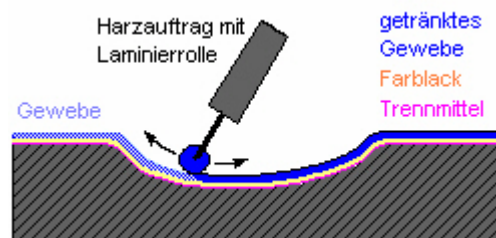


Herstellung von Faserverbundbauteilen

Bei der Herstellung von Faserverbundbauteilen wird nicht nur ein vorhandener Werkstoff in seine endgültige Form gebracht; vielmehr wird der Faserverbundwerkstoff selber während der Bauteilherstellung gebildet. Entsprechend hat das Herstellverfahren einen ganz wesentlichen Einfluss auf die Werkstoffkennwerte und die damit verbundenen Bauteileigenschaften.

Handarbeitsverfahren

Das Handlaminieren, ist das einfachste Verfahren zur Herstellung von Faserverbundbauteilen. Die Fadenhalbzeuge werden zumeist als Rovings, Matten oder Gewebe abgelegt und von Hand mit einer Rolle oder einem Pinsel getränkt. Es kommen dabei fast ausschließlich duroplastische Kunststoffe als Matrixwerkstoffe zur Anwendung, die anfangs in dünnflüssiger Form vorliegen und aufgrund ihrer geringen Viskosität eine sehr gute Benetzung der Fasern ermöglichen. Faserablage und Benetzung der Fasern mit dem Matrixwerkstoff erfolgen hier gleichzeitig mit dem Formgebungsverfahren in einer Form. Nach anschließender Aushärtung der Matrix können Bauteile entformt und ggf. nachbearbeitet werden.



Das Handlaminierverfahren erfordert nur geringe Investitionskosten und ermöglicht die Herstellung sehr komplexer Bauteilgeometrien sowie die Verwendung unterschiedlicher Fadenhalbzeuge und Verstärkungsmaterialien in einem Bauteil.

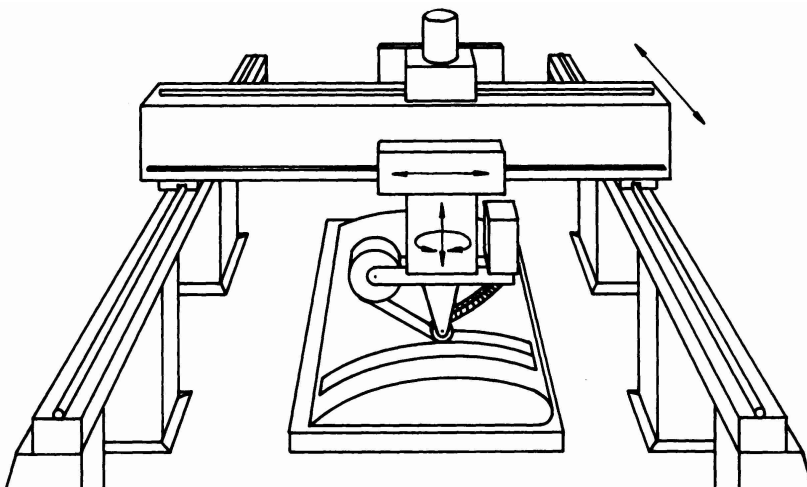
Im Handlaminierverfahren können Bauteile in fast beliebiger Größe hergestellt werden. Hinterschneidungen sind mit geteilten Formen ebenso möglich wie unterschiedliche Wandstärken im Bauteil. Es werden Faservolumenanteile um 40% erreicht, die durch nachgeschaltete Pressverfahren bei der Aushärtung jedoch noch weiter erhöht werden können.

Nachteilig sind die hohen Zykluszeiten und die sehr hohen Lohnkosten. Problematisch ist zudem eine durchgängige Bauteilqualität. Die Qualität hängt beim Handlaminierverfahren in entscheidendem Maße von der Sorgfalt des Verarbeiters ab. Während in der Praxis insbesondere bei Einzelstücken sehr gute Bauteilqualitäten erreicht werden können, ist ein hohes Qualitätsniveau, das in erster Linie in einer präzisen Faserablage und einem gleichmäßigen Tränkungsgrad zum Ausdruck kommt, selbst bei mittleren Stückzahlen kaum noch zu erreichen. Problematisch sind dabei dann insbesondere Qualitätsschwankungen.

Prepregverarbeitung

Eine gleichmäßigere Verteilung des Matrixwerkstoffes ist möglich, wenn die Fasern bzw. Fadenhalbzeuge vor der Ablage in der Form maschinell vorgetränkt werden. Solche vorgetränkten Halbzeuge werden als Prepregs bezeichnet. Dabei werden z. B. Gewebe oder Gelege maschinell getränkt und anschließend unter Zwischenlage einer Schutzfolie wieder aufgerollt. Man unterscheidet dabei zwischen Systemen, die unmittelbar nach der Prepregherstellung weiterverarbeitet werden, und Systemen, die gekühlt gelagert eine spätere Weiterverarbeitung ermöglichen.

Prinzipbedingt ist bei beiden Systemen nur ein Auftrag bereits vorgemischter reaktionsfähiger Harze möglich. Bei warmhärtenden Systemen, die erst bei höheren Temperaturen aushärten, ist eine Weiterverarbeitung innerhalb mehrerer Wochen oder sogar bis zu 12 Monaten möglich. Allerdings müssen diese Systeme in der Zwischenzeit gekühlt werden, damit ein Beginn des Vernetzungsprozesses unterdrückt wird. Bei der Bauteilherstellung werden diese Prepregs zunächst auf Raumtemperatur erwärmt, um eine Verformbarkeit zu ermöglichen. Nach anschließendem Zuschnitt kann die Ablage von Hand oder auch maschinell erfolgen.



Tapelegeverfahren
(nach Michaeli / Wegener)

Eine schematische Darstellung des automatisierten Tapelegeverfahrens mit einem Portalroboter zeigt das Bild.

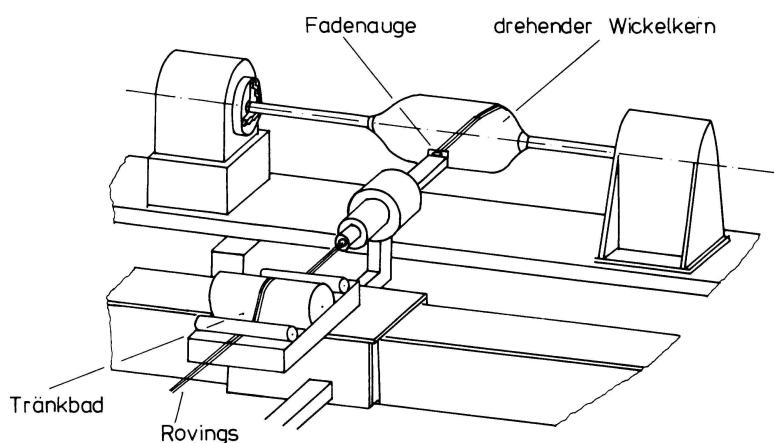
Warmhärtende Prepregs erfordern bei der Aushärtung Temperaturen von zumeist über 120°C sowie in der Regel einen Pressdruck deutlich über einem Bar, der die Lamine während des Härtingsprozesses verdichtet. Dieses bedingt einen im Vergleich zu kalthärtenden Systemen wesentlich höheren Investitionsaufwand im Bereich der Anlagentechnik und beim Formenbau. Der Fertigungsaufwand ist bei Anwendung der Autoklavtechnik zusätzlich noch einmal deutlich höher im Vergleich zum Handlaminierverfahren, so dass Bauteile unter Verwendung warmhärtender Prepregs im Autoklavverfahren zwar höchsten Qualitätsanforderungen gerecht werden, aber die Herstellkosten dabei extrem hoch sind.

Eine wirtschaftliche Alternative stellt die Verwendung kalthärtender Prepregsysteme dar. Im Gegensatz zu warmhärtenden Prepregsystemen, bei denen die Prepregherstellung räumlich und zeitlich getrennt von der Bauteilherstellung erfolgt, werden Gewebe oder Gelege vor Ort in einer entsprechenden Tränkungsanlage getränkt. Als Matrixwerkstoffe können dabei kalthärtende Laminierharze zur Anwendung kommen, wie sie auch im Handlaminierverfahren eingesetzt werden. Die so hergestellten Prepregs werden in einem nachgeschalteten Verfahren unmittelbar weiterverarbeitet, also zugeschnitten und zumeist von Hand in Formen abgelegt. Im Vergleich zum Handlaminierverfahren ermöglicht dieses Verfahren eine Qualitätssteigerung durch gleichmäßige Tränkungsgrade sowie die Einsparung von Arbeitszeit. Die Investitionskosten betragen nur einen Bruchteil dessen, wie sie bei der Herstellung von Bauteilen im Autoklaven erforderlich sind.

Wickelverfahren

Beim Wickelverfahren, werden die Fasern auf einen mehr oder weniger rotationssymmetrischen Kern gewickelt. Es können nur Konturen bewickelt werden, welche eine Faserbelegung erlauben, die maximal 30° von der geodätischen Linie abweicht.

Die Kerne sind entweder so geteilt, dass sie entformt werden können, oder es werden lösliche bzw. auswaschbare Kernmaterialien verwendet. Kerne aus Materialien mit geringer Rohdichte (z.B. Schaumstoffe) können auch im Bauteil verbleiben. Gewickelte Bauteile weisen in der Regel eine raue Oberfläche auf.



Wickelverfahren
(nach Michaeli / Wegener)

Im Wickelverfahren sind sehr hochwertige Faserverbundbauteile herstellbar, da hohe Faservolumenanteile möglich sind und die Faserablage unter gleichmäßiger Fadenvorspannung erfolgen kann. Zudem ist das Wickelverfahren zum Teil automatisierbar.

Wesentlich mehr Gestaltungsfreiraum als das Wickelverfahren nach dem Drehbankprinzip bietet das Wickelverfahren mit Hilfe eines Industrieroboters. Hier können deutlich komplexere Geometrien bewickelt werden. Die Geschwindigkeit des Verfahrens nimmt jedoch mit steigender Komplexität des Bauteils ab.

Harzinfusionsverfahren

Beim Harzinfusionsverfahren werden die Faserhalbzeuge „trocken“ in einer Negativform abgelegt. Anschließend wird eine Kunststoff-Folie über den Formenrand abgedichtet und ein Vakuum etabliert. Am Formenrand gegenüber der Absaugung wird die Harzzufuhr appliziert, über die das Harz in die Form eingebracht wird. Die permanente Vakuumabsaugung sorgt für die Strömung des Harzes und eine gleichmäßige Tränkung der Gewebelagen. Im Vergleich zum üblichen Handlaminierverfahren entstehen reproduzierbare Ergebnisse und durch die Vakuumtechnik verbleiben flüchtige Kondensationsprodukte im Harz oder werden abgesaugt. Der erreichbare Faservolumenanteil für Volllaminare ist ausgezeichnet. Mit Schwierigkeiten behaftet ist die Voraussage über das Fließverhalten des Harzes an Bauteilkanten, Wölbungen, Ecken usw. Diesen Problemen wird mit fließverzögernden bzw. -beschleunigenden Maßnahmen im Laminataufbau begegnet.

Neben den Vorteilen der Harzinfusion ergeben sich bei der Infusion von Sandwichaufbauten auch Nachteile:

Wabensandwichbauteile können nicht infusiert werden
(Waben laufen mit Harz voll)

Bei sphärisch verwölbten Schaum- Sandwich- Strukturen ist es notwendig den Schaum zu schlitzeln, bzw. kleine Schaumquadrate mit einem Trägergewebe zu verwenden. Auf diese Weise legt sich der Schaum an die Wölbungen der Formenwände an. Bei der Infusionstechnik werden sämtliche dieser Schlitzeln mit Harz ausgefüllt. Dies hat zur Folge dass die in Infusionstechnik hergestellten Sandwichbauteile schwerer ausfallen als die konventionell hergestellten. Dieser Nachteil tritt in erster Linie bei der beschriebenen Problematik auf. Wenn Volllaminare ohne Stützstoff hergestellt werden sind die erzielbaren Faservolumenanteile mit Infusionstechnik exzellent (ca. 50%). Im Handlaminierverfahren werden bestenfalls Faservolumina von 30% erreicht.