Glaskeramischer Werkstoff mit hoher Erosionsbeständigkeit

Autor(en): **Rogers, Ph. / Robertson, J.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **106 (1988)**

Heft 7

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85645

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

che konkreten Schritte zur Sicherstellung des Wissenstransfers von der Wissenschaft zur Praxis und umgekehrt der Abklärungs- und Forschungsbedürfnisse allenfalls durch eine Koordinationsstelle Haustechnik (Arbeitstitel) aktiv weiter verfolgt werden könnten. Vorschläge, die auch die finanzielle Seite beleuchten, sind zusammen mit der Haustechnikbranche und dem Bundesamt für Energiewirtschaft zu entwikkeln. Im Vordergrund steht zur Zeit der Standort EMPA, Dübendorf, wo bereits die Koordinationsstelle Wärmeschutz im Hochbau (KWH) angesiedelt und mittelfristig der Standort des Institutes für Energietechnik von Prof. Suter geplant ist. Die Verbindung sowohl zur Forschung wie zur Praxis wäre hier optimal sichergestellt. Eine Koordinationsstelle könnte – auf der Grundlage der Impulsprogrammarbeiten – die Haustechnik-Branche unterstützen. Folgende Aufgaben stehen heute im Vordergrund (Ergänzungen sind möglich):

- Zielgruppengerichtete Informationen über Forschung und Entwicklung
- Übersichten zu Aus- und Weiterbildungsangeboten
- Anregen und, falls nötig, Durchführen von Kursen
- Unterstützung neuer Publikationen
- Beratung von Haustechnikfachleuten und Architekten
- Identifikation von Forschungslücken und Anregung von Forschungsarbeiten

Nach übereinstimmender Ansicht bedarf es einer aktiven Koordinationsstelle, die eng mit den Organisationen der Haustechnik zusammenarbeitet. Aufgrund der Erfahrungen im Impulsprogramm dürfte es zweckmässig sein, wenn sie auf die fachübergreifenden Aspekte ein besonderes Augenmerk richten würde.

1982, beim Verfassen der parlamentarischen Botschaft zum Impulsprogramm, waren wir uns nicht sicher, ob wir den Begriff «Haustechnik» verwenden sollen. Es wurde uns teilweise entgegengehalten, dies sei ein Begriff aus Deutschland, der bei uns kaum Anklang finden werde. In der Zwischenzeit hat er sich als Sammelbegriff für Heizungs-, Lüftungs-, Klima-, Sanitär- und Elektroanlagen eines Gebäudes weitgehend durchgesetzt. Ich habe in meinen Ausführungen bewusst von *der* Haustechnikbranche gesprochen. Denn nur als Einheit,

- die eine gemeinsame Sprache spricht – im Fachlichen und, als Teil der Bauwirtschaft, auch gegen aussen – und
- mit- und nicht gegeneinander arbeitet – in der täglichen Arbeit und trotz der Vielfalt der Fachorganisationen –,

ist die Haustechnikbranche stark und kann den ihr gestellten vielfältigen Anforderungen gerecht werden. Diese Überzeugung habe ich als Fahrgast, der vor zwei Jahren auf einen bereits in flotter Fahrt befindlichen Zug aufsprang, gewonnen.

Glaskeramischer Werkstoff mit hoher Erosionsbeständigkeit

Glaskeramische Werkstoffe werden nach den konventionellen Verfahren der Glasindustrie geformt und durch anschliessende Wärmebehandlung in feinkörnige Keramik äusserst geringer Porosität umgewandelt. Diese mikrokristalline Struktur verleiht den glaskeramischen Werkstoffen eine Reihe vorteilhafter Eigenschaften, insbesondere hohe mechanische Festigkeit und extreme Härte.

Am Imperial College in London wurde ein neuer glaskeramischer Werkstoff namens Silceram entwickelt, der eine weitere positive Eigenschaft besitzt, nämlich hervorragende Widerstandsfähigkeit gegenüber Erosion durch Feststoffpartikeln, wie sie in schnellströmenden Gasen und Flüssigkeiten mitgeführt werden. Für Werkstoffe mit dieser Kombination von Eigenschaften gibt es in der Industrie bereits gute Anwendungsmöglichkeiten, so zur Auskleidung von Kanälen und Rohren, in denen Stäube und zerkleinerte Feststoffe transportiert werden. Beispiele sind der Transport von Kohlenstaub und Asche in Kraftwerken sowie der Transfer von Kohle, Erzen und Abraum in Minen.

Die Glaskristallisation wird von den Glasherstellern nach Möglichkeit vermieden, da sporadische Keimbildung und das Wachstum von Kristallen bei Glas zu sehr schlechten mechanischen Eigenschaften führen. Die Hersteller wählen deshalb die Zusammensetzung ihrer Gemenge so, dass die Schmelze ohne jede Kristallisation zu einem Glas abgekühlt werden kann, das seinen Zustand unbegrenzte Zeit behält. Einige Zusammensetzungen im Grenzbereich der Glasbildung nehmen zwar nach dem Abkühlen einen glasartigen Zustand an, kristallisieren jedoch bei Wiedererwärmung. Können Keimbildung und Wachstum der Kristalle gezielt gefördert werden, so entsteht ein glaskeramischer Werkstoff, dessen Eigenschaften die des Ausgangswerkstoffes weit übertreffen können.

Die Kinetik von Keimbildung und Kristallwachstum bedingt, dass die maximale Keimbildungsgeschwindigkeit fast immer bei einer niedrigeren Temperatur liegt als die des Kristallwachstums. Aus diesem Grund wird die Schmelze für konventionelle glaskeramische Werkstoffe auf eine bestimmte Temperatur abgekühlt, die so lange beibehalten wird, bis sich die Keime gebildet haben, aus denen später die Hauptkristalle entstehen. Dann wird diese Temperatur erhöht, um das Kristallwachstum zu ermöglichen, und anschliessend langsam wieder herabgesetzt. Um einen guten glaskeramischen Werkstoff zu erhalten, ist es notwendig, dem Gemenge einen kleinen Anteil eines keimbildenden Zusatzes beizufügen, der die Bildung der grossen Anzahl von Kristallen ($10^{12}/cm^3$) anregt, die nötig sind, wenn jedes Kristall eine Endgrösse von etwa 1 µm haben soll.

Untersuchungen im Labor

Im Zuge der Laborforschungen, die zur Entwicklung von Silceram führten, konzentrierte man sich besonders auf Glasarten, die auf den Oxiden von Silizium, Aluminium, Kalzium und Magnesium – SiO_2, Al_2O_3, CaO und MgO – basierten. Den Schmelzen wurden kleine Mengen keimbildender Zusätze beigemischt, die die Umwandlung eines aus den Schmelzen abgeschreckten Glases zum glaskeramischen Werkstoff durch konventionelle Zwei-Stufen-Wärmebehandlung bewirkten; die niedrigere Temperaturstufe betrug 750 °C (Keimbildung), die höhere 900 °C (Kristallwachstum).

Als zwei der wirksamsten keimbildenden Zusätze haben sich dabei Eisenoxid

(Fe_2O_3) und Chromoxid (Cr_2O_3) erwiesen. Sie haben die Aufgabe, die Bildung kleiner Kristalle einer Spinellphase anzuregen, die dann als Wachstumsgrundlage für die kristallinen Silikatphasen fungieren – überwiegend Pyroxene wie z. B. Diopsid ($CaMgSi_2O_6$). Spinelle werden aus zwei Oxiden gebildet, einem zweiwertigen und einem dreiwertigen Kation. Ein Beispiel ist Magnesium-Chromit ($MgOCr_2O_3$ bzw. $MgCr_2O_4$). Zwischen zwei Spinellen können leicht feste Lösungen entstehen, und die Wirksamkeit eines keimbildenden Zusatzes hängt nicht nur von seiner Quantität ab, sondern auch von der genauen Wirkung der verschiedenen Schmelzekomponenten auf diese feste Spinellösung.

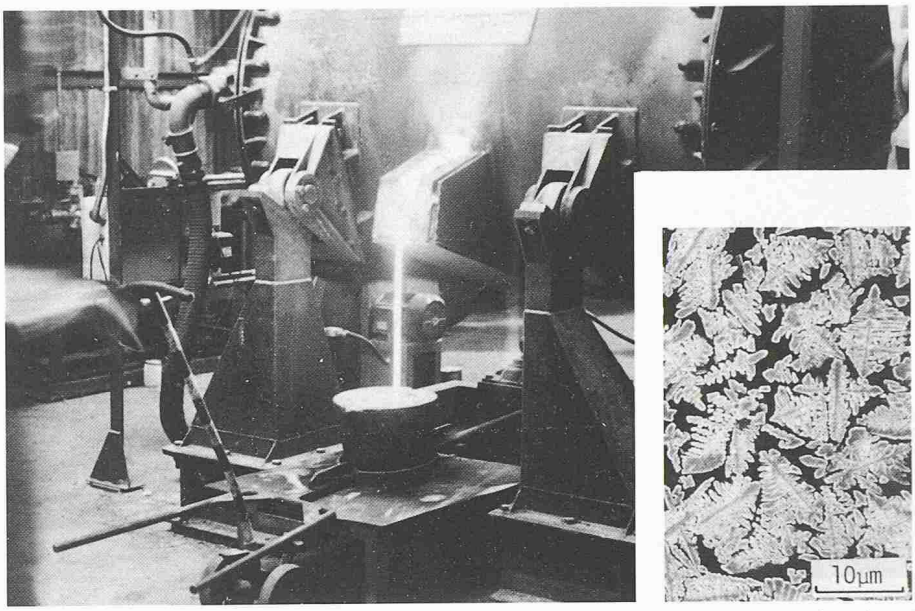
Eine wichtige Beobachtung war, dass diese, obwohl sie jeder für sich schon wirksam keimbildende Stoffe sind, bei gleichzeitiger, kombinierter Verwendung erheblich wirksamer sind als ein einfacher Zusatz. Noch wichtiger war jedoch eine weitere Beobachtung: Die Schmelze kann mit den kombinierten keimbildenden Zusätzen zu einem glaskeramischen Werkstoff kristallisieren, ohne die übliche Abkühlung und Zwei-Stufen-Wärmebehandlung zu durchlaufen.

Die Spinell-Kristalle, die sich beim Abkühlen der Schmelze in einem Temperaturbereich von 1450 °C bis 900 °C absetzen, liefern eine Vielzahl von Keimbildungsgrundlagen für kristalline Silikatphasen. Das bedeutet, dass das Verfahren vereinfacht und auf eine einstufige Wärmebehandlung bei konstant 900 °C reduziert werden kann.

Herstellung aus industriellen Nebenprodukten

Die Anwendung dieser Methode bei Silceram beitet also erhebliche wirtschaftliche Vorteile durch Einsparung von Brennstoffkosten und Bearbeitungszeit. Schätzungen zufolge liegt der Energiebedarf rund 30 Prozent unter dem konventioneller Verfahren. Ein weiterer Vorteil von Silceram ist die Möglichkeit, 95 Prozent der zu seiner Herstellung verwendeten Rohstoffe aus industriellen Nebenprodukten wie Hochofenschlacke und Steinkohleabraum oder -schiefer zu gewinnen. (Chemisch betrachtet sind die Hauptbestandteile der Schmelze die Oxide SiO_2, Al_2O_3, CaO und MgO, die auch hauptsächlich in Abraum und Schiefer enthalten sind.) Der Einsatz von Abraum und Schiefer spart nicht nur Rohstoffkosten, sondern verkürzt auch die zur Homogenisierung der Schmelze erforderliche Zeit.

Auf der Basis seiner Laborforschungen liess das Imperial College zusammen mit der British Technology Group (BTG) Silceram patentieren. Mit Hilfe von Subventionen durch die Europäische Gemeinschaft, wurde der Bau einer Pilotanlage in einem Industriegebiet ausserhalb Londons möglich. Die Pilotanlage bestand aus einem feuerfest ausgekleideten Wannenofen, der mit einem Öl-Luft-Brenner beheizt wurde und eine Schmelzkapazität von 100 kg Rohgemenge bei Höchsttemperaturen von 1 500 °C hatte. Der Ofen war auf Kippzapfen montiert, damit das flüssige Silikat am Ende eines Schmelzvorgangs in eine Giesspfanne und anschliessend in Formen gegossen werden konnte. Flachziegel wurden in Stahlformen gegossen, komplexere Teile in Sandformen, und Rohre bis 150 mm Durchmesser wurden im Schleudergussverfahren hergestellt. Alle Produkte wurden zur Wärmebehandlung bei 900 °C und anschliessendem Kühlen in Elektroöfen befördert. Im Rahmen ausgedehnter mechanischer und physikalischer Prüfungen bewies Silceram vorzügliche Eigenschaften, die es zu einem idealen erosionsbeständigen Werkstoff für industrielle Anwendungen machen. Sein hoher Bruchmodul (maximal 180 MPa) und seine aussergewöhnliche Erosionsbeständigkeit bei Einwirkung von Feststoffpartikeln macht es zu einer konkurrenzfähigen Alternative von hochwertigen baukeramischen Werkstoffen.



Eine Giesspfanne wird mit Silceram-Schmelze gefüllt. Kleines Bild: Rastermikroskop-Aufnahme der Mikrostruktur von Silceram. Sie zeigt kleine dendritische Pyroxen-Kristalle in einer glasartigen Matrix

(Aus: LPS, Technical Feature. Verfasser: Dr. *Ph. Rogers*, Dep. of Materials, Imperial College, London, und *J. Robertson*, Stafford, England)