



**EXACT
PLASTICS**



„Orthopädie Schuh Technik 2013“ - Köln

Michael Volkery

Orthopädieschuhtechnikmeister

Orthopädietechnikmeister

Grundlagen der FVK-Kappenfertigung

Planung lohnt sich!

Thomas Ranft

Exact Plastics GmbH

Geschäftsführer

**EXACT
PLASTICS**

FVK-Kappen

Warum soll ich mich mit Faserverbundkunststoffen beschäftigen?

- Ein Werkstoff in Faserform hat in Faserrichtung eine vielfach größere Festigkeit als dasselbe Material in anderer Form. (Griffith)
- Je dünner die Faser ist, desto größer ist ihre Festigkeit.
- Ursachen:
 - Gleichrichtung der Molekülketten auf kleiner Fläche
 - Fehlstellen in einzelnen Fasern werden auf große Fläche verteilt
(Bei Bruch einzelner Fasern bricht nicht das gesamte Bauteil)

Faserverbundkunststoffe

- erhalten durch Wechselwirkungen der beiden Komponenten im Verbund höherwertige Eigenschaften als jede Komponente einzeln.
- haben richtungsabhängige Eigenschaften
- Die mechanischen Eigenschaften können speziell auf die Anforderungen abgestimmt werden (Faserausrichtung, Schichtreihenfolge, Laminatdicke)
- Vorbilder aus der Natur: Knochen, Holz

- Lamine aus Faserverbundkunststoffen sind meist mehrschichtig aufgebaut.
- Die Einzelschichten können aus unterschiedlichen Fasermaterialien bestehen.
- Die Einzelschichten können unterschiedliche Faserorientierungen besitzen.

- Innerhalb eines Bauteils kann die Anzahl der Einzelschichten und damit die Dicke des Laminats lokal variiert werden.
- Innerhalb eines Bauteils können auch verschiedene, miteinander verträgliche Matrixmaterialien zum Einsatz kommen, zum Beispiel um einerseits sehr feste und steife , andererseits flexible, biegsame Bereiche zu gestalten.
- **Faserverbundkunststoffe entstehen erst während des Verarbeitungsprozesses.**
- **Der Konstrukteur gestaltet nicht nur das Bauteil sondern auch den Werkstoff.**

Bestandteile eines Faserverbundkunststoffes

Die Matrix (das Harz oder Trägermaterial)

- fixiert die Faser
- schützt die Faser
- Aufnahme von Kräften zwischen den Fasern und quer der Faser

Die Faser (das Gewebe)

- Festigkeit gewährleisten
- Steifigkeit gewährleisten
- Aufnahme der Kräfte längs zur Faser

Matrixmaterialien in der OST

Acrylharz (PMMA) Siegelharz, 80:20, C-Harz etc.

Vorteile: thermoplastisch, gute Hautverträglichkeit, geringe Gesundheitsgefährdung, kurze Aushärtezeit, Toleranz gegen Härterkonzentration

Nachteile: hoher Schwund (10%), mittlere Wärmebeständigkeit (ab 65°C beginnt die Erweichung), nicht Aceton beständig

Epoxidharz Epoxi, Pre-preg etc.

Vorteile: hohe Wärmebeständigkeit, gute Formbeständigkeit, geringer Schwund, sehr gute Adhäsion zur Faser

Nachteile: lange Aushärtezeit, schlechte Hautverträglichkeit und Gesundheitsschädlich bei der Verarbeitung (Aminhärter), keine Härtertoleranz (Mischungsverhältnis muss genau stimmen)

Fasermaterialien in der OST

Carbonfaser

Vorteile: hohe Zugfestigkeit, hohe Druckfestigkeit (verarbeitet), hoher E-Modul, kaum hygroskopisch, UV-beständig

Nachteile: schlechte Nachpassbarkeit, elektrisch leitfähig (Kurzschluss), teuer, Schlichte für Epoxidharz ausgelegt (Handschuhe tragen, Schweißempfindlich)

Glasfaser

Vorteile: hohe Zugfestigkeit, geringer Preis, hohe Bruchdehnung, gute Nachpassbarkeit

Nachteile: geringer E-Modul, geringe Druckfestigkeit

Fasermaterialien in der OST

Aramidfasern (Kevlar)

Vorteile: hohe Zähigkeit, hohe Zugfestigkeit

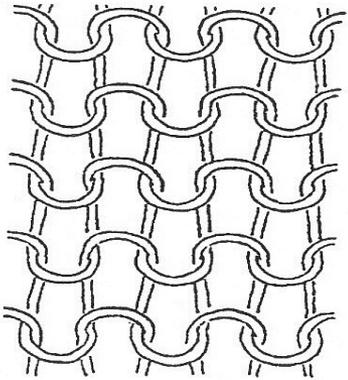
Nachteile: Kantenbearbeitung schwierig, geringe Druckfestigkeit, schlechte Nachpassbarkeit, UV-empfindlich, hydoskopisch (Wasser aufnehmend), daher vor Verarbeitung trocknen

Polyamidfasern (Nylon, Perlon)

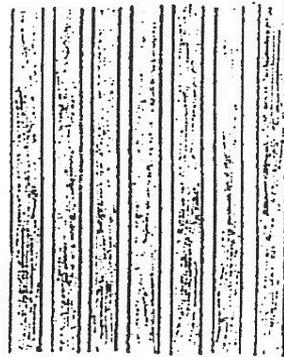
Werden nur als Trikotschlauch verarbeitet und dienen als Distanzmaterial.

	Dichte g/cm ³	Zugfestigkeit N/mm ²	E-Modul N/mm ²
Polyamidfaser	1,14	900	3000
E-Glasfaser	2,6	2400	73000
Aramidfaser	1,45	3000	130000
Carbonfaser HT	1,78	3600	240000
Stahl	7,85	370	200000

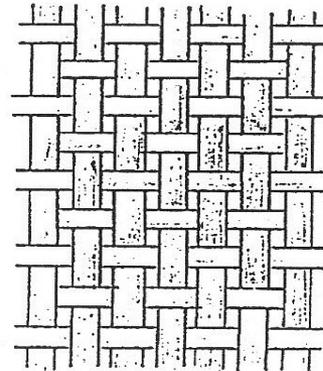
Welche Art von Faserwerkstoffen ist die richtige?



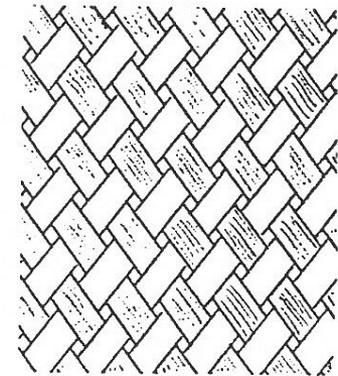
Gewirke



Gelege



Gewebe



Geflecht

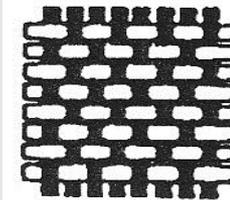
Bild 1, Bundesfachschule für Orthopädietechnik Copyright 2005

Als Grundsatz gilt: **Nur gestreckte Fasern können Kräfte übertragen!**

Legen sich aber schlecht an stark konturierte Werkstücke. Gewirke (wo die Fasern in Schlaufen liegen) legen sich besser an das Werkstück an.

Flottierungen / Bindungsarten

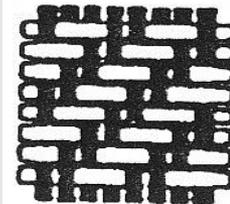
Leinwandbindung



1 / 1



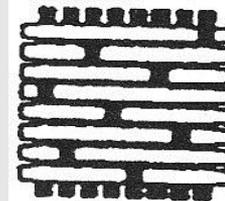
Köperbindung



2 / 2



Atlasbindung



1 / 7



Bild 2, Bundesfachschule für Orthopädietechnik Copyright 2005

Flottierung

Unidirektional ausgerichtete Fasern:

Überträgt die Kraft gezielt in eine Richtung.

Bidirektional ausgerichtete Fasern:

Die Übertragung der Kraft erfolgt in zwei Richtungen.

Multidirektional ausgerichtete Fasern:

Die Kraft wird in allen Richtungen gleich aufgenommen.

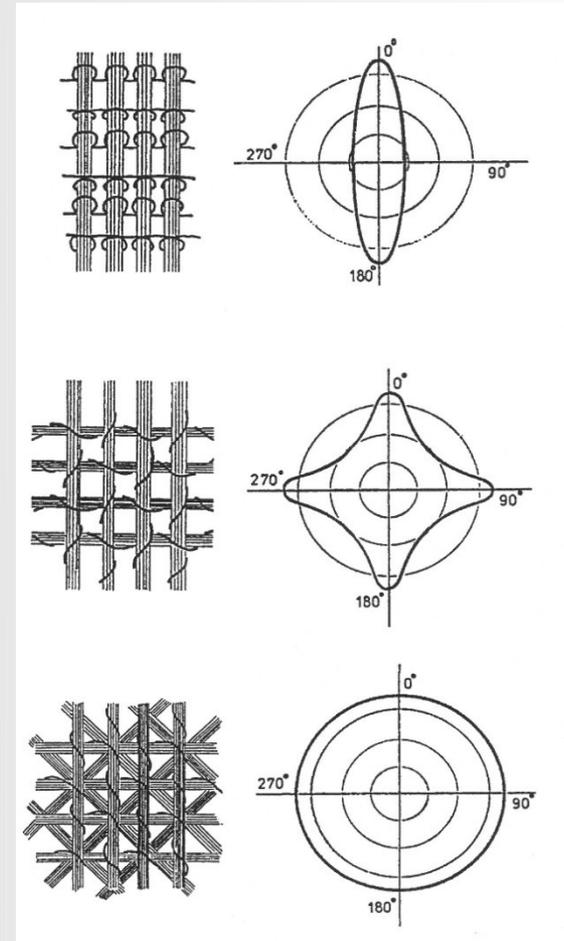


Bild 3, Bundesfachschule für Orthopädietechnik Copyright 2005

Profile sind der Schlüssel zum Material sparen und damit Gewicht und Kosten zu reduzieren.

Selbst flache Profile erhöhen die Steifigkeit um ein Vielfaches.

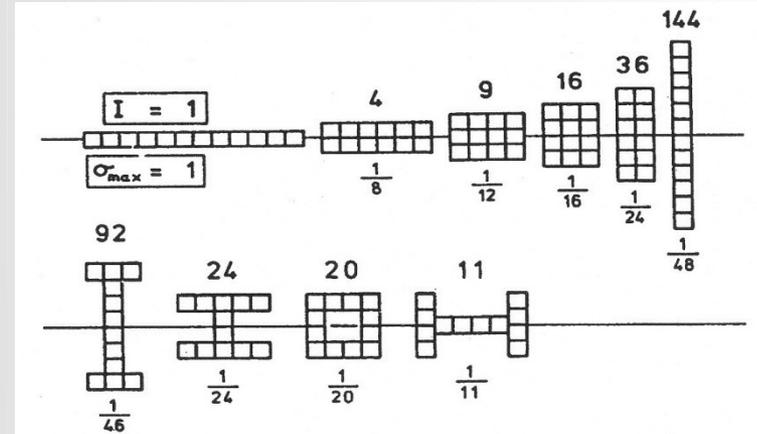


Bild 4, Bundesfachschule für Orthopädietechnik Copyright 2005

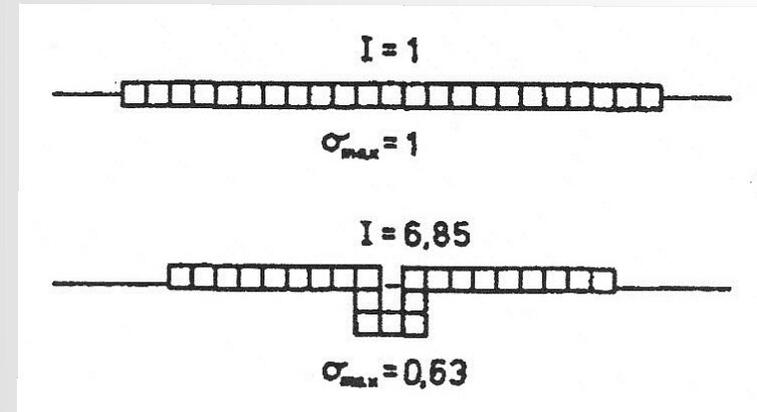


Bild 5, Bundesfachschule für Orthopädietechnik Copyright 2005

Bei Biegemomenten wird das Werkstück an der Oberseite gedehnt und an der Unterseite gestaucht.

Die Neutrale Faser liegt in der Mitte des Werkstücks. Sie überträgt auftretende Biegekräfte am schlechtesten.

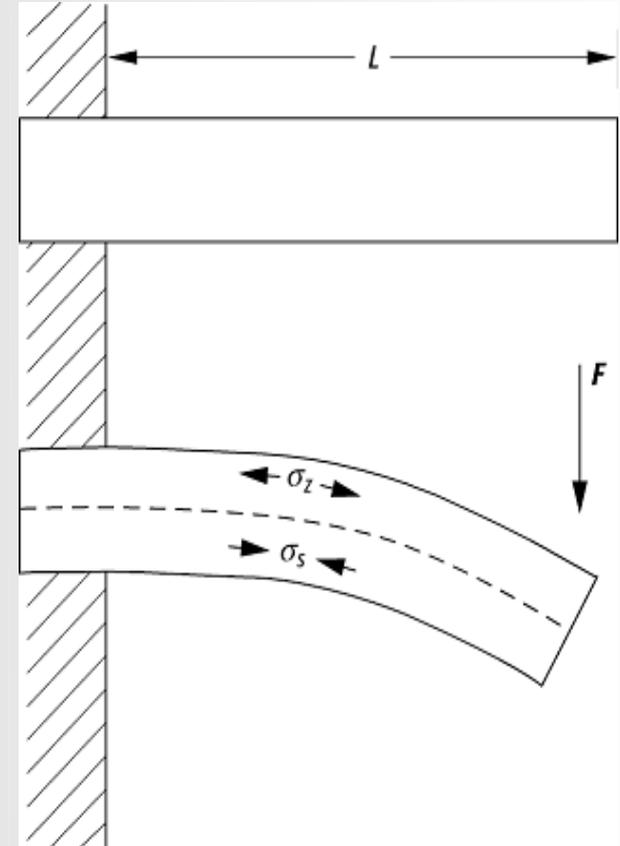


Bild 6

Neutrale Faser

Daher sollten die Kraft übertragenden Fasern nahe der Innen- und Außenfläche im Laminat liegen. Ähnlich dem Wirkprinzip von Wellkarton, sollte die Mitte aus einem Abstandshalter bestehen.

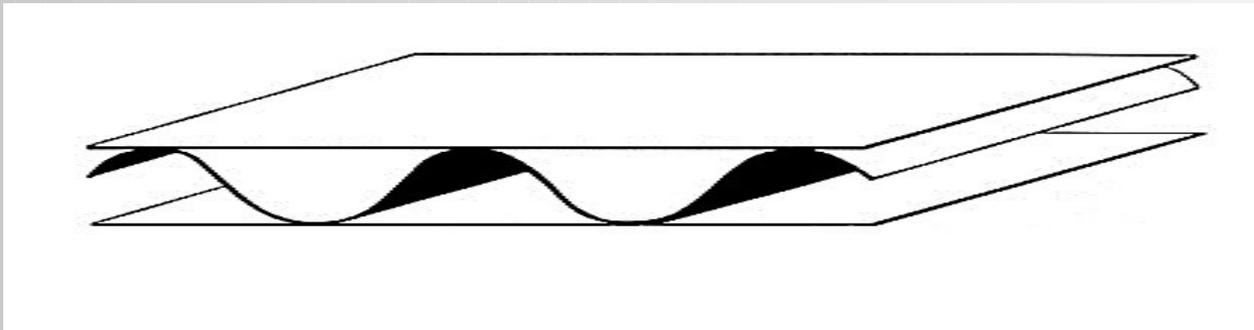


Bild 7

Scherkräfte entstehen, wenn Kräfte gegeneinander oder parallel zur Struktur auftreten. Liegen die Fasern parallel oder im 90° Winkel zur auftretenden Kraft, kann es zur Delaminierung kommen.

**Bei Torsionskräften
sollten die Fasern
in 45° überkreuzt
gelegt werden.**

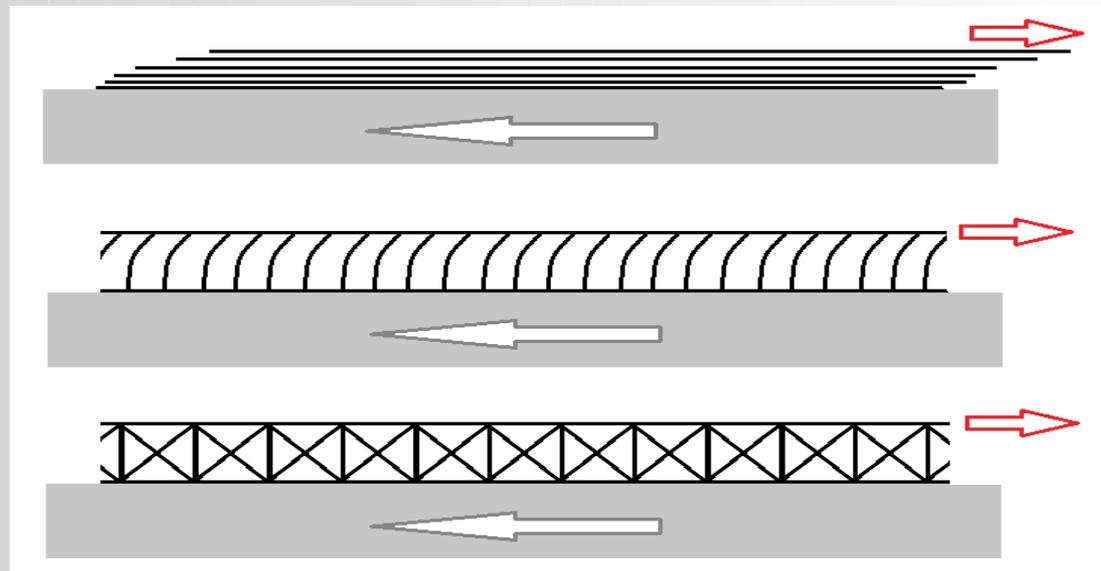
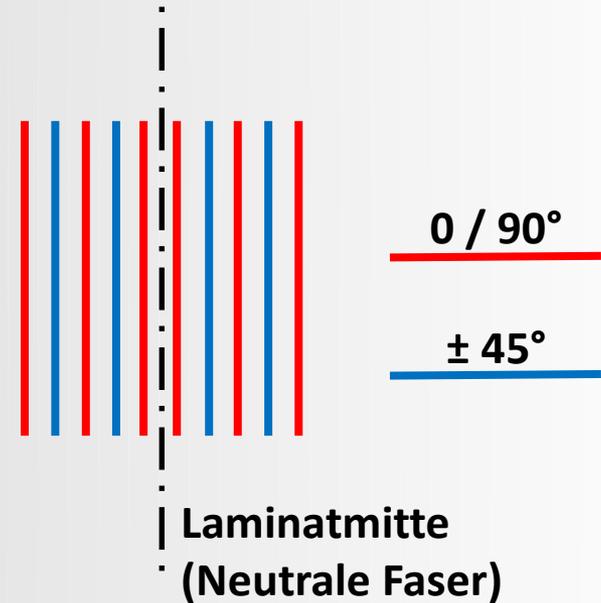
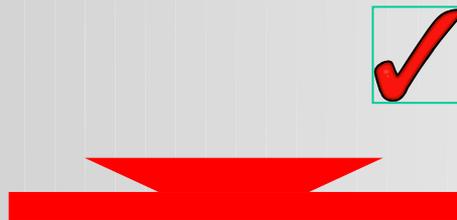
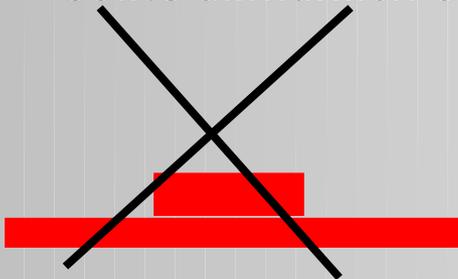


Bild 8

Der Laminataufbau und die Ausrichtung der Einzellagen sollte spiegelsymmetrisch zur Mittellinie (Neutrale Faser) des Laminates erfolgen.



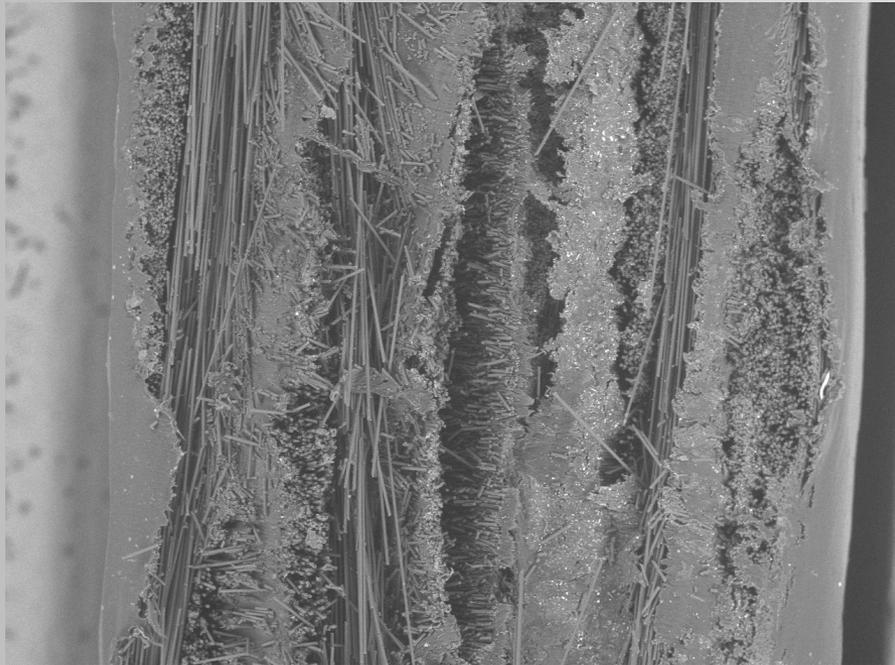
Die mit dem Einbau lokaler Verstärkungen einhergehende Wandstärkeänderung sollte allmählich erfolgen (Zuschnittsgröße variieren)



Anforderungen für hohe Bauteilqualität

- Hoher Faservolumenanteil
(=geringer Matrixanteil)
Ausnahme: weiche und elastische Lamine
- Keine Lufteinschlüsse
- Anwendungsgerechte Auswahl der Faser- und Matrixmaterialien
(Fasern und Matrix müssen harmonisieren)
- Anforderungsgerechter Faserverlauf
(Faserausrichtung, minimale Faserunterbrechungen und -beschädigungen)

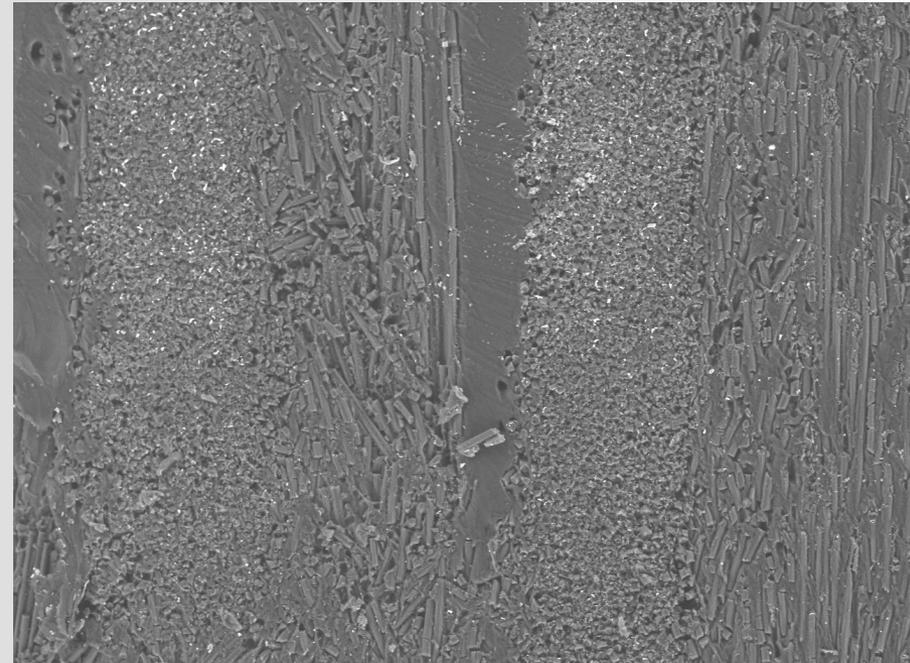
REM Aufnahmen in den Querschnitt nach Bruch mit der Schlagschere



Schlechter Verbund

1 mm

Bild 9, Exact Plastics Copyright 2013



Optimaler Verbund

300 um

Bild 10, Exact Plastics Copyright 2013

Handlaminierverfahren

- Auf den Untergrund wird Harz aufgetragen.
- Darauf wird eine Schicht Armierungsmaterial gelegt.
- Das Harz wird mittels Pinsel oder Teflonrillenwalze von unten nach oben durchgedrückt.
Eingeschlossene Luft kann gleichzeitig entweichen.
- Diese Arbeitsschritte werden wiederholt, bis die gewünschte Wandstärke erreicht ist.

Vorteile:

- Kaum technisches Equipment erforderlich
- Einfache, nachvollziehbare Technik

Nachteile:

- Relativ geringer Faservolumenanteil im Laminat
- Hohe Geruchsbelästigung
- Allgemeine Gefahren beim offenen Umgang mit Chemikalien

Vakuumverfahren

- Über das Modell (Positivform) wird eine Trennfolie / PVA-Folie gezogen.
- Mittels Vakuum legt sich die Trennfolie an den Untergrund an.
- Darauf werden alle Fasermaterialien und eine weitere Trennfolie fixiert.
- Das Harz wird zwischen die Trennfolien eingebracht, verteilt und entlüftet.
- Die Aushärtung erfolgt im Vakuum.

Vorteile:

- Überschaubares technisches Equipment
- Sauberes Arbeiten mit geringer Geruchsbelästigung
- Deutlich höherer Faservolumenanteil als beim Handlaminierverfahren
- Hart-weich-Kombination möglich

Nachteile:

- Beim Einsatz rundgestrickter Fasermaterialien relativ geringer Faservolumenanteil
- Gefahr, dass innen liegende Fasern nicht vollständig mit Harz benetzt werden.

Prepregverfahren

- Die Fasern werden industriell mit der optimalen Harz-Härter-Mischung imprägniert und in einer ununterbrochenen Kühlkette bei -18°C gelagert.
- Es kann prinzipiell die Technik des Vakuumverfahrens eingesetzt werden.
- Die Prepregs können direkt aufeinander fixiert werden.
- Die Aushärtung erfolgt bei erhöhter Temperatur über mehrere Stunden (produktabhängig).

Vorteile:

- Sauberes Arbeiten, kein Harz erforderlich.
- Optimaler Faservolumenanteil im Laminat, dadurch höchste Festigkeiten
- Keine Gefahr, dass innenliegende Fasern nicht vollständig mit Harz benetzt werden.

Nachteile:

- Hoher technischer Aufwand (Kühlkette, Vakuum, umgebauter Wärmeschrank)
- Hohe Materialkosten
- Begrenzte Lagerfähigkeit
- Keine Kombination hart-flexibel möglich
- Keine thermische Nachformung möglich

Faserverstärkte Platten als Halbzeuge

- Zuschnitte aus dem Plattenmaterial werden im Umluftofen oder mittels einer Infrarotheizung erwärmt und im Tiefziehgerät unter Vakuum an das Modell angeformt oder
- Die Zuschnitte werden mittels Heißluftpistole grob vorgeformt und am Modell fixiert, danach wird mit Vakuumfolien der gesamte Laminataufbau evakuiert, im Umluftofen komplett erhitzt und zu einem Bauteil verschmolzen.

Vorteile:

- Keine Chemie
- Schnelles Arbeiten bei kleineren Bauteilen mit geringem Verformungsgrad

Nachteile:

- Laminataufbau ist an die verfügbaren Plattenkonstruktionen gebunden
- Schwierig umzusetzen bei komplexen Bauteilgeometrien
- Gefahr der Delaminierung bei oder nach der Umformung

EASYPREG

- Die Fasern sind bereits mit einer thermoplastischen Matrix imprägniert
- Die Materialien sind einlagig
- Der Laminataufbau erfolgt individuell
- Anformung an das Modell mit einer herkömmlichen Tiefziehmaschine

Vorteile:

- Keine Chemie
- Kein Verfallsdatum der Materialien
- Individueller Laminataufbau
- Verwendung der bekannten Tiefziehgeräte
- Verschweißen / thermische Nachformung möglich

Nachteile:

- Teilegröße ist begrenzt von der Größe des Tiefziehgeräts

Ende

genug der Theorie!

Herstellung einer Arthrodesenkappe aus

EASYPREG[®]

Arbeitsablauf

- Planung / Konstruktion
 - Anforderungsprofil an das Bauteil erstellen
 - Planung Laminataufbau und Materialauswahl
 - Herstellung von Modellschablonen
 - Herstellung einer Auflagerung für das Modell



Arbeitsablauf

- Fertigung
 - Zuschnitt der Einzellagen
 - Schichtweiser Aufbau aller Einzellagen und Fixierung
 - Laminataufbau in das Tiefziehgerät einlegen
 - Positionierung des Modells zum Laminataufbau
 - Tiefziehen
 - Entformen
 - Endbearbeitung
 - Kantenbearbeitung
 - Funktionstest





Bild 11, Exact Plastics Copyright 2013

Schablonen für laterale und
mediale Halbschale



Bild 12, Exact Plastics Copyright 2013

Der gesamte Laminataufbau incl.
Hilfsmitteln



Bild 13, Exact Plastics Copyright 2013

Einlegen des Laminataufbaus



Bild 14, Exact Plastics Copyright 2013

Ausrichten des Leisten zum
Laminat



Bild15, Exact Plastics Copyright 2013

Tiefziehen



Bild 16, Exact Plastics Copyright 2013

Abkühlen lassen und
entformen

EASYPREG



Bild 17, Exact Plastics Copyright 2013

Beide Halbschalen mit
Überlappungsbereich



Bild 18, Exact Plastics Copyright 2013

Verschweißen der Halbschalen
im Vakuum

Ende

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Ende