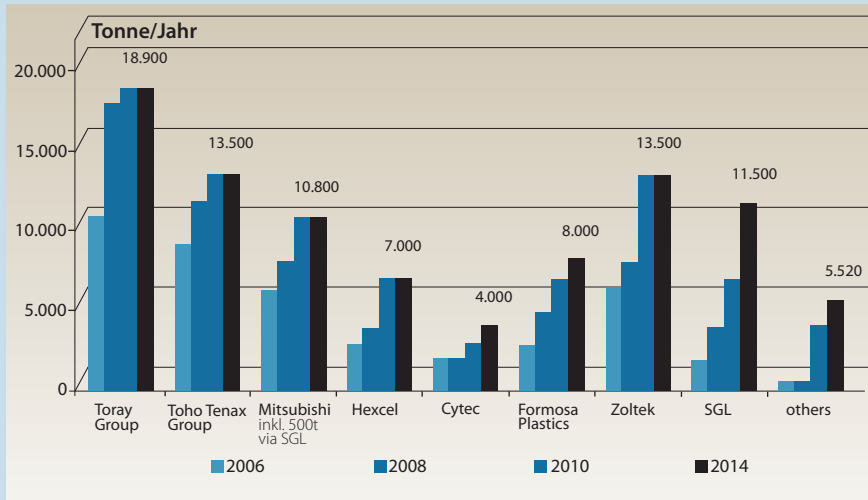
Bestellen Sie schnell und zuverlässig im neuen e-Shop.



Koenig
Verbindungstechnik GmbH
89186 Illerrieden
Tel. +49(0)7306 782-0
Fax +49(0)7306 2251
www.kvt-koenig.de

International vertreten
in der Schweiz, Österreich,
Polen, Tschechien und USA.

BILD 2 Weltweite PAN-basierte Kohlenstofffaserkapazität



massen in Formen verpresst oder verspritzt werden. Da die Verarbeitbarkeit dieser Massen ab einer bestimmten Faserlänge jedoch unmöglich wird, werden mit diesem Verfahren eher weniger anspruchsvolle Bauteile, wie nichttragende Verkleidungselemente hergestellt. Ein stark wachsender Bereich im Automobilssektor sind Gasdrucktanks (CNG, compressed natural gas). Die bisher verwendeten schweren Stahl tanks (Typ I) werden nun durch die inzwischen aus C-Faser-umwickelten Kunststoffbehältern (Typ IV) ersetzt. Auch Automobil-Sitzheizungen werden aufgrund der guten elektrischen Leitfähigkeit aus Kohlenstofffasern gefertigt. Die feineren Fasertypen werden hierfür unimprägniert eingearbeitet.

rumpfe. Aus Kostengründen findet die Produktion dieser Artikel hauptsächlich in Asien statt.

ENTWICKLUNGSTRENDS

Seit der ersten Kommerzialisierung, der im Jahre 1959 entwickelten Kohlenstofffasern findet ein ständiger Wettbewerb zwischen den Unternehmen statt, immer bessere Fasern anzubieten. Das wachsende Wissen über die Einflüsse der Prozesstechnologie und das Verständnis für den Precursor-Einfluss auf die Fasereigenschaften, unterstützt durch immer empfindlichere chemische Charakterisierungsmethoden, führt zur Entwicklung leistungsfähigerer Fasern mit höherer

WEITERE INDUSTRIELLE EINSÄTZE

Im Bauwesen werden die Hochleistungsfasern in Spannseilen und Sanierungselementen von Brücken eingesetzt. Darüber hinaus gibt es zahlreiche industrielle Anwendungen, wie die Untersee-Versorgungsschnüre zwischen Ölplattformen und dem Festland, elektromagnetisch abschirmende Maschinengehäuse, Antriebswellen aber auch schnell rotierende Walzen (etwa Papier- und Druckmaschinen).

SPORT & FREIZEIT

Viele Artikel aus dem Sport- und Freizeitbereich sind aus Kohlenstofffasern gefertigt oder C-Faser-verstärkt, wie Fahrradkomponenten, Skistöcke, Eishockey- und Tennisschläger, Segelmasten und Boots-

Festigkeit und Steifigkeiten. Ein weiterer wichtiger Beitrag zur Verbesserung der Komposit-Eigenschaften liegt in der Entwicklung neuartiger Harzsysteme. Bei Thermoplasten bestehen bereits leistungsfähige Systeme (PEEK, PPS, PA), so dass eine Verbesserung des „Präparationsauftrages“, einer Beschichtung der Fasern zur Optimierung der Faser/Matrix-Anbindung angestrebt wird. Aufgrund niedriger Querfestigkeit und relativer Sprödigkeit von C-Fasern sind schonende textile Verarbeitungsprozesse erforderlich, um die Beschädigungen der Fasern zu minimieren. Auch sollte der Fadenverlauf innerhalb der textilen Struktur möglichst gerad-

BILD 3 Verarbeitungskette von C-Fasern

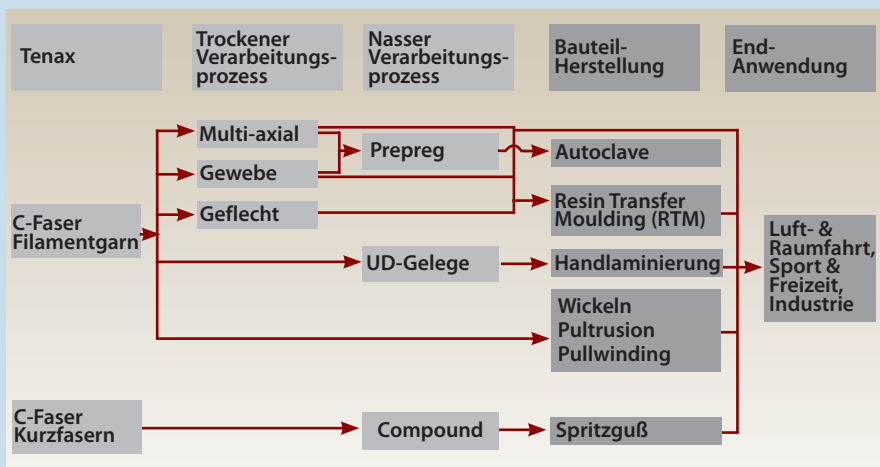
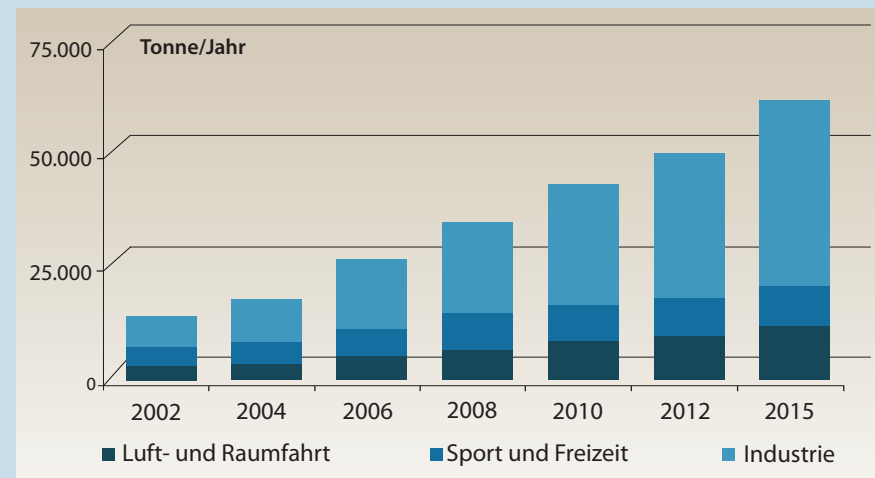


BILD 4 Entwicklung der Marktsegmente



linig verlaufen, da jede leichte Krümmung einer Faser (etwa in Geweben) die Materialkennwerte senkt.

Ein großer zukünftiger Entwicklungstrend stellt außerdem die Verschnittreduktion der Halbzeuge (Prepregs, Gewebe, Gelege, etc.) dar, welche zu einer deutlichen Kostenreduktion führen soll, um die Wirtschaftlichkeit von Bauteilen zu verbessern. Dazu werden in automatisierten Prozessen klebfähige Garne endkonturnah abgelegt und fixiert (Preform) und anschließend mit einem Harz in einer geschlossenen Form injiziert und ausgehärtet.

Diese Entwicklung wird seit einiger Zeit von Faserherstellern, wie auch der Toho Tenax Europe GmbH betrieben, da hierzu spezielle Garne notwendig sind, um neue Absatzmärkte zu bedienen.

Ein Trend, der bei den Verarbeitern von Kohlenstofffasern zu beobachten ist, ist der vermehrte Einsatz von 12K- und 24K-Fasertypen. Die Herstellungskosten eines Garnes sinken mit höherer Anzahl der Filamente. Folglich steigt der Preis je kg, je feiner das Garn ist. Es wird insbesondere bei großvolumigen Anwendungen versucht, bisherige Halbzeuge oder Bauteile mit ‚günstigeren‘ Fasern auszustatten.

LITERATURHINWEISE

- 1 JEC Composites Magazine 51, 2009, 18-19
- 2 light weight design 2009, Iss. 3, 44-47
- 3 Technologies for carbon fibre reinforced modular automotive structures (TECABS); Ein Projekt finanziert durch: The European Commission, Fifth RTD

Framework Programme, Competitive and Sustainable Growth Industrial and Materials Technologies (Brite-EuRam III).

Die Autoren:

KATJA SCHULT ist verantwortlich für Marketing Communications bei der Toho Tenax Europe GmbH in Wuppertal.

DR. KARSTEN RETTIG ist Leiter der physikalisch-technischen Labore bei der Toho Tenax Europe in Wuppertal.

English abstract

Carbon fibre

Future directions in fibre capacity, products and development trends

It is widely agreed that the future of lightweight, high-strength materials lies in carbon-fibre-reinforced products because of their excellent properties. Composite components made from carbon fibre are replacing familiar materials in an increasing number of areas and are also opening up completely new applications. In recent years, demand for carbon fibre from the aerospace, sports and leisure, mechanical engineering and wind energy industries has been so high that production capacity throughout the world has been increased. This article explains the nature of carbon fibres and developments in fibre capacity, investigates the composites made from this material and highlights in detail the latest development trends which are opening up new markets and generating new products.