

Metal-Carbon-Verbunde für funktionelle Anwendungen

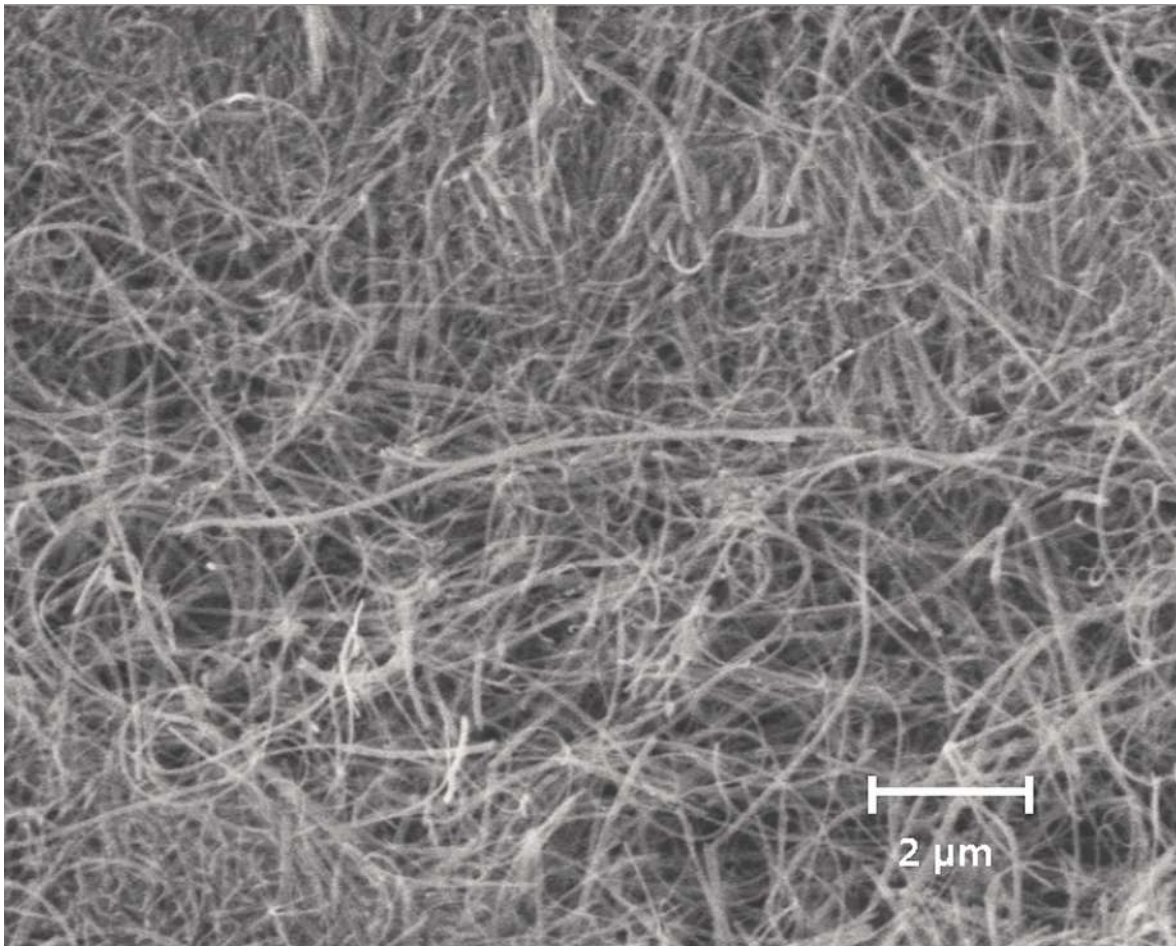
Pulvermetallurgisch eingebrachter Kohlenstoff in Metallmatrixen bietet die Möglichkeit zur passiven Kühlung und Schwingungsdämpfung sowie zur Festigkeitssteigerung bei hervorragender elektrischer Leitfähigkeit. Je nach Modifikation sind vielfältige Anwendungsgebiete möglich.

THOMAS WEISSGÄRBER, THOMAS HUTSCH UND BERND KIEBACK

Pulvermetallurgisch hergestellte Carbon Composites bestehen vorrangig aus einem Metall als Matrix und Kohlenstoff als Verstärkungskomponente. Dabei bildet Kohlenstoff in den Modifikationen Diamant, Graphit, Kohlenstoffnanoröhren, Graphen und Fulleren das Forschungsgebiet am Fraunhofer-IFAM Dresden. Die aufgrund

der intrinsischen Eigenschaften der jeweiligen Modifikation möglichen Anwendungsgebiete sind vielfältig. Grundsätzlich muss beachtet werden, dass mithilfe von Diamanten dreidimensional isotrope, mit Graphit zweidimensionale und mit Kohlenstoffnanoröhren eindimensionale Eigenschaften erzeugt werden (Bild 1). Am Blick in das Ge-

füge lässt sich dies anhand der vorliegenden Ausrichtung der eingebrachten Kohlenstoffmodifikation nachvollziehen. So können die Metall-Diamant-Verbundwerkstoffe zur passiven Kühlung, beispielsweise von Diodenlasern, IGBT-Modulen (Insulated Gate Bipolar Transistor) oder CPUs (Central Processing Units), eingesetzt werden [1, 2].



Kohlenstoffnanoröhren unterschiedlicher Hersteller werden zu dispergierfähigen Kohlenstoffnanoröhren aufbereitet.

Bild: Fraunhofer-IFAM

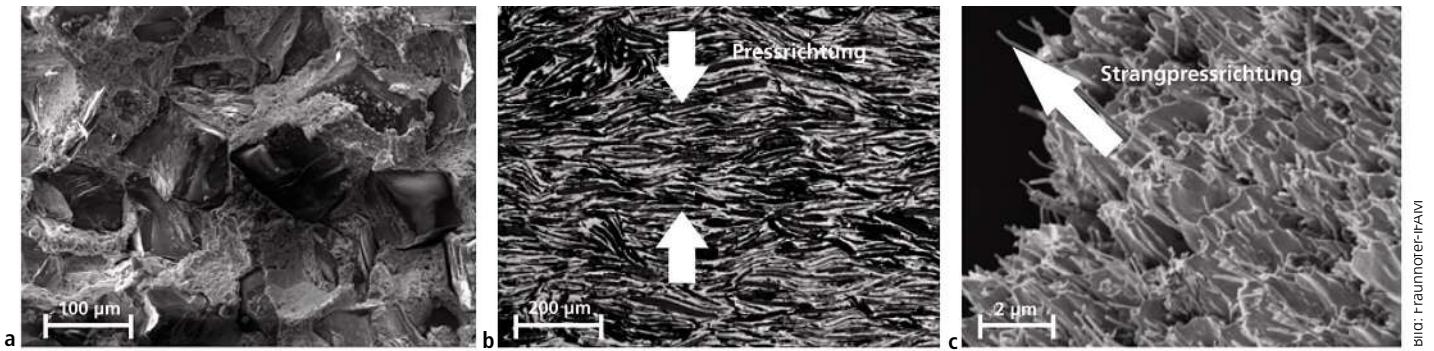


Bild 1: Gefüge von ausgewählten Carbon-Composites und zugehörige Kohlenstoffausrichtung: a) Metall-Diamant-Verbundwerkstoffe, dreidimensionale Ausrichtung; b) Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe, zweidimensionale Ausrichtung; c) Metall-Kohlenstoffnanoröhren-Verbundwerkstoffe, eindimensionale Ausrichtung.

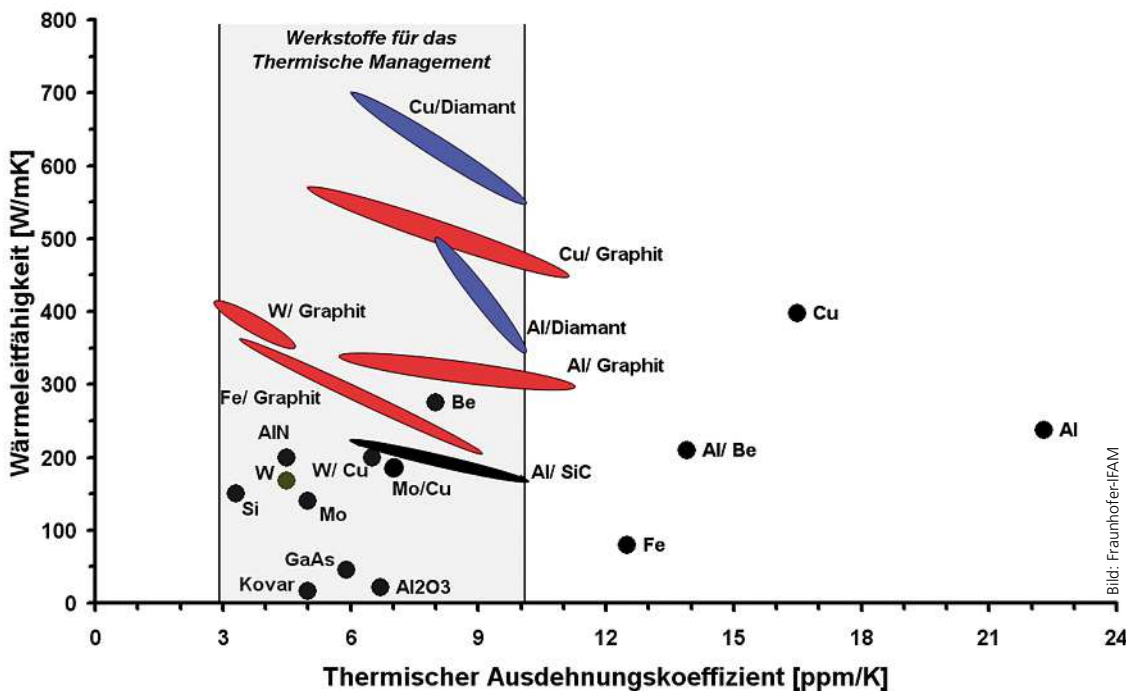


Bild 2: Überblick über die Werkstoffe für das thermische Management: Aufgrund des angepassten Volumengehalts an Diamant wird der thermische Ausdehnungskoeffizient reduziert und gleichzeitig die thermische Leitfähigkeit gegenüber der reinen Matrix erhöht.

Durch den angepassten Volumengehalt an Diamant wird der thermische Ausdehnungskoeffizient reduziert und gleichzeitig die thermische Leitfähigkeit gegenüber der reinen Matrix erhöht (Bild 2). Gleichzeitig ist der Erhalt der elektrischen Leitfähigkeit gegeben (Bild 5).

Elektrische Leitfähigkeit in der Größenordnung von reinem Kupfer

Bei Metall-Graphit-Verbundwerkstoffen wird aufgrund der Herstellung durch uniaxiales Heißpressen der Graphit zweidimensional ausgerichtet. Resultierend können die Dr.-Ing. Thomas Weißgärber leitet die Abteilung Sinter- und Verbundwerkstoffe im von Prof. Dr.-Ing. Bernd Kieback geleiteten Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Institutsteil Dresden, 01277 Dresden; Dipl.-Ing. Thomas Hutsch arbeitet speziell auf dem Gebiet der Carbon Composites am Fraunhofer-IFAM Dresden, Tel.: (03 51) 25 37-3 96, Fax: (03 51) 25 37-3 99, Thomas.Hutsch@ifam-dd.fraunhofer.de

Eigenschaften des Verbundwerkstoffes hinsichtlich thermischer Leitfähigkeit und thermischer Ausdehnungskoeffizienten, Körperschalldämpfung und tribologischen Verhaltens eingestellt werden [3] (Bild 4).

Metall-Kohlenstoffnanoröhren-Verbundwerkstoffe bilden einen weiteren Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am Fraunhofer-IFAM Dresden. Hier stehen die Dispergierung der Kohlenstoffnanoröhren (CNT) und die Verbundwerkstoffherstellung im Vordergrund [4]. Neben weiteren intrinsischen Eigenschaften der Kohlenstoffnanoröhren wie thermischer und elektrischer Leitfähigkeit sowie dem Emissions- und Absorptionsvermögen steht die herausragende Festigkeit im Vordergrund. Hier werden in Metallmatrices (Cu, Al, Fe) die Kohlenstoffnanoröhren homogen eingebracht, um eine Festigkeitssteigerung des Verbundwerkstoffes zu erzielen. Im Fall von Kupfer kann die elektrische Leitfähigkeit

in der Größenordnung von reinem Kupfer erhalten werden [5]. Kupfer-Kohlenstoffnanoröhren-Verbundwerkstoffe illustrieren beispielhaft die Vorgehensweise und die resultierenden Eigenschaften.

Ausrichtung der CNT kann je nach Verfahren gezielt eingestellt werden

Kohlenstoffnanoröhren unterschiedlicher Hersteller werden zu dispergierfähigen Kohlenstoffnanoröhren aufbereitet. Das anschließende ultraschallunterstützte Mischen von Kupferpulver mit dispergierfähigen CNT im wässrigen Medium ermöglicht es, homogene Pulvermischungen herzustellen. Diese werden mithilfe von Heißpressen, Spark-Plasma-Sintern und heißisostatischem Pressen zu Halbzeugen mit einer Dichte größer 90% TD verdichtet. Eine weitere Formgebung ist beispielsweise durch Strangpressen und/oder Drahtziehen möglich. Die Ausrichtung der CNT kann abhän-

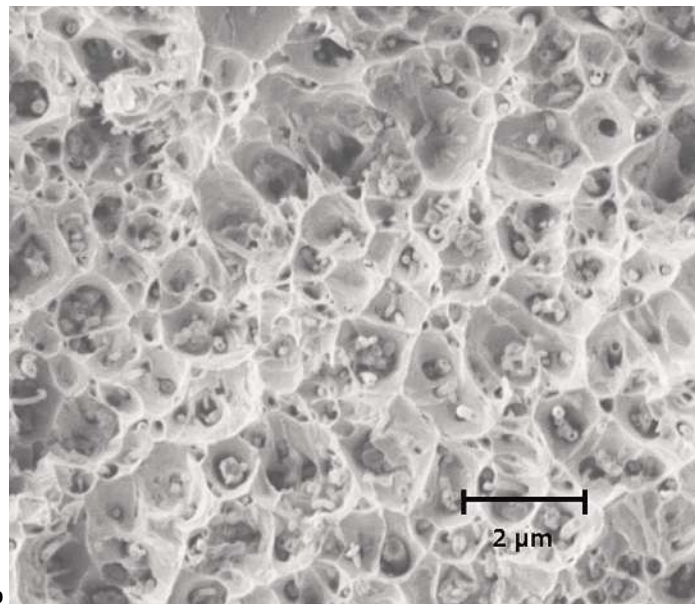
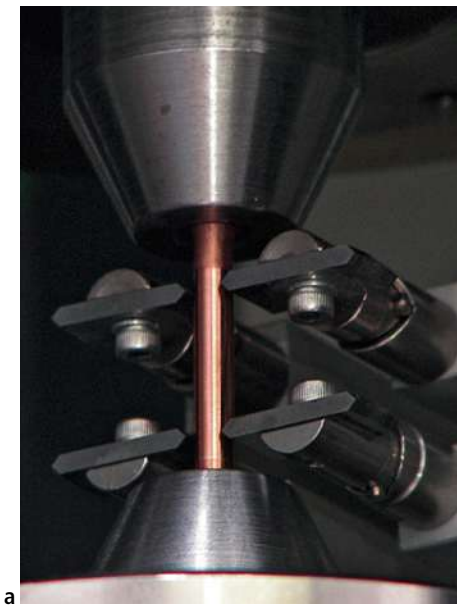
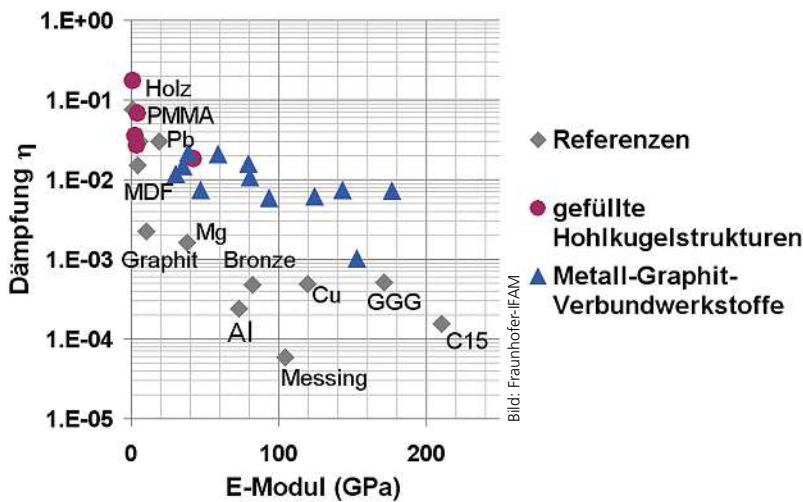


Bild 3: Mechanische Charakterisierung und Bruchfläche: a) Kupfer-Kohlenstoffnanoröhren-Zugstab während mechanischer Prüfung; b) Bruchfläche von Kupfer-Kohlenstoffnanoröhren-Verbundwerkstoffen mit 5 Vol.-% CNT.

Bild: Fraunhofer-IAM



◆ Referenzen
 ● gefüllte Hohlkugelstrukturen
 ▲ Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe

Bild: Fraunhofer-IAM

Bild 4: Körperschalldämpfung mithilfe von Metall-Graphit-Verbundwerkstoffen.

gig vom Herstellungsverfahren von dreidimensional bis hin zu eindimensional gezielt eingestellt werden. Die Metall-Kohlenstoffnanoröhren-Verbundwerkstoffe werden hinsichtlich Gefüge, mechanischen und thermophysikalischen Eigenschaften umfassend charakterisiert. Stranggepresste Kupfer-Kohlenstoffnanoröhren-Verbundwerkstoffe weisen parallel zur Strangpressrichtung eine Festigkeitssteigerung mit steigendem Volumengehalt an Kohlenstoffnanoröhren auf.

CNT brechen bei Erreichen ihrer Zugfestigkeit spröd

Durch Variation des CNT-Typs sind unterschiedliche Festigkeitssteigerungen bei vergleichbarem Volumengehalt an CNT erzielbar. Durch Einlagerung von 3,5 Vol.-% CNT in eine Kupfermatrix kann die Streckgrenze Rp0.2 auf 200% und die Zugfestigkeit Rm auf 125% im Vergleich zu reinem Kupfer (Rp0.2 = 70 MPa, Rm = 210 MPa) gesteigert

werden. Die als Resultat der mechanischen Prüfung erzeugten Bruchflächen werden mittels Rasterelektronenmikroskopie hinsichtlich des Bruchbildes untersucht (Bild 3). Hier konnte gezeigt werden, dass aufgrund der homogenen Verteilung der Kohlenstoffnanoröhren diese bei Erreichen ihrer Zugfestigkeit spröd brechen, während die umgebende Kupfermatrix ein duktiles Bruchverhalten aufweist.

Die CNT brechen in der gleichen Ebene wie die Matrix, was ein Indiz dafür ist, dass die Matrix die Kraft auf die CNT überträgt. Bei der Messung der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit ist die Anisotropie der Kupfer-Kohlenstoffnanoröhren-Verbundwerkstoffe erkennbar. Dabei ist die höhere Leitfähigkeit parallel zur Pressrichtung ein Indiz für die eindimensionale Ausrichtung der CNT. Der Einfluss unterschiedlicher CNT-Typen wird ebenfalls sichtbar. Bei einem Gehalt von 3,5 Vol.-% ist eine spezifi-

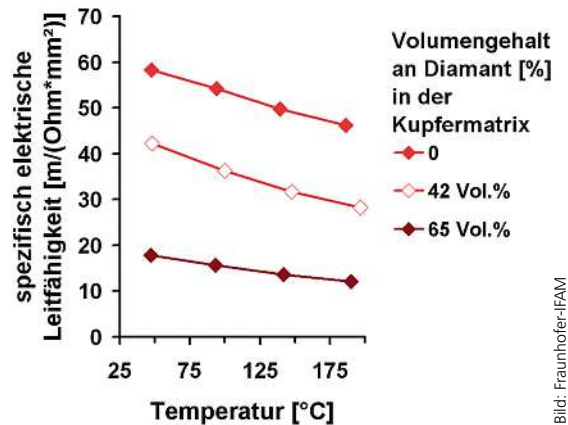


Bild 5: Temperaturabhängiger Verlauf der spezifisch elektrischen Leitfähigkeit bei unterschiedlichem Volumengehalt an Diamant in der Kupfermatrix.

Bild: Fraunhofer-IAM

sche elektrische Leitfähigkeit vergleichbar mit reinem Kupfer einstellbar. **MM**

Literatur

- [1] Schubert, T.: Fabrication and Properties of Copper/Carbon Composites for Thermal Management Applications. *Advanced Materials Research* 59 (2009), S. 169-172.
- [2] Schubert, T.: Interfacial characterization of Cu/diamond composites prepared by powder metallurgy for heatsink applications. *Scripta Materialia* 58 (2008), S. 263-266.
- [3] Hutsch, T. et al.: Innovative Metal-Graphite Composites as Thermally Conducting Materials. *World PM 2010 Florence*, 10th - 14th October 2010. Vol. 5, S. 361.
- [4] Weidmüller, H. et al.: Carbon-Nanofiber Reinforced Cu Composites Prepared by Powder Metallurgy. *Journal of Korean Powder Metallurgy Institute* 13 (2006) 5.
- [5] Hutsch, T. et al.: Herstellung und mechanische Eigenschaften von Kohlenstoffnanoröhren-Metall-Verbundwerkstoffen. 18. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde Chemnitz, 30. März - 01. April 2011. Band 41, S. 97-102.