

VAP® infusion-geformte Carbonfasergurte

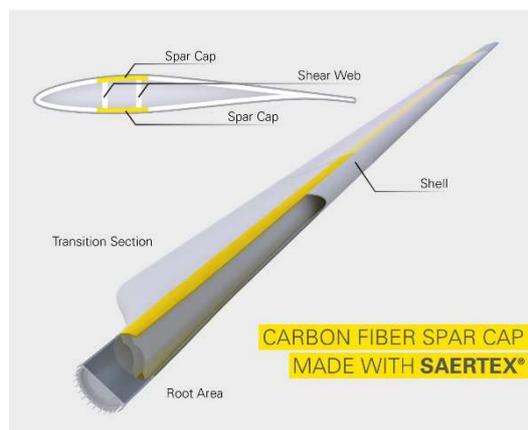
Polyacrylnitril-basierte Carbonfasern mit einem hohen Karbonisierungsgrad (>99%) und der dazugehörige industrielle Produktionsprozess wurden erstmals in den 1960er Jahren entwickelt. Die hohe mechanische Leistung (E-Zugmodul und Festigkeit) dieses neuen Materials bot neue Möglichkeiten für Composite-Anwendungen, wurde aber auch jahrzehntelang entsprechend bepreist. Dies beschränkte den Einsatz auf Unternehmen und Branchen, die ihre Produkte entweder zu einem hohen Preis verkaufen konnten, keine anderen technischen Alternativen hatten oder, wie es in der Luft- und Raumfahrtindustrie der Fall ist, es sich leisten konnten.

Um das Jahr 2000 änderte sich diese Situation: Neue Anbieter drängten auf den Markt, boten sogenannte „High-Tow-Carbonfasern“ in Industriequalität (~240GPa / 4000 MPa, 50K) zu niedrigeren Preisen an und ermöglichten damit auch anderen Branchen die Nutzung dieser Fasern in ihren Anwendungen.

Da die von einer Windturbine erzeugte Leistung direkt proportional zu der vom Rotor überstrichenen Fläche ist, begann die Windenergiebranche ungefähr im Jahr 2010 in großem Umfang Carbonfasern zu verwenden.

Die Blätter werden tendenziell länger und haben bereits die 100 m-Marke überschritten (z.B. GE Haliade-X, 12MW / 107m). Eine größere Blattlänge geht jedoch auch mit höheren mechanischen Belastungen im Betrieb und einem höheren Blattgewicht einher.

Eine technische Lösung dieser beiden Probleme besteht darin, den Gurt, der von der Blattwurzel bis zur Spitze verläuft und die Druck- und Zugbelastung des Blattes aufnimmt, aus Carbonfasern zu fertigen.



[Rotorblattteile einer Windturbine]

Die geringere Dichte von Carbonfasern (ca. 1,8 g/ccm) und ihre besseren mechanischen Eigenschaften (hier: E-Modul ca. 240 GPa, Zugfestigkeit ca. 3.800 MPa) im Vergleich zu Glasfasern verringern das Gewicht des Bauteils und somit das gesamte Blattgewicht drastisch. Darüber hinaus nimmt der Carbonfasergurt weniger Platz ein, als eine technisch gleichwertige Ausführung aus Glasfaser. Dies ermöglicht die Konstruktion längerer und steiferer Blätter.

Nachdem die Verfügbarkeit von erschwinglichen Carbonfasern das kommerzielle Problem der großflächigen Nutzung dieses Materials mehr oder weniger gelöst hat, bleibt die Frage, welches Carbonfaser-basierte Material und Verfahren zur Herstellung des Gurts verwendet werden sollte.

Derzeit stehen drei Hauptoptionen auf dem Markt zur Auswahl:

Carbonfaser-Prepregs gibt es seit mehr als 50 Jahren und sie werden immer noch häufig verwendet. Da die Faser bereits mit dem Harz zur Verfügung gestellt wird, muss sich der Nutzer nicht darum kümmern, wie das Material imprägniert oder der gewünschte Faservolumengehalt (FVG) eingestellt wird. Außerdem sind die Fasern gut ausgerichtet, was zumindest im Labor zu guten Ergebnissen bei mechanischen Tests führt. Es gibt allerdings auch einige Nachteile: Während des Aufbringens wird Luft zwischen den einzelnen Schichten eingeschlossen. Material- und technologiebedingt lässt sich das nicht vermeiden. Dies führt zu einer erhöhten Porosität des Gurtes (in der Regel ein 1-stelliger %-Wert), was die Bauqualität entsprechend reduziert.



[Lufteinschlüsse in einem Prepreg-Laminat]

Darüber hinaus macht es die Steifheit der Materialien schwieriger oder manchmal sogar unmöglich, Gurte mit einem Twist, einer Vorkrümmung oder beidem herzustellen. Die begrenzte Haltbarkeit von Prepregs stellt einen weiteren Nachteil dar.

Pultrudierte Materialien haben in letzter Zeit viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen: Carbonfasern werden durch ein Formwerkzeug gezogen, entweder mit einem VE- oder einem EP-Harzsystem imprägniert und dann sofort ausgehärtet. Die erhaltenen Standardstäbe variieren mit Breiten von 100 mm bis 300 mm und Dicken von 3 mm bis 5 mm und werden auf Spulen aufgewickelt, bevor sie an die Hersteller versendet werden.

Da die Stäbe bereits ausgehärtet sind, ergibt sich ein technischer Vorteil. Der gut definierte Faservolumengehalt und die gute Faserausrichtung führen zu hohen mechanischen Eigenschaften. Auch hier gibt es jedoch einige Nachteile: Die Stäbe müssen abgewickelt, geschnitten und abgeschrägt werden. Für die Durchführung dieser Arbeiten werden teure Maschinen benötigt. Der häufig quadratische Querschnitt der Stäbe kann zu Bereichen mit erhöhtem Harzanteil im Bauteil führen, insbesondere wenn der Gurt nicht flach, sondern verdreht vorgefertigt ist. Weiterhin wird in der Regel eine Glasfasergelegesicht zwischen die übereinander gelegten Pultrudate eingebracht. Dies reduziert die mechanischen Eigenschaften des Gurts im Vergleich zu den im Labortest ermittelten Werten des rein pultrudierten Materials. Nicht zuletzt kann auch die Steifigkeit der Stäbe, die für die guten mechanischen Eigenschaften verantwortlich ist, zu Problemen führen: Es ist schwieriger das Material in einer Form mit einer spürbaren Vorkrümmung aufzubringen und sicherzustellen, dass es sich beim Entziehen der Luft nicht verschiebt. Daher ist die Möglichkeit begrenzt, den Gurt frei innerhalb des Blatts zu positionieren.

Die dritte Option der Herstellung von Carbonfasergurten besteht darin, trockenes unidirektionales (0° -Richtung) Carbonfasergelege zu infundieren.

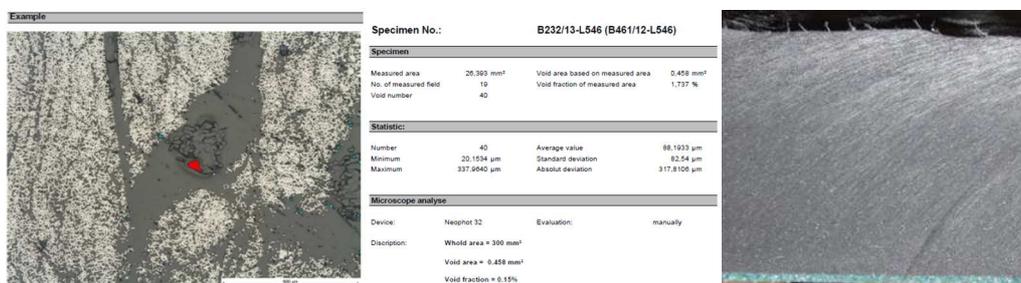
Infundierte Lamine aus CF-UD-Gelegen und EP-Harzsystemen weisen in Labortests geringere mechanische Eigenschaften als Prepregs und pultrudierte Materialien auf. Dies muss bei der Konstruktion des Blatts unbedingt in Betracht gezogen werden. Sie bekommen jedoch genau das, was Sie sehen: Die Laborwerte spiegeln die mechanische Leistung wider, die von dem tatsächlichen Gurt erwartet werden kann. Um mit diesen mechanischen Eigenschaften eine gute

Verarbeitungsqualität zu erzielen, ist eine gute Faserausrichtung in der Form entscheidend. Da die UD-Gelege weicher als Prepregs und pultrudierte Materialien sind, muss der Aufbringvorgang sorgfältig durchgeführt werden. Das Material kommt dabei aus einem oberhalb der Form laufenden Wagen. Die Weichheit oder sogenannte Drapierbarkeit der UD-Gelegebänder bereitet aber nicht nur Probleme: Sie erlaubt es dem Gelege, sich viel leichter an die Form anzupassen als die anderen Materialoptionen, was bei Gurten mit Vorkrümmung, Twist oder beidem von Wichtigkeit ist. Diese Drapierbarkeit ermöglicht es dem Konstrukteur, die Position des Gurts oder der Gurte zu verschieben, was für die Blattstruktur am besten ist. Auf diese Weise sorgt sie für mehr Freiheit bei der Konzipierung des Gurts und schließt die Verwendung von CF-UD-Bändern für Hinterkanten mit ein.

Der Infusionsprozess selbst ist ein weiterer Punkt, der unbedingt beachtet werden muss. CF-Gelege sind schwieriger zu infundieren als GF-Gelege, da ihre Filamente viel dünner sind. Der geringere Platz zwischen den Filamenten reduziert den Harzfluss entsprechend. Um eine vollständige Benetzung bei Komponenten mit hoher Dicke wie Gurten zu erreichen, sind drei Dinge wichtig:

Die verwendete UD-Carbonfaser muss eine gute Z-Permeabilität (d.h. durch die Ebene) aufweisen, damit das Harz von unten nach oben alle Gelegelagen des gesamten Stapels ohne trockene Stellen durchlaufen kann. SAERTEX hat ein solches CF-UD-Gelege aus 50K-Fasern entwickelt, das die Infusion für 120 Lagen ermöglicht, so dass sich eine Laminatstärke von ca. 73 mm ergibt. Die verbesserte Z-Permeabilität wird durch eine speziell entwickelte, proprietäre Vernähungs-Technologie erreicht. Darüber hinaus ist es wichtig, ein latentes Harzsystem zu verwenden. Diese Harzsysteme haben eine niedrige Viskosität und bei der richtigen Temperatur eine lange Topfzeit, so dass das Harz genügend Zeit hat, den gesamten Gelegestapel zu durchdringen. Wie bei jedem anderen Infusions- und Harzsystem auch, ist es wichtig, die empfohlenen Temperaturen für die Form, den Gelegestapel und das Misch-Harzsystem einzuhalten. Einige latente Harzsysteme weisen auch eine leichte Exothermizität auf, die Probleme bei der Aushärtung vermeidet.

Die dritte wesentliche Rolle spielt die VAP®-Technologie. Die aufgebrachte VAP®-Membran wird zwischen dem zu infundierenden Stapel und dem Vakuumbbeutel positioniert. Die semipermeable VAP®-Membran schließt das Harz im Inneren des Materialstapels ein, während Luft und Gas durchlaufen können. Zusätzlich hilft dies dem Harz, das gesamte Material zu durchdringen und sorgt für eine gleichmäßige Harzverteilung über die gesamte Teileabmaße. Die größten Vorteile des VAP® - Prozesses liegen in der Kontrolle des Harzgehaltes durch Infusion der zuvor berechneten Harzmenge für den benötigten Faservolumengehalt und in der Reduzierung der Porosität im Bauteil auf deutlich unter 1 % aufgrund der Entgasungsfunktion während des laufenden Infusionsprozesses. Durch die allgemeine Zuverlässigkeit und Prozesssicherheit werden sehr teure Ausschussteile vermieden.

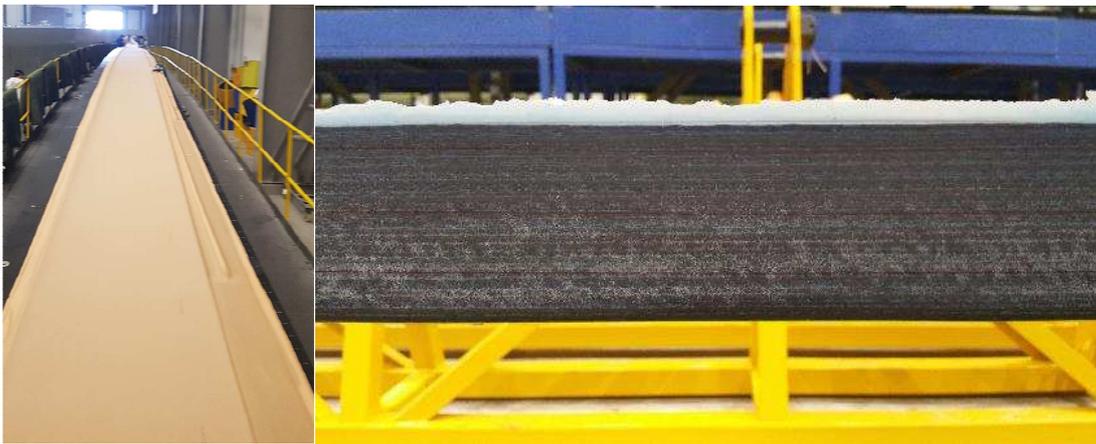


[Porositätsanalyse eines mittels VAP-Technologie infundierten Laminats, Schnitt durch ein Laminat]

In der Vergangenheit waren Prepregs die erste Wahl für Carbonfasergurte, zumal es keine praktikablen Alternativen gab. Aufgrund ihrer mangelnden Drapierfähigkeit, ihrer begrenzten Haltbarkeit und einer relativ hohen Porosität im Teil nimmt ihr Einsatz immer weiter ab. Pultrudierte Carbonfasermaterialien weisen hohe mechanische Eigenschaften auf. Ist der Hersteller bereit die Investition für die notwendigen Maschinen zu tätigen, sind diese eine interessante Alternative. Ihre Steifigkeit schränkt den Konstrukteur jedoch in Position und Form des Gurts ein, d.h.

die Blattform muss an dieses spezielle Material angepasst werden (und nicht umgekehrt). Es müssen einige Prozessfragen gelöst werden, wie z.B. die Handhabung der langen Planken und die Positionierung und Integration in das Blatt.

Trockene CF-UD-Gelege, die mit der VAP®-Membran infundiert sind, weisen nicht die besten, aber ausreichend hohe mechanische Eigenschaften auf, um einen Carbonfasergurt herzustellen. Die VAP®-Infusion ähnelt einem Standardinfusionsverfahren, d.h. der Übergang ist für die Hersteller recht simpel, lediglich das Aufbringen und die Prozessbedingungen unterscheiden sich geringfügig. Aufgrund der Drapierung der weichen CF-UD-Gelege bietet diese Option den Konstrukteuren die höchste Freiheit bei der Realisierung verschiedener Gurtkonzepte.



[Ein mittels VAP infundierter Gurt mit 87 m Länge ; Seitenansicht des dicksten Abschnitts (120 Schichten)]

Was kommt als nächstes? Derzeit ist die Infusion von trockenen CF-UD-Gelegen mit einem latenten Harzsystem in der VAP®-Technologie die Lösung, die die höchste Gestaltungsfreiheit bietet und die geringsten Gesamtkosten verursacht. Die Weiterentwicklung der Materialien und der Prozesstechnologie ist im Gange, so dass die Hersteller in Zukunft in der Lage sein werden, Gurte mit einer Dicke von mehr als 100 mm, unter Standard-Produktionsbedingungen in der Serienproduktion zu infundieren. Dadurch wird es möglich sein Carbonfasergurte für Blätter mit einer Länge von mehr als 100 m zu infundieren.

Mehr Informationen: www.saertex.com