



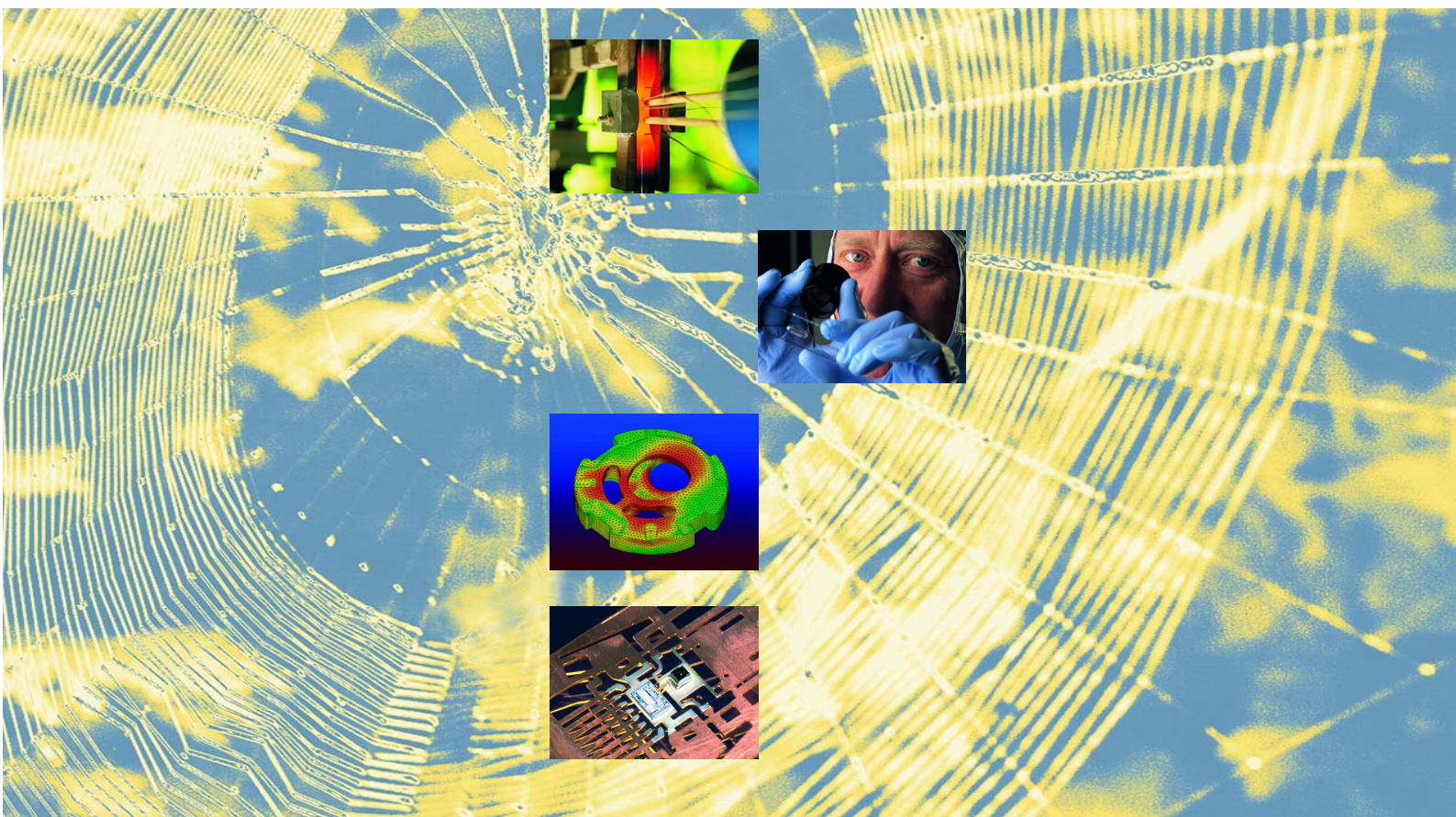
**Fraunhofer** Institut  
Werkstoffmechanik

# Jahresbericht 2001

Simulation des Brennprozesses bei der  
Herstellung von Gebrauchskeramiken

Leistungsbereich  
Pulvertechnologie

Dr.-Ing. Torsten Kraft  
Wöhlerstraße 11  
79108 Freiburg  
Tel. +49 (0) 7 61/51 42-2 48  
tkr@iw.fraunhofer.de



## Simulation des Brennprozesses bei der Herstellung von Gebrauchskeramiken

Torsten Kraft, Hermann Riedel

*The firing during processing of cold-isostatically pressed plates was numerically simulated and optimised. The main question was, whether the deflection in the centre of the plate, as well as that at the edge, could be simulated with sufficient accuracy. The achieved agreement was sufficient for practical applications. Thus, a simulation tool is now available by which the pressing tools can be constructed in such a way that the fired plates possess the desired shape.*

Der Brennprozess bei der Herstellung von gepressten Tellern wurde numerisch simuliert und optimiert. Untersucht wurde, ob sich die Durchbiegung der Tellermitte sowie das Absinken der Tellerfahne mit ausreichender Genauigkeit vorhersagen lassen. Die erzielte Übereinstimmung ist für die Praxis ausreichend. Damit steht jetzt ein Hilfsmittel bereit, mit dem die Pressform so ausgelegt werden kann, dass der gebrannte Teller die gewünschte Form aufweist.

### Aufgabenstellung

Die Formgebung gebrauchskeramischer Artikel erfolgt über kaltisostatisches Pressen (z. B. für Teller) oder über Schlickergießen (z. B. für Sanitärkeramik). Nach der Formgebung und eventuellen weiteren Herstellungsschritten werden die Teile gesintert, das heißt sie werden bei hohen Temperaturen gebrannt. Beim Brand tritt vor allem bei größeren Teilen neben dem unvermeidlichen Sinterschwund auch eine Verformung aufgrund der

Schwerkraft auf. Diese Verformung muss neben dem Aufmaß für den Sinterschwund in der Form vorgehalten werden, damit das gebrannte Produkt die gewünschte Form aufweist. Bei Tellern zum Beispiel beobachtet man sowohl ein Absinken der Tellerfahne als auch des Bodens während des Sinterns.

Da die Herstellung der Press- oder Schlickergussformen teuer und zeitaufwändig ist und der auftretende Verzug mit einfachen Mitteln kaum exakt vorhergesagt werden kann, kann die numerische Simulation ein hilfreiches Werkzeug sein. Durch die möglichst genaue Modellierung des Brennprozesses können die notwendigen Werkzeugformen schon im Vorfeld des Werkzeugbaus berechnet werden.

### Vorgehensweise

Am Fraunhofer IWM wurde ein detailliertes Modell zur Beschreibung des Flüssigphasensinterns entwickelt und in das Finite-Elemente-Programm ABAQUS™ implementiert. Mit diesem Programm kann dann der Brand von beliebigen Teilen simuliert werden. Als Ergebnis erhält man den Verzug nach dem Sintern sowie eventuell vorhandene thermische Eigenspannungen, die sich während des Abkühlens einstellen können.

Der Brennprozess für Teller ist zweistufig und setzt sich aus Glüh- und Glattbrand (bei 920 °C bzw. 1400 °C) zusammen. Da die eigentliche Verformung während des Glattbrandes stattfindet, wurde auch nur dieser simuliert. Die Modellparameter für das Sintermodell werden mit Hilfe des Sinterumformversuchs ermittelt, bei dem für verschiedene Ofenkurven und axiale Belastungen die axiale und radiale Dehnung kleiner Zylinderproben mit zwei Wegaufnehmern (LVDT)

Abb. 1  
Sinterumformversuch

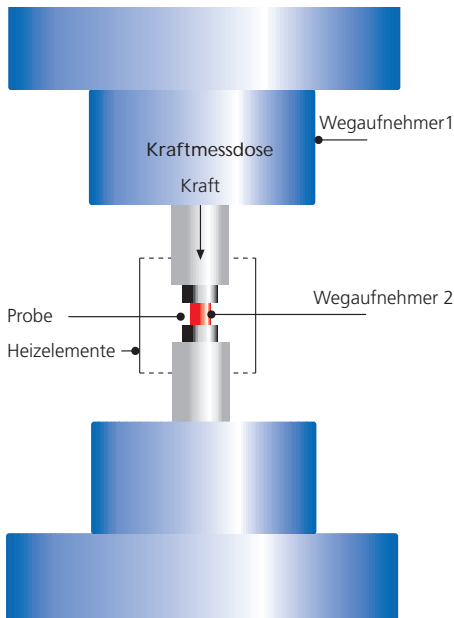
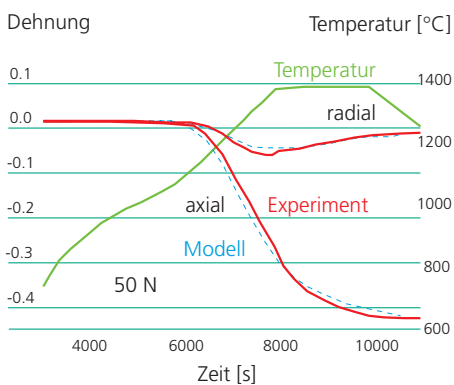


Abb. 2  
Vergleich der simulierten Dehnungen (blau) mit den Versuchen (rot) bei einer Last von 50 N



kontinuierlich gemessen werden. Abb. 1 zeigt eine Schemaskizze des Versuchs. Das Sintermodell wird dann an die so gemessenen axialen und radialen Dehnungen angepasst, indem der Satz von Entwicklungsgleichungen für die Dehnungen und die Korngröße numerisch über die Zeit integriert werden. Die Modellparameter (das sind Diffusionskoeffizienten, Reaktionskonstanten, spezifische Oberflächenenergien, Korngrenzmobilität etc.) werden variiert, bis die gemessenen Entwicklungen der Dehnungen und der Korngröße vom Modell wiedergegeben werden. Abb. 2 zeigt als Beispiel einen Vergleich der simulierten Dehnungen mit den Versuchen für eine Auflast von 50 N.

## Ergebnisse

Für die Simulation des Brennprozesses wurden zuerst Finite-Elemente-Netze des Tellers und des Brennhilfsmittels erzeugt. Aufgrund der Rotationssymmetrie ist eine axisymmetrische 2D-Rechnung ausreichend. Die Rechnung wurde mit quadratischen Elementen durchgeführt. Der Reibungskoeffizient zwischen Tellerfuß und Brennhilfsmittel ist bei Brenntemperatur nur schwer zu messen. Mit Hilfe von Parameterstudien wurde jedoch festgestellt, dass das Absinken der Tellerfahne kaum vom Reibungskoeffizienten abhängt. Abb. 3 zeigt den simulierten Teller vor und nach dem Brand. Das Absinken der Fahne ist deutlich zu erkennen. Die Übereinstimmung mit einem realen Teller ist für die Praxis ausreichend (Abb. 4). Für eine noch bessere Übereinstimmung müssten weitere Sinterumformversuche unter genau den gleichen Atmosphärenbedingungen (Feuchte, Gaszusammensetzung) wie im Ofen durchgeführt werden.

Durch diese Entwicklung steht jetzt ein numerisches Werkzeug bereit, mit dem die Pressformen so ausgelegt werden können, dass der gebrannte Teller die gewünschte Form aufweist. Die bisher übliche Vorgehensweise von Versuch und Irrtum bei der Konstruktion der Pressform kann jetzt verkürzt werden. Die vorgestellte Methode wurde auch auf die Herstellung von schlickergelassenen Sanitärkeramiken mit Erfolg angewandt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit Hilfe der numerischen Simulation die Verzüge nach dem Brand vorhergesagt werden können. Damit ist ein Werkzeug verfügbar, das den finanziellen und zeitlichen Aufwand bei der Einführung neuer Produkte verringern kann.

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen eines FORKERAM-Projekts (Teilprojekt I-5) in Zusammenarbeit mit der Riedhammer GmbH in Nürnberg, den Porzellanfabriken Christian Seltmann in Weiden und dem Fraunhofer ISC in Würzburg durchgeführt.

Abb. 3  
Teller vor und nach dem  
Glattbrand

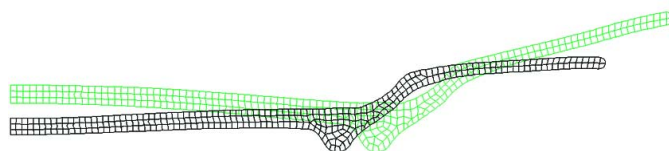


Abb. 4  
Vergleich der oberen  
Tellerkontur für einen  
glasierten Teller (blau)  
mit der Simulation (rot)

