

3.1.1. Metallische Werkstoffe, insbesondere zur Erzeugung von Hochleistungsprodukten auf dem konstruktiven Sektor

Von F. JEGLITSCH

Kurzfassung von G. STERK

Den metallischen Werkstoffen kommt unter den Werkstoffen insgesamt eine hervorragende Bedeutung zu.

Zur Entwicklung und Herstellung metallischer Werkstoffe werden vor allem metallische Elemente (nahezu vier Fünftel aller Elemente im periodischen System), aber auch Halbmetalle wie Silizium sowie Nichtmetalle wie Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff verwendet. Es besteht daher ein sehr großes Feld für mögliche Kombinationen der chemischen Zusammensetzung einer Legierung.

Von nicht zu unterschätzender, oft von noch größerer Bedeutung als die chemische Zusammensetzung sind aber die bei der Herstellung von Legierungen anzuwendenden Verfahren und Mechanismen. Das Erzielen hoher Kriechfestigkeiten oder die ungewöhnlichen Eigenschaften der amorphen Metalle sind gute Beispiele hierfür.

Die metallischen Werkstoffe werden grob in zwei große Gruppen eingeteilt, nämlich in Funktions- und Konstruktionswerkstoffe.

Funktionswerkstoffe haben bestimmte, spezielle Aufgaben zu erfüllen. Das sind z.B. Halbleiter, Magnetlegierungen, korrosionsbeständige Legierungen und in bestimmten Teilgebieten auch amorphe Metalle.

Im Vordergrund der *Konstruktionswerkstoffe* (auch Strukturwerkstoffe genannt) stehen im Hinblick auf ihren konstruktiven Einsatz, im weitesten Sinn des Wortes, bestimmte mechanische Eigenschaften, wie Festigkeit, Zähigkeit, Ermüdungsverhalten oder Kriechbeständigkeit.

„*Neue Werkstoffe*“ können etwa wie folgt charakterisiert werden:

- Die Entwicklungsdauer eines neuen Werkstoffes ist im Vergleich zu technischen Produkten eher lang (wie z.B. Titanwerkstoffe, Aluminium-Lithium-Legierungen),
- die stoffliche oder chemische Zusammensetzung spielt nicht immer eine zentrale Rolle (wie z.B. bei superplastischen Legierungen und
- durch neue Verfahrenstechniken, die zu veränderten Eigenschaften führen, werden neue Anwendungen ermöglicht [wie z.B. metallische Gläser, CVD-*) und PVD-**])Techniken.

*) **CVD: Chemical Vapour Deposition** (chemisch. Ausscheidungsverfahren).

***) **PVD: Physical Vapour Deposition** (physikal. Ausscheidungsverfahren).

Beispiele der Werkstoffentwicklung aus den letzten Jahren, wie 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.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, daß die traditionellen Werkstoffgruppen der Konstruktionsmaterialien, wie Eisenbasis-Legierungen, Aluminiumbasis-Legierungen usw., auch in Zukunft dominierend sein werden. Aber auch in diesen Werkstoffgruppen gibt es sektoral bedeutsame Werkstoffentwicklungen, wie z.B. bei den Eisenbasis-Legierungen die stickstofflegierten Stähle oder bei den Aluminiumbasis-Legierungen die Aluminium-Lithium-Legierungen.

In der Tabelle 2 sind die wichtigsten Entwicklungen der metallischen Werkstoffe für den Hochtechnologieeinsatz beispielhaft gruppenweise zusammengefaßt:

Werkstoff - Entwicklungen	Einsatzbereiche
Stähle: - thermomechanisch behandelte mikrolegierte Stähle - Werkzeugstähle - TRIP- und IF-Stähle - austenitische Stähle	Bauwirtschaft, Maschinenbau, Automobilindustrie Werkzeuge zum Be- und Verarbeiten von Werkstoffen Maschinenbau rostfreie Stähle i. d. Gärungschemie, Zellstoff-, Salpetersäure-, Düngemittel-, Synthesefaserindustrie usw.
Leichtbauwerkstoffe: - höchstfeste AlZnMgCu-Legierungen - Al-Lithium-Legierungen - pulvermetallurgische Al-Legierungen - dispersionsgehärtete Titanlegierungen	Luft- u. Raumfahrt, Automobilindustrie, Sportartikelerzeugung Luftfahrt Luft- und Raumfahrt Luft- u. Raumfahrt, chemische Industrie, Automobil- u. Maschinenbau, Energieerzeugung, Medizintechnik
Verbundwerkstoffe mit metallischer Matrix	Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie, Maschinenbau
Werkstoffe für den Hochtemperatureinsatz: - Nickelbasis-Superlegierungen - intermetallische Phasen	Gasturbinen Gas- und Strahltriebwerke, Flugtriebwerke, Ventile
Werkstoffe mit besonderen Eigenschaften: - amorphe Metalle - Memory-Legierungen - superplastische Legierungen	Elektrotechnik, Elektronik, Lotwerkstoffe Regeltechnik, Automation, Implantate, EDV Luft- und Raumfahrt, Elektronik, Automobilindustrie, Maschinenbau, Haushaltsgeräte

Tabelle 2: Wichtigste Entwicklungen der metallischen Werkstoffe für den Hochtechnologieeinsatz

Sektorale Entwicklungen

Der mengenmäßig bedeutendste Werkstoff ist **STAHL**.

Stähle sind FeC-Legierungen, deren Eigenschaften durch Zusatz von Legierungselementen wie Chrom, Mangan, Nickel, Kobalt, Wolfram, Molybdän, Vanadin, Niob und Titan verbessert werden können. Demgegenüber sind für viele Einsatzgebiete die Gehalte an Phosphor, Schwefel und Wasserstoff schädlich und äußerst niedrig zu halten. Von den neueren Entwicklungen sind hervorzuheben:

- thermomechanisch behandelte mikrolegierte Stähle mit den Mikrolegierungselementen Titan, Vanadium und Niob, insbesondere zur Erhöhung der Festigkeitseigenschaften;
- TRIP-(transformation induced plasticity) und IF-(interstitial free) Stähle;
- austenitische Stähle mit dem Legierungselement Stickstoff.

Bei den **LEICHTMETALLWERKSTOFFEN** Aluminium, Titan, Magnesium und Beryllium ist vor allem wegen ihrer Verwendung im Verkehr und Transportwesen auch weiterhin eine dynamische Entwicklung zu erwarten.

Aluminium ist neben Eisen das am häufigsten verwendete Metall mit einer geschätzten Steigerungsrate von etwa 1,6% pro Jahr. Als Legierungselemente, vor allem für aushärtbare Knet- und Gußlegierungen, werden Silizium, Eisen, Kupfer, Mangan, Magnesium, Zink, Chrom, Nickel und Titan verwendet. Als zukunftsorientierte Aluminiumlegierungen werden hochfeste AlZnMgCu-Legierungen, AlLi-Legierungen sowie pulvermetallurgische Al-Legierungen für höhere Temperaturen entwickelt.

Aluminium-Lithium-Legierungen sind allgemein von Interesse. Ein Zusatz von 2,5% Lithium zu Aluminium bewirkt eine Dichteabnahme bei gleichzeitiger Steigerung des E-Moduls um etwa 10%, wobei durch Ausscheidungshärtung eine Festigkeitssteigerung erzielt werden kann, was für die Luft- und Raumfahrt von Bedeutung ist. An der Verbesserung der geringeren Bruchzähigkeit wird auch in Österreich gearbeitet.

Pulvermetallurgische Legierungen haben verbesserte mechanische Eigenschaften und stehen in Konkurrenz zu Titanlegierungen. Als Legierungselemente für den Hochtechnologiebereich werden auch Zirkonium, Cer, Molybdän und Vanadium verwendet.

Titan-Legierungen, insbesondere 2phasige α - und β -Legierungen, lassen sich zu höchsten Festigkeiten aushärten. Der größte Anwendungsbereich liegt in der Luftfahrt, vor allem im Triebwerksbau. Als Legierungselemente werden Aluminium, Vanadium, Molybdän, Zirkon, Zinn, Silizium usw., aber auch Seltene Erden verwendet.

Magnesium wird hauptsächlich als Legierungselement in der Aluminiumindustrie (über 56%) und zur Erzeugung von Magnesiumdruckwerkstoffen usw. verwendet. Bei den Gußlegierungen sind MgAlZn-, MgZr- und MgAg-Legierungen, bei den Knetlegierungen MgMn-, MgAlZn- und MgZnZr-Legierungen zu erwähnen. Bei einigen Legierungen werden auch Seltene Erden und Thorium zugesetzt.

Die mengenmäßig wichtigste Verwendung von **Beryllium** ist die als Legierungselement in aushärtbaren Werkstoffen auf Cu-, Ni-, Co- und Fe-Basis. Ein

großes Anwendungsgebiet würde sich wegen seiner hohen Steifigkeit im Leichtbau ergeben, wenn die Bruchzähigkeit verbessert werden könnte. Seit einiger Zeit wird Beryllium auch als Spiegel für Weltraumantennen bzw. Infrarot-Navigations- und Zielerfassungssysteme verwendet. BeAl-Legierungen kommen wegen des hohen Preises hauptsächlich für militärische Anwendungen in Frage.

Die **VERBUNDWERKSTOFFE** sind relativ jung. Sie bestehen aus zwei oder mehreren Komponenten, die fest miteinander verbunden sind. Hierbei wird das Grundmaterial, die sog. Matrix, durch Zugabe von Teilchen, Fasern oder durch einen bestimmten Schichtaufbau verstärkt.

Bei den **Teilchenverbund-Werkstoffen** werden als verstärkende Teilchen bevorzugt Oxide, Nitride und Karbide verwendet.

Die **Schichtverbund-Werkstoffe** sind schon länger bekannt. Weitgehend handelt es sich hier um Kunststoff-, aber auch um Metallverbunde.

Bei den **Faserverbund-Werkstoffen** werden als verstärkende Werkstoffe entweder lange Fasern (aus Glas, Stahl, Siliziumkarbid, Siliziumoxid, Aluminiumoxid und Bor) oder Metalle (wie Wolfram, Molybdän, Tantal, Beryllium, Titan, Zirkon) oder metallische einkristalline „Fäserchen“ (Whisker) aus Aluminium-, Magnesium-, Titan-, Zirkonium-, Thorium- oder Berylliumoxid, Siliziumkarbid, Aluminiumnitrid, Kohlenstoff oder Nickel in die Matrix eingebettet. Als Matrix-Werkstoffe werden Polymere, Metalle, Keramik oder Kohlenstoff (Graphit) verwendet.

Durchdringungs-Verbunde haben poröse Matrix-Skelette, die mit einer 2. Phase getränkt werden, wie z.B. W-Cu- bzw. W-Ag-Legierungen, die auch als Starkstromkontakte Verwendung finden.

Bei den Verbundwerkstoffen mit metallischer Matrix (Aluminium, Titan, Magnesium, Beryllium, Superlegierungen sowie intermetallische Verbindungen) für den Einsatz vor allem in der Luft- und Raumfahrt, wird ein jährliches Wachstum von 20% angegeben. Mit Aluminium als Matrix werden als Verstärkungsmaterial vor allem Kohlenstoff-, Bor-, Borosic-, Bornitrid- und Berylliumfasern sowie Aluminiumoxidfasern und Siliziumkarbid-Whisker verwendet.

In steter Fortentwicklung befinden sich die **WERKSTOFFE FÜR DEN HOCHTEMPERATUREINSATZ**, vor allem für Gasturbinen und Strahltriebwerke, für Brennkammern und hochbelastete Raketendüsen in der Luft- und Raumfahrt, aber auch für Hochtemperaturöfen und Wärmetauscher. Die Bedeutung derartiger Werkstoffe wird durch den Umstand charakterisiert, daß durch eine Anhebung der maximalen Einsatztemperatur um 65° C, die Schubkraft eines Flugzeugtriebwerkes um mehr als 20% erhöht wird. Derzeit werden Superlegierungen vor allem auf Nickel- und Kobaltbasis verwendet.

Bei den **Ni-Superlegierungen** sind als neue Entwicklungen die gerichtete Erstarrung sowie die pulvermetallurgisch-dispersionsgehärteten (ODS-)Legierungen zu erwähnen. In Zukunft geht die Entwicklung im unteren Temperaturbereich zu Ti-Legierungen, im mittleren Temperaturbereich zu intermetallischen Phasen und im oberen Temperaturbereich zu faserverstärkten Verbundwerkstoffen, vor allem mit Keramik- und Graphitmatrix.

Bei Temperaturen von 1.000 bis gegen 1.100° C werden vornehmlich **Legierungen auf Co-Basis** eingesetzt. Als Legierungselemente werden Chrom neben

Zusätzen von Niob und Tantal bzw. Aluminium verwendet, weiters Wolfram und Molybdän sowie Hafnium und Yttrium.

Als Alternative zu den vorgenannten Werkstoffen bieten sich **intermetallische Phasen** an, deren Einsatz wegen ihrer geringen Dichte und höheren Festigkeit eine Gewichtersparnis bis zu 50% ermöglichen könnte. Ungelöste Probleme sind noch die hohe Sprödigkeit und die relativ geringe Korrosionsbeständigkeit. Die beiden wichtigsten Gruppen sind Nickelaluminide vom Typ Ni_3Al mit Legierungselementen Chrom, Zirkon und Bor sowie Titanaluminide.

Zu den **HOCHSCHMELZENDEN METALLEN UND LEGIERUNGEN** werden jene gezählt, die Schmelzpunkte über $2.000^\circ C$ haben. Das sind Hafnium, Tantal, Niob, Molybdän, Wolfram, Rhenium, Ruthenium, Osmium und Iridium.

Wolfram ist mit $3.400^\circ C$ das höchstschmelzende Metall. Mit Kohlenstoff, Silizium und Bor bildet Wolfram sehr beständige und sehr harte Verbindungen. Hauptanwendungen sind die Hartmetall-Industrie (W-Karbid), der Einsatz als Legierungskomponente für die Herstellung von Warmarbeits- und Schnellarbeitsstählen, der Einsatz in der Elektrotechnik wegen seiner hohen thermischen Belastbarkeit usw. Als Legierungszusätze sind vor allem Rhenium, Thorium, Al_2O_3 usw. zu erwähnen.

Molybdän, das bei $2.600^\circ C$ schmilzt, wird zu fast 90% als Legierungskomponente eingesetzt, hauptsächlich in der Stahlindustrie. Zu erwähnen sind MoTi-, MoW- und MoRe-Legierungen sowie Verbundlegierungen (MoU-Legierungen als Reaktorbrandstoff) und cermetartige Legierungen (duktile Verbundwerkstoffe des Molybdäns mit 0,03–3% Aluminium-, Thorium-, Zirkon- und anderen Oxiden).

Tantal hat mit $2.997^\circ C$ einen sehr hohen Schmelzpunkt. Wegen seiner hervorragenden Korrosionseigenschaften wird es hauptsächlich als Reinform verwendet. Daneben sind vor allem TaW-Legierungen zu erwähnen, die fast die Warmfestigkeit von Wolfram erreichen, aber leichter verformbar sind.

Zu den **BASISMETALLEN** zählen Kupfer, Blei, Zink und Zinn sowie Aluminium, auf das schon eingegangen wurde.

Kupfer ist heute noch das dritt wichtigste Gebrauchsmetall. Es ist wegen seiner hohen elektrischen Leitfähigkeit in der Übertragung von elektrischer Energie schwer ersetzbar. Seine Verwendung in der Übertragung von Informationen wird es an die Glasfasern verlieren. Die Kupferlegierungen (CuZn, CuSn, CuAl, CuPb, CuNi, CuBe) werden auf der Werkstoffseite z.T. stark von Ti- und Al-Werkstoffen sowie von Kunststoffen substituiert.

Blei wird hauptsächlich in Akkumulatoren und Batterien verwendet. In der Ummantelung von Kabeln wird es zunehmend von Kunststoffen verdrängt. An Verbindungen sind PbSb-Legierungen (Hartblei), Lotlegierungen und Gleitlagerlegierungen zu erwähnen.

Hauptanwendungsbereiche für **Zink** sind Korrosionsschutz von Eisen (50%) und die Druckgußfabrikation. Während bisher für Druckgußteile ZnAl-Legierungen mit 4% Al verwendet wurden, hat man nunmehr drei neue Legierungen (ZA-8, ZA-12 und ZA-27) entwickelt, die auch für neue Anwendungsbereiche in Frage kommen.

Zinn ist ein sehr niedrig schmelzendes Schwermetall mit geringer Festigkeit, aber guter chemischer Beständigkeit. Die Hauptanwendung liegt nach wie vor in

der Weißblechproduktion (34%) mit starkem Substitutionswettbewerb, bei den Zinnbasis-Loten (31%) sowie als Lager- und Weißmetall. Bei den Lagerlegierungen auf Zinnbasis werden Kupfer, Antimon und Kadmium verwendet. Bei den Sn-Beschichtungswerkstoffen wären als neue Entwicklungen SnZn-Legierungen sowie SnNi-Legierungen zu erwähnen. In der Elektronik wird an der Entwicklung neuer Löttechnologien geforscht, um eine weitere Miniaturisierung zu erzielen.

Zu den **EDELMETALLEN UND EDELMETALLEGIERUNGEN** zählen neben Gold und Silber sowie Platin auch die Platinmetalle Ruthenium, Rhodium, Palladium, Osmium und Iridium, auf die hier nicht näher eingegangen wird.

Als **NUKLEARWERKSTOFFE** werden, abgesehen von Brennstoffen, vor allem Eisenwerkstoffe für den gesamten Primärkreislauf wassergekühlter Rohre sowie Zirkon und Zirkonlegierungen für die Hüllrohre, verwendet.

Eine große Aktualität kommt den metallischen **IMPLANTAT-WERKSTOFFEN** zu. Je nach der Verweildauer im menschlichen Körper unterscheidet man Kurz- und Langzeit-Implantate. Derartige Werkstoffe müssen biokompatibel und korrosionsbeständig sein sowie eine ausreichende Festigkeit aufweisen. Verwendet werden:

- **Werkstoffe auf Eisenbasis** (CrNi Mo-Stahl) vor allem für Platten, Schrauben und Nägel sowie für Operationsinstrumente,
- **Werkstoffe auf Kobaltbasis**, besonders für Langzeitimplantate, und
- **Werkstoffe auf Titanbasis**, die eine besondere Biokompatibilität und Korrosionsresistenz aufweisen.
- **Neuere Entwicklungen** sind Rein-Niob und Rein-Tantal.

Unter den **WERKSTOFFEN MIT BESONDEREN EIGENSCHAFTEN** sind amorphe Metalle, Memory-Legierungen und superplastische Legierungen zu erwähnen.

Amorphe Metalle, auch **Metallische Gläser** genannt, zeichnen sich durch besondere mechanische, magnetische und elektrische Eigenschaften sowie eine hohe Korrosionsbeständigkeit aus. Die meisten Anwendungen nutzen die hervorragenden magnetischen Eigenschaften. Hauptanwendungsgebiete sind daher die Elektrotechnik und die Elektronik. Die Entwicklung konzentriert sich heute i.w. auf folgende drei Legierungssysteme:

- Hocheisenhaltige Legierungen, wie $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$ oder $\text{Fe}_{77}\text{Si}_9\text{C}_2$,
- Nickelhaltige Legierungen, wie $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{14}\text{B}_6$ oder $\text{Fe}_{62}\text{Ni}_{16}\text{Si}_8\text{B}_{14}$,
- Hochkobalthaltige Legierungen, wie $\text{Co}_{70}\text{Fe}_5\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ oder $\text{Co}_{58}\text{Ni}_{10}\text{Fe}_5\text{Si}_{11}\text{B}_{16}$.

Memory-Legierungen sind neue Werkstoffe, die ihre Gestalt in Abhängigkeit von der Temperatur ändern. Derartige Werkstoffe werden z.B. in der Datenverarbeitung, Automation und Regelungstechnik, in der Medizin für Implantate, Bandscheibenersatz usw. verwendet. Für technische Anwendungen sind bisher erst drei Legierungsgruppen geeignet: NiTi, CuZnAl und CuAlNi. Derzeit wird an der Entwicklung von Memory-Legierungen auf Titan- und Eisenbasis gearbeitet.

Superplastische Legierungen haben die Fähigkeit, außerordentliche Dehnungen zu erreichen. Derartige Werkstoffe auf Al-, Ti- und Mg-Basis werden in der Luft- und Raumfahrt für massiv verpreßte Schaufel-Turbinenräder, Satellitentanks usw. verwendet. Großes Interesse wird auch der superplastischen Druckumformung von Schmiedestählen entgegengebracht.

Die hervorragendste Eigenschaft der **Hartmetalle** ist die hohe Druckfestigkeit. Den größten Anwendungsbereich stellt die spanende Bearbeitung dar. Entwicklungen haben das Ziel, bei hoher Härte und Verschleißfestigkeit, die Bruchzähigkeit zu verbessern. Hervorzuheben sind WC-Co-Hartmetalle, Mehrkarbidhartmetalle, WC-TiC-Co-Hartmetalle, WC-TiC-Ta(Nb)C-Co-Hartmetalle, Hartmetalle auf Titankarbidbasis und korrosionsfeste Hartmetalle.

Bedeutsam sind auch **MODERNE PHYSIKALISCHE VERFAHREN DER OBERFLÄCHENTECHNIK** (CVD- und PVD-Technologie*), die es erlauben, sehr dünne Hartstoffschichten aus der Dampfphase auf die Oberfläche eines Werkstückes als Oberflächenschutz aufzubringen. Hierzu werden Titankarbid, Titanitrid und Aluminiumoxid verwendet.

Benötigte Rohstoffe, Verfahrenstechniken

Die Technik nützt heute nahezu alle Elemente des periodischen Systems für die verschiedensten Anforderungen. Für konstruktive Zwecke werden vor allem nachstehend angeführte **Metalle** (nach Atomgewichten geordnet) verwendet:

Lithium, Beryllium, Magnesium, Aluminium, Titan, Vanadin, Chrom, Mangan, Eisen, Kobalt, Nickel, Kupfer, Zink, Zirkon, Niob, Molybdän, Rhenium, Palladium, Silber, Cadmium, Zinn, Antimon, Hafnium, Tantal, Wolfram, Osmium, Iridium, Platin, Gold und Blei. Daneben gibt es eine Reihe von weiteren Elementen, die eine große Bedeutung haben, wie z.B. Bor, Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff. Diese Elemente dienen einerseits für viele Werkstoffe als Legierungselemente (z.B. stickstofflegierte Stähle), aber auch zur Erzeugung der für die Technik so wichtigen Hartstoffe, also der Boride, Karbide, Nitride und Oxide. Die Elemente Natrium und Strontium werden benutzt, um die Silumine (Al-Si-Legierungen) zu veredeln, also feinkörnig erstarren zu lassen. Phosphor ist nicht nur meist ein unerwünschtes Verunreinigungselement bei den Stählen, sondern ein wichtiges Legierungselement bei der Herstellung von amorphen Metallen. Die Seltenen Erdmetalle, wie Cer, Lanthan und Yttrium, dienen einerseits als Impfelemente für die Bildung heterogener Keime bei der Erstarrung, andererseits zur Erzeugung thermisch stabiler Oxide für Hochtemperaturwerkstoffe.

Die Bedeutung des Recyclings bzw. der **sekundären Rohstoffquellen** ist für den Werkstoffeinsatz bei Hochtechnologieprodukten differenziert zu sehen. Aus Gründen der Ressourcenschonung und des Umweltschutzes ist es ohne Zweifel richtig und förderungswert, im Sinne des Schließens von Kreisläufen die Recyclingquote bei den metallischen Werkstoffen soweit als möglich zu erhöhen. Andererseits benötigen Legierungen für den Hochtechnologieeinsatz mit seinen extremen Anforderungsprofilen auch legierungsmäßig fein abgestimmte Werkstoffe mit meist hohem Reinheitsgrad. Sie werden daher praktisch ausschließlich aus Primärrohstoffen aufgebaut.

Eine entscheidende Bedeutung bei der Herstellung von Legierungen kommt den **Verfahrenstechniken** zu.

*) Siehe Seite 25.

Klassische Werkstoffe können durch moderne Verfahrenstechniken wieder zu neuen Werkstoffen werden. Der Einsatz von Herstellungstechnologien, wie z.B. der Rascherstarrung, der Oberflächenveredlung durch energiereiche Strahlen, der Pulvermetallurgie, wird es möglich machen, durch Überwindung der Grenzen der konventionellen Schmelzmetallurgie und durch die Einstellung extremer Ungleichgewichtszustände Werkstoffe mit außergewöhnlichen Eigenschaften herzustellen. Die Kombination von Werkstoffgruppen über verschiedene Verbundtechniken wird es letztlich erlauben, durch die Ausnutzung der Anisotropie die Eigenschaften den anisotropen Belastungen noch besser anzupassen als bisher.

Neue Werkstoffe werden zu Recht zu den Schlüsseltechnologien gezählt; ohne sie ist keine technische Idee realisierbar.

Literatur-Auswahl

- (1) Aluminium-Taschenbuch: Aluminium-Verlag, Düsseldorf 1983.
- (2) CLYNE, T. W. & WITHERS, P. J.: An Introduction to Metal Matrix Composites, Cambridge University Press, 1993.
- (3) Entwicklungstendenzen bei Implantatwerkstoffen; Vorträge der 5. Sitzung des Arbeitskreises Implantate, Deutscher Verband für Materialprüfung, Berlin 1985.
- (4) Glasiger Zustand metallischer Systeme; Ergebnisse eines Schwerpunktprogramms, DFG 1979 bis 1987, Berichtband 1988.
- (5) JEGLITSCH, F.: Symposium „Neue Rohstoffe für neue Technologien“, Wien 1988.
- (6) JEGLITSCH, F.: Werkstoffe 2000, Schriftenreihe des Wirtschaftsförderungsinstitutes Nr. 200, Wien 1990.
- (7) JEGLITSCH, F.: Forschungsschwerpunkt Hochleistungswerkstoffe, BHM 135 (1990), Heft 5.
- (8) JEGLITSCH, F.: Arbeitskreis „Werkstoffe“, BHM 136 (1991), Heft 9.
- (9) KIEFFER, G., JANGG, P. & ETTMAYER, P.: Sondermetalle – Metallurgie, Herstellung, Anwendung, Springer-Verlag, Wien–New York 1971.
- (10) MINORU TAYA, R. J., & ARSENAULT, R. J.: Metal Matrix Composites, Pergamon Press, Oxford–New York 1989.
- (11) Neue Werkstoffe – Revolution in der Anwendung? Arbeitskreis 1, Europäisches Forum Alpbach 1987; Conturen, März 1988, siehe insbes. d. Beiträge:
 - JEGLITSCH, F.: pp. 49–56
 - BILDSTEIN, H.: pp. 57–73
 - KELLERER, H.: pp. 74–82
 - JEGLITSCH, F., BILDSTEIN, H. & KELLERER, H.: pp. 83–87.
- (12) PERKINS, J.: Shape memory effects in alloys, Plenum Press, New York 1975.
- (13) POLMEAR, J.: Light Alloys, E. Arnold, London–New York–Melbourne–Auckland 1989.
- (14) ROTHER, B., & VETTER, J.: Plasma-Beschichtungsverfahren und Hartstoffschichten, Deutscher Verlag für Kunststoffindustrie, Leipzig 1992.
- (15) SIKKA, V. K.: Advanced Mat. & Processing Techn. f. Struct. Appl. Paris 1987.
- (16) SURESH, S., MORTENSEN, A., & NEEDLEMAN: Fundamentals of Metal Matrix Composites, Butterworth Heineman, 1993.
- (17) Werkstoffkunde Stahl, Bd. 1 u. 2, Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Verlag Stahleisen GmbH Düsseldorf, Springer-Verlag Berlin–Heidelberg–New York–Tokyo 1985.