



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
12.04.2006 Patentblatt 2006/15

(51) Int Cl.:
B22C 13/08 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 05020677.0

(22) Anmeldetag: 05.10.2005

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(72) Erfinder:
• Kügelgen, Michael
53111 Bonn (DE)
• Weihnacht, Wolfram
99887 Gräfenhain (DE)

(30) Priorität: 05.10.2004 DE 102004048451

(74) Vertreter: Röthinger, Rainer
c/o Wuesthoff & Wuesthoff
Patent- und Rechtsanwälte
Schweigerstrasse 2
81541 München (DE)

(71) Anmelder: MK Technology GmbH
53501 Grafschaft (DE)

(54) **Verfahren und System zum Herstellen einer Schalenform insbesondere für das Feingießen**

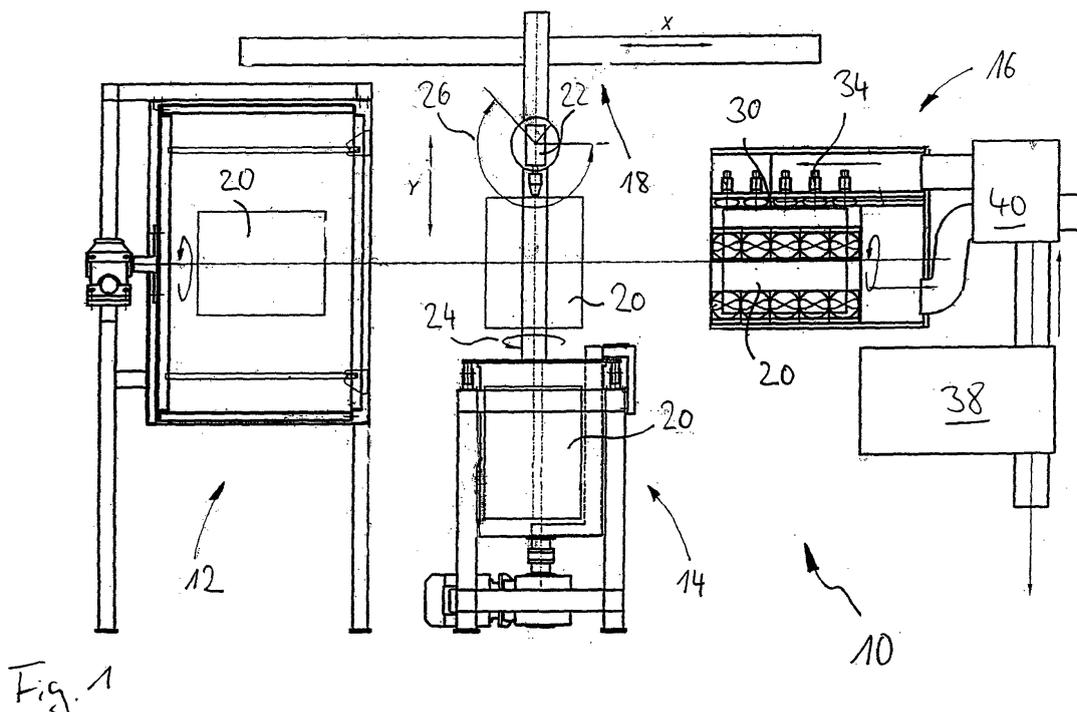
(57) Es werden ein Verfahren und ein System zum Herstellen von Schalenformen insbesondere für das Feingießen beschrieben. Das System 10 umfasst eine Beschlickervorrichtung 14, eine Besandungsvorrichtung 12 sowie eine Trocknungsvorrichtung 16. Die Trocknungsvorrichtung 16 besitzt eine Trocknungskammer

mer 30 zum Trocknen eines beschlickerten Modells 20. In der Trocknungskammer 30 sind Infrarotlichtquellen 34 angeordnet. Mittels der Infrarotlichtquellen 34 oder mittels separater Heizeinrichtungen wird die Temperatur innerhalb der Trocknungskammer oberhalb 25° C eingestellt.

Besandung

Beschlickerung

Trocknung



Beschreibung**Gebiet der Erfindung**

5 **[0001]** Die Erfindung betrifft das Gebiet der Herstellung von Gießformen. Insbesondere betrifft die Erfindung die Herstellung von Schalenformen durch Aufbringen einer oder mehrerer Schichten auf ein vorher angefertigtes Modell.

Hintergrund der Erfindung

10 **[0002]** Bei Gießverfahren wie beispielsweise dem Feingießen (auch Investment Casting genannt) werden oftmals keramische Schalenformen eingesetzt. Diese Schalenformen entstehen durch das Aufbringen von einer oder mehreren Schichten auf ein Modell des späteren Gussteils. Die einzelnen, auf das Modell aufgetragenen Schichten enthalten einen Schlicker sowie ein auf den Schlicker aufgetragenes, in der Regel körniges Material wie Sand. Bei der ersten auf das Modell aufgetragenen Schicht kann auf die Zugabe des körnigen Materials auch verzichtet werden. Im Anschluss an das Aufbringen einer Schicht wird diese getrocknet, bevor die nächste Schicht aufgebracht oder - nach Trocknen der letzten Schicht - das Modell entfernt werden kann. Durch das sukzessive Aufbringen der einzelnen Schichten entsteht allmählich eine das Modell umgebende Schale.

20 **[0003]** Nachdem die letzte Schicht aufgebracht wurde, wird das Modell aus der Schale entfernt und die Schale anschließend gebrannt. Das Entfernen des Modells aus der Schale kann auf unterschiedliche Art und Weise geschehen. Handelt es sich beispielsweise um ein Modell aus Wachs, wird dieses durch Ausschmelzen entfernt. Ist das Modell hingegen aus einem thermoplastischen Kunststoff gefertigt, muss der Kunststoff aus der Schale ausgebrannt werden.

25 **[0004]** Das Trocknen der einzelnen, auf das Modell aufgetragenen Schichten erfolgt herkömmlicherweise bei Raumtemperatur, wobei darauf geachtet wird, dass das in einer neu aufgetragenen Schicht enthaltene Wasser zügig, aber nicht spontan entfernt wird. Meistens erfolgt die Trocknung bei ungefähr 21 bis 23° C und bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von mehr als ungefähr 40 %. Zur Verkürzung des Trocknungsvorganges wird empfohlen, die jeweils zu trocknende Schicht einer Luftströmung auszusetzen. Die Luftströmung unterstützt den Abtransport der abdunstenden Feuchtigkeit.

30 **[0005]** Nachteilig bei den herkömmlichen Trocknungsverfahren ist die vergleichsweise lange Trocknungsdauer von üblicherweise drei bis mehr als zehn Stunden pro Schicht. Ursache hierfür ist auch das geringe Diffusionsgefälle innerhalb der zuletzt aufgetragenen Schicht. Selbst bei stark verlängerter Trocknungsdauer lässt sich die Restfeuchtigkeit in den aufgetragenen Schichten nicht beliebig reduzieren. Besonders in den tieferen Zonen der zuletzt aufgetragenen Schicht neigt die verbleibende Feuchtigkeit eher dazu, in die angrenzende, vermeintlich abgetrocknete Schicht zurück zu diffundieren als abzdunsten.

35 **[0006]** Aus den genannten Gründen ist auch nach dem letzten Trocknungsvorgang stets eine gewisse Restfeuchtigkeit in der Schale enthalten. Diese Restfeuchtigkeit erschwert und beeinträchtigt die angestrebte irreversible Bindung der im Schlicker enthaltenen Kolloide. Zudem kann bei nur reversiblen Kolloidbindungen Feuchtigkeit (z.B. aus der Umgebungsluft), die nach Abschluss des Trocknungsvorgangs einwirkt, den Verbund des Schalenaufbaus durch Lösen der reversiblen Bindungen stören.

40 **[0007]** Bei unzureichender irreversibler Kolloidbindung besteht beim Ausschmelzen oder beim Ausbrennen des Modells die Gefahr, dass das Material des Modells aufgrund seiner wärmeinduzierten Ausdehnung die Schale sprengt. Diese Gefahr ist umso stärker, je weniger die irreversible Kolloidbindung abgeschlossen ist. Zwar lässt sich diese Gefahr dadurch reduzieren, dass die Schalenform einem Temperaturschock (beispielsweise in einem Hochdruck-Dampfautoklaven) unterzogen wird. Der hierbei eingesetzte Wasserdampf bewirkt jedoch erneut eine Durchfeuchtung der Schalenform mit entsprechend negativen Auswirkungen auf deren Festigkeit.

45 **[0008]** Zur Unterstützung des Trocknungsvorgangs wird in der GB 2 350 810 A vorgeschlagen, dem Schlicker wasserunlösliche organische Fasern beizumischen. Das Beimischen organischer Fasern wirkt sich positiv auf die Trocknungsdauer aus und gestattet zudem eine Reduzierung der Restfeuchtigkeit. Ursache für diese positiven Auswirkungen ist die Kapillarwirkung der beigemischten Fasern, welche den Abtransport und das Abdunsten der Feuchtigkeit unterstützt. Darüber hinaus bewirkt der Faserverbund einen gleichmäßigeren Schichtaufbau und gestattet eine Erhöhung der Schichtdicke.

50 **[0009]** Trotz der positiven Auswirkungen des Beimischens von organischen Fasern ist die Trocknungsdauer einer einzelnen Schichten oftmals noch zu lang. Dies führt insbesondere bei mehrschichtigen Schalen dazu, dass es fast unmöglich ist, an einem einzigen Tag eine gießfertige Schalenform herzustellen. Dies mag bei industriellen Anwendungen, bei denen kontinuierlich Schalenformen hergestellt werden, akzeptabel sein, eine Vielzahl anderer Anwendungen wie die Herstellung von Prototypen lassen es jedoch wünschenswert erscheinen, die Herstellungsdauer einer einzelnen Schalenform zu reduzieren.

55 **[0010]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und ein System zum schnelleren Herstellen einer Schalenform anzugeben.

Kurzer Abriss der Erfindung

[0011] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zum Herstellen einer Schalenform (insbesondere für das Feingießen) zur Verfügung gestellt, das die Schritte des Bereitstellens eines Modells, des Ausbildens einer das Modell umgebenden Schale durch Aufbringen wenigstens einer wässrigen Schicht auf das Modell und durch schichtweises Durchführen wenigstens eines Trocknungsvorganges und des Entferns des Modells aus der Schale umfasst, wobei der Trocknungsvorgang oberhalb einer Temperatur von 25° C und unterstützt durch Infrarotlicht-Bestrahlung durchgeführt wird.

[0012] Bei der auf das Modell aufgetragenen Schicht kann es sich um eine Schicht handeln, die einen feuerfesten Schlicker beinhaltet. Die Schicht kann ferner ein feuerfestes körniges Material enthalten. Gemäß einer bevorzugten Variante der Erfindung enthält jedoch zumindest die erste, unmittelbar auf das Modell aufgetragene Schicht kein körniges Material. Der Schlicker kann ein feuerfestes, flüssiges Bindemittel wie beispielsweise ein wässriges Kieselsol enthalten. Ferner kann der Schlicker ein feuerfestes Mehl umfassen.

[0013] Gemäß einer ersten Variante der Erfindung wird bei einem mehrschichtigen Schalenaufbau jede einzelne Schicht einem erfindungsgemäßen Trocknungsvorgang unterzogen. Gemäß einer zweiten Variante der Erfindung werden einzelne Schichten entweder nicht (oder jedenfalls nicht vollständig) getrocknet oder aber bei einer Temperatur von 25° C oder darunter und/oder ohne Infrarotlicht-Bestrahlung getrocknet.

[0014] Der Trocknungsvorgang einer einzelnen Schicht kann bei einer im Wesentlichen konstanten Temperatur oder bei einer veränderlichen Temperatur ablaufen. Der Trocknungsvorgang kann bei einer Temperatur oberhalb 28° C oder oberhalb 30° C und zweckmäßigerweise in einem Temperaturbereich bis ungefähr 45° C durchgeführt werden. Bevorzugt ist ein Temperaturbereich von ungefähr 36° C bis ungefähr 42° C.

[0015] Werden mehrere Schichten auf das Modell aufgebracht, kann sich die (maximale) Trocknungstemperatur von Schicht zu Schicht ändern. So kann sich die maximale Trocknungstemperatur von Schicht zu Schicht im Wesentlichen erhöhen. Aufgrund der mit dem Abdunsten der Feuchtigkeit einhergehenden Abkühlung ist es möglich, die maximale Trocknungstemperatur (Umgebungstemperatur) während des Trocknungsvorganges oberhalb einer Temperatur zu wählen, bei der das Modell seine Formstabilität verlieren könnte. So kann die maximale Trocknungstemperatur mindestens ungefähr 5° C (vorzugsweise wenigstens ungefähr 8° C oder 10° C) oberhalb der Temperatur liegen, bei der eine Minderung der Stabilität des Modells einsetzen könnte.

[0016] Während des Trocknungsvorganges kann eine Relativedrehung zwischen dem beschichteten Modell und wenigstens einer Infrarotlichtquelle erfolgen. Diese Relativedrehung geschieht beispielsweise bei einer Geschwindigkeit zwischen 0,5 und 8 U/min, vorzugsweise zwischen 1,5 und 4 U/min.

[0017] Des Weiteren kann der Trocknungsvorgang durch eine Strömung eines gasförmigen Mediums wie Luft unterstützt werden. Die Strömungsgeschwindigkeit des gasförmigen Mediums beträgt beispielsweise ungefähr 0,5 bis ungefähr 8 m/s und vorzugsweise zwischen ungefähr 1 und ungefähr 5 m/s. Der Trocknungsvorgang kann ferner dadurch unterstützt werden, dass die Umgebungsfeuchtigkeit weniger als 35 % oder weniger als 30 % beträgt. Gemäß einer bevorzugten Variante der Erfindung beträgt die Raumfeuchtigkeit weniger als ungefähr 20 % oder weniger als ungefähr 10 %.

[0018] Das erfindungsgemäße Verfahren gestattet eine Verkürzung der Trocknungsdauer. So kann der Trocknungsvorgang für eine einzelne Schicht weniger als eine Stunde, vorzugsweise ungefähr 25 bis 45 min betragen. Werden auf das Modell drei oder mehr Schichten aufgebracht, lässt sich die Trocknungsdauer für wenigstens einige der nach der ersten Schicht aufgetragenen Schichten variieren. So kann die Trocknungsdauer der zweiten und/oder der dritten Schicht und/oder der vierten Schicht länger gewählt werden als die Trocknungsdauer der anderen Schichten und insbesondere der darauffolgenden Schichten.

[0019] Die Trocknungsdauer kann in Abhängigkeit von einem angestrebten Trocknungsgrad eingestellt werden. Gemäß einer ersten Variante werden auf das Modell mehrere Schichten aufgebracht und der einzelne Trocknungsvorgang jeweils solange durchgeführt, bis eine vollständige Trocknung der zuletzt aufgetragenen Schicht erzielt wurde. Von einer vollständigen Trocknung kann beispielsweise dann ausgegangen werden, wenn die Restfeuchtigkeit einer Schicht weniger als ungefähr 60 % und vorzugsweise zwischen ungefähr 55 und ungefähr 40 % beträgt. Gemäß einer zweiten Variante werden einzelne, mehrere oder sämtliche Schichten nur teilweise getrocknet.

[0020] Das zur Schalenherstellung verwendete Modell kann aus unterschiedlichen Materialien (z.B. aus Wachs oder aus einem thermoplastischen Kunststoff wie ABS) bestehen. Bei einem Wachsmo-
 50
 55

[0021] Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich für eine Vielzahl unterschiedlichster Anwendungen. So ist das Verfahren aufgrund der kurzen Trocknungsdauer beispielsweise für die Prototypen-Herstellung mittels Feingießens (also für die Herstellung einzelner oder weniger Gussteile) besonders geeignet. Das Verfahren eignet sich jedoch auch für industrielle Batch-Prozesse (z.B. unter Verwendung einer als Kettenförderer ausgebildeten Transportvorrichtung).

[0022] Neben dem bereits erläuterten Verfahren umfasst die Erfindung auch ein System zum Herstellen einer Schalenform. Das System beinhaltet eine Beschlickerungsvorrichtung zum Aufbringen einer Schlickerschicht auf ein Modell sowie eine Trocknungsvorrichtung zum Trocknen der auf das Modell aufgetragenen Schlickerschicht, wobei die Trock-

nungsvorrichtung eine Trocknungskammer und wenigstens eine in der Trocknungskammer angeordnete Infrarotlichtquelle umfasst, wobei in der Trocknungskammer eine Temperatur von mehr als 25° C einstellbar ist. Zum Einstellen der Trocknungstemperatur kann eine geeignete Regel- oder Steuereinrichtung vorhanden sein, welche das Einhalten der gewünschten Trocknungstemperatur oder des gewünschten Trocknungstemperaturverlaufs sowie der weiteren

5 Trocknungstemperatur (z.B. programmgesteuert) gewährleistet.
[0023] Die zum Erzielen der Trocknungstemperatur erforderliche Wärmeenergie kann von der Infrarotlichtquelle geliefert werden. In diesem Fall kann die Infrarotlichtquelle als Heizeinrichtung für das Trocknungsgas (z.B. Luft) fungieren. Zum Einstellen der gewünschten Trocknungstemperatur kann die Energieaufnahme der Infrarotlichtquelle in geeigneter Weise kontrolliert werden. Zusätzlich oder alternativ hierzu ist es denkbar, eine separate Kühleinrichtung vorzusehen. Die Kühleinrichtung kann beispielsweise derart ausgebildet sein, dass sie die Zufuhr eines kühlenden Gases in die Trocknungskammer ermöglicht. Auch wäre es denkbar, separat zur Infrarotlichtquelle eine zusätzliche Heizeinrichtung vorzusehen.

10 **[0024]** Das System kann eine Einrichtung zum Drehen des beschichteten Modells bezüglich der wenigstens einen Infrarotlichtquelle umfassen. Eine solche Relativedrehung zwischen beschichtetem Modell und der Infrarotlichtquelle gewährleistet eine gleichmäßigere Oberflächenerwärmung und verbessert daher die Schichtqualität. Ferner kann eine Besandungsvorrichtung zum Besanden der auf das Modell aufgetragenen Schlickerschicht vorhanden sein. Die Besandungsvorrichtung ist ausgebildet, um körniges Material (nicht notwendigerweise Sand) auf an und für sich bekannte Weise auf die Schlickerschicht aufzubringen.

15 **[0025]** Zur Automatisierung der Schalenform-Herstellung kann eine Transportvorrichtung, die das Modell zwischen der Beschlickerungsvorrichtung und der Trocknungsvorrichtung (bei mehrschichtigem Aufbau hin- und her) bewegt, vorgesehen sein. Die Transportvorrichtung kann ferner einen Transport des Modells zur bzw. von der Besandungsvorrichtung gewährleisten. Zweckmäßigerweise ist die Transportrichtung derart gewählt, dass die Beschlickerungsvorrichtung vor der Besandungsvorrichtung und die Besandungsvorrichtung vor der Trocknungsvorrichtung liegt.

25 **Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

[0026] Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie aus den Figuren. Es zeigt:

30 Fig. 1 eine Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Systems zum Herstellen einer Schalenform;

Fig. 2 eine Aufsicht auf das System gemäß Fig. 1;

35 Fig. 3 eine Seitenansicht der Trocknungsvorrichtung des in den Fig. 1 und 2 dargestellten Systems;

Fig. 4 eine Frontalansicht der Trocknungsvorrichtung gemäß Fig. 3;

Fig. 5 eine Aufsicht auf die Trocknungsvorrichtung gemäß Fig. 3.;

40 Fig. 6 eine Protokoll eines Biegeversuchs bei einer auf erfindungsgemäße Weise getrockneten Keramikplatte; und

Fig. 7 eine Protokoll eines Biegeversuchs bei einer auf konventionelle Weise getrockneten Keramikplatte.

45 **Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele**

[0027] Nachfolgend wird zunächst unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 5 ein erfindungsgemäßes System 10 zum Herstellen von Schalenformen erläutert. Im Anschluss daran wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand verschiedener Beispiele erklärt und einem Vergleichsbeispiel gegenübergestellt.

50 **[0028]** Die Fig. 1 und 2 zeigen schematisch das erfindungsgemäße System 10 zum automatisierten Herstellen von Schalenformen. Das System 10 gestattet das Durchführen der maßgeblichen Verfahrensschritte Beschlickerung, Besandung und Trocknung. Zu diesem Zweck sind eine Besandungsvorrichtung 12, eine Beschlickerungsvorrichtung 14 und eine Trocknungsvorrichtung 16 vorgesehen. Ferner umfasst das System 10 eine Transportvorrichtung 18 für ein Modell 20.

55 **[0029]** Für die Funktionsweise des Systems 10 spielt es keine Rolle, ob das Modell 20 noch unbeschichtet ist oder aber bereits mit einer oder mehreren Schichten versehen ist. Zu Veranschaulichungszwecken ist das Modell 20 in Fig. 1 gleichzeitig in vier verschiedenen Prozesszuständen dargestellt, nämlich innerhalb der Besandungsvorrichtung 20, innerhalb der Beschlickerungsvorrichtung 14, innerhalb der Trocknungsvorrichtung 16 sowie in einem Transportzustand. Bei einem bestimmungsgemäßen Betrieb des Systems 10 wird sich das Modell 20 lediglich in einem dieser vier in Fig.

1 dargestellten Zustände befinden. Das System 10 ist nämlich zur raschen Prototypen-Fertigung ausgelegt, und nicht für industrielle Batch-Prozesse. Gleichwohl ließe sich das System 10 durch mehrfaches Vorsehen der einzelnen Vorrichtungen 12, 14 und 16 sowie entsprechende Umgestaltung der Transportvorrichtung 18 (z.B. als Kettenförderer) auch für Batch-Prozesse konfigurieren.

5 **[0030]** Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Besandungsvorrichtung 12 als Sandtrommel ausgebildet, in der Sand oder ein anderes körniges Material auf das mit einer Schlickerschicht versehene, rotierende Modell 20 gestreut wird. Bei der Beschlickerungsvorrichtung 14 handelt es sich im Ausführungsbeispiel um ein Schlickerfass, das mit einem geeigneten Schlicker gefüllt ist. Das Modell 20 kann mittels der Transportvorrichtung 18 in das Schlickerfass 14 eingetaucht und darin gedreht werden.

10 **[0031]** Ein von der Transportvorrichtung 18 aufgenommenes Modell 20 kann wahlweise dem Schlickerfass 14, der Sandtrommel 12 oder der Trocknungsvorrichtung 16 zugeführt werden. Die Transportvorrichtung 18 selbst umfasst einen entlang einer x-Achse und y-Achse beweglichen Aufnahmekopf 22 für das Modell 20. Der Aufnahmekopf 22 ist um zwei senkrecht zueinander verlaufende Achsen, wie in Fig. 1 durch die Pfeile 24, 26 angedeutet, drehbar.

15 **[0032]** Bei bestimmungsgemäßem Gebrauch des Systems 10 wird das Modell 20 zunächst in das Schlickerfass 14 getaucht und das beschlickerte Modell 20 danach entweder unmittelbar in der Trocknungsvorrichtung 16 getrocknet (insbesondere wenn es sich um die erste Schlickerlage handelt) oder aber zuerst in der Sandtrommel 12 besandet und erst anschließend in die Trocknungsvorrichtung 16 überführt.

20 **[0033]** Die Trocknungsvorrichtung 16 ist in den Fig. 3 bis 5 in verschiedenen Ansichten dargestellt. Wie sich aus diesen Fig. ergibt, umfasst die Trocknungsvorrichtung 16 eine Trocknungskammer 30. In der Trocknungskammer 30 sind eine Vielzahl von in mehreren gegenüberliegenden Reihen angeordneten Ventilatoren 32 sowie mehrere Infrarotlichtquellen 34 angeordnet. Die Ventilatoren 32 bewirken eine Luftumwälzung und führen zu einer den Trocknungsvorgang unterstützenden Luftströmung. In Fig. 4 ist deutlich zu erkennen, dass die Ventilatoren die Luft tangential bezüglich eines imaginären, zylindrischen Körpers 36 beschleunigen. Die von den Infrarotlichtquellen 34 erzeugte Wärmeenergie führt zu einer Erwärmung der in der Trocknungskammer 30 zirkulierenden Luft. Die Infrarotlichtquellen 34 fungieren daher als Heizeinrichtungen. Zur gleichmäßigen Oberflächenerwärmung des beschichteten Modells 20 durch die Infrarotlichtquellen 34 wird das Modell 20 innerhalb der Trocknungskammer 30 fortlaufend gedreht.

25 **[0034]** Die Trocknungsvorrichtung 16 umfasst ferner ein Klimagerät 38 zur Ansaugluftkühlung. Das Klimagerät 38 gibt warme Abluft ab und führt einem Lufttrockner 40 Kühlluft zu. Dieser Sachverhalt ist durch zwei Pfeile verdeutlicht. Der auf einem Absorptionstrocknungsprinzip basierende Lufttrockner 40 führt trockene Zuluft in die Trocknungskammer 30 ein und gibt feuchte Abluft an die Umgebung ab. Auch dieser Sachverhalt ist durch zwei Pfeile angedeutet. Wie Fig. 5 zu entnehmen ist bildet sich innerhalb der Trocknungskammer 30 ein Hauptkreislauf 46 aus, der im Wesentlichen auf die durch die Ventilatoren 32 bewirkte ständige Luftumwälzung zurückzuführen ist. Ferner kommt es zu einem Nebenkreislauf 48, welcher den Lufttrockner 40 umfasst. In einer Mischkammer 50 kommt es zu einer Durchmischung des Hauptkreislaufes 46 und des Nebenkreislaufes 48. Diese Durchmischung gewährleistet eine Feuchtigkeitsreduzierung der Luft im Hauptkreislauf 46, da feuchte Luft aus dem Hauptkreislauf 46 in den Nebenkreislauf 48 und von dort in den Lufttrockner 40 gelangt. Ferner bewirkt die Durchmischung eine Abkühlung der Luft im Hauptkreislauf 46, da dem Lufttrockner 40 vom Klimagerät 38 fortlaufend gekühlte Luft zugeführt wird, die der Lufttrockner 40 in den Nebenkreislauf 48 einspeist.

30 **[0035]** Das Klimagerät 38 wird derart angesteuert, dass sich in der Trocknungskammer 30 die gewünschte Trocknungstemperatur einstellt. Das Klimagerät 38 wirkt daher der auf die Infrarotlichtquellen 34 zurückgehenden Erwärmung der Trocknungsluft entgegen. Erforderlichenfalls kann zusätzlich zu den Infrarotlichtquellen 34 eine separate Heizeinrichtung vorgesehen werden (beispielsweise könnte das Klimagerät 38 auch konfiguriert sein, um dem Lufttrockner 40 Warmluft zuzuführen). Auch kann das Klimagerät 38 abweichend von den Fig. 3 bis 5 (zusätzlich oder ausschließlich) mit der Mischkammer 50 kommunizieren. Das Klimagerät 38 (und in gewissem Umfang der Lufttrockner 40) gestattet somit eine Einstellung einer gewünschten Trocknungstemperatur. Zu diesem Zweck können das Klimagerät 38 und der Lufttrockner 40 mit einem geeigneten Steuer- oder Regelgerät (nicht dargestellt) gekoppelt sein, das programmgesteuert Einfluss auf die in der Trocknungskammer 30 herrschenden Trocknungsparameter nimmt.

35 **[0036]** An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die in den Fig. 3 bis 5 dargestellten Anordnungen der Ventilatoren 32 und der Infrarotlichtquellen 34 nur beispielhaft sind. So wäre es insbesondere denkbar, die neben der Lufterwärmung auch der Oberflächenerwärmung dienenden Infrarotquellen 34 auf zusätzlichen Seiten des Modells 20 anzuordnen. Beispielsweise können die Infrarotlichtquellen 34 in (zwei oder mehr) sich bezüglich des Modells 20 gegenüberliegenden Reihen angeordnet werden, so dass sie die Infrarotstrahlung im Wesentlichen senkrecht auf das Modell 20 abgeben.

40 **[0037]** Mittels des unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 5 beschriebenen Systems wurden unter Verwendung von Wachsmoellen verschiedene Proben von Keramikformen hergestellt und getestet. Alle Proben wurden hergestellt unter Verwendung eines Schlickers, der eine Bindersuspension aus WEXCOAT der Firma Wex Chemicals, Greenford, London, England (mit einem SiO₂-Anteil von 24 %), einen Anteil von 1 bis 5 % organischer Fasern von einer Länge von 1 mm und Molochite-Mehl (-200 mesh) enthielt. Die Viskosität des Schlickers betrug zunächst 41 s (gemessen mit dem WEX-Becher-Verfahren). Die Modelle wurden ungefähr 10 s in das Schlickerfass 14 eingetaucht und - abgesehen von

EP 1 645 348 A1

der ersten Schicht - anschließend in der Sandtrommel 14 mit Molochite-Körnern (Durchmesser 0,3 bis 0,5 mm) besandet. Dann wurden die beschichteten Modelle schichtweise einem durch Infrarotlicht-Bestrahlung unterstützten Trocknungsvorgang in der Trocknungsvorrichtung 16 unterzogen.

[0038] Das verwendete Wachsmo-
5
20 mm und einer Tiefe von 20 mm ausgebildet war. Im Inneren dieses Sacklochs wurden die in den nachfolgenden Tabellen aufgeführten O-berflächenwerte für Temperatur und Feuchte während des Trocknungsvorgangs gemessen.

[0039] Eine erste Modelltraube wurde mit insgesamt sechs Schichten (oder - in getrocknetem Zustand - Überzügen) versehen, wobei die erste Schicht keiner Besandung unterzogen wurde. Jede einzelne Schicht wurde in einem separaten Trocknungsvorgang vollständig getrocknet. Die einzelnen Trocknungsvorgänge wurden bei einer Strömungsgeschwindigkeit von ungefähr 1,5 m/s bei konstanter Bestrahlung mit Infrarotlicht durchgeführt. Die maximale Trocknungstemperatur hat sich von Schicht zu Schicht allmählich erhöht. Ein Trocknungsvorgang wurde als abgeschlossen betrachtet, wenn die gemessene Restfeuchtigkeit an der Oberfläche weniger als ungefähr 55 % betrug. Während des Trocknungsvorganges wurde die Probe mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit von ungefähr 2,5 U/min bezüglich der Infrarotlichtquellen gedreht. Die Luftfeuchtigkeit in der Trocknungskammer wurde allmählich reduziert. Es wurde darauf geachtet, dass die Luftfeuchtigkeit nach Möglichkeit stets weniger als ungefähr 20 % betrug und die Temperatur stets oberhalb ungefähr 30° C lag.

[0040] Die gesamte Prozesszeit sowie die individuellen Trocknungsparameter und Oberflächenbedingungen pro Schicht im Rahmen eines der anfänglichen Versuche (mit noch vergleichsweise hoher Luftfeuchtigkeit in der Trocknungskammer) lassen sich der folgenden Tabelle entnehmen. Die Trocknungsparameter und Oberflächenbedingungen wurden pro Trocknungsvorgang zwei bis fünf Mal gemessen.

Keramikform 1

[0041]

Zeit [h:min]	Trockenzeit [h:min]	Überzug	Trocknungsbedingungen		Oberflächenbedingungen	
			Temperatur [°C]	Feuchte [%]	Temperatur [°C]	Feuchte [%]
0:00	0:10	Ohne Sand	29	19		
0:10	0:00	2. Schicht	29	22		
0:15	0:05		30	38		
0:25	0:15		33	25		
0:30	0:20		34,5	19		
0:33	0:00	3. Schicht	34,1	17		
0:38	0:05		33,6	22		
0:43	0:10		33,5	22		
0:58	0:25		33,8	21		
1:03	0:30		34	20	24	53
1:07	0:00	4. Schicht	34	19		
1:17	0:10		34,2	19		
1:27	0:30		34,7	19	25	60
2:05	0:58		35,7	18	35	47
2:10	0:00	5. Schicht	36	18		
2:55	0:45		38,1	16		
3:05	0:00	6. Schicht	38	15		
3:35	0:30		38,4	14		

[0042] Wie Tabelle 1 entnommen werden kann, betrug die gesamte Prozessierungszeit aller sechs Schichten insgesamt 3 Stunden und 35 Minuten. Die reine Trocknungszeit betrug ungefähr 3 Stunden und 15 Minuten. Die erste Schicht

EP 1 645 348 A1

(ohne Sand) wurde 10 Minuten getrocknet, die zweite Schicht hatte nach ungefähr 20 Minuten eine Oberflächen-Restfeuchtigkeit von ungefähr weniger als 55 % erreicht. Die entsprechende Trocknungsdauer für die dritte Schicht betrug ungefähr 30 Minuten, für die vierte Schicht ungefähr 58 Minuten, für die fünfte Schicht ungefähr 45 Minuten und für die sechste Schicht ungefähr 30 Minuten.

5 **[0043]** Der Dickenaufbau der ersten Keramikformprobe ist der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Zustand	Abmessung	Dickenzuwachs
Wachsmodell	35,0 mm	0 mm
Überzug ohne Sand	35,5 mm	0,25 mm
2. Überzug	37,0 mm	0,75 mm
3. Überzug	39,0 mm	1,0 mm
4. Überzug	40,5 mm	0,75 mm
5. Überzug	42,0 mm	0,75 mm
6. Überzug	44,0 mm	1,0 mm

20 **[0044]** Gemäß dieser Tabelle erfolgte bei der verwendeten Schlicker-/Besandungszusammensetzung ein durchschnittlicher Schichtaufbau von 0,8 mm pro Überzug.

[0045] Die nachfolgende Tabelle zeigt die Trocknungsparameter und Oberflächenbedingungen für eine weitere Keramikformprobe mit sieben Überzügen. Die in der Trocknungskammer herrschende Strömungsgeschwindigkeit betrug ungefähr 1,5 bis 2,0 m/s.

25

Keramikform II

[0046]

Zeit [h:min]	Trockenzeit [h:min]	Überzug	Trocknungsbedingungen		Oberflächenbedingungen	
			Temperatur [°C]	Feuchte [%]	Temperatur [°C]	Feuchte [%]
0:00	0:08	Ohne Sand	33,7	17		
0:08	0:00	2. Schicht	34,3	17		
0:18	0:10		34,7	17		
0:28	0:00	3. Schicht	35,2	15		
0:58	0:30		36,8	14	26,4	55
1:01	0:00	4. Schicht	36,9	14		
1:31	0:30		37,2	12	29	64
1:36	0:35		37,4	11	27	52
1:41	0:00	5. Schicht	37	13		
2:11	0:30		38,2	10	27,3	58
2:16	0:00	6. Schicht	38,4	10		
2:46	0:30		38	10	27,6	48
2:51	0:00	7. Schicht	38	10		
3:21	0:00		38,8	8		

55 **[0047]** Die beiden folgenden Tabellen zeigen entsprechende Messungen an zwei identischen Keramikformproben mit jeweils acht Schichten und Trocknung bei einer Strömungsgeschwindigkeit zwischen 2 und 4 m/s. Die Viskosität des bei diesen Proben verwendeten Schlickers betrug ungefähr 38 s.

EP 1 645 348 A1

Keramikform III/1

[0048]

	Zeit [h:min]	Trockenzeit [h:min]	Überzug	Trocknungsbedingungen		Oberflächenbedingung	
				Temperatur [°C]	Feuchte [%]	Temperatur [°C]	Feuchte [%]
5	0:00	0:08	Ohne Sand	35,9	17		
10	0:10	0:00	2. Schicht	36,5	17		
	0:30	0:00	3. Schicht	38,6	14		
	1:20	0:50				29	70
	1:25	0:55					60
15	1:30	1:00			28,6	45	
	1:30	0:00	4. Schicht	37,4	16		
	2:00	0:30					72
20	2:05	0:35				27,8	42
	2:10	0:00	5. Schicht	39	15		
	2:40	0:30				27,9	45/52
25	2:43	0:00	6. Schicht				
	3:13	0:30		38,9	16		76
	3:18	0:35					59
	3:25	0:00	7. Schicht				
30	3:55	0:30					65/70
	4:00	0:35					48/52
	4:05	0:00	8. Schicht				
35	5:00	0:55			Fertig		

Keramikform III/2

[0049]

	Zeit [h:min]	Trockenzeit [h:min]	Überzug	Trocknungsbedingungen		Oberflächenbedingungen		
				Temperatur [°C]	Feuchte [%]	Temperatur [°C]	Feuchte [%]	
40	0:00	0:12	Ohne Sand	37,8	12			
45	0:12	0:00	2. Schicht	37	10			
	0:32	0:20			39,1	15	27,5	45/59
	0:37	0:25						42/58
50	0:42	0:00	3. Schicht	38,9	14			
	1:20	0:38			39,2	14	29	75
	1:32	0:50						42/61
	1:37	0:55			39,2	9	29,8	40/52
55	1:42	0:00	4. Schicht	38,9	11			

EP 1 645 348 A1

Tabelle fortgesetzt

Zeit [h:min]	Trockenzeit [h:min]	Überzug	Trocknungsbedingungen		Oberflächenbedingungen	
			Temperatur [°C]	Feuchte [%]	Temperatur [°C]	Feuchte [%]
2:32	0:00	5. Schicht	39,8	10		
3:02	0:30				30,5	48/61
3:07	0:35				30,4	44/53
3:12	0:00	6. Schicht	39,5	16		
3:42	0:30					44/50
3:42	0:00	7. Schicht	38,2	9		
4:12	0:30			38	13	30
4:12	0:00	8. Schicht				
4:42	0:30				29,8	47
Sofort ausgeschmolzen						

[0050] Unmittelbar nach dem Aufbringen und Trocknen der letzten Schicht erfolgte bei den erläuterten Keramikform-Proben das Ausschmelzen des Wachsmodells. Ausgeschmolzen wurde in einem auf 150° vorgeheizten Wärmeschrank. Nach jeweils 15 bis 20 Minuten war das Wachs vollständig ausgeschmolzen. Ein optische Überprüfung ergab, dass die in der Trocknungskammer hergestellten Proben ohne jegliche Beschädigungen oder Risse ausgeschmolzen werden konnten.

[0051] Eine parallel hierzu unter herkömmlichen Trocknungsbedingungen hergestellte Keramikformprobe (siehe nachfolgende Tabelle) wurde unter den gewählten Ausschmelzbedingungen durch Risse vollständig zerstört. Die Vergleichsprobe wurde auf die gleiche Weise wie die obigen Keramikformen durch mehrmaliges Beschlickern, Besanden und Trocknen hergestellt. Allerdings erfolgte die Trocknung bei herkömmlichen Trocknungsbedingungen (es wurde keine Trocknungskammer verwendet) und ohne Rotlicht-Bestrahlung, aber bei beschleunigter Umgebungsluft (1,5 m/s).

Vergleichsprobe

[0052]

Zeit [h:min]	Trockenzeit [h:min]	Überzug	Trocknungsbedingungen		Oberflächenbedingungen	
			Temperatur [°C]	Feuchte [%]	Temperatur [°C]	Feuchte [%]
0:00	0:30	Ohne Sand	22	54		
0:30	0:30	2. Schicht				
1:30	1:00				22,5	55
1:30	0:00	3. Schicht				
2:30	1:00		25,4	43,7	23,6	67
4:00	2:30				25,0	63
4:15	0:00	4. Schicht	24,5	48		
5:30	1:15				25,0	66
6:15	2:00				25,5	65
6:45	2:30				25,0	69
7:15	3:00				25,6	46
7:20	0:00	5. Schicht	24,0	51,5		
1 Tag später						

EP 1 645 348 A1

Tabelle fortgesetzt

Zeit [h:min]	Trockenzeit [h: min]	Überzug	Trocknungsbedingungen		Oberflächenbedingungen	
			Temperatur [°C]	Feuchte [%]	Temperatur [°C]	Feuchte [%]
21:30	0:00	6. Schicht	21,0	46		
23:00	1:30		23,1	43,2	22,8	66
23:30	2:00		24,0	40,7	23,3	70
24:30	3:00				23,0	58
24:30	0:00	7. Schicht				
25:30	1:00		22,4	42,4		
27:30	3:00		25,0	41	25,0	50
27:45	0:00	8. Schicht				
30:45	3:00				26,0	62
Echtzeit hier: 17:15; Ausschmelzen 24 h später						

[0053] Wie sich aus der obigen Tabelle ergibt, sind die Trocknungsdauern bei der Vergleichsprobe deutlich länger als bei den mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Proben.

[0054] Auch die Festigkeit der erfindungsgemäßen Proben ist der Festigkeit der konventionellen Proben deutlich überlegen. Für die Bestimmung der Biegefestigkeit der Keramik wurden Prüfstreifen mit den Abmessungen 50 mm x 20 mm x 5 mm hergestellt. Zur Herstellung der Prüfstreifen wurde eine Silikonform mit mehreren napfförmigen Vertiefungen verwendet. Die Silikonform wurde zum Aufbringen mehrerer Überzüge wiederholt beschlickert, besandet und getrocknet. Typischerweise erfolgten sechs bis acht Beschichtungen, um eine Streifenhöhe von ungefähr 5 mm zu erzielen.

[0055] Die erfindungsgemäßen Prüfstreifen wurden (teilweise gleichzeitig mit Modelltrauben) einem Trocknungsvorgang in der Trocknungskammer bei einer Temperatur von ungefähr 40° C, einer Luftfeuchtigkeit von ungefähr 5 bis 10 % sowie einer Trocknungsdauer von ungefähr 30 min unterzogen. Während des Trocknungsvorganges erfolgte eine Bestrahlung der Streifen mit Infrarotlicht. Die konventionellen Prüfstreifen wurden hingegen bei Raumtemperatur und einer Luftfeuchtigkeit von ungefähr 50 % getrocknet. Jede Schicht wurde solange getrocknet, bis die Oberflächenfeuchte weniger als 60 % betrug (typischerweise viele Stunden bis einen Tag). Anschließend wurden alle Prüfstreifen einem Biegeversuchen unterworfen. Hierbei kam das Festigkeitsprüfgerät 7/18 der Firma Feinmechanik Ralf Kögel zum Einsatz.

[0056] Fig. 6 zeigt das Versuchsprotokoll der auf erfindungsgemäße Weise getrockneten Prüfstreifen und Fig. 7 das Versuchsprotokoll für herkömmliche Prüfstreifen (es wurden je zwei Grünlinge und zwei gebrannte Proben geprüft; das Brennen der Prüfstreifen erfolgte für eine Stunde bei 950° C). Ein Vergleich der jeweiligen Kennlinien zeigt deutlich, dass die Belastbarkeit der erfindungsgemäßen Proben, jedenfalls in gebranntem Zustand, die Belastbarkeit der auf herkömmliche Weise getrockneten Proben fast um 50 % übersteigt. Auch die erfindungsgemäß getrockneten Grünlinge zeigen eine deutlich höhere Belastbarkeit als die auf konventionelle Weise getrockneten Grünlinge.

[0057] Die erfindungsgemäßen Vorteile sind vermutlich darin begründet, dass bei höheren Trocknungstemperaturen der Ionenaustausch an der Oberfläche der Binderkolloide intensiviert wird, was eine starke irreversible Bindung dieser Kolloide untereinander ermöglicht. Ferner führt die intensive, oberflächenbezogene Trocknung durch die Infrarotlicht-Bestrahlung zu einem stärkeren Diffusionsgefälle innerhalb der aufgetragenen Schlickerschicht und damit zu einer beschleunigten Trocknung. Durch die Wirkung der Verdunstungskälte kann die Trocknungstemperatur erhöht werden, auch über die Temperatur hinaus, bei der das verwendete Modell seine Stabilität verlieren würde. Auch dies ermöglicht eine beschleunigte Trocknung.

[0058] Vorzugsweise erfährt jede Überzugsschicht eine vollständige Trocknung, um eine irreversible Kolloidbindung herbeizuführen. Somit ist bereits unmittelbar nach Trocknungsende der letzten Schicht die erwünschte Endfestigkeit der gesamten Schale erreicht. Mit anderen Worten, es ist nicht mehr unbedingt erforderlich, nach dem Trocknen der letzten aufgetragenen Schicht noch weiter zu warten, bis mit dem Ausschmelzen/Ausbrennen des Modells und dem Brennen der Keramikform begonnen werden kann. Dieses Erkenntnis schließt gleichwohl nicht aus, in bestimmten Fällen eine abschließende, längere Schlusstrocknung durchzuführen.

[0059] Zur Erzielung besonders kurzer Trocknungszeiten war es zweckmäßig, die Luftfeuchtigkeit in der Trocknungskammer zu reduzieren. Im Rahmen fortlaufender Versuche wurde die Luftfeuchtigkeit auf unter 10 %, häufig auf 2 % bis 8 %, reduziert.

[0060] Bei den Versuchen hat sich herausgestellt, dass die erste Schicht mit Besandung (also in der Regel die zweite, auf das Modell aufgebraachte Schicht) relativ schnell trocknet (ca. 20 min), die erste bzw. die zweite darauffolgende Schicht jedoch überdurchschnittlich lange (bis zu 60 min) benötigt, um vollständig zu trocknen. Bei den sich anschließenden Schichten stellen sich Trocknungszeiten von typischerweise 30 bis 35 Minuten ein. Die Restfeuchtigkeit in der getauchten Schicht steigt zu Beginn der Trocknung oftmals kurzfristig auf über 80 %, verbleibt dann lange bei 65 bis ungefähr 70 %, um dann etwa 2 bis 10 Minuten (typischerweise etwa 5 min) vor dem festzustellenden Trocknungsende beinahe spontan auf unter 50 % abzuknicken.

[0061] Bei Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens für die Prototypen-Herstellung bietet es sich an, mit nur einem Schlicker gleicher Viskosität für alle Überzugsschichten (Einheitsschlicker) und nur einer Korngröße des Bestreumaterials zu arbeiten. Der Einheitsschlicker führt zu einer verbesserten Benetzung bei gleichzeitiger Reduzierung der Auslaufzeit auf 38 s (gemessen mit dem WEX-Becher). Durch Einfügen einer Tauchschrift ohne Besandung zu Beginn des Schalenaufbaus bei kurz gehaltener Antrocknung (von typischerweise unter 15 min) lässt sich eine ausreichende Oberflächenqualität der Gussstücke erzielen.

[0062] Die Erfindung wurde anhand verschiedener Ausführungsbeispiele beispielhaft erläutert. Abänderungen und Ergänzungen können vom Fachmann basierend auf seinem Fachwissen durchgeführt werden. So können insbesondere die Lage, die Positionierung und die Anzahl der Rotlichtquellen sowie die Anordnung und die Anzahl der Ventilatoren geändert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer Schalenform insbesondere für das Feingießen, umfassend

- Bereitstellen eines Modells;
- Ausbilden einer das Modell umgebenden Schale durch Aufbringen wenigstens einer wässrigen Schicht auf das Modell und durch schichtweises Durchführen wenigstens eines Trocknungsvorganges; und
- Entfernen des Modells aus der Schale,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Trocknungsvorgang oberhalb einer Temperatur von 25°C und unterstützt durch Infrarotlicht-Bestrahlung durchgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,**

dass der Trocknungsvorgang in einem Temperaturbereich von ungefähr 30°C bis ungefähr 45°C, vorzugsweise von ungefähr 36°C bis ungefähr 42°C, durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,**

dass mehrere Schichten auf das Modell aufgebracht werden und dass die maximale Trocknungstemperatur von Schicht zu Schicht im Wesentlichen erhöht wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**

dass die maximale Trocknungstemperatur während des Trocknungsvorgangs mindestens ungefähr 5°C, vorzugsweise wenigstens ungefähr 8°C, oberhalb einer Temperatur gewählt wird, bei der eine Minderung der Stabilität des Modells einsetzt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**

dass während des Trocknungsvorgangs eine Relativedrehung zwischen dem beschichteten Modell und wenigstens einer Infrarotlichtquelle erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet,**

dass die Relativedrehung mit einer Geschwindigkeit zwischen 0,5 und 8 U/min, vorzugsweise zwischen 1,5 und 4 U/min, erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**

dass der Trocknungsvorgang durch eine Strömung eines gasförmigen Mediums unterstützt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet,**

dass die Strömungsgeschwindigkeit des gasförmigen Mediums zwischen ungefähr 0,5 und ungefähr 8 m/s, vor-

zugsweise zwischen 1 und 5 m/s, beträgt.

- 5 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Trocknungsvorgang bei einer Raumfeuchtigkeit von weniger als 35%, vorzugsweise von weniger als ungefähr 20%, durchgeführt wird.
- 10 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Trocknungsvorgang für eine Dauer von weniger als 1 h, vorzugsweise für ungefähr 25 bis 45 min, durchgeführt wird.
- 11 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf das Modell drei oder mehr Schichten aufgebracht werden und die Trocknungsdauer für wenigstens einige der nach der ersten Schicht aufgetragenen Schichten variiert wird.
- 15 12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Trocknungsdauer der zweiten und/oder der dritten und/oder der vierten Schicht länger gewählt ist als die Trocknungsdauer der anderen Schichten.
- 20 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf das Modell mehrere Schichten aufgebracht werden und der einzelne Trocknungsvorgang jeweils solange durchgeführt wird, bis eine vollständige Trocknung der zuletzt aufgetragenen Schicht erzielt wird.
- 25 14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** dann von einer vollständigen Trocknung ausgegangen wird, wenn die Restfeuchtigkeit einer Schicht weniger als ungefähr 60%, vorzugsweise zwischen ungefähr 55 und ungefähr 40%, beträgt.
- 30 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Modell aus Wachs besteht, das bei einer Temperatur von mehr als ungefähr 140°C durch Ausschmelzen aus der getrockneten Schale entfernt wird.
- 35 16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Trocknungsvorgang in einer Trocknungskammer (30) durchgeführt wird.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine zur Erzielung der Trocknungstemperatur erforderliche Wärmeenergie von wenigstens einer Infrarotlichtquelle (34) geliefert wird.
- 40 18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren zur Prototypen-Herstellung verwendet wird.
- 45 19. System (10) zum Herstellen einer Schalenform insbesondere für das Feingießen, umfassend
- eine Beschlickerungsvorrichtung (14) zum Aufbringen einer Schlickerschicht auf ein Modell (20); und
 - eine Trocknungsvorrichtung (16) zum Trocknen der auf das Modell (20) aufgetragenen Schlickerschicht, mit einer Trocknungskammer (30) und mit wenigstens einer in der Trocknungskammer (30) angeordneten Infrarotlichtquelle (34), wobei in der Trocknungskammer eine Temperatur von mehr als 25°C einstellbar ist.
- 50 20. System (10) nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Infrarotlichtquelle (34) als Heizeinrichtung für ein Trocknungsgas fungiert.
- 55 21. System nach Anspruch 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kühleinrichtung (38, 40) zum Zuführen eines gekühlten Trocknungsgases in die Trocknungskammer (30) vorhanden ist.
22. System nach einem der Ansprüche 19 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich zur Infrarotlichtquelle (34) eine Heizeinrichtung für die Trocknungskammer (30) vorgesehen ist.
23. System nach einem der Ansprüche 19 bis 22 **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Einrichtung (22) zum Drehen des beschichteten Modells (20) bezüglich der Infrarotlichtquelle (34) vor-

handen ist.

24. System nach Anspruch 19 oder 23, **dadurch gekennzeichnet,**
dass eine Besandungsvorrichtung (12) zum Besanden der auf das Modell (20) aufgetragenen Schlickerschicht
vorhanden ist.

25. System nach einem der Ansprüche 19 bis 24, ferner umfassend eine Transportvorrichtung (18) zum Transportieren
des Modells wenigstens zwischen der Beschlickungsvorrichtung (14) und der Trocknungsvorrichtung (16).

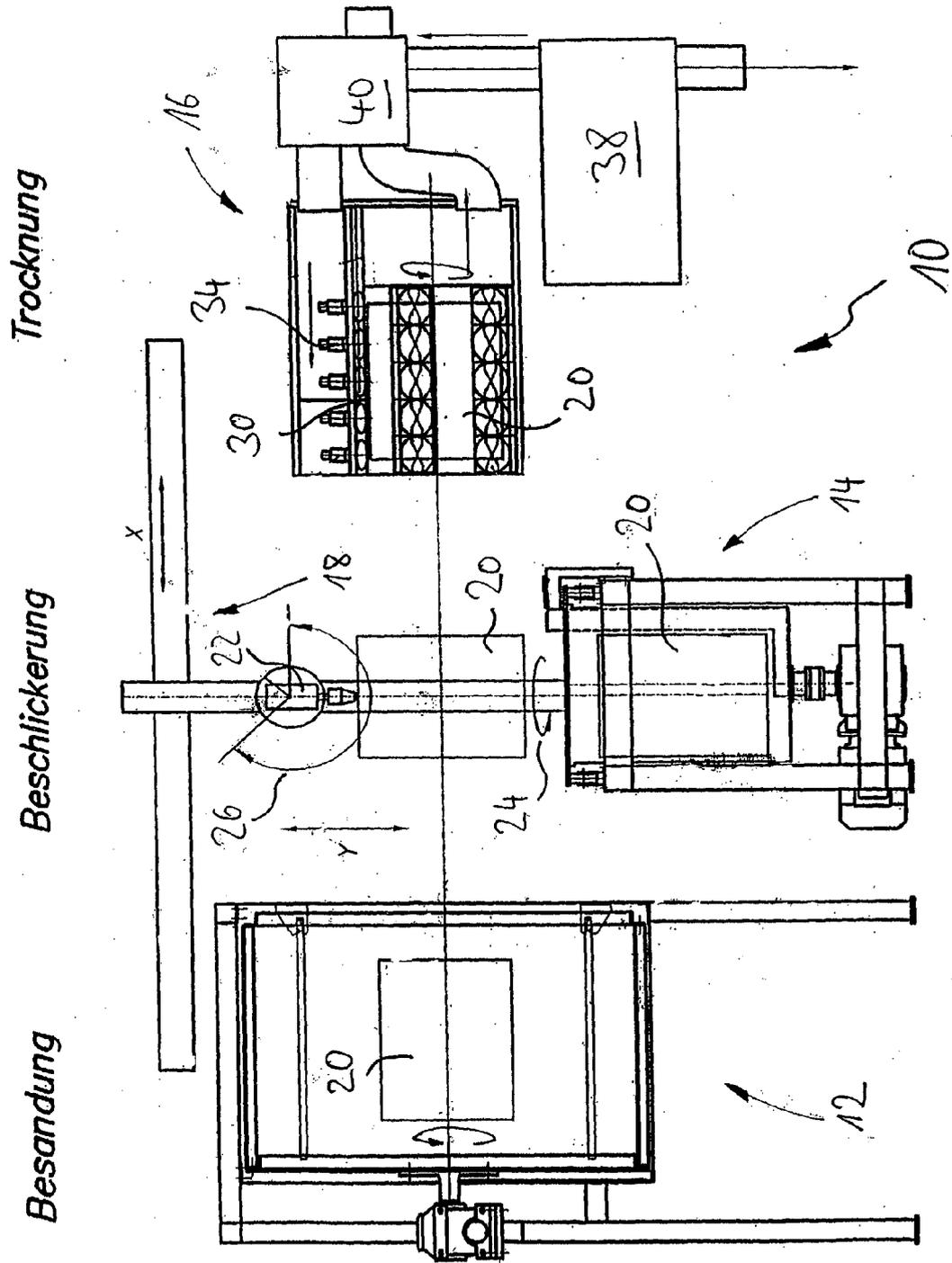


Fig. 1

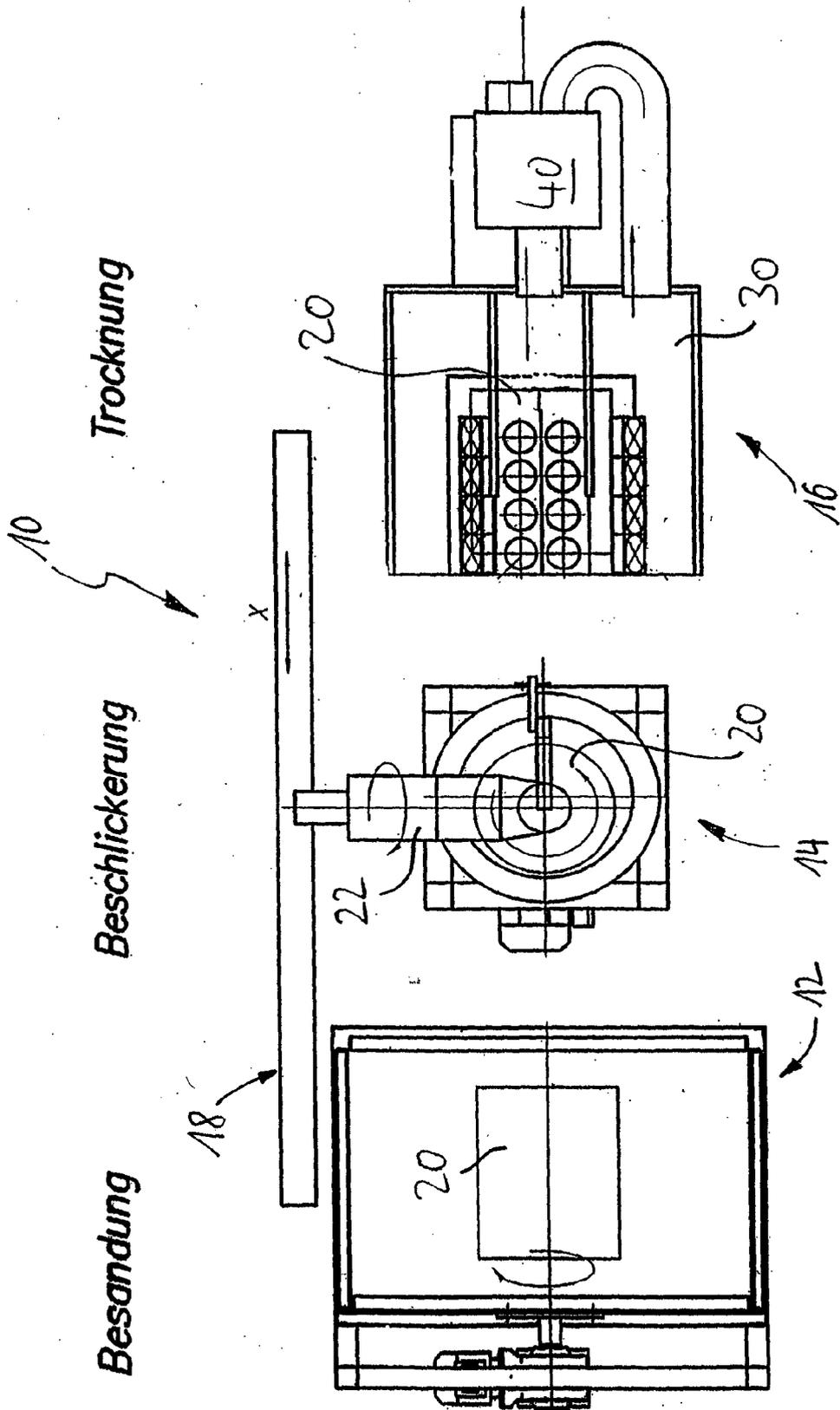


Fig. 2

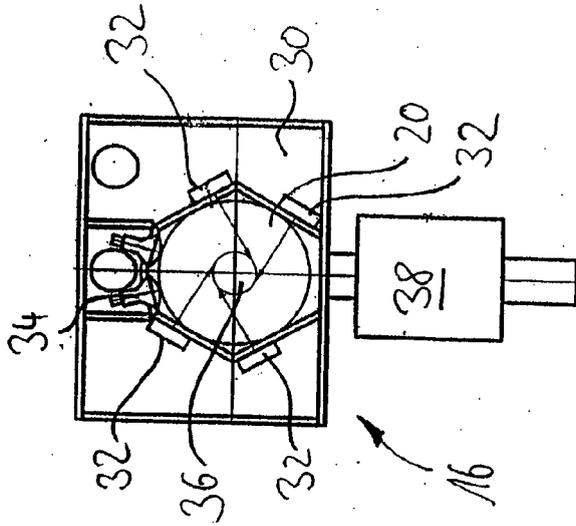


Fig. 4

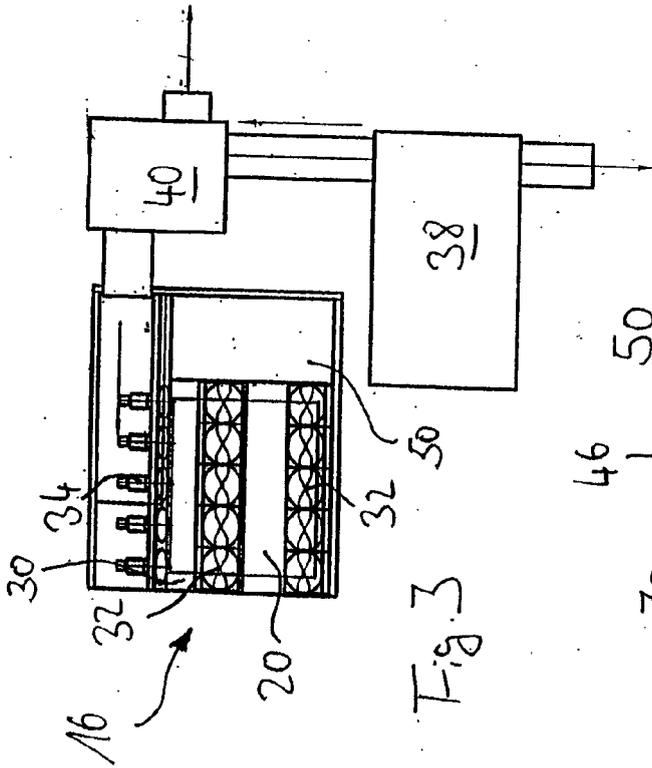


Fig. 3

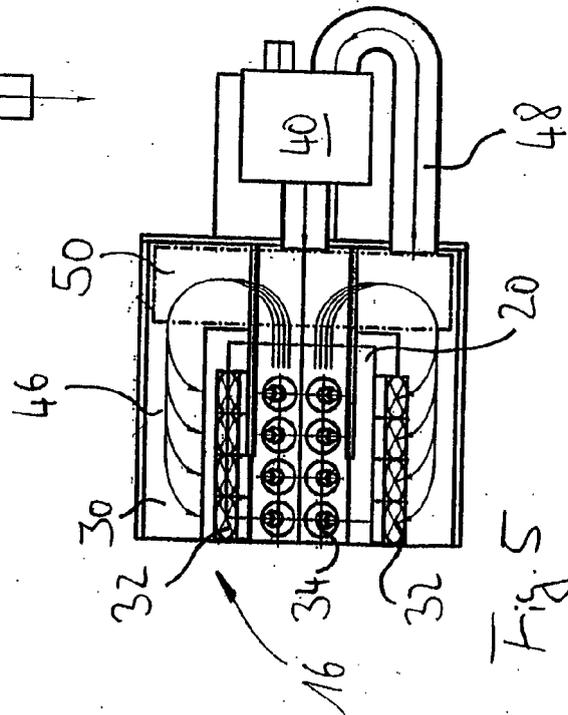


Fig. 5

Prüfgeschwindigkeit: 1 mm/min

Nr.	Bemerkung	B [mm]	D [mm]	aA [mm]	Fmax [N]	σmax [N/mm²]	s (Fmax) [mm]	FB [N]	σB [N/mm²]	sB [mm]
1	grün	20,00	5,00	50,00	26,6	3,989	0,11	13,2	1,978	0,13
2	grün	20,00	5,00	50,00	28,8	4,318	0,13	14,3	2,147	0,14
3	gebrannt	20,00	5,00	50,00	94,5	14,172	0,21	40,0	5,998	0,21
4	gebrannt	20,00	5,00	50,00	89,5	13,432	0,21	9,2	1,386	0,21
Anzahl Werte		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mittelwert		20,00	5,00	50,00	59,9	8,978	0,17	19,2	2,877	0,17
kleinster Wert		20,00	5,00	50,00	26,6	3,989	0,11	9,2	1,386	0,13
größter Wert		20,00	5,00	50,00	94,5	14,172	0,21	40,0	5,998	0,21
Standardabweichung		0,00	0,00	0,00	37,2	5,580	0,05	14,0	2,106	0,04
Variationskoeffizient [%]		0,00	0,00	0,00	62,16	62,16	32,01	73,20	73,20	25,53
Streuungsindex cp		0,0000	0,0000	0,0000	0,3041	0,3041	0,3089	0,3650	0,3650	0,3094
Niveauindex cpk		0,0000	0,0000	0,0000	0,2980	0,2980	0,2952	0,2361	0,2361	0,2980

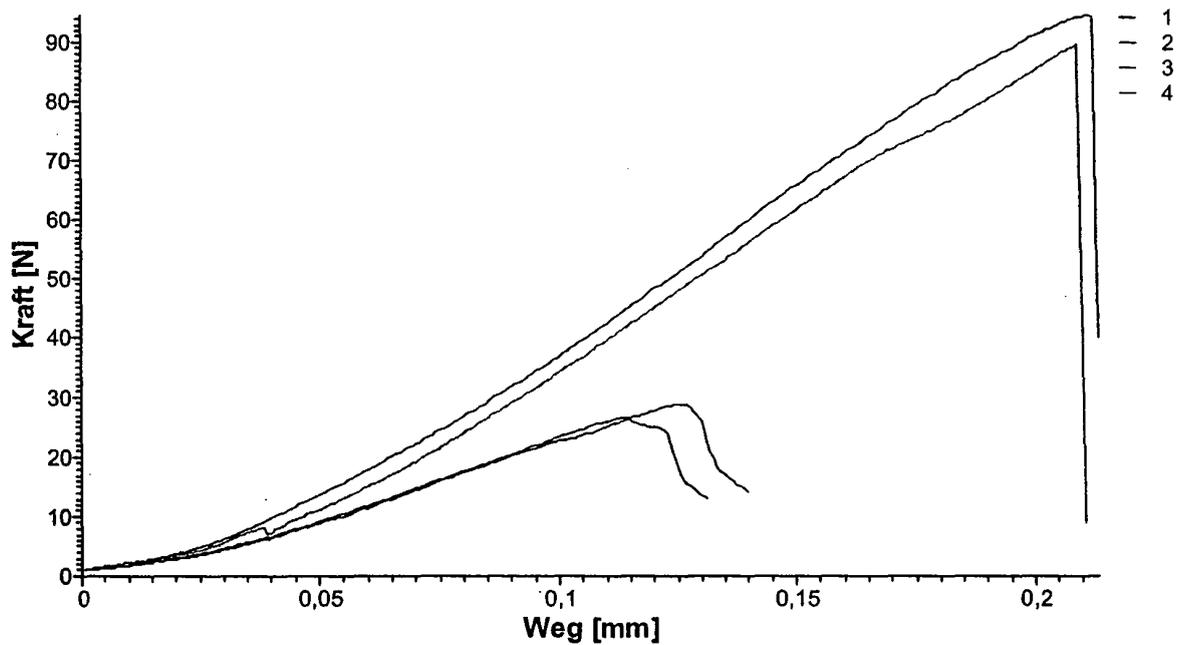


Fig. 6

Prüfgeschwindigkeit: 1 mm/min

Nr.	Bemerkung	B [mm]	D [mm]	aA [mm]	Fmax [N]	ómax [N/mm²]	s (Fmax) [mm]	FB [N]	óB [N/mm²]	sB [mm]
1	grün	20,00	5,00	50,00	21,9	3,285	0,10	3,7	0,555	0,48
2	grün	20,00	5,00	50,00	7,6	1,146	0,22	3,8	0,571	0,77
3	gebrannt	20,00	5,00	50,00	66,0	9,906	0,15	30,5	4,577	0,15
4	gebrannt	20,00	5,00	50,00	65,0	9,757	0,16	31,3	4,701	0,17
Anzahl Werte		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mittelwert		20,00	5,00	50,00	40,2	6,024	0,16	17,3	2,601	0,39
kleinster Wert		20,00	5,00	50,00	7,6	1,146	0,10	3,7	0,555	0,15
größter Wert		20,00	5,00	50,00	66,0	9,906	0,22	31,3	4,701	0,77
Standardabweichung		0,00	0,00	0,00	29,9	4,484	0,05	15,7	2,354	0,29
Variationskoeffizient [%]		0,00	0,00	0,00	74,43	74,43	31,67	90,49	90,49	74,75
Streuungsindex cp		0,0000	0,0000	0,0000	0,3257	0,3257	0,4051	0,2936	0,2936	0,3533
Niveauindex cpk		0,0000	0,0000	0,0000	0,2887	0,2887	0,3937	0,2898	0,2898	0,2757

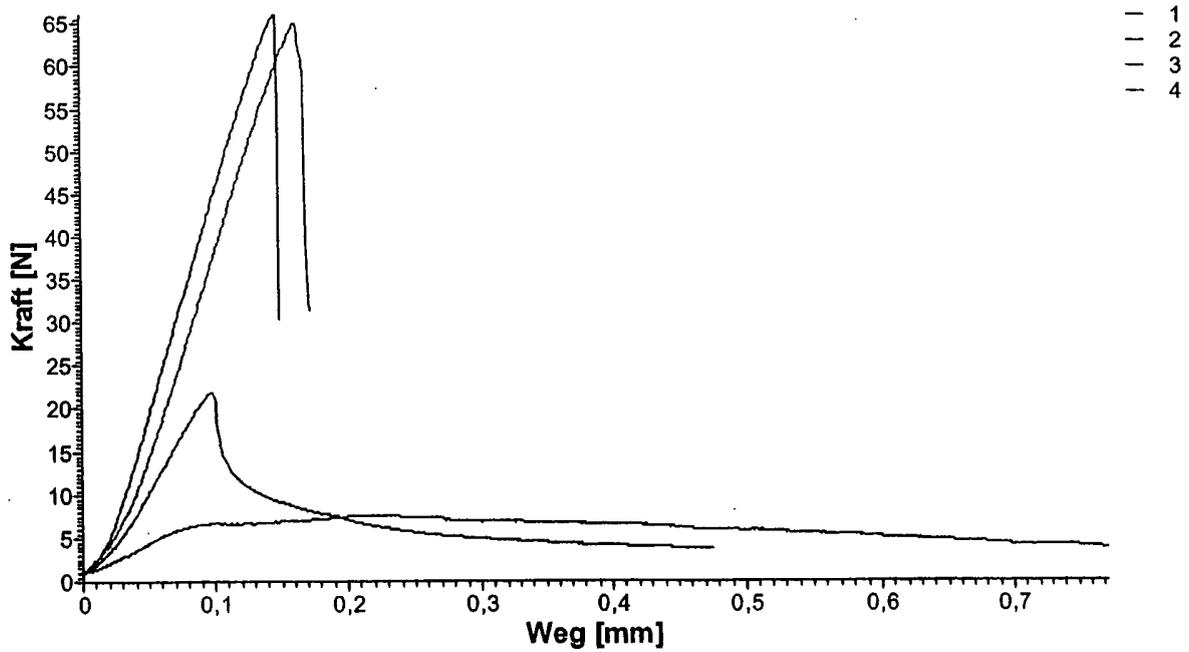


Fig. 7



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	FR 1 410 652 A (SULZER FRERES SOCIETE ANONYME) 10. September 1965 (1965-09-10) * Seite 2; Beispiel 1 * * Seite 4; Beispiel 7 * -----	1-25	B22C13/08
X	US 2 652 609 A (JR. FRANK SUDIA,) 22. September 1953 (1953-09-22) * Spalte 4, Zeile 62 - Zeile 71 * -----	1-25	
Y	DATABASE WPI Section Ch, Week 200024 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class M22, AN 2000-281328 XP002353415 -& RU 2 127 649 C (AFANAS'EV VLADIMIR MIKHAJLOVICH; AFANAS'EVA LJUDMILA FEDOROVNA) 20. März 1999 (1999-03-20) " drying with use of UHF energy " * Zusammenfassung; Ansprüche 1-9 * -----	1-25	
Y	US 4 114 285 A (CRUFF ET AL) 19. September 1978 (1978-09-19) " drying investment casting moulds "* Anspruch 1; Abbildungen 3,6-8 * -----	1-25	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) B22C
Y	US 2 932 864 A (JR. EDWARD J. MELLE, ET AL) 19. April 1960 (1960-04-19) " drying shell type refractory moulds "* Anspruch 1; Abbildungen 3,6,12 * -----	1-25	
Y	US 6 749 006 B1 (YANG XI ET AL) 15. Juni 2004 (2004-06-15) " drying the ceramic slurry layer of a ceramic investment shell mold " * Absatz [SUMMARY.OF.INVENTION] * * Ansprüche 1-10; Abbildung 1 * -----	1-25	
-/--			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 10. November 2005	Prüfer Lombois, T
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1

EPO FORM 1503 03.02 (P04C03)



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	EP 0 009 669 A (CATERPILLAR TRACTOR CO) 16. April 1980 (1980-04-16) " microwave drying of ceramic shell molds" * Ansprüche 1-15 *	1-25	
Y	----- US 3 704 523 A (MICHEL HENRI GUERGA ET AL) 5. Dezember 1972 (1972-12-05) " microwave heating and air ventilation for drying molded ceramic objects " * Ansprüche 1,2 *	1-25	
Y	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 015, Nr. 081 (M-1086), 25. Februar 1991 (1991-02-25) & JP 02 303650 A (KOMATSU LTD), 17. Dezember 1990 (1990-12-17) " radiating microwave under reduced pressure for rapidly molding ceramic shell mold " * Zusammenfassung * * Abbildungen 2,3 *	1-25	
Y	----- US 5 793 019 A (BOYLE ET AL) 11. August 1998 (1998-08-11) " infrared and forced air oven for drying" * Anspruch 1; Abbildungen 2,4 *	1-25	
Y	----- US 5 689 613 A (CHERRY ET AL) 18. November 1997 (1997-11-18) " quartz tubes heating elements of an infrared oven " * Ansprüche 1,13; Abbildungen 1,2 * ----- -/--	1-25	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 10. November 2005	Prüfer Lombois, T
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ----- & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	WEISMAN D W: "Infrared drying and curing systems" METAL FINISHING, METALS AND PLASTICS PUBLICATIONS, HACKENSACK, NJ, US, Bd. 97, Nr. 5, 1999, Seiten 362,364,366-368, XP004166852 ISSN: 0026-0576 " infrared drying and curing systems " * das ganze Dokument *	1-25	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 015, Nr. 260 (M-1131), 2. Juli 1991 (1991-07-02) & JP 03 086354 A (CHUZO GIJUTSU FUKIYUU KYOKAI), 11. April 1991 (1991-04-11) " drying ceramic shell mold under reduced pressure for lost wax casting " * Zusammenfassung *	1-25	
A,D	GB 2 350 810 A (DANIEL JAMES * DUFFEY; RICHARD DUDLEY * SHAW) 13. Dezember 2000 (2000-12-13) " mixing fibers to a ceramic slurry for shell mold to shorten drying time " * Anspruch 1 *	1-25	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 007, Nr. 250 (M-254), 8. November 1983 (1983-11-08) & JP 58 135746 A (TOYOTA JIDOSHA KOGYO KK), 12. August 1983 (1983-08-12) * Zusammenfassung *	1-25	
----- -/--			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 10. November 2005	Prüfer Lombois, T
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	BAILEY D E: "Convection and Infrared Ovens" METAL FINISHING, METALS AND PLASTICS PUBLICATIONS, HACKENSACK, NJ, US, Bd. 96, Nr. 12, Dezember 1998 (1998-12), Seite 21, XP004145108 ISSN: 0026-0576 * das ganze Dokument * -----	1-25	
A	BAILEY D E: "Infrared Preheat/Curing Systems" METAL FINISHING, METALS AND PLASTICS PUBLICATIONS, HACKENSACK, NJ, US, Bd. 96, Nr. 12, Dezember 1998 (1998-12), Seite 18, XP004145095 ISSN: 0026-0576 * das ganze Dokument * -----	1-25	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 10. November 2005	Prüfer Lombois, T
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 05 02 0677

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

10-11-2005

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
FR 1410652	A	10-09-1965	KEINE	
US 2652609	A	22-09-1953	KEINE	
RU 2127649	C	20-03-1999	KEINE	
US 4114285	A	19-09-1978	BE 857584 A1	01-12-1977
			CA 1093781 A1	20-01-1981
			DE 2735395 A1	16-02-1978
			DK 344377 A	10-02-1978
			FR 2361176 A1	10-03-1978
			GB 1543478 A	04-04-1979
			JP 53021454 A	27-02-1978
			NL 7708740 A	13-02-1978
			NO 772734 A	10-02-1978
			SE 7708799 A	10-02-1978
US 2932864	A	19-04-1960	DE 1204780 B	
			GB 879388 A	11-10-1961
US 6749006	B1	15-06-2004	DE 10151000 A1	25-04-2002
			FR 2815285 A1	19-04-2002
			GB 2369594 A	05-06-2002
			JP 2002120043 A	23-04-2002
EP 0009669	A	16-04-1980	CA 1113678 A1	08-12-1981
			DE 2963171 D1	12-08-1982
			JP 55050950 A	14-04-1980
			US 4180918 A	01-01-1980
US 3704523	A	05-12-1972	DE 2101104 A1	22-07-1971
			ES 387205 A1	16-12-1973
			FR 2076405 A5	15-10-1971
			GB 1339644 A	05-12-1973
JP 02303650	A	17-12-1990	KEINE	
US 5793019	A	11-08-1998	KEINE	
US 5689613	A	18-11-1997	KEINE	
JP 03086354	A	11-04-1991	KEINE	
GB 2350810	A	13-12-2000	US 6450243 B1	17-09-2002
JP 58135746	A	12-08-1983	JP 1339631 C	29-09-1986

EPO FORM P/0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 05 02 0677

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

10-11-2005

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 58135746 A		JP 60056576 B	11-12-1985

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82