

Neue Dimensionen in der Werkstofftechnologie und großes Potential für die Raumfahrt

Carbon Nanotubes

Die „High Performance Space Structure Systems GmbH“ (HPS) in München bearbeitet seit 2005 mehrere Projekte und Fördervorhaben zur Entwicklung neuer Materialien mit Kohlenstoff-Nanoröhrchen in Bezug auf Raumfahrtanwendungen. Die einzigartigen Eigenschaften dieser Nanoteilchen werden eingesetzt, um Werkstoffe mit verbesserten physikalischen Eigenschaften und neuen Eigenschaftskombinationen herzustellen.

In den letzten Jahren ist das Interesse an Entwicklungen mit Kohlenstoff-Nanopartikeln (Carbon Nanospecies: CNS) und insbesondere mit Kohlenstoff-Nanoröhrchen (Carbon Nanotubes oder CNT) aufgrund ihrer einzigartigen Materialeigenschaften enorm angestiegen. Reproduzierbare Ergebnisse im größeren Maßstab für die Herstellung, sowie die Forschung und Entwicklung von CNTs können jedoch erst seit ein paar Jahren erzielt werden.

CNS-Kompositwerkstoffe, insbesondere CNT-Komposite sind neuartige Werkstoffe, die aus einer metallischen oder einer keramischen Matrix, einem Matrixmaterial auf Polymerbasis oder sogar einer Matrix, bestehend aus einem Karbonfaser-verbundmaterial aufgebaut sein können, wobei Kohlenstoffpartikel wie z.B. Röhrchen im Nanobereich, aber auch Gewebe auf Nanoröhrchen-Basis eingebracht werden.

Unter der Leitung von HPS in München laufen mehrere Projekte und Fördervorhaben zu diesem Thema, zum einen im Auftrag der Europäischen Raumfahrtagentur ESA, aber auch als firmeninterne Forschungs- und Entwicklungsprojekte oder als Beteiligung an nationalen Projekten, wie das im Rahmen der „Innovationsallianz Carbon Nanotubes“ mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (<http://inno-cnt.de/de/>). Die Projektthemen reichen von der Erforschung der Grundlagen und Entwicklung von Herstellungsprozessen bis zur Entwicklung und Herstellung von sog. „Broad-

boards“ und realitätsnahen Strukturen für die Raumfahrt. HPS arbeitet mit mehreren, auf diesem Gebiet renommierten Instituten europaweit zusammen.

Andere Nano-Teilchen, die in den Projekten verwendet werden, sind Kohlenstoffnanofasern (CNF) oder Kohlenstoffnanopartikel wie Carbon Black (CB), aber auch Nano-Silberpartikel oder

keramische Nanoteilchen kommen zum Einsatz.

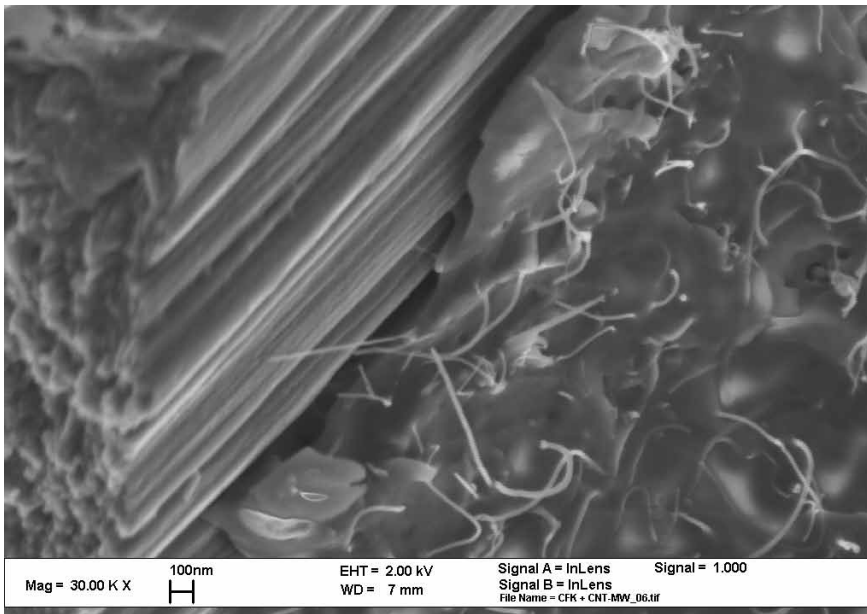
Es werden ebenfalls Buckypapers (BP) aus CNT die u.a. mit metallischen, keramischen und Polymer-Matrixmaterialien infiltriert werden, hergestellt und untersucht.

Die Einmischung der CNT in die jeweiligen Matrixmaterialien ist aufgrund des hohen Aspektverhältnisses (CNT können Aspektverhältnisse größer als 10.000 erreichen) und der Tendenz, Agglomerate zu bilden, nicht einfach.

Als Matrixmaterialien werden gegenwärtig am erfolgreichsten Polymere wie Epoxidharze und Cyanatester eingesetzt. Hier kann eine erhebliche Verbesserung der Matriceigenschaften erzielt werden.

Vielversprechende Ergebnisse können auch mit der Kombination von Karbonfasern und mit CNT und/oder CNS versetzten Matrixmaterialien (CNT-CFRP), sowie Einlagerungen von CNT Buckypapers oder anderen CNT-Strukturen zwischen oder auf Karbonfaserlagen bzw. Karbonfasergewebe erzielt werden.

Ein Projekt, zustande gekommen durch die intensive Zusammenarbeit im Rahmen der Inno-CNT ist der Einsatz von Arrays aus gerichtet aufgewachsenen CNT als Wärmesenke und als Sensor.



Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Kohlenstofffaser in einer mit CNT dotierten Polymermatrix [2].

Abbildungen mit freundlicher Genehmigung von Future Carbon GmbH, Bayreuth (www.future-carbon.de)

Kurze Übersicht der verwendeten Nano-Spezies

Durch Zugabe von CNS können Materialeigenschaften wie zum Beispiel die elektrische und thermische Leitfähigkeit oder auch die mechanischen Eigenschaften verbessert werden.

Für das Einmischen von CNT werden überwiegend mehrwandige CNT (multiwall carbon nanotubes oder MWCNT), die auf unterschiedliche Weise nachbehandelt werden (z.B. carboxyliert, thermisch behandelt oder auch metallisiert), verwendet. Diese CNT werden überwiegend von der Firma FutureCarbon (FC), mit der HPS seit mehreren Jahren eng zusammenarbeitet, hergestellt.

Stand der Entwicklung und Anwendungen in der Raumfahrt

Nachfolgend werden kurz die wichtigsten Projekte zusammengefasst. Details können z.B. der Veröffentlichung [3] und den jeweiligen Projektzusammenfassungen entnommen werden.

■ In einem ersten, stärker forschungsorientierten Projekt [1] konnten MWCNT mit Anteilen von 1 bis zu 5% in eine keramische Matrix (SiC) eingebracht werden, um neue Materialien, z.B. Stützstrukturen für optische Bänke oder Spiegel in der Raumfahrt, zu entwickeln. Dadurch wurden die Materialien elektrisch leitfähig und die Risszähigkeit konnte verbessert werden. Es ist ebenfalls gelungen, große Mengen an MWCNT (bis ca. 20%) in metallische Werkstoffe (z.B. Cu) einzubringen, mit dem Ziel, effektive Wärmesenken – ein wichtiges Thema, nicht nur in der Raumfahrt – herzustellen. Dabei konnten die thermischen Eigenschaften der metallischen Werkstoffe in mehreren Fällen verbessert werden.

■ In einem weiteren Projekt wurden erste Erfahrungen mit thermisch leitfähigen Klebstoffen auf Polymerbasis gesammelt, die sowohl CNT als auch andere Nanomaterialien enthalten, wobei sich der Klebstoffen im gegenwärtigen Stand der Entwicklung durchaus mit kommerziell erhältlichen Klebstoffen messen lassen kann. Unser Partner FC entwickelt derzeit dieses Produkt weiter.

■ Ein vielversprechendes Thema sind die oben genannten CNT Buckypapers (BP) oder Buckyzeilen (BZ). Erfolge können vor allem mit Polymermatrizen und keramischen Matrixmaterialien erzielt werden. Ein neues Verfahren, entwickelt von unseren Partnern ermöglicht derzeit BP mit den Ausmaßen bis zu maximal 300mm x 1000 mm x 0,5 mm. Sie können direkt oder metallisiert als Gassensoren oder als Superkondensatoren verwendet werden. In einem festen oder flüssigen Elektrolyten können sie als Aktoren fungieren. Durch die Infiltrierung mit Polymeren wie Epoxid und Cyanatester, können ultraleichte optische Strukturen oder Patches zur Verklebung komplexer Strukturen geschaffen werden.

Das Infiltrieren dieser Materialien mit Metallen war leider nicht möglich. Unsere Partner konnten aber Buckyzeilen erfolgreich mit einem Precursor zur Herstellung eines Keramik-Matrix-Komposits infiltrieren. Das Material wird elektrisch leitfähig und kann damit mittels Funkenerosion (EDM) nachbearbeitet werden. Die tribologischen Eigenschaften dieses Materials werden gegenwärtig untersucht, um die

Einsatzmöglichkeiten für Hochleistungs-Gleitlager und „hot hinges“ zu testen.

Die BP sollen nicht nur die physikalischen Eigenschaften des Kompositmaterials verbessern, sondern auch als Sensoren (z.B. structural health monitoring, d.h. die infiltrierten BP in einem Lagenaufbau dienen zur Überwachung von Schädigungen im Bauteil) verwendet werden können. Dies wird derzeit untersucht.

■ Im Verlauf eines Projektes wurden elektronische Gehäuse durch Wickeln von Karbonfasern hergestellt [2]. Durch Zugabe von CNT zur Polymermatrix wurde eine gleichmäßige CNT-Verteilung zwischen den Karbonfasern erzeugt. Dadurch konnte die elektrische Leitfähigkeit senkrecht zu den Karbonfasern um acht Größenordnungen gesteigert werden. Wave-Guide- und EMC-Tests zeigen, dass das so gefertigte Gehäuse eine elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ähnlich der von Alu-Gehäusen aufweist. Die EMV ist ein wichtiges Thema in der Raumfahrt, da bei Flughardware meist viele Systeme auf engstem Raum sich nicht gegenseitig beeinflussen dürfen und störungsfrei funktionieren müssen.

■ Derzeit laufen mehrere Projekte zur Herstellung und Untersuchung von CNT-Karbonfaser-Verbundwerkstoffen (CNT-CFRP). Ein von der ESA finanziertes Projekt über die Erforschung von neuen Werkstoffen für Nutzlast- und Plattform-Elementen in Satellitenmissionen wurde kürzlich abgeschlossen. Hier konnten entscheidende Erkenntnisse über die richtige Wahl des Herstellungsprozesses entsprechend der CNS- und/oder CNT-Zugaben und des Werkstoffaufbaus gewonnen werden [4]. Die Abbildung zeigt den Aufbau eines solchen Funktionswerkstoffes. Eine deutliche Verbesserung der thermischen (ca. 70%) und elektrischen Eigenschaften (mehrere Größenordnungen) senkrecht zum Karbonfaserverlauf in Relation zur Matrix konnte erreicht werden. Die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften gelang für einzelne Herstellungsverfahren (Pultrusion) sehr gut (50-70%). Erste größere Aufbauten im Quadratmeterbereich konnten realisiert werden. Für die laufenden Projekte zum Thema CNT-CFRP werden in Kürze neue Ergebnisse erwartet.

■ Weitere Projekte in Kooperation mit anderen Instituten sind z.B. das Wachsen eines CNT-Rasens auf CFRP zum einen als Sensorbestandteil, zum anderen, um die elektrischen und thermischen Eigenschaften der gerichtet aufgewachsenen CNT optimaler ausnutzen zu können. Des Weiteren werden CNT-dotierte Karbonschwämme getestet, um Alternativen für Wabenstrukturen zu schaffen.

Ausblick

Diese Projektergebnisse zeigen faszinierende Einblicke in die Welt der Nanoteilchen. Die Verbesserung der Werkstoffeigenschaften auf Komposit-Ebene durch Einbringung von CNT gelingt, aber die an den CNT selbst detektierten physikalischen Eigenschaften lassen sich bis jetzt noch nicht optimal ausnutzen. Bis jetzt zeigen sich aber mehrere vielversprechende Anwendungsmöglichkeiten: Die elektrische Leitfähigkeit von Werkstoffen kann deutlich verbessert werden. Mechanische und thermische Eigenschaften können in Relation zum Matrixmaterial verbessert werden. Die Optimierung der Eigenschaften ist stark abhängig von den Materialkonstruktionen und von den Herstellungsverfahren des Werkstoffs.

Hier ist man aber noch am Anfang der Möglichkeiten: Potential ist vorhanden und verbesserte Herstellungsverfahren, optimale CNS-Matrix-Anbindung und die Kombination verschiedener Nanopartikel sind einige wichtige Maßnahmen zur Optimierung der Werkstoffeigenschaften. Als Sensoren sind diese Nano-Werkstoffe besonders interessant. Hier werden verschiedene Eigenschaften kombiniert und lokal eingesetzt.

Dr. rer. nat. Felicitas Hepp

Technology Development: Materials and Structures

Dipl.-Ing. Maximilian Klebor

Technology Development: Satellite Structures

Dr.-Ing. Ernst K. Pfeiffer

Geschäftsführer, HPS GmbH, München

LITERATUR

INFO

- [1] L. Pambaguian, C. Edtmaier & T. Janhsen, M. Ferrato & P. Chereau, S. Forero, T. Frey & A. Girmscheid, J. Helbig, F. Hepp, C. Laurent & A. Peigney, H. G. Wulz: *Non-Organic Matrix Materials Reinforced with Carbon Nanotubes for Space Applications*; VIENNA ANO '07; Vienna (Austria), 2007.
- [2] F. Thurecht, Dr. M. Leininger, C. Schöppinger, L. Trougnou, Dr. E. Pfeiffer: *EMI Control in the Presence of Composite Materials (Development of an Ultralight CFRP Electronic Housing)*; 1st CEAS European Air and Space Conference, Berlin (Germany).
- [3] Ernst Pfeiffer, Felicitas Hepp, Maximilian Klebor, Laurent Pambaguian, Laurent Marchand, Laurent Trougnou, Pierre Lodereau, Carole Villette: *CARBON NANOTUBE COMPOSITES: DIFFERENT TYPES FOR DIFFERENT SPACE APPLICATIONS* The European Conference on Spacecraft Structures, Materials and Mechanical Testing (ECSSMMT), Toulouse, France, 2009
- [4] Maximilian Klebor, "COPE-Composite Materials for Payload and Platform Elements", Project Summary, Noordwijk, 2011