

Kohlenstoffbasierte Nanokomposite für Strukturanwendungen

Nanokomposite sind Verbundwerkstoffe, bei denen dem Grundmaterial, der sogenannten Matrix, nanoskalige Füllstoffe als verstärkender Bestandteil hinzugefügt werden. Als Matrixmaterialien können Metalle, Polymere und Keramiken genutzt werden. Bei kohlenstoffbasierten Nanokompositen finden als Füllstoff vorwiegend Graphen und Kohlenstoffnanoröhren (CNT), aber auch Nanodiamanten Verwendung. Im Prinzip sind mit kohlenstoffbasierten Nanokompositen herausragende mechanische Eigenschaften realisierbar, was sie insbesondere für eine Nutzung in den Bereichen des Leichtbaus und der Schutzanwendungen prädestiniert. Für ihre verbreitete Anwendung sind jedoch noch eine Reihe grundlegender Herausforderungen zu bewältigen. Bei den schon kommerziell verfügbaren CNT- bzw. Graphen-basierten Strukturwerkstoffen handelt es sich überwiegend um Polymer-Komposite aus dem Bereich des Sportequipments.

Wegen ihrer hohen Festigkeit, Bruchzähigkeit und chemischen Beständigkeit sowie des möglichen geringen spezifischen Gewichts werden kohlenstoffbasierte Nanokomposite überall dort Anwendung finden, wo schwerpunktmäßig maximal leichte oder maximal harte, widerstandsfähige Materialien benötigt werden. Dies betrifft somit die Bereiche, die traditionell eng mit dem Leichtbau verknüpft sind, wie Raumfahrt, Transport, Energietechnologie und Sportartikel. Insbesondere im zivilen Automobil- und Flugzeugbau besteht ein hoher Anreiz, durch den Einsatz noch leichterer Strukturen Treibstoffkosten einsparen und Kohlendioxidemissionen senken zu können. Im Bereich der Elektromobilität wird eine zusätzliche Gewichtsverringering der tragenden Strukturen des Fahrzeugs als entscheidend dafür angesehen, die Reichweiten erhöhen zu können. Auch die Entwicklung immer größerer Windkraftanlagen stellt einen wichtigen Treiber im Bereich des Leichtbaus dar. Solche Impulse für den Leichtbau könnten auch für militärische Plattformen genutzt werden und hier sowohl zur Erhöhung von Traglast, Reichweite und Einsatzdauer genutzt werden als auch zu einer besseren Luft-

verlastbarkeit führen. Durch ihr geringes spezifisches Gewicht sind kohlenstoffbasierte Nanokomposite speziell von großer Relevanz als Strukturwerkstoffe für (z. B. unbemannte) Flugsysteme. Als Hochtemperaturwerkstoffe für Flugzeugturbinen könnten verbesserte Keramik-Matrix-Komposite zudem zu weiteren Treibstoffeinsparungen führen. Kohlenstoffbasierte Nanokomposite könnten weiterhin dazu beitragen, die Nutzungsdauer verschiedener Systeme oder Werkzeuge zu verlängern. So weisen Nanokohlenstoff-basierte Metall-Matrix-Komposite nicht nur selbst eine hohe Verschleißbeständigkeit auf, als Schutzbeschichtungen würden sie auch die Korrosionsbeständigkeit anderer metallischer Strukturwerkstoffe erhöhen.

Die Zumischung von Nanokohlenstoffen kann darüber hinaus gezielt genutzt werden, um einem Strukturwerkstoff zusätzlich zu verbesserten mechanischen Eigenschaften weitere Funktionen zu verleihen. Hierzu gibt es eine Vielzahl von Forschungsbemühungen, Strukturwerkstoffe z. B. mit einem verbesserten Flammenschutz, aktorischen Fähigkeiten sowie mit Möglichkeiten zur Energiespeicherung, zur Abschirmung elektromagnetischer Strahlung oder zur Absorption von Radarwellen auszustatten. Integrierte Sensorfunktionen könnten beispielsweise Entwicklungsimpulse bei Structural-Health-Monitoring-Systemen für die Zustandsüberwachung von Strukturbauteilen auslösen.

Kohlenstoffbasierte Nanokomposite weisen zudem ein großes Potenzial als neuartige Schutzwerkstoffe auf. Ein leichterer und flexiblerer Körperschutz würde sowohl die Beweglichkeit als auch die Leistungsfähigkeit des Soldaten erhöhen. Beispielsweise ließen sich damit leichtere Einschübe für Schutzwesten fertigen und die Schutzwirkung von Helmen weiter verbessern. Als Teil passiver Schutzsysteme wie der Panzerung von Gefechtsfahrzeugen könnten sie mit ihrer geringen Dichte dazu beitragen, deren Gewicht zu senken, ohne den ballistischen Schutz der Systeme zu verringern. So könnten leichtere, mobilere Gefechtsfahrzeuge, für die schwere Panzerungssysteme nur begrenzt in Frage kommen, von

leichten, aber schadenstoleranten Panzerungsmaterialien profitieren.

Weltweit ist eine enorme Dynamik sowohl im Bereich der anwendungsnahen Forschung an kohlenstoffbasierten Nanokompositen als auch der Implementierung geeigneter, massenproduktions-tauglicher Herstellungsmethoden von CNT und Graphen zu beobachten. Die gesamte Bandbreite an denkbaren Nanokohlenstoff-Matrix-Kombinationen deckt alle Forschungs- und Entwicklungsstadien ab. Der größte Teil befindet sich noch im Bereich der Grundlagenforschung. Insbesondere sind die Mechanismen, die zu den teils extremen Eigenschaftsverbesserungen führen, noch nicht im Detail bekannt. Ein weiteres Problem stellen die ungenügende Reinheit und Homogenität der lieferbaren Nanokohlenstoffe dar. Deren homogene Verteilung in der Matrix ist entscheidend für die zu erreichenden mechanischen Eigenschaften, bereitet jedoch immer wieder massive Schwierigkeiten.

Die Fragestellungen bezüglich eines tiefgreifenden Verständnisses der grundlegenden Mechanismen werden sich erst mittel- bis langfristig beantworten lassen. Im Umkehrschluss muss bei heutigem Erkenntnisstand die Produktentwicklung von spezifischen Anwendungsfällen ausgehen. Die bereits in Kleinserie oder als Spezialanfertigung hergestellten hochpreisigen Produkte wurden daher ausgehend von einem gut definierten Anforderungsprofil durch geschicktes Trial-and-Error zur Marktreife entwickelt. Für die Probleme mit den inhomogenen Ausgangsprodukten und der Steuerung der Prozesstechnik könnten kurz- bis mittelfristig Lösungen gefunden werden, wenn ein konkreter Handlungsbedarf formuliert und dieser mit entsprechendem Nachdruck und Investitionsmitteln verfolgt würde. Darüber hinaus gibt es derzeit Bedenken bezüglich der gesundheitlichen Risiken kohlenstoffbasierter Nanopartikel, und es fehlt an ausreichenden Informationen über die Langzeitstabilität der Komposite. Hier könnten die größten Hindernisse für eine zügige Verbreitung dieser hochinnovativen Materialklasse liegen.

Dr. Heike Brandt