

Hochleistungskeramik mit Zukunft

Forsterit, seine Herstellungs-, Verarbeitungs- und Einsatzmöglichkeiten



Im Jahr 1824 entdeckten Forscher am Monte Somma, zu dem auch der Vulkankegel des Vesuvs gehört, ein Mineral mit der chemischen Zusammensetzung Mg_2SiO_4 , das später als Forsterit benannt wurde. Der aus Magnesiumoxid (MgO) und Siliziumdioxid (SiO_2) künstlich hergestellte Werkstoff Forsterit zeichnet sich durch eine interessante Kombination physikalischer Eigenschaften aus.

Forsterit, ein silikatkeramischer Werkstoff, nimmt mit Blick auf die technologischen Eigenschaften und damit die industriellen Anwendungsmöglichkeiten eine Zwischenstellung zwischen den vielfach genutzten Werkstoffen Steatit und Zirkoniumdioxid ein. Aufschlussreich ist dabei ein vergleichender Blick auf die technologischen Eigenschaften dieser Werkstoffe.

Steatit verfügt über geringe Zähigkeit

Keramische Werkstoffe sind neben Metallen, Kunststoffen und Glas sehr wichtige industriell genutzte Werkstoffe. Sie zeich-

nen sich aus durch hohe Festigkeit, Temperaturwechselbeständigkeit, Feuerfestigkeit, Abrieb- und Verschleißfestigkeit sowie Korrosionsbeständigkeit; darüber hinaus wirken sie elektrisch isolierend, sind lebensmittelverträglich und haben eine hohe Alterungsbeständigkeit. Die geringe Duktilität (Zähigkeit) lässt sich durch die Materialauswahl positiv beeinflussen. Technische Keramik umfasst die Gruppen Silikatkeramik, Oxidkeramik und Nichtoxidkeramik.

Steatitkeramik besteht zu rund 90 % aus Speckstein, einem Magnesiumsilikat mit der Zusammensetzung $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$, sowie Ton und Flussmitteln wie Feldspat oder Bariumcarbonat wie bei Hochfrequenzsteatit. Steatit hat eine hohe mechanische Festigkeit, ist temperatur-, alterungs- und UV-beständig und zeichnet sich außerdem durch hohe Kriechstrom- und Durchschlagfestigkeit aus. Aus Steatit können Bauteile mit dünnen, gleichmäßigen Wandstärken hergestellt werden, was den Vorteil hat, dass mechanische Spannungen, die während der Wärmbehandlung entstehen können, schadlos abgebaut werden können. Diese Teile sind maßgenau und formstabil bis zu Temperaturen von 1000 °C. Sondersteatit, auch Hochfrequenzsteatit

Hoher Wärmeausdehnungskoeffizient bei Zirkoniumdioxid

Zirkoniumdioxid (ZrO_2) weist die höchste mechanische Festigkeit auf, ist verschleiß- und korrosionsbeständig, hat gute tribologische Eigenschaften, so dass es sich sehr gut für Werkstoffverbindungen eignet, und kann bei Temperaturen von bis zu 1100 °C genutzt werden. Der Werkstoff hat eine relativ hohe Bruchzähigkeit und einen hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK). Dieser Kennwert, der das Ausdehnungsverhalten eines Werkstoffes bei Temperaturveränderungen beschreibt, beträgt 10 bis $12 \times 10^{-6} K^{-1}$ und ist damit ähnlich dem von Gusseisen ($10 \times 10^{-6} K^{-1}$) oder Titan ($10,8 \times 10^{-6} K^{-1}$). Damit ist Zirkoniumdioxid interessant für Anwendungsfälle, bei denen Teile aus verschiedenen Werkstoffarten, beispielsweise Metall und Keramik, miteinander gefügt werden müssen.

Zirkoniumdioxid wird als Feuerfestkeramik, als Technische Keramik im Maschinenbau sowie als prophetisches Material in der Medizin- und Zahnmedizintechnik eingesetzt. Da der Werkstoff mit entsprechender Stabilisierung bei höherer Temperatur Sauerstoffionen elektrolytisch leiten kann, wird er auch genutzt, um Sauerstoffpartialdrücke zu messen, z. B. in der Lambda-Sonde für die Abgasregelung von Benzinmotoren.

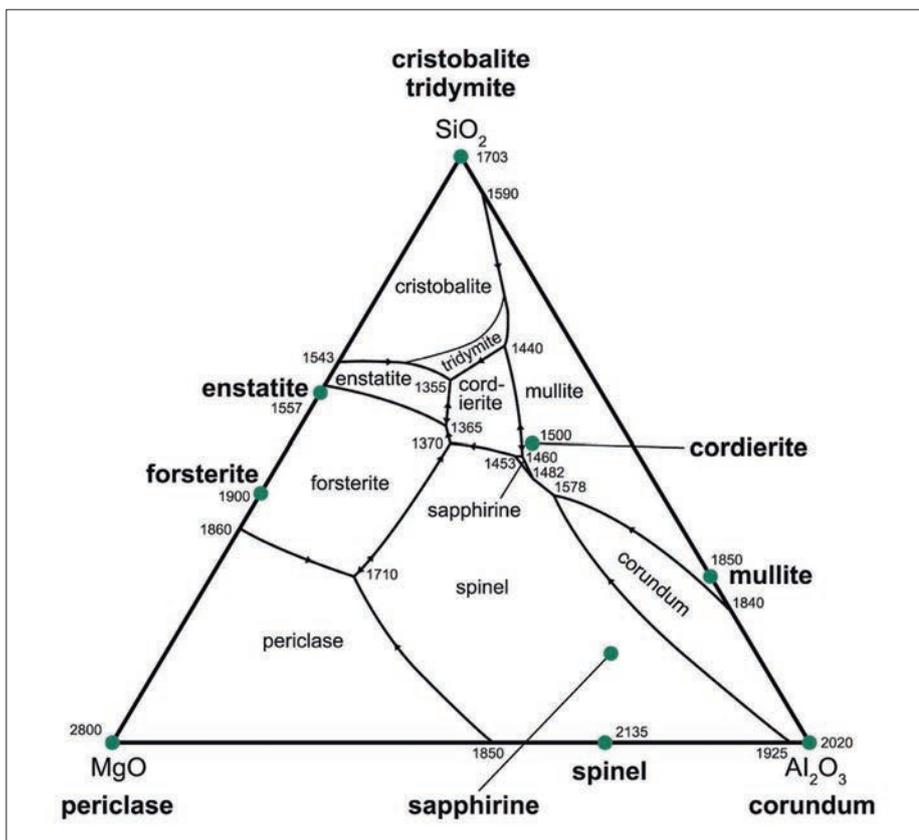
Forsterit gleichrangig zu Zirkoniumoxid

Forsterit (Mg_2SiO_4) zeichnet sich durch etliche Eigenschaften aus, die ihn zu einem für Ingenieure und Konstrukteure sehr interessanten Werkstoff machen. Hervorzuheben sind eine hohe mechanische Festigkeit, sehr gute thermische und elektrische Isolationsfähigkeit auch bei hohen Temperaturen, Biokompatibilität und ein je nach Reinheitsgrad hoher Wärmeausdehnungskoeffizient von etwa 10 bis $11 \times 10^{-6} K^{-1}$. Forsterit eignet sich deshalb sehr gut für

Forsterit eignet sich ideal für Bauteile, in denen unterschiedliche Werkstoffe miteinander kombiniert werden

genannt, hat sehr gute mechanische und dielektrische Eigenschaften und wird deshalb bevorzugt zu Bauteilen für die Elektrotechnik, die Elektronik und die Wärmetechnik verarbeitet. Beispiele sind Isolatoren, besonders im Hochfrequenzbereich, Sicherungshalter und -körper, Heizleiterträger, Klemmenleisten, Röhrensockel, Reglergehäuse und Grundplatten.

nen sich aus durch hohe Festigkeit, Temperaturwechselbeständigkeit, Feuerfestigkeit, Abrieb- und Verschleißfestigkeit sowie Korrosionsbeständigkeit; darüber hinaus wirken sie elektrisch isolierend, sind lebensmittelverträglich und haben eine hohe Alterungsbeständigkeit. Die geringe Duktilität (Zähigkeit) lässt sich durch die Materialauswahl positiv beeinflussen. Technische Keramik umfasst die Gruppen Silikatkeramik, Oxidkeramik und Nichtoxidkeramik.



01 Dreistoffsystem MgO – SiO₂ – Al₂O₃: Je nach Mischungsverhältnis lassen sich aus diesen Werkstoffen z. B. Steatit, Cordierit, Korund oder Forsterit herstellen; Forsterit (Mg₂SiO₄) besteht im reinen Zustand zu 63 % aus MgO und zu 37 % aus SiO₂

	Dichte [g/cm ³]	Wärmeausdehnung [x 10 ⁻⁶ K ⁻¹]	Faktor Preis bez. auf Steatit	Festigkeit [MPa]
Steatit	2,7 – 2,8	7-9	1	140
Forsterit	2,8 – 2,9	10 – 11	2	170
Aluminiumoxid (Reinheit 96 %)	3,6 – 3,8	6 – 8	3	280 – 300
Zirkoniumdioxid (Y-TZP)	5,8 – 6,0	10 – 12	156	1.000 – 1.200

Tabelle: Vergleich einiger Kennzahlen von Steatit, Zirkoniumdioxid und Forsterit

Anwendungsfälle, bei denen Hochleistungskeramik mit einem anderen Werkstoff hoher Wärmeausdehnung möglichst spannungsfrei verbunden werden soll. Darüber hinaus eignet er sich auch für Aufgaben in der biomedizinischen Technik: Forsterit hat eine Bruchzähigkeit nahe der von kortikalen Knochen (dichtes, festes Knochengewebe). Es scheint das Wachstum der für die Knochenbildung zuständigen Zellen zu fördern und könnte als Ersatz für Kalziumphosphat-Biokeramik in Betracht kommen.

Werkstoffvergleich

Die keramischen Werkstoffe Steatit, Zirkoniumdioxid und Forsterit haben einiges gemeinsam. Sie haben beispielsweise kaum

offene Poren und sind somit nahezu dichte Werkstoffe. Sie lassen sich gut formen und verarbeiten, die daraus gefertigten Teile zeichnen sich auch bei hohen Temperaturen durch hohe Festigkeit, Form- und Verschleißbeständigkeit sowie Korrosionsbeständigkeit aus. Die Dichte (spezifisches Gewicht) von Forsterit ist mit 2,8 bis 2,9 g/cm³ praktisch gleich der Dichte von Steatit (etwa 2,7 bis 2,8 g/cm³) was auch mit Blick auf das Thema Leichtbau interessant ist (das Leichtmetall Aluminium hat beispielsweise eine Dichte von 2,7 g/cm³). Die Biegefestigkeit von Forsterit beträgt 170 MPa und ist damit höher als die von Steatit (140 MPa).

Besonders interessant wird Forsterit, wenn bei der Werkstoffwahl auch das Kriterium Wärmeausdehnung eine wichtige Rolle

spielt. Wegen seines hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten eignet sich Forsterit ideal für die Herstellung von Werkstücken, in denen unterschiedliche Werkstoffe miteinander kombiniert sind wie bei Hybridkeramik. Und nicht zuletzt sprechen die Werkstoffkosten für Forsterit: Teilstabilisiertes Zirkoniumdioxid Y-TZP ist etwa um das 80-Fache teurer als Forsterit, Aluminiumoxid etwa um das 1,6-Fache und Steatit ist etwa um die Hälfte günstiger.

Mit Blick auf die Anwendungsmöglichkeiten schließt Forsterit wegen seiner vielfältigen Eigenschaften eine Lücke zwischen den etablierten Werkstoffen Steatit und Zirkoniumoxid. Außerdem bietet sich Forsterit auch für weitere Anwendungsmöglichkeiten in Hightech-Gebieten an. Der Werkstoff lässt sich, wie andere silikatkeramische Werkstoffe auch, aus natürlichen Rohstoffen kostengünstig herstellen und mit allen üblichen Verfahren verarbeiten.

Der Keramikspezialist Sembach verfügt über umfangreiches Know-how, was die Konstruktion und die Fertigung von Komponenten aus Forsterit betrifft und steht bereit, um als kompetenter Technologiepartner bei der weiteren Entwicklung mitzuwirken.

www.sembach.de