

1 Einführung Leichtbauwerkstoffe

1.1 Was ist Leichtbau?

Was wird als Spar-Leichtbau bezeichnet?

Zielt auf die direkte Kosteneinsparung durch Materialeinsparung und vermindertem Herstellungsaufwand. Mit einer Integralen Gestaltung kann die Anzahl der Einzelteile und Fugestellen minimiert werden.

Was wird als Öko-Leichtbau bezeichnet?

Der Öko-Leichtbau wird indirekt gerechtfertigt, indem bewegte leichte Strukturen weniger Energie verbrauchen. Typisches Beispiel im Automobilbau: ULSAB (Ultra Light Steel Auto Body)

Was wird als Zweck-Leichtbau bezeichnet?

Von dieser Art des Leichtbaus wird gesprochen, wenn die Massenreduktion absolut notwendig ist für das Funktionieren des Systems (Flugzeug, Roboter, Satelliten).

Wie erkennt man Leichtbausysteme?

Durch ihre Art der Materialverarbeitung und die Wahl der Materialien. Leichtbausysteme sind oft nicht nur statischen Belastungen, auch dynamischen Belastungen ausgesetzt. Sie besitzen daher eine kerbarme und aerodynamische Form.

1.2 Auslegungskonzepte

Welche Auslegungskonzepte werden unterschieden?

- Konzept der Lebensdauersicherheit (Schadensfreies Leben = Safe-Life)
- Konzept der Schadenstoleranz (Fail-Safe, genügende Resttragfähigkeit)

Welche Last kann eine Fail-Safe Konstruktion noch aushalten, wenn sie beschädigt ist?

Die Design Limit Load. Sie ist die vorgeschriebene Bemessungslast, welche noch ertragen wird, wenn die Struktur beschädigt ist.

1.3 Bauweisen

Welche Bauweisen werden unterschieden?

- Differentialbauweise
- Integralbauweise
- Integrierende Bauweise
- Verbundbauweise

Welche Vor- und Nachteile besitzt die Differentialbauweise?

Vorteile:

- einfache Fügung der Einzelteile
- Lösbarkeit der Verbindungen bei mechanischer Fügung
- Austauschbarkeit der Komponenten
- Hohe Flexibilität
- Verbindung verschiedener Werkstoffe möglich
- Ausgleich von Massungenauigkeiten möglich
- Geringer Ausschuss

Nachteile:

- Hohe Anzahl von Prozessschritten
- Kerbwirkung, Spannungskonzentration an den Verbindungsstellen
- Gewichtserhöhung durch Verbindungselemente
- Verbindungsproblematik
- Hoher Montageaufwand

Welche Vor- und Nachteile besitzt die Integralbauweise?

Vorteile:

- niedriges Gewicht
- geringe Anzahl von Prozessschritten
- niedrige Montagekosten

Nachteile:

- Hohe Anforderungen an die Fertigung
- Beschränkung bezüglich der Bauteilabmessungen
- Geringe Flexibilität
- Höhere Werkzeugkosten
- Sehr ungünstiges Schädigungsverhalten

Welche Vor- und Nachteile besitzt die Integrierende Bauweise?

Die Integrierende Bauweise vereinigt die Vorteile von der Differential- und Integralbauweise.

- Günstiges Schädigungsverhalten
- Austauschbarkeit
- Geringer Kosten, da sehr gut auf die Einsatzbedingungen angepasst.
- Keine Abmessungsbeschränkungen
- Lokale Anpassungen an strukturmechanische Anforderungen

Was wird als Verbundbauweise – Multi-Material-Design bezeichnet?

Bei Verbundbauweisen werden verschiedene Werkstoffe unlösbar in einem Bauteil hergestellt. So können die einzelnen Eigenschaften der verschiedenen Werkstoffe optimal ausgenutzt werden.

Vorteile:

- Funktionsintegration
- Weniger Verbindungskosten
- Reduktion der Lagerteile
- Optimale Werkstoffausnutzung nicht immer möglich
- Gewichts- und Materialersparnis
- Höhere Wirtschaftlichkeit

Nachteile:

- Höherer Fertigungsaufwand
- Aufwendige Werkstofftrennung am Ende der Nutzung des Produktes

Was ist eine Sandwichkonstruktion?

Ist eine Konstruktion, bei der das Material durch Schichten von Einzellagen entsteht. Hierbei können die Einzelschichten aus unterschiedlichem Material und Dimensionen bestehen.

Was wird als Hybridbauweise bezeichnet?

Dieser Begriff wird angewendet, wenn zwei oder mehrere Faserwerkstoffe in einem Gelege eingesetzt werden.

1.4 Leichtbauwerkstoffe

Siehe Seite 11 und Folgende im Skript Einführung Leichtbauwerkstoffe

1.5 Werkstoffdatenbanken

Welches ist die wichtigste Werkstoffdatenbank für metallische Werkstoffe?

MMPDS (Metallic Materials Properties Development and Standardization)

Welches ist eine wichtige Werkstoffdatenbank für Verbundwerkstoffe?

MIL-HDBK-17

1.6 Gesichtspunkte für die Werkstoffauswahl

Nenne verschiedene Gesichtspunkte für die Werkstoffauswahl bei Leichtbaustrukturen:

- 1) niedrige Dichte
- 2) Gute Festigkeitseigenschaften
- 3) Hoher E-Modul
- 4) Gute Fail-Safe-Qualitäten
- 5) Temperaturbeständigkeit
- 6) Niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient
- 7) Leichte Kalt- und Warmumformbarkeit
- 8) Gute Schweisseignung
- 9) Akzeptabler Kilopreis für eine Anwendung

2 Metallische Leichtbauwerkstoffe

2.1 Stahl

Was ist Stahl?

Als Stahl werden Werkstoffe bezeichnet, deren Massenanteil an Eisen grösser ist als der jedes anderen Elementes und die im Allgemeinen weniger als 2% Kohlenstoff aufweisen und andere Elemente enthalten.

Oder:

Stähle sind Eisen-Knetwerkstoffe = Schmiedbare Eisenlegierungen

Welche Eigenschaften besitzt Stahl als Leichtbauwerkstoff?

Vorteile:

- Günstiger Kilopreis
- Grosse Breite an verfügbaren Halbzeugen und Qualitäten
- Grosse Vielfalt an mechanischen und physikalischen Eigenschaften

Nachteile:

- Hohe Dichte

2.1.1 Vergütungsstähle

Welche Maschinenelemente werden aus Vergütungsstählen hergestellt?

Wellen, Achsen, Bolzen, Zahnräder, Walzen

Durch was wird bei den Vergütungsstählen die Festigkeit und Zähigkeit bestimmt?

- Chemische Zusammensetzung
- Wärmebehandlung
- Anlasstemperatur
- Weiter sind die Reinheit, Homogenität und Härbarkeit wesentlich für die Eigenschaften

Wie läuft der Fertigungsverfahren bei Vergütungsstählen ab?

Vorbearbeiten im normalisierten Zustand, vergüten oder einsatzhärten, fertig bearbeiten. Dieser Vorgang führt zu einer optimalen Kombination von Festigkeit und Zähigkeit. Hat aber einen hohen Preis.

2.1.2 Einsatzstähle

Was sind Einsatzstähle?

C-arme Stähle (0.22% C). Die Randzone der Stähle wird aufgekühlt oder carbonitriert und anschließend gehärtet.

2.1.3 Randschichthärter

Welche Stähle eignen sich für eine Randschichthärtung?

Vergütungsstähle mit hoher Reinheit und dadurch hoher Zähigkeit.

2.1.4 Nitrierstähle

Was sind Nitrierstähle?

Bei diesen Stählen wird die Randschicht mit Stickstoff angereichert. Die Eigenschaften von Nitrierstählen hängen von der chemischen Zusammensetzung des Stahles ab.

2.1.5 Ausscheidungshärtende rostfreie Stähle (PH-Stähle)

Was sind PH-Stähle?

Sind rostfrei Stähle, welche durch eine Ausscheidungshärtung eine hohe Festigkeit erhalten.

Welche PH-Stähle werden unterschieden?

Nach dem Gefüge werden drei Gruppen unterschieden: martensitische, austenitische und halbaustenitische Stähle.

Welcher grosse Vorteil haben die PH-Stähle?

Eine hohe Korrosionsbeständigkeit bei einer relativ einfachen Wärmebehandlung

2.1.6 Hochfeste Stahlbleche für den Fahrzeugbau

Welche Eigenschaften besitzen hochfeste Stahlbleche für den Fahrzeugbau?

Sie besitzen einen Kompromiss zwischen hoher Festigkeit und guter Kaltumformbarkeit.

($R_m=500-1'400\text{MPa}$, Bruchdehnung $A=10-20\%$)

2.2 Eisen-Gusswerkstoffe

Warum werden Eisen-Gusswerkstoffe als Leichtbauwerkstoffe verwendet?

- Streben nach Verringerung der Einzelteile
- Weiterentwicklung der Eisen-Gusswerkstoffe (ADI-Gusseisen)

Was wird als ADI-Gusseisen bezeichnet?

ADI (Austempered Ductile Iron) ist ein verzugsarm, isothermisches vergütetes Gusseisen mit Kugelgrafit. ADI besitzt stahlähnliche Eigenschaften mit einer Kosteneinsparung von bis zu 50%.

Welche Eigenschaften besitzt ADI-Gusseisen?

- sehr günstige Kombination von Festigkeit und Dehnung
- Hohe Wechselfestigkeit
- Günstiges Verschleissverhalten
- Umwandlungsfreudiges Gefüge (metastabil)

2.3 Aluminiumwerkstoffe

Nenne die Vor- und Nachteile von Aluminium als Leichtbauwerkstoff:

Vorteile:

- Niedrige Dichte (2.7g/cm^3)
- Festigkeitswerte nahe bei Stahl ($R_m = 600\text{MPa}$)
- Hohe Zähigkeit
- Gute Formbarkeit und Zerspanbarkeit

- Gute Schmelzschweisseignung der 6000er Gruppe

Nachteile:

- 3-mal kleinerer E-Modul (70'000Mpa)

2.3.1 Aluminium-Knetlegierungen

Beschreibe die Aluminiumlegierung 2024:

War die erste aushärtbare Aluminiumlegierung und ist heute noch sehr beliebt. Hat aber den Nachteil, dass sie nicht korrosionsbeständig ist und muss somit Wärmebehandelt werden.

Beschreibe die Aluminiumlegierung 7075:

Wurde aus der Aluminiumlegierung 2024 entwickelt. Sie besitzt eine hohe Festigkeit, jedoch ist die Dauerfestigkeit ist nicht sehr gut. Weiter ist die Risswachstumsgeschwindigkeit und die Kerbempfindlichkeit schlechter als bei der 2000er Gruppe.

Beschreibe die Aluminiumlegierung 6013:

Der Hauptvorteil ist die Schweisseignung dieser Legierung. Sie hat eine um 25% höhere Festigkeit als die 2024 und eine geringere Risswachstumsgeschwindigkeit. Weiter hat sie die höhere Zähigkeit und eine um 3% geringere Dichte.

2.3.2 Spezielle Aluminiumlegierungen

Was zeichnet die Aluminium-Lithiumlegierung aus?

Sie hat eine höhere Festigkeit bei noch geringerer Dichte als die 6000er Gruppe. Sie hat jedoch den Nachteil, dass die Herstellung nicht einfach ist. Da das hochreaktive und brennbare Material Lithium verarbeitet werden muss. Dadurch ist diese Legierung um 5 bis 10 mal teurer als die herkömmlichen Legierungen.

Was zeichnet die Aluminium Scandium Legierung aus?

Es werden verschiedenste Eigenschaften durch die Zugabe von 0.1% Scandium verbessert:

- Kornfeinung beim Giessen und Schweißen
- Festigkeitserhöhung

- Erhöhter Widerstand gegen Rekristallisation
- Superelastische Umformeigenschaften

2.3.3 Oberflächenschutz

Welchen Vorteil hat das Anodisieren?

Es ist der beste Schutz gegen Korrosion, da die Schutzschicht aus Keramik (Aluminiumoxid) besteht. Jedoch wird die Ermüdungsfestigkeit herabgesetzt. Daher werden die Aluminiumlegierungen in Chromsäure anodisiert, so wird die Schicht dünner und weicher. So können weniger gute Risse entstehen.

Was ist ALCLAD?

ALCLAD ist eine weitere Korrosionsschutzmethode. Dabei wird auf die Legierung dünne Schichten von Reinaluminium plattiert.

2.3.4 Sinteraluminium

SAP-Legierungen (Sinteraluminiumpulver) hat den Zweck die Temperaturbeständigkeit von Aluminium zu erhöhen. Die Gebrauchstemperatur bei Dauerbelastung liegt so um die 400°C.

2.3.5 Schaumaluminium

Welche Vorteile besitzt das Schaumaluminium?

- sehr leichter selbsttragender Konstruktionswerkstoff
- sehr geringe Dichten (0.3-0.7kg/dm³)

Anwendungsgebiete sind Aussteifungen und Stossverzehrkörper beim Fahrzeugbau.

2.4 Magnesium und Magnesium-Legierungen

2.4.1 Allgemeines

Was ist das schlagende Argument von Magnesium?

Es zeichnet sich durch die geringste Dichte eines Gebrauchsmetalle aus.

Welche Probleme gab es in der Herstellung?

Lange Zeit war Magnesium als Konstruktionswerkstoff nicht brauchbar, da bei der Herstellung keine reinen Chargen möglich waren, und so Magnesium sehr stark Korrosionsanfällig war.

Wie gross ist das Vorkommen in der Natur dieser Legierung?

Magnesium kommt sogar im Meerwasser vor. (1.3kg pro m³ Meerwasser) Somit ist das Vorkommen von Magnesium fast unerschöpflich.

2.4.2 Legierungsaufbau und Eigenschaften

Warum ist die Verarbeitung von Magnesium eingeschränkt?

Durch die hdp Gitterstruktur besitzt Magnesium nur drei Hauptgleitsysteme. Daher handelt es sich bei 80% der Magnesiumanwendungen um Gussprodukte (überwiegend Druckgussteile)

Was ist bei der Verarbeitung von Magnesium zu beachten?

Die hohe Affinität zu Sauerstoff kann zu explosionsartigen Verpuffungen führen. Beim Giessen muss daher immer ein Schwefeloxidschleier über der Schmelze liegen und bei der mechanischen Bearbeitung ist darauf zu achten, dass nicht mehr als 30mg Staubgehalt pro Liter Luft vorhanden ist, sonst kann es zu Verpuffungen kommen.

Für welchen Zweck wird der grossteil des geförderten Magnesiums verwendet?

Als Legierungselement in Aluminium

2.5 Titan und Titanlegierungen

Warum ist Titan erst sehr spät als Konstruktionswerkstoff entdeckt worden?

Da Titan in der Natur sehr stark an Sauerstoff gebunden ist, wurde der Werkstoff erst Ende der 1940 verfügbar.

Was ist der grosse Vorteil von Titan?

Bei einer halben Dichte zu Stahl (4.5g/cm³) hat Titan die Festigkeit von Vergütungsstahl. Weiter besitzt Titan sehr gute Korrosionseigenschaften.

Warum ist Titan nur bis zu einer Temperatur von 300°C einsetzbar?

Da zwischen 300-500°C Titan Sauerstoff und Stickstoff aufnimmt und dadurch versprodet.

Welches sind die Einsatzgebiete von Titan?

- Galvanik
- Medizin
- Renntechnik
- Als Oxid Pigment für weisse Farben

Welchen Vorteil hat die Weiterentwicklung von Aluminium-Feingüssen?

Durch die Weiterentwicklung können Poren und Lunker weitgehend verhindert werden. So muss der Sicherheitsfaktor von 2 nicht mehr auf Gusskonstruktionen geschlagen werden. Dadurch werden die Konstruktionen um 100% leichter.

Welche Vorteile bildet das Thixo- oder New Rheocasting?

Durch das Vergossen im halberstarrten Zustand kann ein grossteil der entstehenden Gasse vermieden werden. So entstehen weniger Lunker und Poren. Die Materialeigenschaften sind gegenüber herkömmlichen Gussprodukten viel besser und ähneln denen von geschmiedeten Produkten.

Was ist Cold Working?

Ist die Kaltverfestigung von Oberflächen. Durch Strahlen werden gezielt Druckspannungen in die Oberfläche eingebracht. Die Oberfläche hat eine geminderte Rauheit und ist verschleissfest.

3 Faser-Kunststoffverbund im Überblick

3.1 Einleitung

Welches ist das Grundproblem beim Konstruieren mit Composite?

Das Grundproblem liegt beim rechnerischen Erfassen ihres Verhaltens im Speziellen, die Richtungsabhängigkeit ihrer Materialeigenschaften. Die Richtungsabhängigkeit der Materialeigenschaften ist Fluch und Segen zugleich.

Was sind Composite Werkstoffe?

Sind Kombinationen von zwei oder mehreren Ausgangskomponenten, die sich in Form und Material unterscheiden und im Verbund prinzipiell nicht voneinander lösbar sind. Ziel ist es ein mehrkomponentiges System mit verbesserten oder neuen Eigenschaften zu realisieren.

Welche Aufgabe hat die Matrix und die Faser im Verbund?

Die Matrix dient dazu, die Bindung zwischen den Fasern zu schaffen. Sie überträgt die Spannungen auf die Faser und sie schützt die Faser vor Umwelteinflüssen. Die Faser hat die Funktion, die Steifigkeit und Festigkeit des Verbundes zu erhöhen.

Welche Eigenschaften weisen Composites auf?

- Hohes Leichtbaupotential
- Eine Vielzahl von interessanten physikalischen Eigenschaften (Dämpfungseigenschaften)
- Die Möglichkeit deinen Werkstoff auf die Belastung auszulegen und zu designen
- Hohe Gestaltungsfreiheit und Flexibilität in der Fertigung
- Integration von funktionalen Elementen beim Herstellungsprozess möglich

Welche Herausforderungen stellen Composites an den Ingenieur?

- Komplexe Auslegung und Dimensionierung der Struktur
- Der Herstellungsprozess ist verantwortlich für die Eigenschaften und muss daher gut durchdacht sein.

Was wird als Adaptivität bezeichnet?

Dies ist die Fähigkeit eines technischen Systems, sich an die Umgebung und an veränderbare Betriebszustände anzupassen

Was zeichnen multifunktionale Werkstoffe aus?

Sie zeichnen sich durch ihre Fähigkeit aus, verschiedene Energieformen zu konvertieren. Sie können zum Beispiel einen elektrischen Strom in mechanische Bewegung umwandeln und umgekehrt. Jedoch können solche Werkstoffe nur beschränkt Kräfte aufnehmen.

3.2 Begriffe

Wie werden Verbundwerkstoffe bezeichnet?

Aus dem englischen: Composites oder Composite. Für den Flugzeugbau werden diese Werkstoffe auch als faserverstärkte Kunststoffe FVK, Faserverbundwerkstoff FVW oder Faser-Kunststoff-Verbund FKV.

Welche Fasern werden häufig angewendet?

Glasfasern (GFK), Kohlefasern (CFK), Aramidfasern (AFK), Borfasern (BFK)

Welche Matrix Stoffe werden verwendet?

Polesterharz, Epoxidharz, Thermoplast, Aluminium

Welche Eigenschaften besitzen faserverstärkte Kunststoffe (FVK)?

- hohes Leichtbaupotential durch hervorragende gewichtsbezogene Steifigkeit und Festigkeit.
- Eine Vielzahl von physikalischen Eigenschaften
- Möglichkeit massgeschneiderte Werkstoffe zu realisieren
- Hohe Gestaltungsfreiheit und Flexibilität in der Fertigung

Welche Arten werden unterschieden?

Schichtverbund, Durchdringungsverbund, Teilchenverbund und Faserverbund

Was sind MMC?

Metal-Matrix-Composites sind Verbundwerkstoffe, deren Gefüge aus einer metallischen Legierung und einer gezielt eingebrachten Verstärkungskomponente bestehen.\$

Wie können metallische Legierungen verstärkt werden?

- Partikeln (z.B Aluminiumoxid, Siliziumoxid,..)
- Langfasern
- Kurzfasern
- Whyskern
- Mischung aus Partikeln und Fasern

Welches sind die Ziele des anwendungstechnischen Gefügedesigns?

- Steigerung der mechanischen Festigkeit
- Beeinflussung von Reibung und Verschleiss
- Beeinflussung der thermischen Dehnung
- Verbesserung der thermischen Stabilität
- Beibehalten der Gewichtsreduzierung durch Leichtbau
- Gute Verarbeitbarkeit und Bearbeitbarkeit

Nenne Anwendungen von MMC:

Zylinderlaufflächen bei Kfz-Motoren, Bremsbelagträgerplatten, Lager Bremsscheiben

Was bedeutet Matrix?

Bettungsmasse

Was ist die Funktionskomponente?

Meistens Füll- oder Verstärkungstoff, ist Bestandteil, der für die Haupteigenschaften verantwortlich ist.

Was bedeutet Composite?

Verbundwerkstoff

Was bedeutet Laminieren?

Schichten von Fasern und Bettungsmasse. Unidirektional oder Multidirektional

3.3 Bedeutung und Potential der Faserverstärkten Kunststoffe

Welche Eigenschaften bestimmen, ob ein FVK-Werkstoff der Richtige ist?

- Hohe Festigkeit bei gleichzeitig niedriger Dichte
- Hohe Steifigkeit bei gleichzeitig niedriger Dichte
- Formfreiheit – komplexe Formen lassen sich giessen
- Angepasste mechanische Eigenschaften (Flexibilität, Formbeständigkeit)
- Angepasste thermische Eigenschaften
- Anisotropie
- Multifunktionale Bauweise – Eigenschaften kombinieren
- Gutes Dämpfungsverhalten
- Hohe Dauerfestigkeit
- Medienbeständigkeit
- Konstruktion, Fertigung
- Wirtschaftliche Vorteile

Warum haben FVK im Maschinenbau keinen hohen Stellenwert?

Es existiert nur selten eine Notwendigkeit, FVK einzusetzen, da die metallischen Konstruktionswerkstoffe die Anforderungen bis auf seltene Ausnahmen erfüllen.

Warum werden FVK meist überschätzt?

Da meist nur die Festigkeit der Faser berücksichtigt wird. Durch die Matrix werden diese Werte verkleinert. Weiter ist die höchste Festigkeit nur in Faserrichtung möglich. Da aber meist ein komplexer Spannungszustand herrscht, müssen die Fasern multidirektional eingelagert werden.

3.4 Anwendungsbereiche von Composites

In welchem Bereich wird heute die Hälfte der Composites umgesetzt?

Im Sport und Freizeitbereich.

Nenne einige Anwendungsbereiche:

- Luft- und Raumfahrt
- Autos
- Bahnwägen
- Elektronik
- Bau

3.5 Anwendungsbeispiele

Warum werden für Dehnspanndorne FVK verwendet?

Die wesentlich höhere Dehnung als bei Stahl ist entscheidend.

Warum werden Druckbehälter mit Kunststoff ummantelt?

Der Metallbehälter will sich bei Erwärmung ausdehnen. Dies würde zu hohen Wärmespannungen führen. Der FVK verhindert dies, da er einen viel kleineren Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt als Stahl.

3.5.1 Ausgangsstoffe- Matrix und Fasern

Welche Eigenschaften muss der Verbund aufweisen?

- Mechanische Eigenschaften (Festigkeit, Steifigkeit)
- Thermische Eigenschaften
- Physikalische Eigenschaften (Temperaturverhalten, Korrosionsverhalten)
- Ökonomische Aspekte (Preis-Leistung)

Welche Aufgabe erfüllt die Matrix?

- Kräfte in die Fasern leiten
- Kräfte von Faser zu Faser leiten
- Geometrische Lage der Fasern sichern
- Fasern vor Umgebung schützen

Nenne die Vor- und Nachteile von Epoxidharz als Matrixtyp:

Vorteile:

- Hohe Festigkeit
- Gute Temperaturbeständigkeit
- Sehr gute Haftung
- Geringe Schwindung
- Chemikalien beständig

Nachteile:

- Materialkosten
- UV Beständigkeit
- Feuchtigkeitsempfindlichkeit
- Muss genau dosiert werden

3.5.2 Duroplastische Matrixsysteme

Was sind Harze?

Harze sind nieder- bis hochmolekulare, flüssige, schmelzbare Stoffe, die allein oder in Kombination mit einem Härter bei Raumtemperatur oder bei erhöhter Temperatur in den dreidimensional vernetzten Zustand übergehen und dabei hart, unlöslich und unschmelzbar werden.

Welche Begriffe werden unter Harz verstanden?

- Matrix im Verbindwerkstoff (fester, ausgehärteter Stoff)
- Flüssiger Stoff zum Laminieren
- Flüssige Hauptkomponente in 2-K-Systemen

Was versteht man unter dem Begriff „Tempern“

Nachhärtung kalt gehärteter Teile bei erhöhter Temperatur.

3.5.3 Thermoplastische Matrix Werkstoffe

Nenne die Vor- und Nachteile:

Vorteile:

- grosse Schlagzähigkeit und Bruchdehnung
- Gutes Druck und Stauchverhalten
- Kurze Bearbeitungszyklen
- Schweissbarkeit
- Unbegrenzte Lagerzeit bei Raumtemperatur

Nachteile:

- Kriechneigung bei höheren Temperaturen
- Hohe Temperaturen und Drücke bei der Verarbeitung notwendig
- Schwierige Imprägnierung
- Teilkristallisation erschwert die Verarbeitung

3.5.4 Kohlenstofffasern

Wie werden Kohlenfasern geliefert?

In Rovingform. Es handelt sich hierbei um unendlich lange Fasern, die auf einem zylindrischen Rohr aufgewickelt sind.

Nenne die Eigenschaften von Kohlenstofffasern:

- Sehr leicht (1.72g/cm³)
- Hohe Festigkeit
- Korrosionsbeständig
- Elektrisch und thermisch leitend
- Körperverschlinglich
- Spröd und Bruchempfindlich
- Fast dauerschwingfest
- Teuer

Was ist ein Unidirektionales Gewebe?

Haupttrichtung der Fasern + in regelmässigen Abständen ein Kontrollfaden quer zur Haupttrichtung.

Warum erzeugt man ein Gewebe gemischt aus Kevlar (Aramid) und Kohlenfasern?

Erhöht die Zähigkeit

3.5.5 Glasfasern

Nenne die Eigenschaften:

- Hohe Zähigkeit
- Unbrennbar, feuersicher
- Günstig
- Tiefe Festigkeit

3.5.6 Synthefasern

Nenne die Eigenschaften der Aramidfaser:

- Organische Faser, gelb, Kevlar oder Twaron
- Sehr Schlagzäh
- Mechanische Eigenschaften stark anisotrop
- Schlecht auf Druck
- Nimmt Feuchtigkeit auf
- Chemisch nicht beständig
- Nicht besonders temperaturfest
- Schlecht verarbeitbar
- Teuer

Nenne die Eigenschaften der Polyethylenfaser:

- geringes Gewicht

- niedrige Schmelztemperatur
- Kriechneigung
- Gute chemische Beständigkeit

3.5.7 Form der Verstärkung

Welche Verstärkungsformen kennt man?

- Kurzfasern
- Endlosfasern
- Hybridfasern

Beschreibe die Kurzfaser:

Kurzgeschnittene Fasern, die für die Herstellung von Harzmatten eingesetzt werden.

Längen: Faserflocken: 0.03-0.3mm; Kurzfasern: 0.5mm, Lange Kurzfasern: bis 50mm

Beschreibe die Endlosfaser:

Unidirektionales Fasergelege, die aus parallel angeordneten endlosen Einzelfäden bestehen.

Beschreibe die Hybridfasern:

Werden verschiedene Verstärkungsfasern in einer Matrix eingebettet handelt es sich um einen Faserhybridwerkstoff. Damit können folgende Materialeigenschaften gesteuert werden:

- Steuerung der Wärmeausdehnungskoeffizienten
- Beeinflussung des Dämpfungsverhaltens
- Beeinflussung der Verarbeitungsgeschwindigkeit
- Beeinflussung der Brucheigenschaften

In welche Gruppen werden die textilen Flächengebilde eingeteilt?

- Vliese
- Nicht-maschenbildende Systeme
- Maschenbildende Systeme

Was sind Prepregs?

Sind Halbzeuge aus bereits Harz getränkten Matten, welche bei einer bestimmten Temperatur gelagert werden.

Welche Aussage kann über den Durchmesser einer Faser gemacht werden?

Je kleiner die Faser (dünner) desto kleiner ist der mögliche Fehler (Risse), desto höher ist die Zugfestigkeit.

3.6 Verhalten von FKV – Überblick

Wie ist ein Schichtverbund (SV) aufgebaut?

Die Einzelschichten werden einzeln geschichtet. Ihre Richtungen werden der Beanspruchung angepasst. Die Einzelschichten können einzeln als homogene, anisotrope Kontinua angesehen werden, die im zweiachsigen Beanspruchungszustand betrachtet werden dürfen.

Welchen Zweck erfüllt die Netztheorie?

Die Netztheorie ist dazu da, wie eine Beanspruchung betrachtet werden kann. Bei einer Verformung verhält sich der Verbund wie ein Netz.

Was ist die CLT?

CLT ist die klassische Laminattheorie bei der eine vollständige Beschreibung des Kontinuums, bei der auch durch Rissbildung beschädigte Bauteile beschrieben werden können.

Reichen Berechnungen aus für die Dimensionierung von FKV-Werkstoffen?

Nein. Um die Belastungsgrenzen werden die Berechnungen oft durch Belastungs- und Bruchversuche gestützt.

3.7 Verhalten der Einzelschicht ES

Welche Verstärkungsarten sind für ES gebräuchlich?

- P-ES Parallelfasernverstärkte ES, auch DU-Schicht genannt
- G-ES Gewebeverstärkte ES

- W-ES Wirrfasernverstärkte ES

Wie verhält sich die ES bei Kurzzeitiger (Stoss) Belastung?

Alle Faserarten verhalten sich praktisch linearelastisch bei einer Stossbelastung.

Wie verhält sich die ES bei langzeitiger Belastung?

Bei allen Belastungs- und Verstärkungsarten nimmt die Matrix eine tragende Rolle ein. Es treten deutliche Kricherscheinungen auf.

Wie verhält sich die ES bei einer veränderlichen Langzeitbelastung (Wechselast)?

Aramid- und Kohlefasern haben einen sehr geringen Festigkeitsrückgang. Glasfasern zeigen ein starkes Ermüdungsverhalten. Druckbelastungen werden von FKV im Gegensatz zu den Metallen schlechter ertragen.

Welcher Einfluss hat die Feuchtigkeit und die Temperatur auf die ES?

Unterschiedliche Wärmekoeffizienten führen zu einer unterschiedlichen Dehnung der Matrix zum Fasermaterial. So entstehen Spannungen im Werkstoff. Der max. Wassergehalt von Verbunden liegt bei 1-3%. Die Feuchtigkeitsaufnahme darf nicht verharmlost werden, da bei einer Aufnahme die Festigkeit der FKV sinkt.

3.8 Eigenschaften des Schichtverbundes

Wie ändern sich die Eigenschaften vom SV zur ES?

Sie ändern kaum, da der Schichtverbund die Summe aus den ES ist.

Warum werden SV immer symmetrisch ausgeführt?

Da dadurch bei einer Membran-Belastung keine Verformungen in die Normalrichtungen entstehen.

Wie kann der Schichtverbund vor Alterung geschützt werden?

Wenn der Schichtverbund der Umwelt ausgesetzt ist (Wasser, UV), so ist eine Lackierung vorgesehen, welche den Schichtverbund schützt.

3.9 Konzeption und Gestaltung

Wie gestaltet sich der Bauteilentwicklungslauf bei FKV?

Durch den Umstand, dass das Material erst bei der Herstellung des Bauteils entsteht, müssen verschiedene Tests durchgeführt werden, welche die Berechnungen bestätigen.

Welche Testreihen müssen durchgeführt werden?

- Entwicklungstests (Bestätigung der Rechenmodelle)
- Qualitätstests (Verifizierung des Bauteils)
- Produktannahmetest (Nachweis der Fertigungsqualität des einzelnen Bauteils)

Welche Auslegungskonzepte gelten für die Dimensionierung von FKV-Bauteilen?

Wiederum gelten die Auslegungskonzepte „Safe-Life und Fail-Save“

3.10 Konstruktive Gestaltung von FKV-Bauteilen

Warum ist die konstruktive Gestaltung bei FKV-Bauteilen so wichtig?

Da durch eine optimale Ausrichtung des Faserwerkstoffes der Vorteil der Gewichtsersparnis bei FKV gegenüber Stahl erst zum Tragen kommt. Wird eine quasiisotrope Ausrichtung des Faserwerkstoffes ausgeführt, entfällt der Vorteil der Anisotropie und somit die Gewichtsersparnis.

Warum weisen Stege bei FKV-Werkstoffen eine grössere Wanddicke auf gegenüber metallischen Stegen?

Da der G-Modul bei FKV-Werkstoffen geringer ist als bei metallischen Werkstoffen fällt der Steg dicker aus.

Warum wird bei Wellen und rohrförmiger Stäbe eine Faserausrichtung von +/-45° angestrebt?

Diese Bauteile werden meist auf Torsion belastet, daher diese Faserausrichtung.

Warum entsteht bei Temperaturänderung keine Verwölbung bei FKV-Rohren?

Wie bei allen Materialien entsteht auch bei FKV-Rohren keine Verwölbung in Längsrichtung bei einer Temperaturänderung, da es sich um ein symmetrisches Profil bei Rohren handelt.

Warum wird bei Behältern aus FKV eine Innenschicht aus Kunststoff oder Metall nötig?

Da FKV-Werkstoffe nicht dicht sind braucht es diese Innenschicht.

3.11 Gestaltung von Krafteinleitungen

Wie können Kräfte in die FKV-Bauteile eingeleitet werden?

- Stoffschluss
- Formschluss
- Kraftschluss

Warum wird beim Kleben als stoffschlüssige Verbindungsart die Schäftung der Überlappung vorgezogen?

Durch die zweischnittige Schäftung entstehen geringer Spannungsspitzen.

Welches ist die beste Art der Krafteinleitung?

Krafteinleitung durch Schlaufen, so werden die Fasern nicht unterbrochen und die Kraft wird direkt in die Fasern geleitet.

4 Sandwichtechnologie

Was wird als Sandwichtechnologie bezeichnet?

Sie besteht aus dünnen Deckschichten hoher Steifigkeit und Festigkeit, die mit einer dicken Kernschicht niedriger Dichte zug- und schubfest verbunden sind. Der Verbund weist dadurch ein günstiges Verhältnis von Biegesteifigkeit und Gewicht auf.

Warum werden Sandwichstrukturen erstellt?

Durch den Abstand der Deckschichten (infolge der Höhe des Kerns) wird eine hohe Steifigkeit und Festigkeit erzielt, bei einer geringen Gewichtszunahme.

Welche Aufgabe erfüllen die Deckschichten?

Aufgrund ihres viel grösseren E-Moduls übernehmen die Deckschichten nahezu das gesamte Biegemoment.

Welche Aufgaben erfüllt der Kern?

- Distanz geben zwischen den Deckschichten
- Aufnahme der Querkraft und des Schubes
- Stabilisierung der Deckschichten

Wie setzt sich die totale Verformung von Sandwichstrukturen zusammen?

Biegeverformung der Deckschichten + Scherung des Kernmaterials

*Nenne die Vor- und Nachteile von Sandwichstrukturen:***Vorteile:**

- Hohe Biegesteifigkeit bei geringem Gewicht
- Glatte Oberflächen
- Ausgezeichnetes Ermüdungsverhalten
- Gute Wärmedämmung
- Gutes Dämpfungsverhalten
- Hohe Energieabsorption
- Geringere Montagekosten

Nachteile:

- Waben und FVK Deckschichten sind anisotrop
- Kleben der Deckschichten muss beherrscht werden, sonst kann Schub nicht übertragen werden
- Teilweise noch schlechte Recyclierbarkeit
- Gefahr der Wasseraufnahme bei Honeycombs und offenzelligen Schaumstoffen
- Teilweise schlechtes Brandverhalten
- Teilweise hohe Fertigungskosten

Warum sind Sandwichstrukturen schlechte Schalldämmer?

Die Schalldämmung hängt stark von der Masse und der Steifigkeit ab, da die Sandwichstrukturen eine geringe Masse besitzen, wird ihr Dämmverhalten schlecht ausfallen.

Wie ist die Wärmedämmung von Sandwichstrukturen?

Je nach Kernmaterial weisen die Sandwichstrukturen unterschiedliche Wärmedämmeigenschaften auf. Metall als Kernmaterial ist sehr schlecht als Wärmedämmelement geeignet. Geschäumte Kunststoffe hingegen sehr gut.

4.1 Materialien

Welche Materialien werden für Deckschichten und für Kerne verwendet?

Deckschichten: Composites, Metall, Kunststoff, Papier

Kernmaterial: Honeycomp aus Metall, Kunststoff, Papier / geschäumte Kunststoffe

Welches sind die wichtigen Kenngrößen der Wabenkerne?

Die Zellgröße und das Raumgewicht

Welche Eigenschaften resultieren aus einer kleinen Zellgröße?

- Gleichmässige Oberfläche (besonders gut für dünne Deckschichten)
- Grössere Klebefläche
- Teurer als grosse Zellen

Was sagt das Raumgewicht aus?

Je grösser das Raumgewicht, desto dicker sind die Zellwände und desto höher ist die Festigkeit und Steifigkeit.

Welches ist die Standardzellenform?

Hexagonale Zelle. Sie ist besonders gut geeignet für ebene Strukturen.

Nenne die Vorteile von Schaumstoffkernen:

- 3D-Formen leicht herstellbar
- Hohes Energieabsorptionsvermögen
- Leichte Reparierbarkeit
- Keine Wasseraufnahme bei geschlossenen Schaumstoffen
- Thermisch isolierend

Was wird als Parabeamgewebe bezeichnet?

Dies ist ein dreidimensionales Glasgewebe. Es besteht aus zwei Deckschichten mit einem Abstandsgewebe dazwischen.

Welche Aufgabe hat der Klebstoff?

Der Klebstoff verbindet die Deckschichten mit dem Kern. Der Klebstoff muss eine Kehlnaht am Wabensteg bilden, da die Klebfläche auf der Stirnseite der Wabenstege zu klein wäre. Der Klebstoff wird in der Regel als Film aufgetragen.

4.2 Versagenskriterien bei Sandwichstrukturen

Welches sind die Versagensarten bei Sandwichstrukturen?

- Knicken des Panels (Panel Buckling)
- Schubversagen (Shear Crimping)
- Beulen der Deckschichten (Skin Wrinkling)
- Einbeulen der Deckschichten über Honeycombzellen (Intracell Buckling)
- Örtliches Eindrücken (Local Compression)

5 Ausgangsstoffe für FKV

Welche Stoffe kommen als Matrixwerkstoff in Frage?

- Kunststoffe (Duromere und Thermoplaste)
- Metalle (MMC=Metal Matrix Compounds)
- Keramik

5.1 Duroplastische Matrixsysteme

Welches sind die Eigenschaften von duroplastischen Matrixsystemen?

Harze mit niedriger- bis hochmolekularer Struktur. Sie sind flüssig und schmelzbare Stoffe, welche mit Härter bei Raumtemperatur oder einer erhöhten Temperatur aushärten. Sie vernetzen dreidimensional und sind nach dem Vernetzen unlöslich und unschmelzbar.

Welches sind die wichtigsten Duroplaste für Matrixsysteme?

- Polyesterharze (UP)
- Epoxidharze (EP)
- Phenolharze (PF)
- Melaminstoffharze (MF)
- Harnstoffharze (UF)
- Acrylharze und Siliconharze

Wie entsteht ein duroplastischer Formstoff?

Er entsteht gleich wie ein thermoplastischer Formstoff durch eine chemische Reaktion. Voraussetzung für die Bildung eines dreidimensionalen Netzwerkes ist das Vorhandensein von mehr als 2 funktionellen (reaktionsfähigen) Gruppen pro Molekül.

Wie verhält sich der Formstoff, wenn mehr als die nötige Härtermenge hinzugefügt wird?

Dies führt nicht wie angenommen zu mehr Härte, sondern das macht den Kunststoff weich. Die nicht vernetzten Moleküle wirken als Weichmacher.

Können Duroplaste bei Raumtemperatur gehärtet werden?

Ja dies ist möglich, aber nur bis zu einem gewissen Grad. Es ist meist keine vollständige Aushärtung bei RT möglich.

Was ist eine Nachhärtung?

Eine Nachhärtung ist ein Tempern der kalt gehärteten Teile. (Nachhärtung bei erhöhter Temperatur)

Wo liegt die optimale Nachhärtetemperatur?

Sie liegt bei der max. erreichbaren Glasktemperatur des jeweiligen Duroplastes.

Was geschieht mit dem Harz beim Gelpunkt (sog. Tropfzeit)?

Bei der Temperaturerhöhung nimmt die Viskosität zwischenzeitlich ab, danach wird die Grenzviskosität erreicht, ab diesem Punkt fließt das Harz schlechter. Ab dem Gelpunkt kann das Harz nicht mehr verarbeitet werden.

Warum besitzen Epoxidharze eine gute Masshaltigkeit?

Die bis zum Gelpunkt auftretende Schwindung kann durch Nachfließen des Harzes kompensiert werden, so lässt sich die gute Masshaltigkeit erklären.

Was wird im TTT-Diagramm (Time-Temperature-Transition) dargestellt?

Das Verhalten des Harzes über die Zeit bei einer veränderbaren Härtetemperatur.

Was wird als Sol, als So-Gel und Gel im TTT-Diagramm bezeichnet?

Sol : vollständig in die Lösungsmittel lösliches, nur wenig gehärtetes Harz

So-Gel: Mischung aus unlöslichen und löslichen Anteilen

Gel : vollständig unlöslicher Formstoff (vollständig ausgehärtet)

Was ist der Aushärtegrad?

Der Aushärtegrad (E: degree of cure) ist eines der wichtigsten Charakterisierungsmerkmale von Duroplasten.

Warum ist ein maximaler Aushärtegrad anzustreben?

Da nur so die optimalen Eigenschaften (hohe Steifigkeit, Festigkeit, Wärmebeständigkeit) erzielt werden können.

5.2 Epoxidharze als Matrixwerkstoff

Welche Eigenschaften besitzen Epoxidharze?

Vorteile.

- Gutes mechanisches und thermisches Verhalten
- Gute Haftung
- Einstellbarkeit der Reaktionsmasse in einem grossen Viskositätsbereich
- Beschleunigung des Härungsverlaufs
- Besonders geringer Schwund
- Geringe Brennbarkeit
- Sehr gute dielektrische Eigenschaften
- Gute Chemikalien- und Witterungsbeständigkeit

Nachteil:

- Genaues Dosieren der Komponenten erforderlich
- Relativ teuer

Warum muss das Mischungsverhältnis bei Epoxidharzen so genau sein?

Wenn das Mischungsverhältnis nicht stimmt, bleiben unvernetzte Bausteine einer Komponente übrig. Diese führt zu verminderten Festigkeitseigenschaften der Formstoffe.

Welche Kennzahlen sind zur Verarbeitung der Harzansätze notwendig?

- Epoxid-Wert (gibt an, wie viele Mol Epoxidgruppen in 100g harz enthalten sind)

- Aminäquivalent (gibt die Menge Härter in Gramm an, die ein Mol aktiver Wasserstoffe enthält)

5.3 Ungesättigte Polyesterharze (UP) als Matrixsysteme

Welches sind die Eigenschaften von UP?

Sie weisen eine niedrige Glasübergangstemperatur und eine geringe Festigkeit und Steifigkeit auf. Sie besitzen den Nachteil, dass sie während des Aushärtens schrumpfen. Dafür sind sie sehr preiswert.

5.4 Thermoplastische Matrix Werkstoffe

Welches sind die Eigenschaften von thermoplastischen Matrixwerkstoffen?

Vorteil:

- grosse Schlagzähigkeit, hohe Bruchdehnung, grosses Druck-, Stauch- und Knickverhalten
- geringe Feuchtigkeitsaufnahme
- Kurze Verarbeitungszyklen
- Schweissbarkeit
- Unbegrenzte Lagerzeit bei RT
- Wiederverwendbarkeit

Nachteile:

- Kriechneigung bei höheren Temperaturen
- Schwierige Imprägnierung der Faser aufgrund der hohen Viskosität
- Teilkristallisation erschwert die Verarbeitung

5.5 Fasern

Welche Eigenschaften besitzen Kohlenstofffasern?

Sie sind die bedeutendsten Fasern auf dem Markt.

Vorteile:

- Hohe mechanische Eigenschaften

- Hervorragende Beständigkeit gegen Chemikalien
- Sehr hohe Temperaturbeständigkeit
- Optimales Benetzungs- und Haftverhalten

Welche Kohlenstofffasern gibt es?

- Hochfeste Fasern (high tenacity HT)
- Hochsteife Fasern (high modulus HM)
- High-strain Fasern (HS)
- Intermediate modulus (IM)

Warum besitzen die Kohlenstofffasern eine so hohe Festigkeit?

Der Grund liegt in ihrer hexagonalen Grundordnung der Atome.

Wo werden Glasfasern eingesetzt und welche Eigenschaften besitzen sie?

Sie werden in 90% aller duroplastischen Verstärkungen eingesetzt. Die Standardfaser ist die E-Glasfaser. Die S- und R-Glasfaser haben eine erhöhte Festigkeit und Steifigkeit von 30%.

Vorteile:

- Gute mechanische Eigenschaften
- Wasserfestigkeit
- Gutes Korrosionsverhalten
- Billig

Welchen grossen Vorteil hat die Aramidfaser?

Der besondere Vorteil liegt in der sehr guten Schlagbeanspruchbarkeit und das hohe Energieaufnahmevermögen. Die Aramidfaser ist weiter flammfest, selbstlöschend und gegen viele Chemikalien beständig.

Welche Vorteile besitzt die Polyethylenfaser?

Sie hat ein geringes Gewicht (leichter als Wasser), daher wird sie als Werkstoff im maritimen Bereich eingesetzt.

5.6 Form der Verstärkung

Wie werden die Verstärkungsformen grundsätzlich unterschieden?

Kurzfasern, Endlosfasern, Hybridfasern

Wie werden Kurzfasern angewendet?

Sie besitzen eine Länge von 0.03-50mm und werden meist zur Herstellung von Harzmatten verwendet, welche im Spritzgussverfahren hergestellt werden.

Wann wird der Name Hybridfaser angewendet?

Wenn in einer Matrix verschiedene Verstärkungsfasern eingebettet werden, bezeichnet man diesen Werkstoff als Faserhybridwerkstoff

Warum werden Fasern nachbehandelt?

Durch eine Behandlung der Fasern wird die Haftung der Fasern verbessert. Diese Schutzstoffe heissen Schlichten.

Was bedeutet der Ausdruck Tex?

Tex bezeichnet wie viel Masse pro Längeneinheit einer Faser besteht. (1 tex = 1g/1000m)

Was wird als Filament bezeichnet?

Filament ist die einzelne Textilfaser (Fibrille) unbegrenzter Länge.

Was wird als Garn bezeichnet?

Entsteht beim Verdrillen von mehreren hundert Filamenten.

Was wird als Zwirn bezeichnet?

Zwirn entsteht beim Verdrehen von mehreren Garnen.

Was wird als Roving bezeichnet?

Roving entsteht auch aus mehreren hundert Filamenten, jedoch werden die Filamente nicht verdrillt wie beim Garn, sondern zu einem Strang zusammengefasst und mit Schichte verklebt.

Was wird als Vlies bezeichnet?

Ein Vlies ist ein Flächengebilde aus ungeordneten übereinanderliegenden Fasern, deren Zusammenhalt durch spezielle Binder hergestellt wird.

Was wird als Gewebe bezeichnet?

Ein Flächengebilde die mittels Flachbildung aus sich rechtwinklig verkreuzten Fäden zweier Fadensysteme.

Nenne verschiedene häufig eingesetzte Gewebetypen:

- Leinwandbindung
- Körperbindung
- Satinbindung
- Scheindrehergewebe
- Gelege

Was ist ein Gelege?

Ein Flächengebilde, das durch Aufeinanderlegen von Fadensystemen mit oder ohne Fixierung des Kreuzpunktes entstehen.

Was ist ein Geflecht?

Beim Geflecht ist im Gegensatz zum Gewebe, welches parallel aufgebaute Fadensysteme besitzt, ein Winkel zwischen den Fadensystemen. Vorteil dieses Geflechtes ist, dass es nahezu beliebige rotationssymmetrische Formen annehmen kann.

Was sind Gewirke und Gesricke?

Sind Flächengebilde, welche aus mehreren Fäden durch Maschenbildung hergestellt werden.

Was ist ein 3D-Gewebe?

Ist ein Gewebe, welches in alle drei Richtungen miteinander verknüpft ist.

Vorteile:

- Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch Preforming
- Verbesserung der Out-of-Plane Eigenschaften
- Verbesserung in-Plane Eigenschaften (non Crimp Fabrics)

6 Eigenschaften im Verbund Faser-Matrix

6.1 Grundlagen der Verstärkung

Wie werden Polymerwerkstoffe (Kunststoffe) verstärkt?

Durch Füllstoffe, welche der Matrix zugefügt werden.

Was sind Füllstoffe?

Sind feste anorganische oder organische Materialien, die in Kunststoffen eingemischt werden.

Was sind aktive und inaktive Füllstoffe?

Inaktive Füllstoffe strecken teure Polymere oder organische Materialien. Sie werden auch Extender genannt. Aktive Füllstoffe verbessern bestimmte mechanische Eigenschaften, sie werden daher auch verstärkende Füllstoffe genannt.

Wie werden die Füllstoffe unterschieden?

Sie sind gekennzeichnet durch ihre geometrische Form und die mechanischen Eigenschaften.

In welche Gruppen lassen sich die Füllstoffe nach ihrer Geometrie einteilen?

- Eindimensional (Fasern)
- Zweidimensional (Glimmer, Silikate, Talkum)
- Dreidimensional (Glaskugeln, Kreide-, Metall- und Keramikpulver)

Was wird als Haftung bezeichnet?

Die Haftung ist die Grenzschicht zwischen Faser und Matrix ist vor allem für die Spannungsübertragung von der Matrix auf die Faser wichtig. Ohne eine gute Haftung der beiden Komponenten kann keine Verstärkung des Verbundes erzielt werden.

Welche Haftmechanismen werden unterschieden?

- Chemisch kovalente Bindung
- Sekundäre chemische Bindung
- Adsorption und Benetzung
- Interdiffusion
- Elektrostatische Anziehung
- Mechanische Haftung

Wie wird die Haftung von Faserwerkstoffen verbessert?

Dadurch, dass sie mit Schichten überzogen werden (5-20 Nanometer dicke Schicht)

6.2 Mechanische Verträglichkeit

Was wird als mechanische Verträglichkeit bezeichnet?

Man spricht von einer mechanischen Verträglichkeit, wenn beim Zusammenfügen der Fasern und Matrix keine ungünstigen Eigenschaftsänderungen auftreten.

Was geschieht bei einer Zugbelastung eines FKV-Werkstoffes?

Es entstehen durch Spannungskonzentrationen bereits sehr früh kleine Risse, so genannte Microrisse, die die zulässige Verformung eines FKV-Werkstoffes begrenzen.

Was ist das erste Anzeichen eines Bruches?

Erste Anzeichen für beginnende Rissbildung sind Knistergeräusche im Werkstoff.

Was ist die Voraussetzung für gute Druckeigenschaften von FKV-Werkstoffen?

Zum Erhalt von guten Druckeigenschaften ist ein hoher E-Modul des Matrixwerkstoffes erforderlich.

6.3 Mikromechanik

Wie kann der E-Modul des Verbundes bestimmt werden?

Mit dem E-Modul der Matrix und des Verstärkungswerkstoffes kann mit Hilfe ihrer Volumenanteile der E-Modul des Verbundes bestimmt werden (Mischungsregel).

Wie werden Kräfte am Beispiel einer einzelnen Faser vom Verbund aufgenommen?

Die Spannungsspitzen in der Nähe des Faserendes betragen bei einer rein elastischen Matrix das mehrfache der mittleren Grenzflächenschubspannung. Bei viskoelastischem Verformungsverhalten der Matrix werden die Spannungsspitzen geringer.

Was wird als die kritische Faserlänge bezeichnet?

Die kritische Faserlänge hängt von der Qualität der Haftung ab. Bei geringer Haftung muss die kritische Faserlänge grösser sein, damit die Schubkraft auf die Faser übertragen werden kann. Die kritische Faserlänge ist die kürzt mögliche Faserlänge für den Verbund.

Welchen Vorteil besitzen lange Fasern?

Lange Fasern haben den grossen Vorteil, dass sie weniger Kerbwirkung verursachen, weil sie gegenüber vielen kleinen Fasern weniger Enden aufweisen.

Was ist der kritische Fasergehalt?

Ist der Fasergehalt, welcher überschritten werden muss, dass eine Erhöhung der Festigkeit der Matrix erreicht wird.

Warum gibt es eine obere Grenze des Fasergehaltes in einem Verbund?

Verarbeitungstechnisch ist eine Umhüllung aller Fasern nicht mehr möglich, wenn zu viele Fasern sich im Verbund befinden.

6.4 Eigenschaften des Verbundes

Wann weisen Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe gegenüber hochfesten Metallen einen Vorteil auf?

Wenn die Fasern in die Belastungsrichtung orientiert sind.

Ist ein Roving oder eingebettete Fasern in einem Matrixwerkstoff auf Zug mehr belastbar?

Eingebettete Fasern ertragen eine um den Faktor 1.4-1.8 höhere Zugbelastung als Rovings, da die Spannungsspitzen über die Matrix an benachbarte Fasern übertragen werden können.

Welche Festigkeit ist bei einer Druckbelastung entscheidend? Die der Faser oder der Matrix?

Die Fasern werden bei einer Druckbeanspruchung in Faserrichtung durch die Matrix gestützt. Wenn die Matrix versagt knicken auch die Fasern aus. Somit ist die Festigkeit der Matrix entscheidend.

Wie kann die Schadenstoleranz verbessert werden?

- modifizierte Harze (zähelastisch)
- Thermodynamische Matrix
- Hybridfasern (Kohlenstoff/Aramid)
- 2- und 3-D Verstärkungen

Wie verhalten sich die Faser und Matrixwerkstoffe bei einer Erwärmung?

Matrixmaterial und Glasfasern dehnen sich in alle Richtungen aus. Kohlenstoff und Aramidfasern ziehen sich aber zusammen und dehnen sich in senkrechter Richtung zur Faser aus.

Bis zu welcher Temperatur sind Verbundwerkstoffe einsetzbar?

Die Matrixwerkstoffe haben fast immer die geringere thermische Beständigkeit. Daher können Verbundwerkstoffe mit einer thermoplastischen Matrix max. einer Temperatur von 200°C ausgesetzt werden. Und Verbundwerkstoffe mit einer duroplastischen Matrix nur einer Temperatur von 100°C.

Welchen Effekt hat Feuchtigkeit auf die Lamine?

- Verschlechterung der Steifigkeit und Festigkeit der Matrix
- Verminderung der Glasumwandlungstemperatur T_g (geringere Temperaturbeständigkeit)
- Verschlechterung der ILS-Festigkeit (interlaminare Scherfestigkeit) und damit eine geringere Schlagfestigkeit und Festigkeit des Laminates allgemein.

6.5 Besondere Eigenschaften

Welche Vorteile bringt die Verstärkung durch Partikel im Nanobereich?

- Montmorillonit (Tonmodifikation) kann das 20-30-fache des eigenen Volumens an Wasser speichern
- 3-5% Gew% der Nanopartikel erzeugt eine Steifigkeit, welche einer 15-20 Gew% Glasfaserverstärkung entsprechen würde
- Gaspermeabilität eines Polyamides wird um die Hälfte reduziert durch eine Zugabe von 2% Nanopartikeln
- Durch Zugabe von Nanopartikeln können Verbundwerkstoffe elektrisch leitend gemacht werden

7 Herstellverfahren von FKV

Welches sind die wesentlichen Beurteilungskriterien für die Auswahl des Herstellverfahrens?

Bauteilgrösse und Komplexität

Welche verschiedenen Herstellverfahren gibt es?

Handlaminieren, Wickeln, Faserspritzen, Strangziehen, Vakuumpressen

Welches Verfahren eignet sich für rotationssymmetrische Bauteile?

Wickeln eignet sich zum Herstellen von Druckgehaltern

Welches Verfahren eignet sich für schalenförmige Bauteile?

Hierfür eignet sich die Umformtechnik und das Harzinjektionsverfahren

Wie werden geometrisch komplexe Bauteile hergestellt?

Durch Spritzgiessen, Harzinjektionsverfahren und Fliesspressen

Nenne die Einflussgrössen für die Herstellung

Die Art der Matrix und die Fasern bestimmen die Grundeigenschaften. Für die Herstellung sind folgende Einflussgrössen wichtig:

- Behandlung der Fasern und des Harzes
- Fasergehalt
- Länge und Orientierung der Fasern
- Aufbau des Laminats
- Verarbeitungsbedingungen (Zeit, Temperatur, Feuchte)
- Härtebedingungen
- Werkzeuge, Formen, Einrichtungen

Nenne die Verfahrensschritte bei der Herstellung:

1. Formen vorbereiten

2. Oberflächenschicht auftragen
3. Material bereitlegen
4. Laminat herstellen
5. Laminat verpressen
6. Laminat aushärten
7. Entformen, Nachbearbeiten
8. Prüfen
9. Oberflächenbehandeln

Welche Vor- und Nachteile besitzen Positivformen?

Vorteile:

- evtl. kann direkt bestehendes Bauteil verwendet werden
- rasche Herstellung
- einfach modellierbar
- günstig
- Hinterschneidungen möglich

Nachteile:

- Aussenfläche ist nicht glatt und muss nachbearbeitet werden
- Oft nur einmal verwendbar
- Fixieren der Fasern schwierig

Welche Vor- und Nachteile besitzen Negativformen?

Vorteile:

- glatte Aussenfläche
- Hinterschneidungen möglich
- Für mehrere Teile anwendbar

Nachteile:

- Müssen meistens über ein Positiv hergestellt werden
- Aufwendig

Nenne die Vor- und Nachteile einer 2- oder mehreiligen Form:

Vorteile:

- Glatte Innen- und Aussenflächen
- Hohe Wiederholungsgenauigkeit
- Definierte Wanddicke

Nachteile:

- Aufwändig
- Hohe Genauigkeit erforderlich
- Teuer

7.1 Handlaminieren

Nenne die Arbeitsschritte beim Handlaminieren:

1. Auftragen eines Trennmittels auf die Formfläche
2. Einstreichen einer Deckschicht
3. Schichtweises Auftragen der Einzelschichten nass-in-nass
4. Als Abschluss ein Abreissgewebe einlegen. Erzeugt eine saubere, klebfreie Oberfläche
5. Aushärten meist drucklos bei RT
6. Nachbearbeiten

Nenne die Merkmale des Handlaminierens:

- Geringer Werkzeugaufwand
- Geringe Investitionskosten
- Für kleinere und mittlere Serien bis 1000 Stück geeignet
- Lohnintensiv, da viel Handarbeit

7.2 Faserspritzen

Welche Teile werden durch Faserspritzen erzeugt?

Für Bauteile mit geringen Anforderungen. Der Harzgehalt ist sehr hoch bei 70%. Typische Anwendungen sind: Wasserrutschen, Boote, Schaltkästen, Abdeckungen

7.3 Vakuumpressen

Nenne den Herstellungsprozess beim Vakuumpressen:

Handlamierte Teile werden in einen Foliensack geschoben, danach wird die Luft abgesaugt. Dadurch wird die Folie auf das Laminat und dieses auf die Form gepresst. So kann das überschüssige Harz aus dem Laminat gepresst werden und Kerne aus Kunststoff gehen eine optimale Verbindung mit dem Laminat ein.

7.4 Nenne die Merkmale des Vakuumverfahrens:

- Geringer Werkzeugaufwand
- Mittlere Investitionskosten
- Arbeitsintensiv, da Handlamiert
- Hohe Festigkeiten der Bauteile gegenüber Handlaminat, da Faser und Harz zusammengepresst

7.5 Innendruck Verfahren

Erkläre das Innendruck Verfahren mit weichem Kern:

Mit diesem Verfahren werden Hohlkörper hergestellt, die eine glatte Aussenfläche haben sollen. Bei diesem Verfahren wird das Werkstückmaterial erhitzt und durch einen Innendruck an die Aussenwand (Form) gepresst.

Was wird unter dem Hartkernverfahren verstanden?

Beim Hartkernverfahren ist das Formstück nicht aus einem Kunststoff sondern aus Metall (in der Regel aus Aluminium). Ein grosser Vorteil der Hartkernstofftechnik ist die praktisch unbegrenzte Lebensdauer der Metallkerne.

7.6 Autoklav-Verfahren (Prepregtechnologie)

Was ist das Autoklav-Verfahren?

Es ist eines der teuersten und aufwendigsten Verarbeitungsverfahren. Es wird in der Regel nur beim Einsatz von Prepregs angewendet. Der Vorteil ist, dass sich aus Prepregs komplizierte, mechanisch und thermisch hochbelastbare Bauteile herstellen lassen.

Nenne die Arbeitsschritte beim Autoklav-Verfahren:

1. Ablegen der einzelnen Prepreg-Lagen
2. Abdecken mit Lochfolie, Saugvlies und Vakuumfolie
3. Vakuum anlegen
4. Aufbau in den Autoklaven bringen
5. Aushärten unter Druck und hoher Temperatur
6. Belüften und Werkstück entnehmen

Nenne die Merkmale des Autoklav-Verfahrens:

- Hohe Investitionskosten
- Arbeitsintensiv
- Lange Taktzeiten
- Hohe Festigkeit der Bauteile

7.7 Injektionsverfahren

Was ist das Injektionsverfahren?

Bei diesem Verfahren wird das trockene Verstärkungsmaterial in die Form eingelegt, die Form wird geschlossen und das Harz (Matrix) in die Form gepresst.

Was ist das RTM Verfahren?

Bei dem RTM (Resin Transfer Moulding) Verfahren wird die Matrix aus einem Vorratsbehälter in die Form eingebracht. Harz und Härter sind bereits im Vorratsbehälter gemischt.

Was ist das RIM Verfahren?

Beim RIM (Resin Injection Moulding) Verfahren werden die reaktiven Komponenten (Härter) erst unmittelbar vor dem Einspritzen gemischt.

Nenne die Merkmale des Injektionsverfahrens:

- Formkosten sind höher als beim Vakuumverfahren
- Geringer Investitionskosten als beim Autoklav-Verfahren
- Zykluszeiten bei RTM je nach Harz einige Stunden, RIM erheblich kürzer
- Materialkosten sind erheblich tiefer als beim Prepregverfahren
- Bauteilqualität ähnlich hoch wie bei Prepreg

7.8 Wickeln

Welche Vorteile hat dieses Verfahren?

Eignet sich für rotationssymmetrische Bauteile wie Behälter, Rohre und Wellen.

Nenne die Merkmale des Wickelns:

- Hohe Genauigkeit
- Weitgehend automatisierbar
- Wirtschaftlich

7.9 Pressverfahren

Für welche Bauteile eignet sich das Pressverfahren?

Für grosse Stückzahlen von FKV-Bauteilen. Es erzeugt eine hohe Reproduzierbarkeit, die Fertigung ist weitgehend automatisiert, die Taktzeiten sind kurz. Es werden Montageträger, Unterbodenabdeckungen, Heckklappen und Stossfänger von Autos hergestellt.

Welche Pressverfahren werden unterschieden?

- Heisspressen
- Kaltpressen

- Nass-Pressverfahren
- Prepregverfahren

8 Verbindungstechnik

8.1 Krafteinleitungselemente

Welche Arten von Krafteinleitungselemente werden unterschieden?

- Stoffschluss
- Kraftschluss
- Formschluss

Welchen Vorteil haben Schlaufenverbindungen?

Schlaufenverbindungen sind eine spezielle Verbindungstechnik für FKV-Werkstoffe, da sie sehr fasergerecht verbinden. Hierbei können Parallelschlaufen die höheren Belastungen aufnehmen als die Augenschlaufen.

Wie können die Belastungsüberhöhungen bei Schlaufen aufgefangen werden?

Durch Hybridschlaufen. Hierbei verwendet man am Innenrand eine Faser mit geringem E-Modul und am Aussenrand eine mit hohem E-Modul. So können die Spannungsspitzen stark abgebaut werden ohne gross an Steifigkeit zu verlieren.

Was ist die CARBO-LINK-Schlaufe?

Hierbei handelt es sich um Kohlenfaser in einer Thermoplastmatrix. Das Besondere daran ist, dass die Schichten nicht miteinander verbunden sind. So können maximale Belastungen übertragen werden.

Welche Eigenschaften sind bei Nietverbindungen zu berücksichtigen?

- Grosser Durchmesser des Nietes wählen (Flächenpressung)
- Genügend Randabstand
- Reihen von Nieten bringen nichts, da die ganze Belastung vom ersten Niet übernommen wird

- Lokales Aufdicken des Laminates ist eine Möglichkeit die Verbindung zu verbessern
- Verbindungselemente müssen mit grossen unterlagen versehen werden.

Welche Bruchformen können bei Verbindungselementen entstehen?

- Scherbruch
- Spaltbruch
- Zugbruch
- Lochleibungsbruch

8.2 Kleben

Welche Vor- und Nachteile hat die Klebetechnik?

Vorteile:

- gleichmässige Kraftverteilung über die Klebefläche
- es lassen sich dünne, kleine, komplizierte Teile verkleben
- Zusatzaufgaben erfüllen (Abdichten, Überbrücken, Dämpfen)
- Auftragen des Klebstoffes ist einfach und automatisierbar
- Neue Gestaltungsmöglichkeiten für den Konstrukteur

Nachteile:

- Der Härteprozess hat eine gewisse Prozessdauer
- Zum Teil aufwendige Vorbehandlungen
- Qualität stark vom Prozessabhängig (Fehler)
- Teile müssen zum Kleben genau passen

Wie funktioniert der Mechanismus einer Klebung?

Durch Adhäsion und Kohäsion kommt eine Klebung zwischen zwei Teilen zustande. Auf zwischenmolekularen Nebervalenzkräften beruht die spezifische Adhäsion. Adhäsionskräfte wirken an den Fügstellen und im Kleber wirken Kohäsionskräfte.

Wie werden die Klebstoffe eingeteilt?

In chemisch abbindende Klebstoffe und in physikalisch abbindend.

Wo liegt die thermische Grenze für geklebte Verbindungen?

Klebeverbindungen werden normalerweise nicht über 100°C belastet.

Wie kann eine Klebung (Fügestellen) gestaltet werden?

Einfache Überlappung, doppelte Überlappung, einfache Lasche, Doppelte Lasche, abgesetzte Überlappung, Zugeschärfte Überlappung, Schäftung, doppelte Schäftung, Doppelsteg

Wie können die Spannungsspitzen in der Klebung verringert werden?

Durch eine Schäftung ist eine bereits gute Variante gewählt. Die Enden der Schäftung können zusätzlich mit einer zweiten Schäftung versehen werden, dadurch reduziert sich die Spannungsspitze weiter. Die Überlappung zu verlängern bringt nichts.

Wie sind Klebstellen zu belasten?

Klebstellen sind immer auf Schub zu belasten.

Nenne den Verfahrensablauf beim Kleben:

1. Auslegen und Herstellen der Fügeflächen
2. Reinigen der Fügeflächen
3. Vorbehandlung der Fügeflächen
4. Auftragen des Klebstoffes
5. Abwarten, bis der Klebstoff verbindungsfähig ist
6. Fügen und Fixieren
7. Aushärten des Klebstoffes
8. Entfernen der Fixierung
9. Prüfung
10. Fazit

8.3 Elastisches Kleben

Nenne die Vorteile einer elastischen Klebung:

- Spannungsverteilung auf grosse Flächen
- Höhere Schälfestigkeit
- Hohe Brucharbeit
- Toleranzausgleich
- Hohe Chemikalienbeständigkeit (Silikonklebstoffe)
- Hohe Temperaturbeständigkeit