

Werkstoffe heute und morgen

Franz JEGLITSCH und Hubert BILDSTEIN

NEUE WERKSTOFFE – EINE SCHLÜSSEL-TECHNOLOGIE

Der technische und soziale Fortschritt der Menschheit, kulturelle Leistungen und politische Veränderungen sind untrennbar mit der Entwicklung und Verfügbarkeit von Werkstoffen und den aus ihnen herstellbaren Werkzeugen und Produkten verbunden. Ganze Epochen erhielten den Namen der Leitwerkstoffe der jeweiligen geschichtlichen Periode. Die an sich langen Lebenszyklen der Basiswerkstoffe kamen den natürlichen Bedürfnissen nach Dauerhaftigkeit, Stabilität und Sicherheit der mit ihrem Einsatz entstandenen Bauten und Maschinen entgegen. Allerdings verleiten in jüngster Zeit eine die Reife- und anschließende Degenerationsphase kennzeichnende Massenproduktion und die damit verbundenen besonders hohen Umsätze zu einer Überschätzung der Tragfähigkeit und der Innovationsfähigkeit der Werkstoffindustrien, ein Fehler, der mit zu den sich seit 15 Jahren abzeichnenden und bis heute nicht bewältigten Strukturproblemen vieler europäischer Unternehmen geführt hat.

Im gleichen Zeitraum vollzog sich dagegen in Japan als Reaktion auf den ersten Ölpreisschock und die damit bewußt gewordene extreme Abhängigkeit der japanischen Wirtschaft von externen Ressourcen ein tiefgreifender Strukturwandel. Beruhte die Leistungsfähigkeit der japanischen Wirtschaft bis dahin auf einer Adaptierung und Optimierung übernommener Technologien und ihrer effizienten Vermarktung, so kamen jetzt eigenständige Entwicklungs- und Technologieprogramme für energiesparende Verfahren, für additive Energien und für eine auf abundanten Rohstoffen basierende Werkstofftechnologie dazu. Japan wurde damit z.B. zum Hauptland moderner Hochleistungskeramik, aber auch

einer Miniaturisierung von Bauteilen und Geräten der Mikroelektronik, der Kommunikations- und Audiovideotechnik.

Die immer stärker hervortretenden Strukturprobleme in Europa und ein sich gegenüber Japan abzeichnender Innovationsrückstand veranlaßten 1980 das Batelle Institut, Frankfurt, dazu, in einer grundlegenden Studie Schlüsseltechnologien als Träger einer neuen wirtschaftlichen Aufwärtsentwicklung zu identifizieren. Neue Werkstoffe nehmen darin entweder direkt oder auch indirekt über die durch sie erschließbaren neuen Anwendungsgebiete und Märkte eine vorrangige Stellung ein.

KRITERIEN EINER SCHLÜSSELTECHNOLOGIE

- langfristiger Bedarf, breite Anwendung
- Grundlage und Ausgangspunkt für technologische Weiterentwicklung und Anwendung
- starke soziale Auswirkung
- Verbesserung, Beeinflussung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses
- Hoher Forschungs- und Entwicklungsaufwand
- lange Entwicklungsdauer

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, was ein „neuer“ Werkstoff ist. Die Praxis zeigt, daß in der Werkstoffentwicklung kleine Schritte die Regel und große Sprünge, die zu einer neuen Werkstoffart führen, eher die Ausnahme darstellen. Eine eindeutige Definition, was ein neuer Werkstoff ist, herrscht zwar nicht vor, aber doch eine gewisser Konsens darüber, daß die Entwicklungsdauer eines neuen Werkstoffes im Vergleich zu technischen Produkten eher lang ist (Beispiel: Ti-Werkstoffe, Al-Li-Legierungen), daß die stoffliche oder chemische Zusammen-

setzung nicht immer eine zentrale Rolle spielt (Beispiel: Superplastische Legierungen) und daß durch neue Verfahrenstechniken, die zu veränderten Eigenschaften führen, neue Anwendungen möglich werden (Beispiel: Metallische Gläser, CVD-, PVD-Techniken). Letzteres bedeutet, daß auch die klassischen Werkstoffe wieder neue Werkstoffe werden können und daß in der heutigen Werkstoffentwicklung Herstellungs- und Verfahrenstechniken von zunehmender Bedeutung sind. Damit treffen aber die kennzeichnenden Kriterien für Schlüsseltechnologien für das Gebiet der neuen Werkstoffe im vollen Umfang zu.

Wenn auch werkstoffbezogene Themen seit Anfang der 70er Jahre Gegenstand geförderter nationaler und – wie das Beispiel EG-COST zeigt – internationaler Forschungsvorhaben waren, wurden in Europa, wohl als Reaktion auf die vom japanischen MITI erfolgreich koordinierte Schwerpunktsentwicklung japanischer Industrieunternehmen und staatlicher Forschungsinstitute, erst in den letzten zehn Jahren neue Werkstoffe zu zentralen Schwerpunktprogrammen der Forschung erhoben. Derzeit existieren in nahezu allen Industrieländern Schwerpunkte der Werkstoffforschung. Aus Überzeugung, daß es dabei um die Leistungsfähigkeit ihrer jeweiligen Industrien geht, wurden diese Werkstoffforschungsprogramme finanziell gut ausgestattet. Österreich hat erst verhältnismäßig spät, nach langjähriger Vorbereitungszeit, 1989 einen Forschungs- und Technologieschwerpunkt „Neue Werkstoffe“ verabschiedet.

POTENTIALE DER WERKSTOFFENTWICKLUNG

Der technische Fortschritt hat in vielen Anwendungsbereichen dazu geführt, daß die Leistungsgrenzen der bisher verwendeten Werkstoffe erreicht wurden. Hinter dem Wunsch nach Verschiebung der Leistungsgrenzen stehen im allgemeinen wirtschaftliche Gründe, z.B. Erhöhung der Belastung bei gleichen Werkstoffkosten, Erhöhung der Betriebstemperatur zur Verbesserung des Wirkungsgrades, Erhöhung der Verschleißfestigkeit bzw. des Korro-

sionswiderstandes zur Verringerung von Investitionskosten, Senkung der Nachbearbeitungs- und Montagekosten. Primär nicht ökonomische Gründe, Werkstoffe mit besonderen Eigenschaften zu entwickeln, liegen beispielsweise in der Rüstungsindustrie oder in der Weltraumfahrt vor.

Die heute erreichten höchsten Zugfestigkeitswerte bei Stahl, Aluminium und Titan liegen etwa bei 50 % der theoretischen Gitterfestigkeit. Das vorliegende Potential ist zwar noch beachtlich, aber vergleichsweise klein zu den üblichen Kunststoffen, wo im allgemeinen nicht einmal 5 % des Festigkeitspotentials ausgenützt sind.

Durch die Verbesserungen der Warmfestigkeit bei metallischen Werkstoffen, in erster Linie bei Nickel-Basis-Superlegierungen, war es in den letzten Jahrzehnten möglich, die Betriebstemperatur von Düsenaggregaten durchschnittlich um 7 °C pro Jahr zu steigern. Das ist deswegen von großer Bedeutung, da mit jeder Temperaturerhöhung um etwa 65 °C die Schubkraft einer Turbine um rund 20% gesteigert werden kann. Trotz der Ausnutzung aller werkstoffkundlichen Möglichkeiten (gerichtete Erstarrung, Einkristalle, komplizierte Kühlsysteme, Keramikbeschichtungen etc.) ist man bei Einsatztemperaturen von etwa 1100 °C heute an der Grenze der Möglichkeiten der dafür eingesetzten Nickel- und Kobalt-Basis-Superlegierungen angelangt. Der Durchbruch zu höheren Betriebstemperaturen über 1100 °C in oxidierender Atmosphäre in Energieerzeugungsanlagen und Gasturbinen erscheint vorerst nur über keramische Werkstoffe möglich. Dabei sind beträchtliche Werkstoffprobleme zu lösen.

Während bei metallischen und organischen Werkstoffen durch die Einstellung einer geeigneten Mikrostruktur im allgemeinen eine ausreichende Bruchzähigkeit erreicht werden kann, ist dies eine Schwachstelle in der Konstruktionskeramik. Man schätzt, daß durch Maßnahmen zur „Duktilisierung“ der Keramik (Bildung neuer Oberflächen, plastische Verformung zweiter Phasen, elastische Vorspannungen etc.) Bruchzähigkeiten von höchstfesten Aluminiumlegierungen erreichbar wären. Bei einer gleichzeitigen Verringerung der Streuung der Eigenschaftswerte und einer Serienfertigung unter wirtschaftli-

chen Gesichtspunkten wäre damit für die Konstruktionskeramik ein Durchbruch im Motorenbau gegeben.

Für die bearbeitende Industrie stehen Schnellarbeitsstähle, Sinterhartmetalle, beschichtete Hartmetalle und oxidische Schneidkeramiken zur Verfügung. In den letzten 20 Jahren konnte durch die Einführung der beschichteten Hartmetalle und durch die Oxidkeramik die Schnittgeschwindigkeit etwa verfünffacht werden. Ein gleich großes Potential erwartet man sich von neuen keramischen Schneidstoffen, wie z.B. auf der Basis $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiC}$. Eine Nutzung dieser hohen Schnittgeschwindigkeiten hängt aber nicht nur von der Werkstoffseite allein ab, sondern auch davon, ob es gelingt, Bearbeitungsmaschinen mit ausreichender Laufruhe zu erzeugen.

Auch wenn die Werkstoffentwicklung in den letzten Jahrzehnten beachtliche Erfolge aufzuweisen gehabt hat, ist das Potential in den vorhandenen Werkstoffgruppen bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Allerdings ist es mitunter schwierig, dieses Potential zeitlich richtig abzuschätzen.

GENERELLE ENTWICKLUNGSZIELE

Folgende generelle Entwicklungsziele lassen sich angeben:

- Erhöhung der spezifischen Belastbarkeit
- Erhöhung der Temperaturgrenze – mit unterschiedlichen Bereichen für verschiedene Materialklassen –, bis zu der ein Werkstoff kurzzeitig oder in Dauerbelastung eingesetzt werden kann.
- Gewichtseinsparung
- Höhere Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit
- Verbesserung der Bruchzähigkeit und der Dauerfestigkeit
- Nutzung besonderer werkstoffspezifischer Eigenschaften für optische, elektrische, elektronische, magnetische Funktionen (amorphe Metalle, Magnetwerkstoffe auf Fe-B-Nd-Basis, Hochtemperatur-Supraleiter, spezielle Werkstoffe der Elektronik usw.)

Die Werkstoffentwicklung wird sich aller Voraussicht nach in nächster Zukunft in zwei Richtungen vollziehen:

DER EVOLUTIONÄRE WEG

Beispiele der Werkstoffentwicklung aus den letzten Jahren, wie z.B. Formgedächtnislegierungen, superplastische Werkstoffe oder amorphe Metalle, lassen erkennen, daß diese Werkstoffe in bestimmten Sektoren der Technik in zunehmendem Maße mit hoher Wertschöpfung eingesetzt werden, aber vorerst nur geringe Quantitäten ausmachen. Die vielen Millionen Tonnen von Konstruktionsmaterialien, die die Technik in den nächsten Jahren auch weiterhin benötigen wird, können nur von den traditionellen Werkstoffgruppen geliefert werden. Bei den Metallen werden daher in absehbarer Zukunft Stähle und Al-Legierungen vorerst die wichtigsten metallischen Konstruktionswerkstoffe bleiben, die auch im Vergleich zu anderen Werkstoffen das niedrigste Preis/Zugfestigkeitsverhältnis aufweisen.

Eine Aufgabe der Werkstoffentwicklung wird es daher sein, die derzeit gebräuchlichen Werkstoffgruppen zu optimieren, Werkstoffe oder Werkstücke mit gleicher Güte billiger zu machen oder bei etwa gleichem Preis Werkstoffe mit noch besseren Eigenschaften zu erzeugen. Ein ausgezeichnetes Beispiel stellt in diesem Zusammenhang die Entwicklung der hochfesten, mikrolegierten und schweißbaren Baustähle dar. Eine Verringerung der Streubreite im Eigenschaftsprofil der Konstruktionskeramik würde etwa zu einem großen Fortschritt in der Anwendung führen, weil damit die Versagenswahrscheinlichkeit erniedrigt und die Einsatzsicherheit erhöht werden könnte.

DER KREATIVE WEG

Durch den Einsatz neuer Herstellungstechnologien, wie z.B. der Rascherstarrung, der Oberflächenveredelung etwa mit Hilfe von Laser- oder Elektronenstrahlen, der Pulvermetallurgie usw., wird es möglich sein, durch die Überwindung der Grenzen der konventionellen Schmelzmetallurgie und durch

die Einstellung extremer Ungleichgewichtszustände Werkstoffe mit außergewöhnlichen Eigenschaften und Eigenschaftsprofilen herzustellen.

Die Kombination von Werkstoffgruppen über die verschiedenen Verbundtechniken bis hin zur gerichteten Erstarrung werden es erlauben, durch die Ausnützung der Anisotropie die Eigenschaften den anisotropen Belastungen besser anzupassen als bisher. Anisotrope Werkstoffe bieten die Möglichkeit, die mechanischen Eigenschaften in Betrag und Richtung maßzuschneidern, also örtlich von einer Stelle zur anderen zu variieren und so den Werkstoff an die Anforderungen zu optimieren.

In näherer Zukunft wird die Entwicklung von funktionalen Werkstoffen einsetzen: der Werkstoff wird mit Funktionen versehen werden, um sich wie ein Regelkreis verhalten zu können. Formgedächtnislegierungen, die ein Gestalterinnerungsvermögen besitzen, Brillengläser, die selbständig nachdunkeln, oder Bauteile mit eingebauten Sensoren, wie z.B. Kunststoffteile mit Lichtleitern zur eigenen Frühdefekterkennung, sind erste Beispiele.

In ferner Zukunft ist eine Fusion von verschiedenen Technologien zu erwarten, wie z.B. der Biologie mit der Werkstoffmechanik. Als Beispiel dazu wären biologische Membranen als Filter zu nennen, deren Porenverteilung in Gleichmäßigkeit und Feinheit in einem Größenordnungsbereich liegt, wie er durch technische Prozesse allein nicht nachvollziehbar ist.

Beide Wege in der Werkstoffentwicklung, sowohl der evolutionäre als auch der kreative Weg, werden durch neue Herstellungstechnologien (wie z.B. superplastische Umformung, heißisostatisches Pressen, Laserbearbeitung, etc.) und durch die Tatsache, daß zunehmend nicht mehr nur der Werkstoff, sondern das aus einem bestimmten Werkstoff optimierte Bauteil oder Werkstück in den Vordergrund rückt, stark beeinflußt werden.

INTEGRIERTE WERKSTOFFBETRACHTUNG

Die zukünftige Entwicklung und der zukünftige Einsatz von Werkstoffen wird eine verstärkte integrierte Betrachtung erfordern. Die Trennung der

einzelnen Werkstoffgebiete (metallische Werkstoffe mit Eisen- und Nichteisenmetallen und weiteren Untergruppen, wie den Leichtmetallen, den hochschmelzenden Metallen, keramische Werkstoffe mit den Teilgebieten Konstruktionskeramik, Glas und Bindemittel sowie organische Werkstoffe, wie Kunststoffe, Silikone, Gummi) hat ihren Ursprung in der Tradition der werkstoffherzeugenden Industrie. Bei den Verarbeitern und Anwendern von Werkstoffen liegt eine andere Interessenslage vor, da sich für sie die Frage nach demjenigen Werkstoff stellt, der bestimmten Anforderungen in der Anwendung und in der Fertigung am besten entspricht: Stahl, Aluminiumlegierungen oder faserverstärkter Kunststoff für den Automobilbau; Keramik oder Kunststoff für Isolatoren; Kupfer oder Glasfasern für die Nachrichtentechnik; Nickelbasissuperlegierungen, hochschmelzende Metalle oder Keramik für Gasturbinenschaufeln; Schnellarbeitsstähle, Hartmetalle oder Schneidkeramik für Bearbeitungsverfahren. Die Verbundwerkstoffe zeigen bereits die Notwendigkeit einer integrierten Werkstoffbetrachtung auf.

AUSBLICK

Die Entwicklung neuer Werkstoffe, der Prüf- und Testaufwand, die Qualitätssicherung und die Einführung am Markt sind heute mit außerordentlich hohen Kosten und einem entsprechenden Zeitaufwand verbunden. Zu fordern sind daher in der Werkstoffentwicklung die verstärkte Nutzung der Potentiale der Universitäten, nationale und internationale Kooperationen, sowie eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Werkstoffhersteller und dem Anwender.

Österreich besitzt im Bereich der konventionellen Strukturwerkstoffe durch Tradition eine gewisse Stellung, sogar mit punktuellen Hochleistungen. Aber auf so manchen modernen Werkstoffgebieten gibt es derzeit wenig Ansätze. Es fehlt eine breite Fachkompetenz etwa auf dem Gebiet der keramischen Werkstoffe, der amorphen Metalle, der Supraleiter oder etwa in der Entwicklung und Herstellung von Verstärkungsfasern. Desweiteren existiert ein gewisses

Manko in der Anwendungsorientiertheit der Werkstoffforschung und -entwicklung in Österreich.

Aus den genannten Tatsachen, aber auch aus dem Umstand, daß für die Werkstoffentwicklung und für neue Werkstoffe ein großer Markt zu suchen ist, resultiert die Notwendigkeit der Beteiligung Österreichs an internationalen Großtechnologieprogrammen. Wie es sich in anderen Staaten gezeigt hat, führt eine solche Beteiligung zu geänderten Denkweisen und zu positiven Konsequenzen in Forschung und Entwicklung, in Industrie und Wirtschaft.

Die Kosten für eine versäumte Werkstoffentwicklung sind für ein Industrieland dramatisch. Bei einer Entwicklungsdauer von 6 Jahren für ein werkstoff- und technologiebezogenes Produkt kann beispielsweise ein Unternehmen, das nach zwei Jahren in den Markt einsteigt, unter sonst gleichen Voraus-

setzungen nur mehr 55% dessen realisieren, was gegenüber einer sofortigen Marktpräsenz möglich wäre. Wenn man weiters bedenkt, daß praktisch alle Industrienationen seit einigen Jahren gewaltige Anstrengungen in der Werkstoffforschung unternehmen, an denen sich Österreich trotz der Verabschiedung des Forschungs- und Technologieschwerpunktes „Neue Werkstoffe“ nicht messen kann, dann ist mit einer zunehmend breiter werdenden Technologielücke in Österreich zu rechnen. Österreich als rohstoffarmes Land hat somit alle Anstrengungen zu setzen, damit diese sich abzeichnende Technologielücke nicht zum Tragen kommt. Dazu gehören unter anderem auch die Förderung der universitären Werkstoffforschung und der konsequente Ausbau der Studienrichtung Werkstoffwissenschaften an der Montanuniversität.