

ANALYTISCHE TRANSMISSIONSELEKTRONEN- MIKROSKOPIE ZUR PRODUKTBEGLEITENDEN WERKSTOFFENTWICKLUNG

DIE AUFGABE

Werkstoffe und Werkstoffaspekte bilden die Grundlage für einen großen Teil der angestrebten technologischen Innovationen. Da das von den Werkstoffen gewünschte Eigenschaftsspektrum in hohem Maße durch ihren strukturellen Aufbau bestimmt wird, sind zur Werkstoffverbesserung umfassende und hochauflösende Charakterisierungsverfahren zur Strukturanalyse unerlässlich. Dabei spielt die analytische Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) eine zentrale Rolle, da sie das einzige Verfahren ist, das eine vollständige Charakterisierung der Struktur bis in den atomaren Bereich erlaubt. Eine umfassende Werkstoffcharakterisierung wird auch dadurch ermöglicht, dass die analytische Transmissionselektronenmikroskopie die drei fundamentalen Methoden der Abbildung, Beugung und Spektroskopie in einem Gerät vereint.

Die analytische Transmissionselektronenmikroskopie hat entscheidend dazu beigetragen, die Gefüge von Materialien hinsichtlich der Gebrauchseigenschaften maßzuschneidern. Seine Vorteile prädestinieren das Verfahren nicht nur für die grundlagenorientierte Werkstoffforschung, sondern auch für

- den Einsatz bei der produktbezogenen Werkstoffverbesserung (z. B. Randschichttechnologien),
- die Weiterentwicklung von werkstoffabhängigen Fertigungsprozessen (z. B. Fügen),
- die Schadensfallanalyse und
- die Beurteilung der Qualität von Fertigungsverfahren.

Ziel der Forschungsarbeiten des Fraunhofer IWS ist es daher, diese Methode für die produktbezogene Werkstoffentwicklung einzusetzen und als Dienstleistung anzubieten.

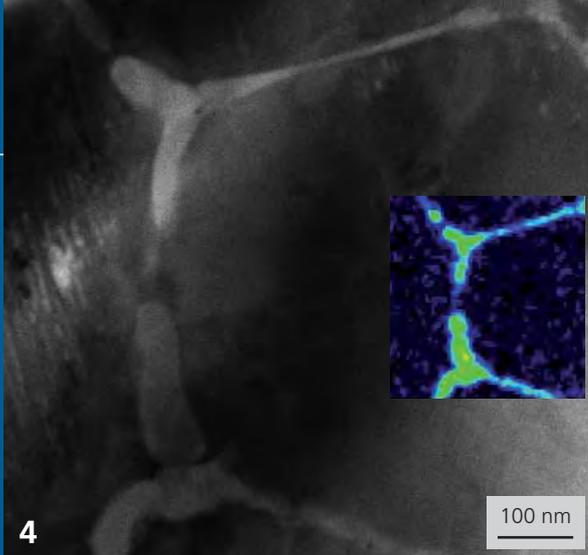
LÖSUNG

Im Fraunhofer IWS wird die analytische Transmissionselektronenmikroskopie in Kombination mit einer leistungsfähigen Metallographie, Rasterelektronenmikroskopie und Werkstoffprüfung betrieben. Wesentliche Voraussetzungen für den erfolgreichen Einsatz des Verfahrens sind ein breit angelegtes werkstoffkundliches Wissen, langjährige methodische Erfahrung sowie eine moderne und leistungsfähige Labor- und Geräteausstattung. Wichtige Merkmale des seit diesem Jahr am Fraunhofer IWS verfügbaren TEM JEM-2100 sind u. a. ein hochauflösender analytischer Polschuh, eine Scanning-Einheit, ein EDX-System zur Elementanalyse, zwei sich ergänzende Kamerasysteme sowie ein sehr präziser piezogesteuerter Probenstisch. Für verschiedenste Materialien und Bauteile stehen Prozeduren für die zielgenaue Herstellung elektronentransparenter Präparate zur Verfügung.

Die folgenden Beispiele geben einen Überblick über die Forschungsarbeiten des Fraunhofer IWS zur produktbegleitenden Werkstoffentwicklung.

ERGEBNISSE

Aktuelle Forschungsarbeiten widmen sich der Synthese von Silizium-Kohlenstoff-Nanopartikeln in sogenannter »core&shell« Anordnung, die für den Einsatz als Elektrodenmaterial in Lithium-Ionen-Batterien vorgesehen sind (Abb. 1). TEM-Untersuchungen ermöglichen die Aufklärung von Struktur, Größe und Verteilung der sich bildenden Nanopartikel in Abhängigkeit von den Herstellungsbedingungen. Daraus sind optimierte Syntheseparameter ableitbar.



Das Fraunhofer IWS beschäftigt sich zudem mit der Entwicklung von Reaktivmultischichten (RMS), die zum wärmearmen Fügen unterschiedlichster Materialkombinationen eingesetzt werden (vgl. S. 86 / 87). Ein wesentlicher Aspekt ist die Vermeidung der Interdiffusion zwischen den einzelnen Multischichtstapeln bereits während der Herstellung. Durch die TEM-Analyse konnte nachgewiesen werden, dass die unerwünschte Interdiffusion durch die Einbindung geeigneter Barrierschichten effektiv unterdrückt werden kann (Abb. 2).

Neue Werkstoffe und Werkstoffkombinationen erfordern geeignete und vor allem effizient anwendbare Verfahren zum Fügen von Mischverbindungen. Im IWS werden mit dem Laserinduktionswalzplattieren und dem elektromagnetischen Pulsfügen sehr vielversprechende Technologien für die Realisierung von Mischbauweisen entwickelt. Mit Hilfe der analytischen Transmissionselektronenmikroskopie werden die auf Grund ihrer Eigenschaften unerwünschten Phasensäume analysiert, die sich an der Grenzfläche bilden. Die TEM-Ergebnisse liefern Hinweise für die Reduzierung der intermetallischen Phasenbildung und schaffen damit die Grundlage für eine Verbesserung von Qualität und Belastbarkeit der gefügten Mischverbindungen (vgl. S. 40 / 41, 42 / 43).

Moderne Hochleistungsmotoren für PKW unterliegen im Betrieb einer starken Verschleißbeanspruchung. Die Optimierung der Kolben- und Zylinderwerkstoffe erfordert ein umfassendes Verständnis der im Betrieb wirksam werdenden Verschleißmechanismen. Es hat sich gezeigt, dass konventionelle metallographische und rasterelektronenmikroskopische Charakterisierungsverfahren bei der Analyse der in der Randzone von Zylinderlaufbahnen im Betrieb auftretenden strukturellen Veränderungen an ihre Grenzen stoßen. Deshalb wurden zur Klärung der Problemstellung ergänzende TEM-Untersuchungen durchgeführt. Dabei konnte u. a. nachgewiesen werden, dass sich die Güte der Endbearbeitung signifikant auf den sich im Betrieb einstellenden Verschleiß auswirkt (Abb. 3).

Bei Stählen für den Werkzeugbau spricht man wegen ihrer hohen Kohlenstoffgehalte im Allgemeinen von einer schlechten Schweißbarkeit. Dieses trifft auch zu, wenn moderne Schweißverfahren, wie z. B. das Laserstrahlschweißen, eingesetzt werden. Umfangreiche TEM-Untersuchungen ermöglichen die Aufklärung der Strukturausbildung im Schweißgut und liefern damit einen Beitrag zur Verbesserung der Schweißbarkeit von Schnellarbeitsstählen (Abb. 4).

- 1 *SiC-Nanopartikel, umhüllt mit amorphem und graphitischem Kohlenstoff (TEM)*
- 2 *Zr/Al-RMS mit (o. li.) und ohne (u. re.) Diffusionsbarriere (TEM)*
- 3 *Nachweis der bearbeitungsbedingten Verformungsschicht auf einer Zylinderlaufbahn aus ALUSIL: I rekristallisiert, II Al/Cu-Partikel deformiert*
- 4 *Erstarrungsgefüge im Schweißgut eines Schnellarbeitsstahls (TEM, EDX): Molybdänseigerungen an den Zellgrenzen*

KONTAKT

Dr. Jörg Kaspar
 Telefon: +49 351 83391-3216
 joerg.kaspar@iws.fraunhofer.de

