Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 94 (1976)
Heft: 30

Artikel: Verbesserung spröder Keramik-Werkstoffe
Autor: Hintsches, Eugen
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73139

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 04.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Verbesserung spröder Keramik-Werkstoffe

DK 666.31

Haarfeine Risse machen spröde Keramik-Werkstoffe zäher und damit widerstandsfähiger gegen plötzliche Beanspruchungen, zum Beispiel durch Schlag oder Hitze. Dieses ungewöhnliche Prinzip entwickelte *Nils Claussen* in dem von *Günter Petzow* geleiteten *Pulvermetallurgischen Laboratorium, Stuttgart-Büsnau,* des *Max-Planck-Instituts für Metallforschung*. «Damit haben wir für Keramik-Material bereits Werte erreicht, die denen der heute üblichen Hartmetalle entsprechen», erklärt Petzow zu diesem ungewöhnlichen Ergebnis.

Ein Ziel der Werkstoff-Forscher ist damit ein grosses Stück näher gerückt. In zahlreichen Labors arbeitet man an der *Entwicklung einer Gasturbine aus Keramik-Material.* Dieser Werkstoff ist nicht nur *leichter, verschleissfester* und wegen seines häufigen Vorkommens wesentlich *billiger als Metalle,* er hält auch wesentlich *grössere Hitze* aus: Eine Gasturbine aus Keramik könnte also bei höheren Temperaturen erheblich wirtschaftlicher und dazu noch *umweltfreundlicher* arbeiten als herkömmliche Antriebsaggregate aus hochgezüchteten, metallischen Werkstoffen.

«In vielen Einsatzbereichen, vor allem bei Temperaturen oberhalb von 1200° Celsius, ist es praktisch unmöglich, Metalle zu verwenden, Keramiken sind die einzige Werkstoff-Alternative», bestätigt Petzow. Trotzdem konnte sich dieses Material bisher nicht durchsetzen. Das ist laut Claussen «auf den allen Keramik-Werkstoffen eigenen Geburtsfehler zurückzuführen – die Sprödigkeit». Anders als Metalle, die sich bei vergleichbaren Belastungen plastisch verformen, brechen keramische Werkstoffe bereits nach nur geringfügiger Verformung so abrupt, dass Fachleute von einem «katastrophalen Bruch» sprechen.

Dieses «Erzübel der Keramik» (Petzow) hat einfache Ursachen: Während es im Kristallgitter von Metallen Mechanismen gibt, die den grössten Teil der bei Belastungen auf das Material einwirkenden Kräfte «schlucken» können, funktioniert dieser Prozess bei Keramiken nur unzureichend. Hier verschafft sich die Energie an den im Material immer vorhandenen Werkstoff-Unregelmässigkeiten (Inhomogenitäten) gewaltsam «Luft» und erzeugt Risse. Sie werden – weil das Keramik-Gefüge ihre Energie nicht nennenswert abbauen kann – sehr rasch «kritisch» gross und setzen sich schliesslich «katastrophal» fort: das Keramikwerkstück bricht.

Geburtsfehler korrigiert

Diese «böse Eigenschaft» nutzen die Forscher des Max Planck-Instituts jetzt bewusst aus, um die «angeborenen Fehler der Keramik zu korrigieren». Genaue Untersuchungen der katastrophalen Brüche haben nämlich gezeigt, dass *Risse* im Keramik-Material nur *ganz selten völlig gleichmässig* verlaufen. Vielmehr ändert der Bruch an Werkstoff-Inhomogenitäten oft seine Richtung, manchmal verzweigt er sich dort. «Mit anderen Worten: hier verliert der Riss Energie, der Bruch wird also gebremst.»

Das brachte die Wissenschaftler des Pulvermetallurgischen Laboratoriums auf die Idee, dem Bruch die «Arbeit» noch schwerer zu machen, um ihm damit die Energie wegzunehmen, die er zum Weiterlaufen im Material braucht. Das muss besonders in dem Bereich geschehen, der unmittelbar vor der Spitze eines Risses liegt: Hier benutzt man jetzt die Sprödigkeit der Keramik, um künstlich möglichst viele, *haarfeine* Risse zu erzeugen, die miteinander nicht zusammenhängen. Das erscheint auf den ersten Blick widersinnig, denn jeder Riss beeinflusst den Zusammenhalt des keramischen Gefüges.

Tatsächlich ändert sich jedoch die Festigkeit solcher «feinrissiger Keramiken» praktisch nicht: Die künstlich eingelagerten Mikrorisse sind mit nur wenigen tausendstel Millimeter Länge viel zu klein, um sich vorzeitig zu einem Hauptriss vereinigen zu können.

Schwer überwindbares Hindernis

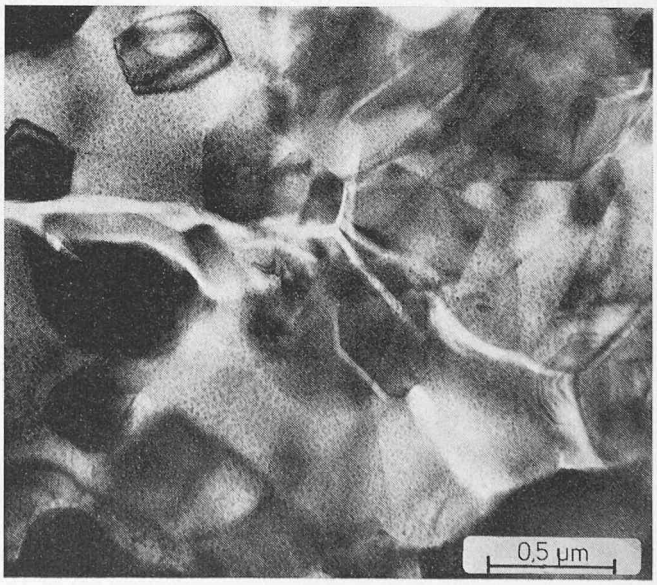
Einem grossen, die Keramik durchquerenden Riss jedoch stellt sich dieses System feinstverzweigter Mikrorisse als schwer überwindbares Hindernis entgegen: Wie in einem Irrgarten verzettelt sich die Energie des ankommenden Bruchs in den vielen haarfeinen Spalten, seine Kräfte werden in einem weiten Bereich aufgefächert und dadurch verschlissen (absorbiert), dass sich die winzigen Risse nur ein wenig öffnen oder erweitern: Der Bruch bleibt stecken. Grosse Risse werden also durch viele kleine, unterkritische Risse gestoppt. Erst wenn diese Prozesszone keine Energie mehr aufnehmen kann, läuft der Riss weiter.

Dieses ungewöhnliche Konzept wurde jetzt mit einem aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) bestehenden Keramik-Material verwirklicht, in das sie winzige Teilchen aus Zirkoniumdioxid (ZrO_2) einlagern. Nach dem Mischen werden diese beiden Pulver in Graphitformen bei 1500° heissgepresst, ein in der Sintertechnik übliches Verfahren.

Winzige Sprengsätze

Beim Abkühlen wirken die eingelagerten Teilchen wie winzige Sprengsätze. Das Kristallgitter des Zirkoniumdioxids wandelt sich nämlich bei etwa 1000° von der tetragonalen in die monokline Form um und dehnt sich dabei so stark aus, dass – und hier hilft die Sprödigkeit der Keramik – das umgebende Aluminiumoxid die entstehenden Spannungen nicht mehr «verkraften» kann: Die gewünschten *Mikrorisse* entstehen.

Ein in spröden Werkstoffen künstlich angelegtes System haarfeiner Risse hindert grosse Risse an ihrer raschen Ausbreitung und erschwert somit das Entstehen der gefürchteten Brüche im hitzebeständigen Keramikmaterial. Entwickelt wurde dieses Prinzip erstmals von N. Claussen und G. Petzow am Pulvermetallurgischen Laboratorium des Max-Planck-Instituts für Metallforschung in Stuttgart. Die elektronenoptische Darstellung erfolgte mit dem 1,2-Millionen-Volt-Elektronenmikroskop, das sich im neuen Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart befindet



Nach den bisherigen Untersuchungen entsteht beim Zumischen von etwa 15 Prozent Zirkondioxid das leistungsfähigste Rissauffangsystem im Aluminiumoxid. Die Zähigkeit des Materials wächst dadurch ungefähr um das dreifache. Ein grösserer Gehalt an Zirkoniumdioxid hingegen macht den Effekt wieder zunichte. Die eingelagerten Teilchen liegen dann zu eng nebeneinander, die unterkritischen Risse schliessen sich zu grossen, kritischen Rissen zusammen und verlieren dadurch ihre Funktion als Energieabsorber. Dadurch verringern sich Zähigkeit und Festigkeit des Werkstoffs wieder.

Mittlerweile steigerten die Wissenschaftler die wirksamkeit des Mikroriss-Prinzips noch weiter. Sie verwenden Mischungen aus Aluminiumoxid, die mit 18 beziehungsweise 13 Prozent nicht nur aus verschiedenen Mengen, sondern auch aus unterschiedlichen Arten von Zirkondioxid (mit verschiedenen Yttriumoxid-Gehalten) bestehen: *Zusätze von Yttriumoxid* hindern nämlich das Zirkondioxid teilweise daran, die Kristallgitterumwandlung beim Abkühlen mitzumachen. Dadurch dehnen sich in solchen «Multiplex»-Keramiken die eingelagerten Teilchen unterschiedlich stark aus. Es bilden sich verschiedene Mikrorissgefüge unterschiedlicher Orientierung, die sich aber in ihrer Wirkung nicht nur steigern, sondern sogar noch ergänzen. «In diesen Multiplex-Gefügen kombinieren wir also verschiedene Mechanismen und vergrössern damit die Zone, die in Keramiken Energie absorbiert», stellt Claussen fest.

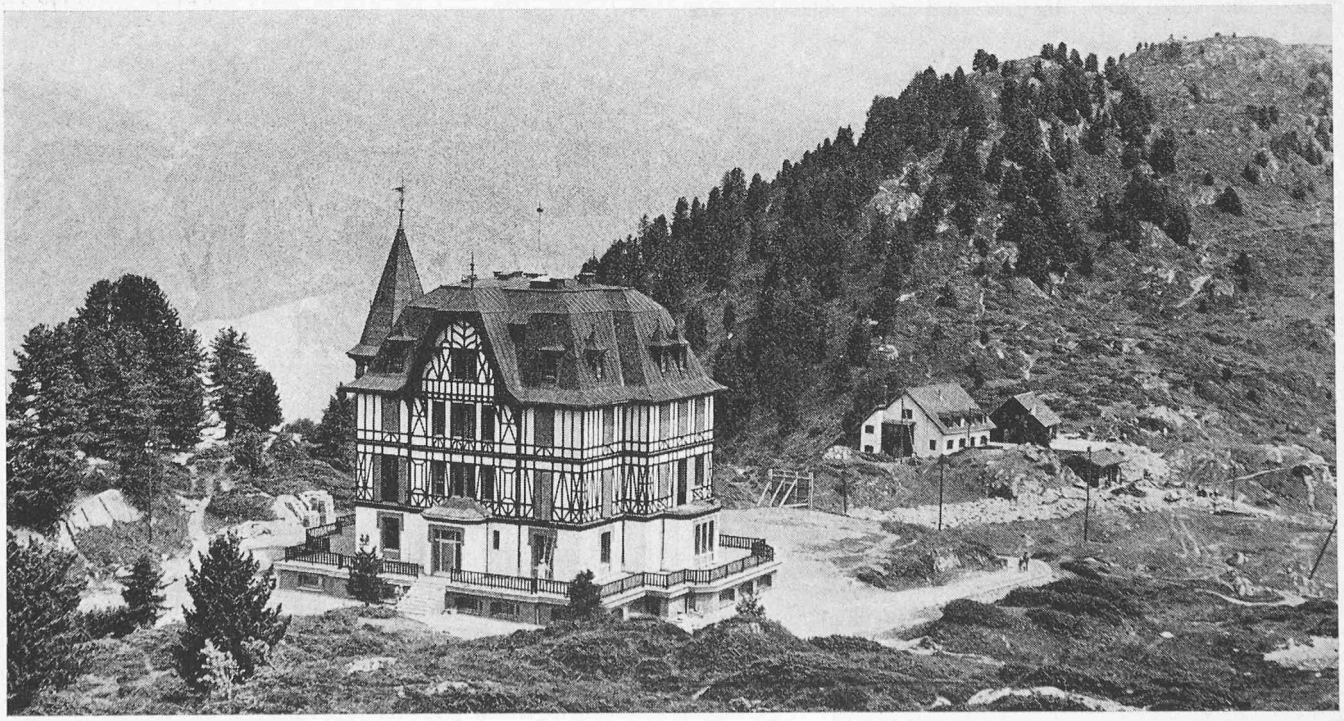
Erfahrungen mit dem Verhalten solcher durch Mikrorisse zäher gemachten Keramik-Werkstoffe, beispielsweise bei wechselnden Beanspruchungen, haben die Wissenschaftler bisher noch nicht gesammelt. Das soll jetzt zusammen mit anderen Forschungsinstituten geschehen. «Vor allem wollen wir mit diesem System neue Denkansätze zum Phänomen Sprödigkeit geben», betont Petzow. «Vielleicht wird es dadurch eines Tages möglich, für spezielle Einsatzbereiche zähe Keramik-Werkstoffe masszuschneidern.»

Eugen Hintsches, München

Im Banne des Aletschwaldes

DK 577.4.004.4

Eröffnung des ersten Naturschutzzentrums der Schweiz auf der Riederfurka (Oberwallis)

Rechtzeitig auf die Sommerferien konnte der *Schweizerische Bund für Naturschutz* sein erstes Naturschutzzentrum – französisch zutreffender mit *Centre écologique* bezeichnet – eröffnen. Es ist das erste seiner Art in der Schweiz und dürfte auch auf dem Kontinent seinesgleichen suchen. Im Zentrum kann man wohnen, um daselbst stattfindende Kurse zu besuchen, zu denen auch Exkursionen in das vor der Türe liegende Einzugsgebiet des Aletschgletschers gehören. Der Wanderer und Tourist hat die Möglichkeit, sich im Haus über die Naturgeschichte, die Tiere, Pflanzen, Gesteine und Landschaftsformen der unmittelbaren Umgebung zu informieren. Hier hat er Gelegenheit,

Blick auf die Villa Cassel auf der Riederfurka, die jetzt das erste Naturschutzzentrum der Schweiz beherbergt. Das Haus liegt auf rund 2100 Metern Höhe, unmittelbar am Eingang zum Aletschwald. Dieser einzigartige Hochgebirgswald steht seit 1933 unter Naturschutz, nachdem ihm zuvor durch menschlichen Eingriff (Holzschlag, Waldweide, unsachgemässes Sammeln von Heidelbeeren mit dem sogenannten «Heitisträhl») der Untergang drohte. Im Jahre 1944 hatte ein von Menschen ausgelöster Brand Teile des Waldes zerstört. Der Wald erstreckt sich von der Zunge des Aletschgletschers – dem längsten Eisstrom der Alpen – bis hinauf zur Wasserscheide an der Riederfurka. Während sich auf den jüngsten Moränen über dem Gletscher die Pioniervegetation gut studieren lässt, bilden in den höheren Regionen vor allem die Arven (neben Lärchen und Laubgehölz) Gegenstand eingehender wissenschaftlicher Untersuchungen.