

Werkstoffe, Umformtechnik

Pulvermetallurgische Technologien zur Herstellung nanostrukturierter Werkstoffe

T. Weißgärber

Soll das Potential nanostrukturierter Werkstoffe konsequent genutzt werden, ist die Entwicklung effizienter und somit kostengünstiger Fertigungstechnologien notwendig. Hierbei hat die Pulvermetallurgie und insbesondere die Verbindung von Nanotechnologie und Pulvermetallurgie ein großes Innovationspotential. Durch den nanokristallinen Aufbau von Werkstoffen können mechanische Eigenschaften bei Raumtemperatur und erhöhten Temperaturen, das Verschleißverhalten, aber auch physikalische Eigenschaften erheblich verbessert und aufgrund der Möglichkeiten des Gefügedesigns anwendungsspezifisch angepasst werden. Um die pulvermetallurgische Herstellung nanostrukturierter Werkstoffe zu beherrschen, muss vor allem den Mechanismen der Kornwachstumshemmung und effektiven Verdichtungsverfahren besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Die Entwicklung und Herstellung nanokristalliner Werkstoffe und der Erhalt der Nanostruktur bei der Bauteilherstellung durch neue Verfahrensvarianten sind demnach wesentliche Zielstellungen, da sie in zahlreichen Gebieten Anwendung finden:

- Aluminium-Hochleistungswerkstoffe mit verbesserten mechanischen Eigenschaften sowohl bei Raumtemperatur als auch bei erhöhten Temperaturen (<400 °C).



Bild 2. Mittels „Spark Plasma Sintering“ (SPS) kompaktierte Bolzen einer verdühten Aluminium-Legierung (Durchmesser: 75 mm, Höhe: 85 mm, nahezu 100% theoretische Dichte)



Bild 1. „Melt Spinning“-Anlage zur Erzeugung metallischer Werkstoffe mit homogenen Eigenschaften

- Gesinterte sehr feinkristalline thermoelektrische Werkstoffe wandeln effiziente Abwärme, zum Beispiel im Abgasstrang eines Verbrennungsmotors, direkt in elektrische Energie (Seebeck-Effekt).

- Aufgrund der sehr großen „inneren Oberfläche“ (Korngrenzen, Versetzungen) nanostrukturierter Werkstoffe werden H₂-Feststoffspeichersysteme auf

Basis von Magnesium als vielversprechende Alternative gegenüber konventionellen Druckgasspeichern gesehen.

- Kathoden, Anoden und Katalysatoren steigern ihre Effizienz ebenfalls mit vergrößerten inneren Oberflächen bei relevanten chemischen Reaktionen.

Extreme Abkühlungsgeschwindigkeiten

Feinkristalline oder amorphe Gefüge in Werkstoffen können durch entsprechende Legierungsauswahl in Kombination mit einem schnellen Entzug von Wärme – quasi einem Einfrieren der Schmelze – erzeugt werden. Insbesondere unter dem Aspekt der Entwicklung nanostrukturierter Werkstoffe bietet das „Melt Spinning“ (Hochgeschwindigkeitserstarrung) beste Voraussetzungen zur Rascherstarrung metallischer Schmelzen (**Bild 1**). Hier wird eine metallische Schmelze auf eine wassergekühlte rotierende Rolle gegossen und ein nur wenige Mikrometer dünnes Band oder Bandstücke (Flakes) erzeugt. Dabei erstarrt der Werkstoff mit einer Abkühlgeschwindigkeit von bis zu 1 Millionen Kelvin pro Sekunde. →

Thomas Weißgärber
 Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik
 und Angewandte Materialforschung IFAM
 Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe
 Winterbergstr. 28, D-01277 Dresden
 Tel. +49 (0)351/25 37-305, Fax +49 (0)351 / 2537-399
 E-Mail: thomas.weissgaerber@ifam-dd.fraunhofer.de
 Internet: www.ifam-dd.fraunhofer.de

Die bisherige Fertigungskette bei der Kompaktierung der nanostrukturierten Flakes zu einem Halbzeug weist neben langen Prozesszeiten verfahrensbedingt erhöhte Temperaturen auf. Dies führt zu Kornwachstum und Bildung unerwünschter intermetallischer Ausscheidungen. Die Nutzung eines feldunterstützten Kurzzeitsinterverfahrens (Spark Plasma Sintering – SPS) vermindert Kornwachstum und stellt zugleich eine kostengünstige Fertigungstechnologie zur konsequenten Nutzung des Potentials nanostrukturierter Legierungen dar. Es werden nahezu dichte Presslinge erzeugt, aufgrund sehr kurzer Prozesszeiten werden aber lange hohe Temperaturbelastungen und somit Gefügeveränderungen weitestgehend vermieden. Die direkte Erwärmung mittels hochfrequenter Strompulse – kombiniert mit einer Presskraft – können das Material in sehr kurzer Zeit und bei Erhalt der gewünschten sehr feinen Mikrostrukturen verdichten (**Bild 2** und **Bild 3**).

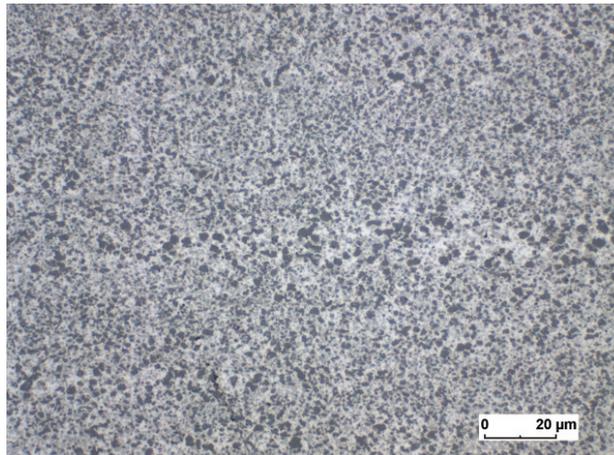


Bild 3. Gefüge von AlSiFe nach dem Spark Plasma Sintern und anschließender Warmumformung

Ultrafeine nanostrukturierte Werkstoffe

Im Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Dresden wurde eine Technologiekette zur Herstellung

ultrafeiner beziehungsweise nanostrukturierter Werkstoffe aufgebaut, beginnend von der Pulver-/Flake-Erzeugung bis zur Verdichtung durch ein Kurzzeitsintern und eventuell anschließender Warmformgebung (**Bild 4**). Neben „klassischen“ mechanischen Verfahren der Pulverherstellung und -modifizierung bietet das Melt Spinning die Möglichkeit, nanostrukturierte oder amorphe Pulver im kg-Maßstab herzustellen. Aufgrund der µm-Größe der Pulverteilchen ist ihre Handhabung gegenüber metallischen Nanopulvern einfacher. Mit dem Spark-Plasma-Sinterverfahren bietet

sich die Möglichkeit, die innerhalb der Pulverteilchen erzeugte Nanostruktur auch ins kompakte Bauteil zu übertragen. Schwerpunkt der Arbeiten bildet dabei das „Up-Scaling“ auf bauteilrelevante Größen von bis zu 300 mm Durchmesser. Die Technologiekette wird heute für Aluminiumwerkstoffe und Thermoelektrika intensiv untersucht. In der zukünftigen Entwicklung werden weitere Werkstoffgruppen – etwa zur Wasserstoffspeicherung sowie hochschmelzende Metalle oder Verbundwerkstoffe – eine wichtige Rolle spielen. □

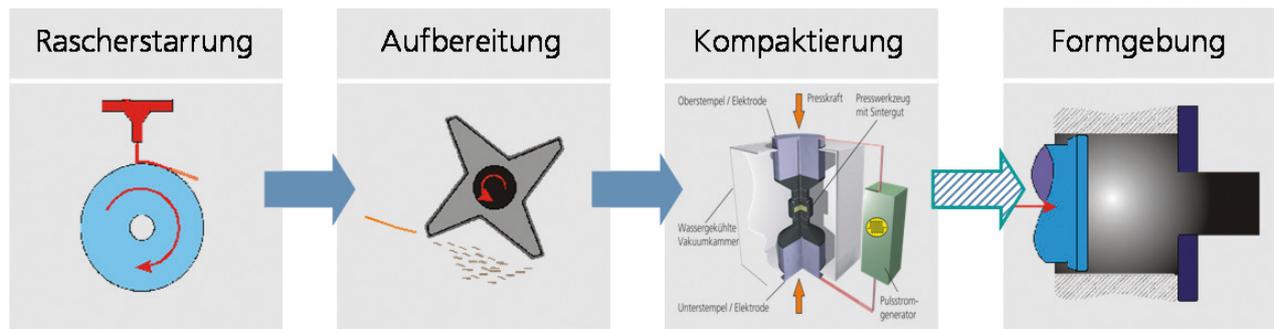


Bild 4. Fertigungskette für kompakte Halbzeuge beziehungsweise Bauteile mit ultrafeinkristallinem Gefüge am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Dresden