
Zusammenfassung

Vom Schuh bis zum Passagierflugzeug: Werkstoffe ermöglichen Bewegung. Ausgehend von Naturstoffen wie Leder und Holz wurden im Laufe der Jahrhunderte neue Materialien ersonnen, mit denen Mobilität immer komfortabler, sicherer und umweltschonender wird.

5.1 Schuhe

Verschiedene Bestandteile eines Schuhs, die uns das Laufen erleichtern, erfordern verschiedene Materialien. So kann das Obermaterial aus Leder, Kunststoff oder Textil bestehen.

Die Schuhindustrie ist weltweit der Hauptabnehmer für *Leder*. Leder ist die Haut von Tieren, die durch die Behandlung mit Gerbstoffen widerstandsfähig und haltbar gemacht wird. Dabei sind die vom Leder geforderten Eigenschaften vielfältig; Abriebfestigkeit und Weiterreißfestigkeit (also die Kraft die aufgebracht werden muss, um bestehende Risse zu vergrößern) sind nur zwei davon.

Es kommen viele verschiedene Arten Leder zum Einsatz, die man nach Herkunft (also z. B. vom Rind, und hier wiederum aus dem Hals-

bereich) unterscheidet. Je nachdem, ob die Innenseite (Fleischseite) oder die Außenseite (Narbenseite) nach außen zeigt, weist die Lederoberfläche verschiedene Eigenschaften auf. Die Innenseite ist rau und weich, während die Außenseite glatt und – je nach Tierart – strukturiert ist. Die Außenseite ist besser gegen Staub und Schmutz geschützt. Durch einen feinen Schliff kann sie noch weiter geglättet werden und ggf. durch Lack und andere Beschichtungen mit Glanz versehen werden.

Für das Laufen noch wichtiger als das Obermaterial ist die Laufsohle, die den Kontakt zum Untergrund herstellt. Auch sie ist mitunter aus Leder hergestellt, dann allerdings glatt, wasserdurchlässig und einem hohen Verschleiß ausgesetzt. Laufsohlen aus Kunststoff wie PVC oder Polyurethan dagegen lassen sich leicht an den Einsatzzweck anpassen, mit Profil versehen und zudem gut verarbeiten.

Tatsächlich ist Leder bei weitem nicht das einzige Material für Schuhe. Gummistiefel, die aus PVC hergestellt werden, lassen Wasser gar nicht durch. Viele andere Kunststoffe können, etwa bei Sportschuhen, verwendet und auf den jeweiligen Einsatzbereich angepasst werden. So lassen sich Eigenschaften wie Flexibilität, Härte, Abriebfestigkeit, auch Transparenz und Lichtbeständigkeit mit Polyurethanen erzielen, die zudem gut zu verarbeiten sind.

5.2 Automobil

Spaß am Fahren, Sicherheit, Umweltschutz – zahlreiche zunächst miteinander konkurrierende Anforderungen müssen Autos erfüllen. Mehr Komfort und Sicherheit (etwa Klimaanlage und hohe Crash-Sicherheit) machen das Auto schwerer. Das bedeutet wiederum mehr Energieverbrauch und mehr Abgase. So bestehen Automobile aus einem Mix unterschiedlichster Werkstoffe, die die konkurrierenden Anforderungen in Einklang bringen sollen.

Dabei machen Stahl und Stahlbleche in einem Mittelklasseauto mit knapp 60 Prozent (Gewichtsanteil) den größten Anteil aus, gefolgt von den Kunststoffen mit etwa 15 Prozent und den Leichtmetallen mit 13 Prozent. Den Rest teilen sich Glas und sonstige Werkstoffe.

5.2.1 Stahl im Auto: immer fester, immer leichter

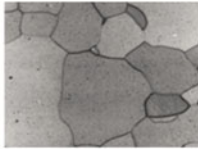
Vom Getriebezahnrads bis zum Fahrgestell: Stahl ist für Automobile bis heute der Werkstoff der Wahl. Verschiedene Stahlsorten können helfen, Zielkonflikte zu lösen, etwa bei der Wahl der Werkstoffe für den Karosserieleichtbau: Zunehmende Festigkeiten der Bauteile, die gewünscht werden, gehen zunächst mit verminderter Umformbarkeit einher. Neue Stahlsorten sind leichter und fester, lassen sich aber dennoch in ausreichendem Maße umformen. Dabei können sie weiter ihre Wirtschaftlichkeit und Recyclingfähigkeit ausspielen.

Mehrphasenstähle sind ein Beispiel, wie der etablierte Werkstoff Stahl immer weiter entwickelt wird [32]. Klassischer Stahl ist „weich“ und damit gut zu verarbeiten. Das Gefüge ist recht grobkörnig (Abb. 5.1a). Eine Stahllegierung mit Molybdän und Titan, die zudem einem thermomechanischen Walzprozess unterworfen wurde, ist wesentlich feinkörniger. Zudem liegen hier Titan-Molybdän-Ausscheidungen im Nanometer-Maßstab vor, die auch zur Härte dieses Werkstoffs beitragen (Abb. 5.1b). Solch ein hochfester Stahl weist freilich eine geringere Dehnbarkeit auf und lässt sich daher nicht mehr leicht umformen.

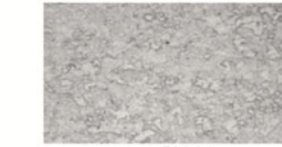
Beispiel

Die sogenannte B-Säule ist eine Verbindung zwischen Fahrzeugboden und Fahrzeugdach, die eine Verformung der Fahrgastzelle beim Überschlag verhindern soll. Sie soll leicht und besonders fest sein. Wie die einzelnen Stufen des komplexen Fertigungsprozesses die Eigenschaften dieses Bauteils beeinflussen, und ob durch das Herstellungsverfahren mögliche Vorschädigungen wie Porenbildung und Mikrorisse entstehen, lässt sich unter anderem durch Simulation ermitteln. Damit lassen sich Crashtests (Abb. 5.2) ergänzen und Bauteile gezielter entwickeln.

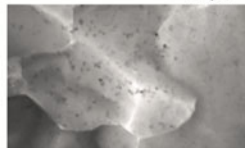
Die neuen Stahlsorten nehmen in modernen Automobilen immer mehr Raum ein, weil sie gleichzeitig Craschanforderungen und Leichtbauziele erfüllen helfen. Im Bereich der Fahrgastzelle etwa braucht man die höchste Festigkeit. Mittlere Festigkeit ist etwa im Front- und Heckbereich der Karosserie gewünscht, während die Außenhaut aus weichem Tiefziehstahl bestehen kann (Abb. 5.3).

aKorngröße 11 μm 1000:1
10 μm

- Niedriger C-Gehalt
- Ferritisches Gefüge
- grobkörnig
- Niedrige Festigkeit
- Hohe Dehnung
- Gute Umformbarkeit

bKorngröße 3,3 μm
Ausscheidungsgröße:
~5 nm500:1
50 μm

- Niedriger C-Gehalt
- Ferritisches Gefüge
- feinkörnig
- Hohe Festigkeit
- Reduzierte Dehnung
- Reduzierte Umformbarkeit

500:1
50 μm

Kohlenstoffausziehdruck

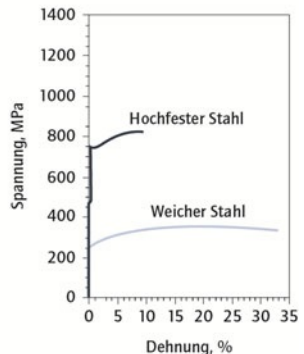
c

Abb.5.1 Gefüge und Eigenschaften „weichen“ (a) und „hochfesten“ (b) Stahls sowie das zugehörige Spannungs-Dehnungs-Diagramm (c). (Bildrechte: acatech)

Viele verschiedene Arten der Stahlverarbeitung kommen im Automobilbereich zum Tragen, so etwa das Schmieden komplexerer Bauteile (z. B. Zahnräder) oder das Walzen von Blechen. So wie bei der Entwicklung neuer Stahllegierungen ergeben sich auch hier neue Ansätze des Leichtbaus, wie z. B. *Tailored Blanks*. Bleche für PKW benötigen an verschiedenen Stellen verschiedene Festigkeiten. Abgestimmt auf die jeweiligen Einsatzbereiche können Einzelbleche aus unterschiedli-

Abb. 5.2 Die Schädigung eines Bauteils nach einem Crashtest. (Bildrechte: Fraunhofer IWM)

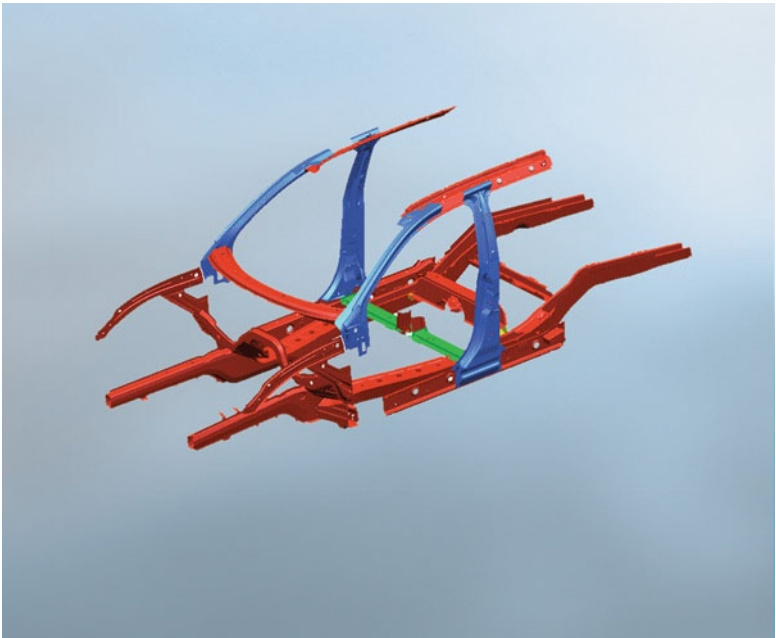
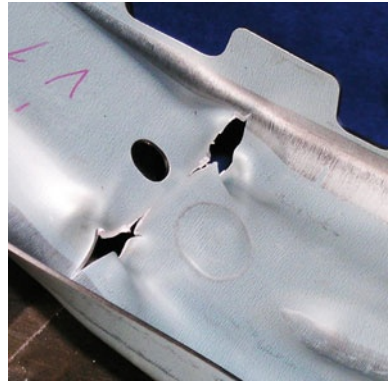


Abb. 5.3 Hoch- und höchstfeste Stähle in der Karosserie eines PKW (hier die Rohkarosserie eines Porsche Cayenne mit den eingesetzten Strukturbauteilen aus Mehrphasenstählen) verbessern die Gebrauchseigenschaften, senken das Gewicht und erhöhen die Sicherheit (*blau*: TRIP-Stahl, *rot*: Dualphasenstahl, *grün*: Complexphasenstahl). (Bildrechte: Stahl-Informations-Zentrum)

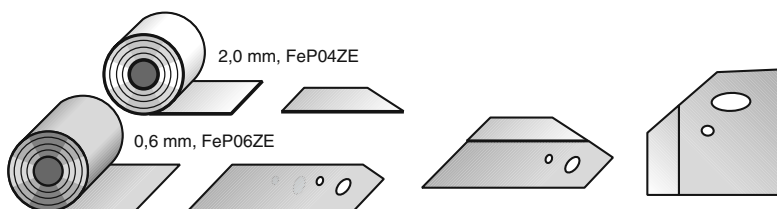


Abb. 5.4 Tailored Blanks sind maßgeschneiderte Stahllösungen für die Automobilindustrie. (Bildrechte: ThyssenKrupp AG)

chen Stahlgüten, Blechdicken und mit verschiedenen Beschichtungen miteinander verschweißt werden. Diese sogenannten Platinen sind maßgeschneidert und können anschließend umgeformt werden (Abb. 5.4).

► **Der Schneeballeffekt im Leichtbau** Weniger Gewicht in Auto oder Flugzeug senkt den Treibstoffverbrauch. Damit können auch die Tanks und Motoren kleiner ausgelegt werden – und das Fahrzeug wird nochmals leichter. Die tragenden Strukturen können dann auch kleiner ausgelegt werden, was zu weiterer Gewichtsersparnis und Treibstoffeinsparung führt.

5.2.2 Kunststoffe im Auto

Der wohl augenfälligste Einsatz von Kunststoffen im Auto sind die Gum mireifen. Hauptbestandteil der Reifen ist *Kautschuk*, der aus dem Saft der Rinde von Gummibäumen gewonnen wird. Es handelt sich dabei um Polyisopren, das durch Zusatz von Schwefel und Erhitzen (sog. Vulkanisieren) vernetzt wird und dadurch in ein Gummi umgewandelt wird. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts lassen sich Kautschuk oder ähnliche Stoffe auch künstlich herstellen, womit sich einerseits die Abhängigkeit von Lieferungen aus Südamerika überwinden ließ und andererseits Wege erschlossen wurden, Gummi maßzuschneidern. Neben Kautschuk (40 Prozent) bestehen Reifen aus Weichmachern, Füllstoffen (Ruß) sowie Festigkeitsträgern (etwa Stahl und Nylon). Je nach Zusammensetzung

hat die Gummimischung verschiedene Eigenschaften, was wiederum die Fahreigenschaften bestimmt: Weiches Material ermöglicht zwar gutes Bremsen und Beschleunigen auch auf nassen Straßen, allerdings sind der Rollwiderstand und der Abrieb (und damit Treibstoffverbrauch und Verschleiß) entsprechend hoch. Zusatzstoffe wie Silica (das sind Salze der Kieselsäure) erhöhen die Vernetzung der Polymere weiter und können den Abrieb senken, während die Konsistenz des Materials erhalten bleibt.

Durch die Kombination der Mischungsbestandteile erhält Gummi also die verschiedensten Eigenschaften, und in einem einzelnen Reifen werden verschiedene Gummisorten eingesetzt. Kautschuk wird wegen seiner Vielfalt an Eigenschaften auch anderswo eingesetzt: Von Schläuchen über Dichtungen bis hin zu Oberflächenmaterialien im Innenbereich der Fahrgastzelle.

Warum sind Reifen schwarz?

Die Beimengung von Ruß erhöht die Steifigkeit, die Härte, die Beständigkeit und die Haftfestigkeit des Reifens auf der Straße und vor allem seinen Abriebwiderstand. Und macht den Reifen schwarz.

Tatsächlich waren die ersten Autoreifen aus Naturkautschuk hergestellt und enthielten noch keine Zusätze wie Ruß. Sie waren weiß.

Ausgehend von den Gummireifen, breiten sich Kunststoffe seit Jahrzehnten im Auto aus. Ihr Anteil liegt heute bei rund 15 Gewichtsprozent. Wegen der geringen Dichte (etwa ein Siebtel der Dichte von Stahl), Korrosionsbeständigkeit und leichten Formbarkeit sind Thermoplaste zur Herstellung moderner Fahrzeuge unverzichtbar.

► Je nach Dauergebrauchstemperatur unterscheidet man bei den Thermoplasten *Standardkunststoffe* (bis 90 Grad Celsius), *Technische Kunststoffe* (90 bis 150 Grad) und *Hochleistungskunststoffe* (150 bis 250 Grad).

Dabei bieten Kunststoffe noch immer ein erhebliches Entwicklungspotenzial. So verbessern Hersteller beispielsweise ständig die Widerstandsfähigkeit gegenüber hohen Temperaturen. Solche Kunststoffe lassen sich sogar als Zylinderkopfdichtungen in Motoren einsetzen.



Abb. 5.5 Das Panoramadach eines Bugatti Veyron ist aus Polycarbonat gefertigt. Die gut ein Quadratmeter große Fläche wiegt 5,6 Kilogramm. Glas wäre doppelt so schwer. (Bildrechte: Bugatti)

Gewicht lässt sich im Auto auch einsparen, indem Glasscheiben durch entsprechende Kunststoffe ersetzt werden, die eine nur halb so große Dichte aufweisen. Polycarbonat – aus diesem Kunststoff bestehen auch die CD-Scheiben – ist der zähste transparente Kunststoff, den man kennt. Polycarbonat schützt mit seiner Schlagzähigkeit die Fahrer von Rennwagen, die Bediener schnell drehender Maschinen und kann Autodächer transparent und leicht machen (Abb. 5.5). Es taugt freilich nur bedingt als Glasersatz, da es zur Spannungsrisskorrosion neigt. Glas ist deutlich härter.

Spezielle, kratzfeste Silikon-Beschichtungen können dieses Manko beheben. So bestehen schon heute die Frontscheiben des ICE aus beschichtetem Polycarbonat. Dadurch müssen sie nach Kollisionen mit Fremdkörpern seltener ausgewechselt werden. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine genau ausbalancierte Beschichtung: Die äußere Scheibe ist gut 13 Millimeter dickes Verbundglas mit einer Zwischenfolie aus einem weiteren Kunststoff (Polyvinylbutyral), der besonders reißfest ist

und beim Bruch der Scheibe Splitter binden kann. Die innere Fensterscheibe ist halb so dick und hat eine Zwischenschicht aus Gießharz. Die Scheibe ist damit insgesamt über 35 mm dick [33].

Für Windschutzscheiben von Automobilen wird nach wie vor das kratzfeste *Glas* gebraucht, wobei auch dort eine Kunststoffolie eine wichtige Rolle übernimmt. Die Frontscheiben bestehen aus Verbund-Sicherheitsglas und schützen im Schadensfall vor herumfliegenden Glasscherben und Gegenständen, die auf die Scheibe treffen. Dieses Sicherheitsglas besteht aus einer reißfesten und zähelastischen Folie (meist Polyvinylbutyral) zwischen zwei oder mehreren Glasscheiben. Dadurch bindet es im Falle eines Bruches Splitter und bewirkt damit eine erhebliche Reduzierung der Verletzungsgefahr. Auch nach Teilzerstörung hat das Glas noch eine gewisse Schutzwirkung, kann also auch ein Herabfallen von Scherben auffangen.

Kunststoffe werden im Automobil freilich noch an zahlreichen weiteren Stellen eingesetzt, so in Karosserieteilen (z. B. Stoßfänger aus energieabsorbierenden Schaumstoffen), Autositzen, Dämmmaterialien und Kraftstofftank. Hier sind Kunststoffe günstig, weil sie leicht und korrosionsbeständig sind und darüber hinaus bei der Fertigung gut an die Form des Fahrzeugbodens angepasst werden können.

5.2.3 Weitere Werkstoffe

Neben Stahl und Kunststoffen spielt eine Vielzahl weiterer Werkstoffe eine Rolle im Automobilbau, beispielsweise *Lack*. Autolack soll gut aussehen und vor Witterung und Schmutz schützen. Die unterste Schicht schützt vor Korrosion. Es folgt eine Polymerschicht, die Unebenheiten ausgleicht. Anschließend wird der Basislack aufgetragen, der u. a. die Farbpigmente enthält. Die oberste Schicht schließlich, der Klarlack (Abb. 5.6), ist die Schutzschicht. Diese darf dabei weder zu hart noch zu weich sein. Der Klarlack besteht fast ausschließlich aus Polymeren. Zu harter Lack wird bald spröde und splittet, zu weicher Lack schützt nicht ausreichend vor Kratzern. Die Einbettung von nanometergroßen Silikatpartikeln kann helfen, diesen Zielkonflikt zu lösen. Bei mechanischer Beanspruchung – etwa durch die Bürsten einer Waschanlage – federt der Lack rasch zurück, so dass kaum Kratzer entstehen.



Abb. 5.6 Autolack besteht aus vier Schichten, von denen die oberste für Glanz und Kratzfestigkeit entscheidend ist. (Bildrechte: BASF SE)

Autolack ist mit 100 Mikrometer (0.1 Millimeter) so dick wie ein menschliches Haar. Dünne Schichten übernehmen auch an anderen Stellen im Auto wichtige Funktionen. Durch funktionale Beschichtungen kann beispielsweise die Lebensdauer der Motorteile verlängert, ihre Belastbarkeit erhöht und Kraftstoff eingespart werden. Beispiele sind reibungsmindernde und verschleißarme Beschichtungen auf stark beanspruchten Motorteilen wie Nockenwelle oder Kolben. Gängige Schmier-



Abb. 5.7 Magnetorheologische Flüssigkeit (Bildrechte: M.-D. Weitze)

mittel sind flüssige Mineralöle. Aber auch feste Stoffe wie Graphit oder Molybdändisulfid eignen sich aufgrund ihrer Schichtstruktur als Schmiermittel: Schichten von Kohlenstoff- oder Schwefelatomen können sich dabei wie die Blätter eines Papierstapels verschieben.

Zielkonflikte treten häufig beim Einsatz von Werkstoffen auf, wie im Fall der Gummireifen oder des Klarlacks beschrieben. Ein besonders eleganter Weg wäre, die jeweils gewünschten Eigenschaften bedarfsweise zu aktivieren. Dies gelingt im Fall von *Flüssigkeitsdämpfern*, deren Wirkung stark davon abhängt, wie dünn- oder dickflüssig das eingesetzte Fluid ist. Wenn man diese Viskosität vorübergehend verändern könnte, ließen sich zum Beispiel Geräusche und Vibrationen von Motoren gezielt verringern und jeweils gezielt den aktuellen Anforderungen anpassen. Das funktioniert mit magnetorheologischen Flüssigkeiten (Abb. 5.7). Diese verändern ihre Fließeigenschaften entsprechend der Stärke eines angelegten Magnetfeldes, das aus normalflüssigem Fluid eine zähfließen-

de Masse macht. Schaltet man das Magnetfeld ab, ist sie wieder flüssig. Der Trick: Magnetische Partikel, beispielsweise aus Eisen, Nickel oder Kobalt, werden mit Wasser oder Öl gemischt. Unter der Wirkung eines Magnetfeldes bilden diese Partikel Ketten, wodurch die Viskosität ansteigt [33].

Der *Abgaskatalysator* wandelt Schadstoffe wie Kohlenwasserstoffe, Kohlenmonoxid und Stickoxide aus den Autoabgasen in weniger schädliche Produkte wie Kohlendioxid sowie Stickstoff und Wasser um. Der Katalysator besteht aus einem Keramikblock, der zahlreiche Kanäle aufweist, durch die die Motorabgase geleitet werden. An den Wänden dieser Kanäle sind poröse Schichten aus Metalloxiden aufgebracht, die wiederum die katalytisch aktiven Partikel aus Edelmetallen (Platin, Rhodium, Palladium) enthalten.

5.3 Flugzeug

5.3.1 Metall-Leichtbau

Aluminiumlegierungen, die leicht, steif und gut zu verarbeiten sind, sind die bevorzugten Strukturwerkstoffe für die Luftfahrt. Die Dichte von Aluminium beträgt rund ein Drittel der Dichte von Stahl.

- Aluminium wird aus dem Mineral Bauxit gewonnen. Durch Elektrolyse der Schmelze aus Aluminiumoxid erfolgt die Reduktion zu dem so genannten Primäraluminium. Dieser sehr energieintensive Prozess bedingt, dass Aluminium vor allem in Ländern mit Verfügbarkeit billiger Energie hergestellt wird, etwa in Brasilien, welches einen Großteil seiner Energie aus Wasserkraft bezieht. China, Russland, USA, Kanada und Australien sind führend bei der Herstellung von Aluminium.

Aluminium ist mit seinen Legierungen inzwischen zum wichtigsten Strukturwerkstoff im Flugzeug geworden. Ähnlich wie beim Stahl beeinflusst jeder einzelne Prozessschritt auf dem Weg vom Blech zum Bauteil die Mikrostruktur und damit die Werkstoffeigenschaften (Abb. 5.8).

Neben Leichtigkeit ist die Temperaturbeständigkeit ein weiterer wichtiger Aspekt bei Werkstoffen im Flugzeugbau. Hochfeste, bis weit über

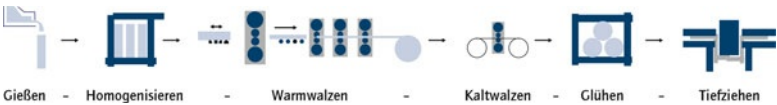


Abb. 5.8 Die Prozessschritte bei der Verarbeitung einer Aluminiumlegierung bestimmen die Eigenschaften des Bauteils [34]. (Bildrechte: acatech)

1000 Grad Celsius stabile und dennoch leichte Materialien verbessern die Effizienz von Turbinen, die weniger Kerosin verbrauchen und weniger Emissionen erzeugen. So können Aluminium-Titanlegierungen eingesetzt werden, die leicht und dennoch stabil sind (Abb. 5.9). Durch Zusatz weiterer Elemente wie Niob, Bor und Molybdän kann die ursprünglich spröde Legierung hinreichend duktil gemacht werden. Durch leichtere Schaufelräder in Hochdruckverdichtern verringern sich die Fliehkräfte, so dass die gesamte Konstruktion leichter gebaut werden

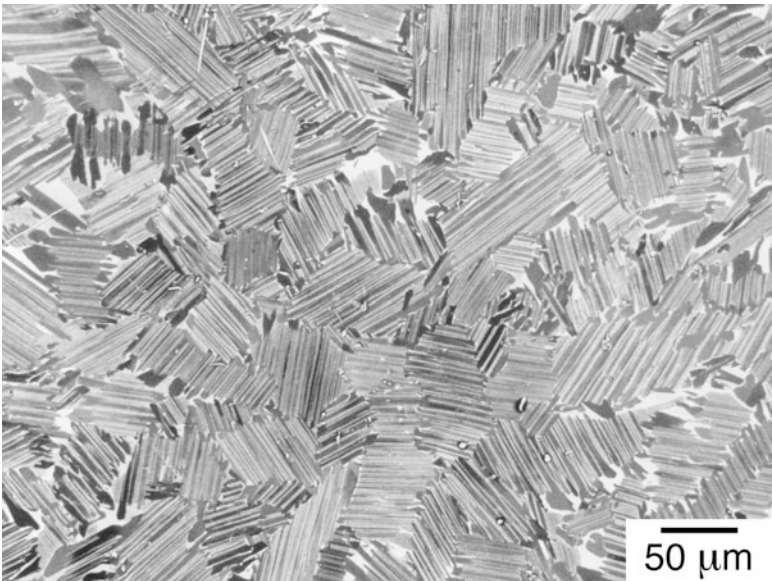


Abb. 5.9 Mikrogefüge von Titanaluminid, einer Legierung für leichte Verdichterschaukeln im Flugzeugbau. (Bildrechte: Helmholtz-Zentrum Geesthacht)

kann. Auch hier tritt ein Schneeballeffekt durch Gewichtsreduktion auf (Abschn. 5.2.1).

In der Flugzeugturbine wird – ähnlich wie in der stationären Gasturbine zur Stromerzeugung (siehe Abschn. 3.1.1) – die thermische Belastung auf die Spitze getrieben; in der Brennkammer herrschen Gastemperaturen bis 1600 Grad Celsius. Hier gelangen – wie bei der stationären Gasturbine – sogenannte Superlegierungen mit Nickel oder Kobalt als Hauptlegierungselement zum Einsatz. Sie ertragen hohe Temperaturen und zeigen gutes Ermüdungs- und geringes Rissfortschritsverhalten, Zähigkeit sowie Beständigkeit gegen Hochtemperaturoxidation. Dank Beschichtungen und Luftkühlung können Bauteile aus diesen Werkstoffen sogar bei Umgebungstemperaturen jenseits ihres Schmelzpunkts (etwa 1200 Grad Celsius) eingesetzt werden.

Die höchsten Beanspruchungen durch Fliehkräfte und Temperaturen erlauben gerichtet erstarrte bzw. Einkristall-Schaufeln aus Nickel-Basislegierungen mit Chrom, Kobalt, Wolfram, Tantal sowie Aluminium als weiteren Legierungselementen. Diese weisen hochkomplexe Mikrostrukturen auf und erfordern aufwändige Herstellungsprozesse. Auch hier schützen Wärmedämmschichten sowie Innen- und Filmkühlung die Metalloberfläche der Bauteile vor zu hohen Temperaturen (diese müssen am Metall auf ungefähr 1050 Grad Celsius begrenzt bleiben) und zudem vor Heißgaskorrosion. Solche Schaufeln sind sehr teuer und werden daher nur in den vorderen Stufen der Turbine eingesetzt.

5.3.2 Carbon-faserverstärkten Kunststoff (CFK)

Wenn es um Leichtbau geht, spielen auch Kunststoffe eine wichtige Rolle im Flugzeugbau. Hier sind insbesondere die Carbonfaser-verstärkten Kunststoffe (CFK) von Bedeutung, die halb so viel wie Stahl wiegen, aber genauso fest sind, nicht rosten und im Temperaturbereich minus 60 bis plus 90 Grad Celsius einsetzbar sind. Da sie bislang in Handarbeit gefertigt werden müssen, sind sie zwar noch recht teuer (während ein Kilogramm Stahl rund 80 Cent kostet, kosten ein Kilo CFK mehr als das Zehnfache [35]), in Flügelklappen und Leitwerken aber seit Jahren unentbehrlich.

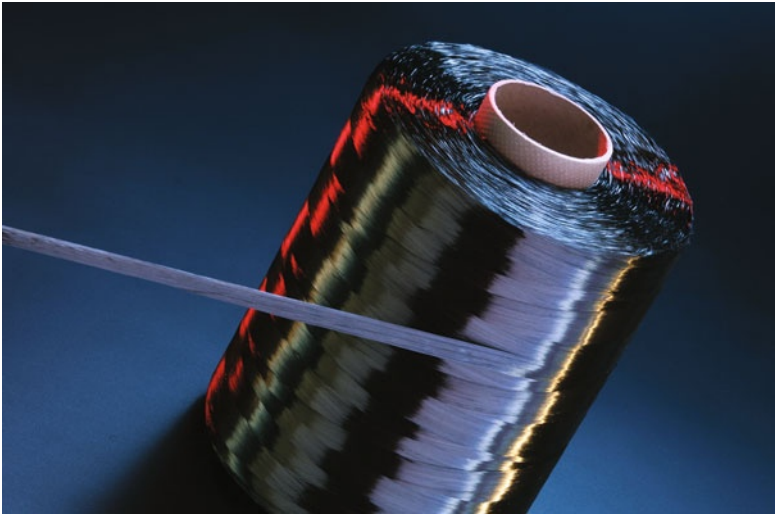


Abb. 5.10 Bündel von Kohlenstofffasern auf einer Spule. (Bildrechte: 2010 © SGL Group)

Eine Carbon-(also Kohlenstoff)-Faser hat einen Durchmesser von wenigen Mikrometern. Solche Fasern werden aus organischen Ausgangsmaterialien, insbesondere aus Polyacrylnitrilfasern, hergestellt, indem diese bei etwa 1800 Grad in graphitartigen Kohlenstoff umgewandelt werden. Mehrere Tausend dieser Carboneinzelfasern werden zu einem Bündel zusammengefasst (Abb. 5.10). Daraus wiederum werden textilartige Strukturen gefertigt, die schließlich in eine Kunststoffmatrix eingebettet werden.

5.3.3 Kleben statt Schweißen

Technische Produkte bestehen in der Regel aus verschiedenen Bauteilen. Diese müssen zusammen gehalten werden, etwa durch Schweißen, Schrauben oder Nieten. Durch die Hitze beim Schweißen oder die beim Schrauben oder Nieten entstehenden Löcher werden die Bauteile jedoch

geschwächt. Dünne Bleche lassen sich ohnehin nur schwer schweißen, und das Gewicht der Schrauben und Nieten würde man gerne einsparen. Eine Füge-technik, die Leichtbau erleichtert, ist das Kleben. Die Materialmische aus Kunststoffen und Verbundwerkstoffen würden anders auch gar nicht zusammen halten.

- Für ein Auto werden heute rund 15 Kilogramm Klebstoffe gebraucht, umgekehrt fließt rund ein Sechstel der gesamten Klebstoffproduktion in Fahrzeuge [36].

Je nach Material, Verarbeitung und Anwendung werden verschiedene Klebstoffe eingesetzt – oder müssen neu entwickelt werden: So sind Verarbeitungszeit, optische Eigenschaften (z. B. Transparenz) und Temperaturbeständigkeit relevante Kenngrößen. Zentrale Begriffe für das Kleben selbst sind jedoch Adhäsion und Kohäsion: Klebstoffe müssen einerseits auf der Oberfläche der Fügeteile haften (Adhäsion), andererseits eine innere Festigkeit (Kohäsion) aufweisen.

Flüssige Klebstoffe binden im Spalt ab, verfestigen sich also. Damit es überhaupt zum Zusammenkleben kommt, müssen die Klebstoffe – es handelt sich dabei um Polymere – an den zu fügenden Bauteilen haften und eine stabile Schicht dazwischen bilden. Solch eine Schicht lässt sich erzeugen, indem man den Klebstoff physikalisch oder chemisch abbinden lässt: Im Alleskleber beispielsweise ist der Klebstoff zunächst gelöst. Das Lösungsmittel verdunstet (physikalisches Abbinden) und die Polymere bleiben als Verbindungsschicht zurück. Im sogenannten Sekundenkleber bilden sich die Polymere dagegen erst nach dem Auftragen. Die chemische Reaktion wird durch Wasser (Luftfeuchtigkeit) oder funktionelle Gruppen (Hydroxyl- oder Aminogruppen auf der Oberfläche der zu verbindenden Teile) in Gang gesetzt. Im Zweikomponentenkleber werden die Polymerketten beim Vermischen mit einem Katalysator vernetzt und damit zu einem harten Werkstoff.

Literatur

- [32] P. Dahlmann, D. Bartels: Bedeutung der Weiterentwicklung etablierter Werkstoffe, in: H. Höcker (Hg.): Werkstoffe als Motor für Innovationen (acatech DISKUTIERT), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2008, S. 63–80.
- [33] Expedition materia, <http://www.vditz.de/referenz/expedition-materia/>
- [34] G. Gottstein: Erwartungen an Studiengänge in Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, in: H. Höcker (Hg.): Werkstoffe als Motor für Innovationen (acatech DISKUTIERT), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2008, S. 39–46.
- [35] ThyssenKrupp Magazin Sept. 2012, S. 58.
- [36] M. Brück: Vom ordinären Kleister zum Hightech-Kleber, Wirtschaftswoche, 13.8.2008.

Werkstoffe

Unsichtbar, aber unverzichtbar

Weitze, M.-D.; Berger, C.

2013, X, 185 S. 81 Abb., 9 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-642-29540-9