



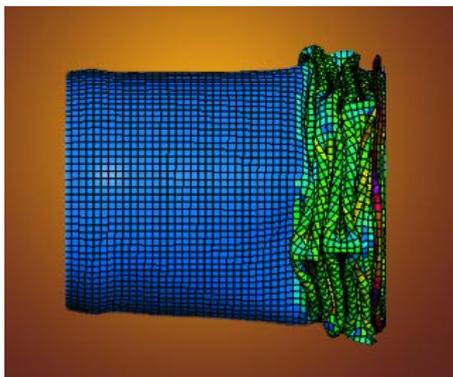
Fraunhofer Institut
Werkstoffmechanik

Jahresbericht 2000

Optimierung einer pulvertechnologisch hergestellten
Kühlbox durch numerische Simulation

Leistungsbereich
Pulvertechnologie

Leiter: Dr. Hermann Riedel
Tel. +49 (0) 7 61/51 42-1 03
E-Mail: matthias.petzold@iwm.fhg.de



Pulvertechnologie

Ziel ist die Fertigung formgenauer und rissfreier Teile in der Pulvertechnologie. Dafür werden die Prozessschritte Pressen, Sintern, Trocknen und Extrudieren auf der Basis innovativer Werkstoffmodelle numerisch simuliert. Dadurch lassen sich Entwicklungszeiten verkürzen und Kosten einsparen.

Optimierung einer pulvertechnologisch hergestellten Kühldose durch numerische Simulation

Olivier Coube, Torsten Kraft, Hermann Riedel

The production of a aluminum nitride cooling device was simulated and optimized. The simulations show the effects of different pressing schedules, fill positions and fill densities on the quality of the product. Also the effect of the difficult-to-control frictional forces in the tools was investigated. In each case the green density distribution and the sinter warpage were calculated. As a result the best geometrical accuracy that is achievable with the currently used press is obtained. This optimization yields a marked reduction of the warpage compared to the previous situation. It is expected that in the future this will allow to save a second heat treatment step which only served to correct the sinter warpage and to reduce the cost for hard machining.

Die Herstellung einer keramischen Kühldose aus Aluminiumnitrid wurde numerisch simuliert und optimiert. Untersucht wurde, welchen Einfluss Pressplan-, Füllstellungs- und Fülldichtevarianten, sowie die in der Praxis schwer zu kontrollierende Reibungskraft im Werkzeug auf das Bauteil haben. Berechnet werden jeweils die Dichteverteilung nach dem Pressen und der daraus resultierende Sinterverzug. Die Simulation zeigt, welche

Formgenauigkeit mit der derzeit verwendeten Presse bei optimalem Pressablauf erreichbar ist. Die Optimierung ergibt eine deutliche Verminderung des Sinterverzugs gegenüber dem derzeitigen Stand. Damit soll in Zukunft ein zweiter Wärmebehandlungsschritt, der nur der Formkorrektur dient, eingespart werden, und das Aufmaß und der Schleifaufwand sollen reduziert werden.

Aufgabenstellung

Beim Matrizenpressen, das eine der wirtschaftlichsten Methoden zur Herstellung von Großserienteilen aus Keramik und anderen pulvermetallurgischen Werkstoffen ist, ergibt sich bei den meisten Bauteilen aufgrund von unterschiedlichen Verdichtungsgraden und Reibungseffekten eine inhomogene Dichteverteilung im Grünkörper. Beim anschließenden Sintern schrumpfen Bereiche mit hoher Dichte weniger als Bereiche mit niedriger Dichte. Dies kann zu einem unerwünschten Verzug des Bauteils führen. Ziel der numerischen Simulation ist es, den Sinterverzug vorherzusagen und so weit wie möglich durch Optimierung des Pressablaufs zu reduzieren, so dass beim Sintern formgenaue Teile entstehen und die Nachbearbeitung durch Schleifen minimiert oder ganz eingespart wird.

Bei der Herstellung einer Kühldose aus Aluminiumnitrid AlN (Abb. 1), die zur Kühlung der Leistungselektronik in Schienenfahrzeugen eingesetzt wird, tritt beim Sintern ein signifikanter Verzug auf. Durch Änderung der Füllstellungen der einzelnen Stempel wird versucht, diesen Verzug zu minimieren, um den Aufwand einer nachgeschalteten Hartbearbeitung durch Schleifen zu minimieren.

Vorgehensweise

Die Simulation der pulvertechnologischen Herstellung wird in zwei Schritten mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente (FE) durchgeführt. Im ersten Schritt wird die Dichteverteilung im Grünkörper nach dem Pressen berechnet. Die Gründichteinhomogenität führt beim Sintern zu einem Verzug, der im zweiten Schritt berechnet wird. Sowohl die Press- als auch die Sintersimulation werden mit dem FE-Programm ABAQUS® unter Verwendung von am Fraunhofer IWM entwickelten Materialmodellen durchgeführt. Die Modellparameter des für das Matrizenpressen verwendeten erweiterten Drucker-Prager-Cap Modells werden durch eine Reihe von Versuchen festgelegt (Pressversuch, Messung der Grünfestigkeit, Triaxialversuch). Weiterhin wird am Fraunhofer IWM der Reibungskoeffizient zwischen Pulver und Werkzeug gemessen, der vor allem für schlanke Teile einen signifikanten Einfluss haben kann. Für die entwickelten Sintermodelle (Festphasen- und Flüssigphasensintern) werden die Werkstoffparameter mit Hilfe eines einfachen Sinterumformversuchs bestimmt, bei dem für verschiedene Ofenkurven und axiale Belastungen die axiale und radiale Dehnung kleiner Zylinderproben kontinuierlich gemessen werden.

Abb. 1
Kühl-dose aus Aluminiumnitrid für Leistungselektronik von Lokomotiven

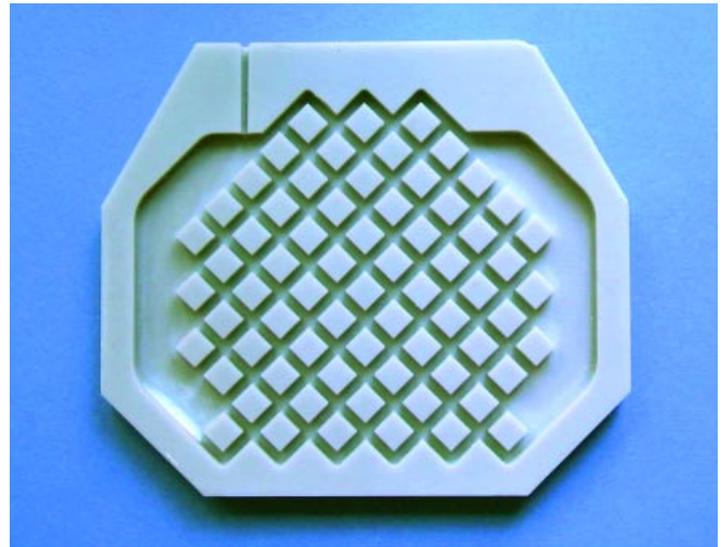


Abb. 2
Vernetzung der Werkzeuge (schwarz: Matrize, rot: Gitterstempel, grün: Unterstempel, gelb: Oberstempel)

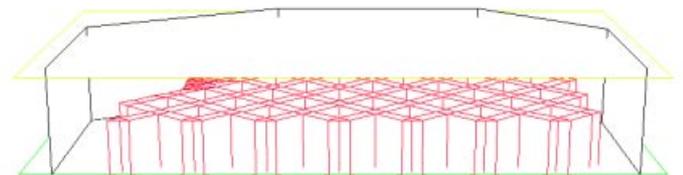
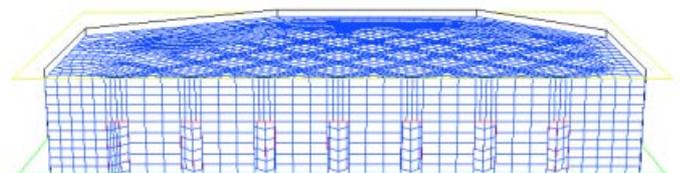


Abb. 3
Vernetzung der Werkzeuge zusammen mit dem Pulver (blau)

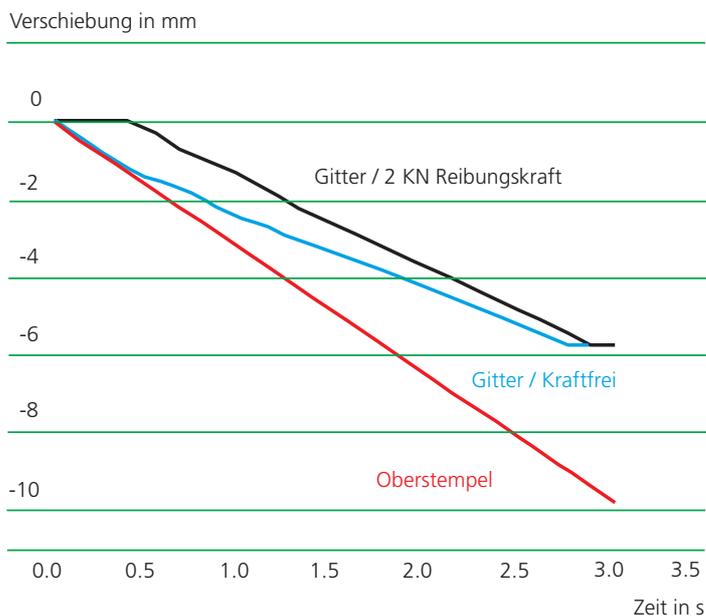


Ergebnisse

Für die Optimierung der Kühldose wurde zuerst ein FE-Netz der Werkzeuge und des Pulvers erzeugt. Aufgrund der Symmetrie braucht nur eine Hälfte simuliert zu werden. Die Abb. 2 und 3 zeigen das verwendete FE-Netz für die Werkzeuge alleine und für die Werkzeuge zusammen mit der Pulverschüttung. Abb. 4 zeigt zwei der untersuchten Pressplanvarianten. Der Gitterstempel wird im einen Fall ohne Gegenkraft ($F = 0$ kN) vom Pulver nach unten bis in die Pressendstellung gedrückt. In der zweiten Variante wurde eine Gegenkraft von $F = 2$ kN vorgegeben, wobei diese Gegenkraft die (in ihrem Wert unbekannt) Reibungskraft in der Presse darstellen soll. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse gelten für den Fall $F = 2$ kN.

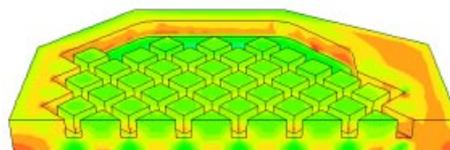
Neben den Pressplanvarianten wurden auch zwei Fülldichten untersucht. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse wurden für die geringere Fülldichte ermittelt. Außer der Gegenkraft auf den Gitterstempel wurde auch die Füllstellung des Werkzeugs variiert. Zunächst wurde die Simulation für die in der Produktion angewandte Gesamtfüllhöhe und die Füllposition des Gitterstempels durchgeführt. Neben dem Pressen wurde auch das anschließende Sintern simuliert. Da sich ein relativ großer Verzug nach dem Sintern ergab, wurde die Füllstellung verändert, um zu einer homogeneren Verdichtung und zu einem geringeren Verzug zu gelangen. Die Füllhöhe des Pulvers wurde um 0.5 mm verringert und der Gitterstempel (rot) in Füllposition um 1 mm abgesenkt. Die Dichteverteilungen für die ursprüngliche und die optimierte Füllstellung zeigt Abb. 5. Die daraus resultierenden Verzüge sind in Abb. 6 für beide Varianten gezeigt. Schließlich zeigt Abb. 7 den quantitativen Sinterverzug senkrecht zur Pressrichtung

Abb. 4
Simulierte Presspläne



entlang der Symmetrielinie. Der maximale Verzug reduzierte sich durch die Optimierung der Füllstellung von 0.9 mm auf nur noch 0.2 mm. Eine weitere Verringerung dieses Verzugs ist zwar durch eine weitere Absenkung des Gitterstempels in Füllstellung zu erreichen, aber dann entwickelt sich eine zunehmende Krümmung mit entgegengesetztem Vorzeichen in Tiefenrichtung. Außerdem zeigen die Simulationen, dass der Verzug deutlich von der Reibungskraft des Gitterstempels in der Presse abhängt. Reproduzierbare Ergebnisse kann man also nur erwarten, wenn diese Reibungskraft klein oder konstant gehalten wird oder wenn die Kraft auf den Gitterstempel anderweitig (z. B. hydraulisch oder durch eine Feder) kontrolliert wird. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit Hilfe der numerischen Simulation Dichteverteilungen nach dem Trockenpressen und Formänderungsvorgänge beim Sintern vorhergesagt werden können. Damit ist ein Werkzeug verfügbar, welches den hohen experimentellen Aufwand bei der Optimierung von Presswerkzeugen und von Formgebungs- und Bearbeitungsvorgängen minimieren kann. Im vorgestellten Fall der Kühldose konnte die Simulation eine deutliche Verbesserung des Verzugs von 0.9 mm auf 0.2 mm für eine der untersuchten Varianten vorhersagen. Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen eines FORKERAM-Projekts (Teilprojekt II-1) in Zusammenarbeit mit der ANCeram GmbH & Co. KG in Bindlach, der CeramTec AG in Lauf und der TeCe GmbH & Co. KG in Selb durchgeführt.

Abb. 5
Dichteverteilung
ursprüngliche Füllstellung



optimierte Füllstellung

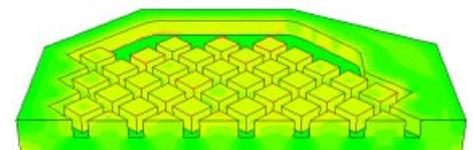
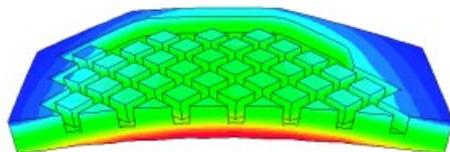


Abb. 6
Sinterverzug (überhöht dargestellt)
ursprüngliche Füllstellung



optimierte Füllstellung

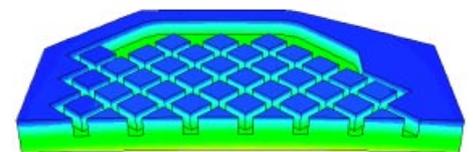


Abb. 7
Sinterverzug entlang
der Symmetrielinie
(Unterseite des Teils in
Bild 6)
A: ursprüngliche Füll-
stellung
B: optimierte Füll-
stellung

