

Keramische Werkstoffe für Brennkammern von Fahrzeuggasturbinen

Ceramic Materials for the Combustion Chambers of Vehicle Gas Turbines

R. Grunke

Damit Fahrzeuggasturbinen im spezifischen Verbrauch mit den heute verwendeten Dieselmotoren konkurrieren können, sind hohe Temperaturen im Brennkammerbereich erforderlich; diese können mit Metallbrennkammern nicht realisiert werden. Als Brennkammerwerkstoff bieten sich hochtemperaturbeständige Sonderkeramiken an. Bei MTU wurden die in Frage kommenden Keramiken unter betriebsnahen Bedingungen auf ihre Eignung als Brennkammerwerkstoff untersucht. Besonders bewährt hat sich siliziumfiltriertes Siliziumkarbid. Bei weiterer Entwicklung ist auch die Verwendung anderer Keramiken dankbar.

Seit mehr als 40 Jahren wird versucht, anstelle von Hubkolbenmotoren Antriebsmaschinen mit ausschließlich rotierenden Teilen zu verwenden. Die vom Prinzip her einfache Arbeitsweise der Rotationsmaschinen war immer wieder ein Ansporn dazu, die damit verbundenen technologischen Schwierigkeiten in Angriff zu nehmen. So konnte in der Luftfahrt die Gasturbine mit ihrem günstigen Leistungsgewicht den Kolbenmotor in der Leistungsklasse über 500 PS völlig verdrängen.

Anfang der 50er Jahre gewann man in den USA und in Großbritannien mit der Entwicklung von Fahrzeuggasturbinen. Die Schwierigkeiten, die dabei auftraten, sind bis heute noch nicht befriedigend gelöst. Bedingt durch die kleinen Abmessungen und ein ungünstiges Teillastverhalten entstehen Wirkungsgradverluste, die nur durch hohe Verbrennungstemperaturen ausgeglichen werden können. Damit zum Beispiel eine LKW-Gasturbine mit 350 PS ähnliche Verbrauchswerte wie ein Dieselmotor erreicht, sind Turbineneintrittstemperaturen von etwa 1400 °C erforderlich. Da aus Gründen der Kosten und des Wir-

For vehicle gas turbines to be able to compete in specific fuel consumption with present-day Diesel engines, high temperatures are required in the combustion-chamber zone; such temperatures are not feasible with metal combustion chambers. High-temperature special ceramics prefer themselves as material for combustion chambers. Candidate ceramic materials have been examined at MTU under service-like conditions for their suitability as material for combustion chambers. Silicon-infiltrated silicon carbide has proved particularly worthwhile. As development work continues, the use of other ceramics is also conceivable.

kungsgrades aufwendige Kühlkonzepte, wie sie in Fluggasturbinen eingesetzt werden, nicht in Frage kommen, ist die Realisierung dieser hohen Temperatur mit Metallteilen nicht möglich. Bereits bei einer Brennkammereintrittstemperatur von 1000 °C werden etwa 5% der angesaugten Luft zur Brennkammerkühlung verwendet, was den spezifischen Verbrauch um etwa 8 g/PS h erhöht (1). Diese Problematik sowie die beginnende Rohstoffverknappung und Rohstoffverteuerung führten zu der-an sich nicht neuen Überlegung, die Heißeile einer Fahrzeugturbine aus Keramik zu bauen. Bereits während des zweiten Weltkrieges sowie in den 50er und 60er Jahren wurde versucht, Aluminiumoxid für Turbinenschaufeln einzusetzen, was u. a. an der mangelnden Thermoschockbeständigkeit von Al₂O₃ scheiterte. Nun sind in den letzten Jahren, zunächst in USA und dann auch in Deutschland, die Bemühungen um den Einsatz von Keramik in Gasturbinen wieder verstärkt worden. Die Entwicklungsarbeiten sind z. Zt. in vollem Gange, wobei sich jetzt erste Tendenzen abzeichnen und auch einzelne Teilerfolge erzielt wurden (2).

Werkstoffauswahl

Seit jeher wird Keramik als Hochtemperaturwerkstoff eingesetzt, allerdings bei geringen mechanischen Belastungen. Es ist also naheliegend, zunächst die statischen Komponenten der Turbine aus Keramik herzustellen, da bei diesen durch ihr Lastspektrum – hohe Temperaturen und relativ niedrige mechanische Belastungen – der große Nachteil der Keramik, ihre Sprödigkeit, am wenigsten ins Gewicht fällt. Nun stellt sich die Frage nach der geeigneten Keramiksorte. Die Vielfalt an verschiedenen Kombinationen von Gebrauchseigenschaften ist bei Keramik ebenso groß wie bei Metallen. Unterteilt man die keramischen Werkstoffe in Silikat-, Oxid- und Sonderkeramik, so ergibt sich folgende Vorauswahl (Tab. 1): Silikatkeramik kommt wegen ihrer geringen Festigkeit bei hohen Temperaturen nicht in Frage, Oxidkeramik ist wegen ihrer Thermoschock-Empfindlichkeit ungeeignet. Es bleiben lediglich die Sonderkeramiken, von denen aus verschiedenen Gründen wie Verarbeitbarkeit,

Oxidationsbeständigkeit und Preis nur Siliziumnitrid, Siliziumkarbid und deren Abkömmlinge verwendet werden können. Davon existieren nun einige -zig Varianten, unterschieden nach Merkmalen wie z. B. Formgebungsverfahren, Art des Bindemittels und Infiltrierung. Ein übergeordnetes Unterscheidungsmerkmal ist außerdem die Lieferfirma des jeweiligen Werkstoffs.¹⁾ Durch Vorauswahl lassen sich bei Siliziumnitrid und -karbid lediglich noch die heißgepressten Typen ausschließen, da diese Art der Herstellung aus Gründen der Kosten und/oder Machbarkeit bisher ausgeschlossen wurde. Im übrigen muß durch Versuche herausgefunden werden, welche Keramiksorten für Brennkammern geeignet sind.

Prüfmethoden

Bei der Motoren- und Turbinen-Union München wurde durch die Entwicklung einer LKW-Gasturbine (MTU 7042, 350 PS, siehe Abb. 1) Keramik als Brennkammerwerkstoff in Betracht gezogen. Deshalb wurde zunächst versucht, die Metallbrennkammer (Abb. 2 a) dieses Typs unter Beibehaltung der Geometrie in Keramik nachzubauen.

Form und Aufhängung der Brennkammer waren jedoch

1) Da die keramischen Werkstoffe weder in Herstellung noch Eigenschaften spezifiziert sind, arbeitet jeder Hersteller nach eigenen Verfahrensplanen, wodurch nominell identische Produkte entsprechend unterschiedlich ausfallen. Es sind aber Bestrebungen im Gange, in Zusammenarbeit zwischen Herstellern und Anwendern zu einheitlichen Spezifikationen zu kommen, z. B. im Rahmen des vom BMFT mitfinanzierten deutschen „Keramikprogramms“.