



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑤ Int. Cl.³: B 22 C 9/04

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑪

635 010

⑮ Gesuchsnummer: 9805/77

⑳ Anmeldungsdatum: 10.08.1977

㉓ Priorität(en): 05.10.1976 JP 51-120666

㉕ Patent erteilt: 15.03.1983

㉙ Patentschrift
veröffentlicht: 15.03.1983

㉚ Inhaber:
Kubota, Ltd., Naniwa-ku/Osaka (JP)

㉛ Erfinder:
Ken Ugata, Nara-shi/Nara-ken (JP)
Kunihiko Konishi, Osaka-shi/Osaka-fu (JP)
Yasuji Morita, Neyagawa-shi/Osaka-fu (JP)

㉜ Vertreter:
A. Braun, Braun, Héritier, Eschmann AG,
Patentanwälte, Basel

⑤④ **Verfahren zum Herstellen von Feingussteilen.**

⑤⑦ Zum Herstellen von Feingussteilen wird

- a) durch Ausfüllen einer Matrize mit einem wärme-schmelzbaren Modellwerkstoff ein ausschmelzbares Modell des Feingussteiles hergestellt,
- b) das Modell zur Bildung einer hitzebeständigen Forms-chicht mit mindestens einem Überzug versehen und dann aus der Forms-chicht vollständig und rückstands-frei herausgeschmolzen,
- c) die Forms-chicht, die nunmehr eine keramische, sta-bile und einstückige Gussform bildet, ungefähr auf die Temperatur des geschmolzenen Giess-Metalls vor-erhitzt und im heissen Zustand abgegossen und
- d) das nach dem Erkalten fest gewordene Metall als Feingussteil aus der Gussform entfernt.

Dabei verwendet man als Modellwerkstoff Naphthalin und/oder p-Dichlorbenzol entweder allein oder in Kom-bination mit mindestens einem Polymerisat auf Vinyl-basis.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Herstellen von Feingussteilen, bei dem man ein ausschmelzbares Modell des Feingussteiles durch Ausfüllen einer Matritze mit einem wärmeschmelzbaren Modellwerkstoff herstellt, das Modell mit mindestens einem Überzug zur Bildung einer hitzebeständigen Formschicht versieht und dann aus der Formschicht durch Erwärmung vollständig und rückstandsfrei herauschmilzt, die nunmehr eine keramische, stabile und einstückige Gussform bildende Formschicht ungefähr auf die Temperatur des geschmolzenen Giess-Metalls vorerhitzt und im heissen Zustand abgiesst, und schliesslich nach dem Erkalten das fest gewordene Metall als Feingussteil aus der Gussform entfernt, dadurch gekennzeichnet, dass man als Modellwerkstoff Naphthalin und/oder p-Dichlorbenzol entweder allein oder in Kombination mit mindestens einem Polymerisat auf Vinylbasis verwendet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass man als Polymerisat Polystyrolharz, ein Äthylen-Vinylazetat-Kopolymerisat und/oder Polyäthylenharz verwendet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass man den Modellwerkstoff schmilzt und mit einer Giessgeschwindigkeit im Bereich von 0,1 kg/sec bis 5 kg/sec in die Matritze giesst.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass man zur Bildung der Formschicht auf dem Modell mit mehrmaliger Wiederholung zuerst einen Überzug aus hitzebeständigem Material und darauf hitzebeständigen Pulverstoff aufbringt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass man jeden Überzug aus einer hitzebeständigen Aufschlammung (Schlicker) herstellt.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass man das Modell in ein Bad mit der hitzebeständigen Aufschlammung eintaucht, anschliessend einer Behandlung mit Sand unterzieht und diese beiden Arbeitsschritte mehrfach wiederholt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass man das Modell vor dem vollständigen Heraus-schmelzen aus der Formschicht zur Bildung eines schmalen Spaltes zwischen dem Modell und der Formschicht vorläufig anschmilzt, indem man das Modell an der Oberfläche mit dem Dampf eines organischen Lösungsmittels auflöst.

8. Verfahren nach Unteranspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass man als organisches Lösungsmittel einen Chlorkohlenwasserstoff verwendet, wobei das Anschmelzen in Berührung mit dem Lösungsmitteldampf durch die aus dem verdampften und wieder kondensierenden Lösungsmittel freigesetzte latente Wärme erfolgt.

9. Verfahren nach Unteranspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass man als Chlorkohlenwasserstoff 1,1,1-Trichloräthan, 1,1,2-Trichloräthylen und/oder 1,1,2,2-Tetrachloräthylen verwendet.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass man das vollständige Heraus-schmelzen in einem Ofen bei einer Temperatur im Bereich von 350 bis 450° Celsius durchführt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass man die Vorerhitzung in einem Brennofen bei einer Temperatur im Bereich von 500 bis 1100° Celsius ausführt.

mensionaler Struktur, z. B. von Schiffsschrauben, mittels Feinguss- oder Präzisionsgussformen.

Bekanntlich ist der Präzisions- oder Feinguss ein Verfahren, das schon seit vielen hundert Jahren zum Giessen von Teilen komplexer Gestalt angewandt wird [s. z. B. Lueger, Lexikon der Technik, Band 8 (1967), S. 234]. In jüngerer Zeit wird es auch zum Giessen von Teilen eingesetzt, die zwar eine relativ einfache Form oder Gestalt haben, jedoch mit grosser Masshaltigkeit gegossen werden sollen, um anschliessende spanabhebende Bearbeitungen, die den Verlust teuren Werkstoffes bedeuten und ausserdem zu Änderungen der Eigenschaften mindestens an der Oberfläche eines Gussteiles führen können, überflüssig zu machen. Üblicherweise wird beim Feinguss ein verlorenes Modell entweder direkt oder unter Verwendung eines festen Urmodells aus Wachs, aus Polystyrol oder aus einer Substanz mit vergleichbaren Eigenschaften hergestellt. Das Modell wird anschliessend in eine Aufschlammung aus hitzebeständigem Material getaucht und in der Regel nach dem Tauchen mit Sand bestreut, wodurch ein hitzebeständiger Überzug auf dem Modell entsteht. Danach wird das Modell mit Hinterfüllungsmasse, z. B. mit trockenem Sand, umschüttet und so eine Feingussform in der Hinterfüllung gebildet. Nach dem Trocknen der Feingussform wird der Modellwerkstoff, z. B. das Wachs, geschmolzen und dadurch aus der Form entfernt. Diese wird dann auf eine zum Abgiessen mit einem bestimmten Metall oder einer bestimmten Legierung geeignete Temperatur vorerhitzt und im heissen Zustand abgegossen. Nach dem Erkalten und Festwerden des Giess-Metalls wird die Gussform entfernt.

Da die Gestalt eines Gussteiles durch ein einstückiges Modell bestimmt wird, lässt sich eine sehr viel grössere Präzision als bei solchen Gussverfahren erzielen, bei denen verschiedene Teile eines Gussteiles durch separate Modelle oder Modell-Teile definiert werden. Aus diesem Grunde wird der Feinguss regelmässig z. B. in der Luftfahrtindustrie benutzt. Allerdings wurde es bisher als sehr schwierig, wenn nicht unmöglich angesehen, Gussformen herzustellen, deren Festigkeit für das Giessen grosser Teile ausreicht. Deshalb ist der Feinguss in der Luftfahrtindustrie, aber auch in anderen Industrien, praktisch ausschliesslich auf die Herstellung kleiner Teile beschränkt.

Für den Präzisionsguss grosser Teile, z. B. der Schaufeln von Generatorturbinen, die eine Länge zwischen 40 cm und 140 cm und ein Gewicht zwischen 1 kg und 70 kg haben, oder von Schiffsschrauben mit einem Durchmesser in der Grössenordnung von 200 cm und einem Gewicht der Grössenordnung von 250 kg, ist ein Verfahren bekannt, bei dem eine zweiteilige Form, z. B. eine Nassgussform, eine Gellierform oder eine Keramikschaalenform, auf ein Modell aufgedrückt, dann vom Modell abgenommen, wieder zusammengesetzt und schliesslich verfestigt wird, z. B. das Shaw-Verfahren und dessen Abwandlungen. Jedoch besteht bei diesem Verfahren die Form aus mindestens zwei Teilen, die unter sehr genauer Einhaltung der gegenseitigen Lage zusammengesetzt und dann zusammengeklemt werden müssen. Abgesehen davon, dass das Zusammenfügen der beiden Formhälften einen besonderen Arbeitsschritt darstellt, hat es sich als schwierig erwiesen, beim Zusammenfügen die notwendige Genauigkeit stets einzuhalten. Gussteile, deren Passtücke häufig überstehende Vorsprünge aufweisen, müssen deshalb gewöhnlich noch spanabhebend bearbeitet werden, was eine Verschwendung von Material bedeutet und bei manchen Materialien, z. B. bei rostfreiem Stahl, mit der benötigten Genauigkeit überhaupt nur sehr schwierig durchzuführen ist.

Bekanntlich ändert sich aufgrund hydrodynamischer Erwägungen die Dicke der Flügel von Schiffsschrauben in der

Die Erfindung betrifft den Präzisions- oder Feinguss, und zwar insbesondere die Herstellung von Profilteilen dreidi-

Richtung ihrer Längsachse. Wenn eine derartige Schiffsschraube auf übliche Weise gegossen wird, kann es passieren, dass das Giess-Metall in der Form nur mangelhaft ausläuft und die Form nicht vollständig ausfüllt, da die verwendete Nassform einen relativ niedrigen Widerstand besitzt, wodurch die Temperatur begrenzt wird, auf welche sich die Form während des Abgiessens erhitzen lässt. Diese Gefahr ist insbesondere dann gegeben, wenn anstatt einer Kupferlegierung rostfreier Stahl zur Erhöhung der Festigkeit und der Widerstandsfähigkeit gegenüber Abnutzung und Korrosion verwendet wird. In letzterem Fall können ausserdem Gasblasen und andere Fehler an der Oberfläche des Stahl-Gussteiles entstehen. Aufgrund dieser Fehler zusammen mit dem Umstand, dass gute Masshaltigkeit eines Gussteiles nicht garantiert werden kann, weist ein Gussteil bisher stets zusätzliches, an sich überflüssiges Material, die sog. Bearbeitungszugabe, auf, das durch eine spanabhebende Bearbeitung entfernt werden muss und deshalb die Herstellungskosten einer Schiffsschraube erhöht.

Die genannten Nachteile treten nicht nur bei der Herstellung von Schiffsschrauben, sondern auch bei der Herstellung ähnlicher grosser Teile komplexer Gestalt auf, z. B. bei der Herstellung der Schaufeln von grossen Vorverdichter-Turbinen, Kompressoren oder Kondensatoren.

Beim üblichen Feingussverfahren ist es wegen der Eigenschaften des verwendeten Modellwerkstoffes notwendig, relativ grosse und komplizierte Spritzgussmaschinen zum Einspritzen des wärmeschmelzbaren Modellwerkstoffes einzusetzen. Mit Ausnahme derjenigen Fälle, in denen das Modell aus wärmeschmelzbarem Werkstoff manuell durch Gravieren mechanisch herausgearbeitet werden kann, wird für eine Produktion im industriellen Massstab gewöhnlich eine geteilte Matrize aus einer Metallegierung zur Herstellung des Modells verwendet. Hierbei müssen die Matrizen-Hälften durch Spanabhebung oder andere Weise genau feinbearbeitet und dann zur Bildung einer Form zusammengeklebt werden, in welche der wärmeschmelzbare Werkstoff mittels der Spritzgussmaschine eingespritzt wird. Der Einsatz einer Spritzgussmaschine führt jedoch zu erhöhten Herstellungskosten, da die geteilte Matrize, die die gewünschte Gestalt des Gussstückes definiert, mit grosser Festigkeit hergestellt sein muss, um dem hohen Druck, mit dem der eingespritzte Modellwerkstoff einströmt, widerstehen zu können. Wenn der Formraum einen Kern enthalten muss, sind ausserdem spezielle Massnahmen notwendig, um sicherzustellen, dass der Kern durch den mit Druck eingespritzten Modellwerkstoff nicht bewegt wird. Die komplizierten Massnahmen, die notwendig sind, damit der Kern mit Sicherheit beim Einspritzen in der richtigen Position verbleibt, führen häufig zu einer Verzögerung der Herstellung.

Entsprechend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein verschiedene Nachteile bekannter Gussverfahren vermeidendes Verfahren zum Feingiessen von Profiltteilen dreidimensionaler Struktur, z. B. von Schiffsschrauben, Flügelrädern, Leiträdern, Kondensatoren, Turbinenschaukeln od. dgl., zu schaffen, das ohne die Anwendung komplizierter Gussvorgänge und ohne Bindung an bestimmte Werkstück-Grössen oder bestimmte Guss-Werkstoffe die Herstellung solcher Teile mit einer sehr hohen, beim Giessen selbst erreichten Masshaltigkeit und mit einer glatten Giessoberfläche erlaubt. Hierbei soll das Verfahren leicht durchführbar sein und mit vergleichsweise niedrigen Kosten für die Formherstellung auskommen.

Ausgehend von einem Verfahren zum Herstellen von Feingussteilen, bei dem man ein ausschmelzbares Modell des Feingussteiles durch Ausfüllen einer Matritze mit einem wärmeschmelzbaren Modellwerkstoff herstellt, das Modell mit mindestens einem Überzug zur Bildung einer hitzebe-

ständigen Formschrift versieht und dann aus der Formschrift durch Erwärmung vollständig und rückstandsfrei herauschmilzt, die nunmehr eine keramische, stabile und einstückige Giessform bildende Formschrift ungefähr auf die Temperatur des geschmolzenen Giess-Metalls vorerhitzt und im heissen Zustand abgiesst, und schliesslich nach dem Erkalten das festgewordene Metall als Feingussteil aus der Gussform entfernt, ist diese Aufgabe erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass man als Modellwerkstoff Naphthalin und/oder p-Dichlorbenzol entweder allein oder in Kombination mit mindestens einem Polymerisat auf Vinylbasis verwendet.

Vorzugsweise wird bei dem neuen Verfahren der Modellwerkstoff geschmolzen und dann mit einer Giessgeschwindigkeit im Bereich von $0,1 \text{ kg/sec}^{-1}$ bis 5 kg/sec^{-1} in die Matritze eingegossen.

Zur Bildung der keramischen Formschrift auf dem Modell wird zweckmässigerweise mit mehrmaliger Wiederholung zuerst ein Überzug aus hitzebeständigem Material und darauf hitzebeständiger Pulverstoff aufgebracht.

Nach dem erfindungsgemässen Feingussverfahren lassen sich in einfacher Weise verschiedenartige Profiltteile dreidimensionaler Struktur, insbesondere Schiffsschrauben, mit grosser Massgenauigkeit und Oberflächengüte giessen.

Gemäss einer wichtigen Weiterbildung der Erfindung wird das Modell vor dem vollständigen Herausschmelzen aus der Formschrift zur Bildung eines schmalen Spaltes zwischen dem Modell und der Formschrift vorläufig angeschmolzen, indem man das Modell an der Oberfläche mit dem Dampf eines organischen Lösungsmittels auflöst.

Durch den Spalt werden Belastungen der Formschrift, die das Modell zuerst allseits umschlossen hat, und entsprechende Rissbildungen in Teilen der Formschrift aufgrund einer Ausdehnung des Modells beim weiteren Herausschmelzen vermieden, so dass schliesslich eine Formschrift oder Formschale als Gussform zurückbleibt, deren vorher vom Modell ausgefüllter Hohlraum dem Modell und damit dem vom Modell nachgebildeten, herzustellenden Feingussteil in besonders guter und genauer Weise in allen Einzelheiten entspricht.

Im folgenden ist die Erfindung mit weiteren vorteilhaften Einzelheiten anhand eines schematisch dargestellten, die Herstellung einer Schiffsschraube betreffenden Ausführungsbeispiels näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 einen Querschnitt durch ein ausschmelzbares Modell einer Schiffsschraube, das mit einer keramischen Formschrift überzogen ist,

Fig. 2 einen Querschnitt durch eine Heizeinrichtung zur Entfernung des wärmeschmelzbaren Modellwerkstoffes, dargestellt in einer Phase des vorläufigen Anschmelzens des Modells nach Fig. 1,

Fig. 3 einen Fig. 2 gleichenden Querschnitt, dargestellt in einer Phase des vollständigen Herausschmelzens des Modells,

Fig. 4 einen Querschnitt durch eine für die weitere Bearbeitung positionierte Gussform nach der Entfernung des ausschmelzbaren Modells,

Fig. 5 einen Fig. 4 gleichenden Querschnitt durch die eine Schiffsschraube definierende, in einem Formkasten angeordnete Gussform unmittelbar vor dem Abgiessen.

Die folgende Beschreibung bezieht sich, wie gesagt, auf das Giessen einer Schiffsschraube. Selbstverständlich lässt sich das erfindungsgemässe Verfahren gleichermassen gut auch zum Giessen anderer Profiltteile dreidimensionaler Struktur, z. B. von Schaufelrädern, Leiträdern, Kondensatoren, Turbinenschaukeln und dergleichen, anwenden.

In Fig. 1 ist ein wärmeschmelzendes Modell 1 gezeigt, welches eine Schiffsschraube oder ein ähnliches Bauelement zeigt, das unter Anwendung des erfindungsgemässen Verfah-

rens gegossen werden soll. Das Modell 1 ist mit einer keramischen Formschale bzw. -schicht 2 geeigneter Dicke überzogen.

Das wärmeschmelzbare Modell 1 kann nach irgendeinem bekannten entsprechenden Verfahren hergestellt sein, wie es z. B. beim Feinguss oder einem ähnlichen Prozess angewandt wird. Vorzugsweise wird jedoch im Rahmen des erfindungsgemässen Verfahrens eine Modellform bzw. Matrize verwendet, die aus Gips hergestellt ist und zwei Hälften umfasst, wobei Teile, die dünnen Teilen eines nicht gezeigten Schiffsschrauben-Urmodells entsprechen, Hohlräume definieren. Die Proportionen dieser Gips-Matrize sind unter Berücksichtigung des Schwundes, den das Giess-Modell erleidet, und des zur Herstellung eines fertig bearbeiteten Teiles zu entfernenden Materials festgelegt.

Da eine Schiffsschraube ein Loch für ihre Befestigung auf einer Antriebswelle aufweisen muss, ist ein solches Loch im Modell der Schiffsschraube vorgesehen. Aus später klar werdenden Gründen kann im Urmodell eine Ausnehmung vorgesehen sein, die dem Wellenloch entspricht.

Bevor der wärmeschmelzbare Modellwerkstoff, auf dem das Modell 1 besteht, in den Innenraum zwischen den beiden zusammengeklammerten Hälften der geteilten Matrize bzw. Modellform eingegossen wird, wird in der Matrize ein Kern 3 angeordnet, der ein Loch für die Schiffsschrauben-Antriebswelle definiert und am Boden mit einem Flansch 4 versehen ist.

Anschliessend wird der wärmeschmelzbare Modellwerkstoff, nachdem er durch Erhitzen auf 85 °C flüssig gemacht worden ist, in die Matrize eingegossen. Der Modellwerkstoff hat eine später zu erläuternde Zusammensetzung. Die Eigenschaften des in die Matrize eingegossenen Modellwerkstoffes erübrigen die Verwendung einer Spritzgussmaschine. Dies bedeutet nicht, dass im Rahmen des erfindungsgemässen Verfahrens unter allen Umständen keine Spritzgussmaschine zur Anwendung kommt. Jedoch genügt gegebenenfalls, selbst beim Giessen vergleichsweise grosser Teile, eine Spritzgussmaschine relativ einfacher Konstruktion.

Ein besonders zu erwähnendes Merkmal des erfindungsgemässen Verfahrens ist die Geschwindigkeit, mit welcher der Modellwerkstoff in die Matrize gegossen wird. Ein bevorzugter wärmeschmelzbarer Modellwerkstoff, der beim erfindungsgemässen Verfahren angewendet wird, ist ein Naphthalin-Werkstoff. Obwohl ein solcher Werkstoff viele Vorteile hat, wurde festgestellt, dass seine Verwendung im Rahmen konventioneller Verfahren zu Löchern an der Oberfläche und zu örtlicher Porosität des erzeugten Modells führt. Für die Erfindung vorgenommene Untersuchungen haben gezeigt, dass der wesentliche Grund für derartige Fehler darin zu sehen ist, dass sich während des Giessvorganges erzeugter Dampf an der Wandung der Matrize niederschlägt. Weitere Untersuchungen haben zu dem Ergebnis geführt, dass dies dadurch vermieden werden kann, dass man die Giessgeschwindigkeit im Bereich zwischen 0,1 kg.sec⁻¹ bis 5 kg.sec⁻¹ hält. Wenn der flüssige Modellwerkstoff mit einer Geschwindigkeit in die Matrize gegossen wird, die grösser als 5 kg.sec⁻¹ ist, treten Wirbel auf, und es wird Luft an der Matrizenoberfläche eingeschlossen. Dies führt zu Oberflächenrauigkeit des fertigen Modells. Ausserdem besteht bei Verwendung eines Ausformungs- bzw. Auslösungsmittels die Neigung, dass dieses fortgewaschen oder entfernt wird, wodurch dann die Trennung des Modells von der Matrize schwierig wird. Wenn andererseits die Giessgeschwindigkeit kleiner als 0,1 kg.sec⁻¹ ist, entsteht örtliche Porosität. Ausserdem kann der eingegossene Modellwerkstoff sehr leicht übermässig abkühlen, bevor neuer Werkstoff nachgegossen wird, wodurch stufige Streifen oder Zonen an der Oberfläche des Modells entstehen und die geforderte Masshaltigkeit

nicht erreicht werden kann. Wird jedoch die Giessgeschwindigkeit im genannten Bereich von 0,1 kg.sec⁻¹ bis 5 kg.sec⁻¹ gehalten, erhält man Modelle mit sehr guter Masshaltigkeit und glatter Oberfläche.

Nach dem Eingiessen in die Matrize lässt man den Modellwerkstoff sich verfestigen, wonach er als Modell 1 der geteilten Matrize entnommen werden kann. Das entnommene Modell 1 enthält noch den Kern 3.

Als wärmeschmelzbaren Modellwerkstoff verwendet man Naphthalin und/oder p-Dichlorbenzol entweder allein oder in Kombination mit mindestens einem Polymerisat auf Vinylbasis. Vorzugsweise wird das Gesamtgewicht an Naphthalin im Bereich zwischen 0,5% bis 10% gehalten, wenn eine Mischung aus Naphthalin und Polystyrolharz verwendet wird, im Bereich zwischen 1% bis 5%, wenn eine Mischung aus Naphthalin und einem Äthylen-Vinylacetat-Kopolymerisat verwendet wird, und im Bereich zwischen 3% bis 10%, wenn eine Mischung aus Naphthalin und Polyäthylenharz verwendet wird.

Die Eigenschaften von Naphthalin und Styrol-Naphthalin, d. h. einer Mischung aus Naphthalin und Polystyrolharz, sind in der Tabelle 1 am Schluss der Beschreibung wiedergegeben. Zu Vergleichszwecken sind die Eigenschaften typischer üblicher Wachse in Tabelle 2 am Schluss der Beschreibung dargestellt. Beim Vergleich der Werte aus diesen beiden Tabellen erkennt man, dass durch Zusatz von Polystyrol die Biegefestigkeit erhöht wird.

Nach Fertigstellung des ausschmelzbaren Modells 1 wird es mit einer hitzebeständigen, keramischen Formschicht 2 umformt, indem wiederholt mit einer bestimmten, sich nach der gewünschten Festigkeit der Formschicht 2 richtenden Häufigkeit Überzüge aufgebracht und Sand aufgestreut wird. Beispielsweise wird das Überziehen und das Aufstreuen von Sand abwechselnd sechs- bis siebenmal wiederholt, wenn später eine Schiffsschraube mit einem Durchmesser von 400 mm gegossen werden soll, und zehn- bis zwölfmal, wenn später eine Schiffsschraube mit einem Durchmesser von 1200 mm gegossen werden soll. Das Modell 1 wird von der Formschicht 1 vollständig umschlossen mit Ausnahme einer Öffnung 10, die bei einem Schiffsschrauben-Modell auf der bezüglich des Kernes 3 gegenüberliegenden Seite des Modells angeordnet ist.

Das jeweilige Aufstreuen von Sand dient zur Verfestigung der keramischen Formschicht 2. Es wird zweckmässigerweise ein Trockensand verwendet, z. B. ein Aluminiumsand oder als wärmeschmelzbares Silika-Material, das im Fliessbett aufgetragen oder auf die Formschicht aufgeblasen oder aufgegossen werden kann.

Nach Abschluss der notwendigen Anzahl von Zyklen aus Überziehen und Aufstreuen von Sand wird der im Modell 1 steckende Kern 3 mechanisch festgehalten, und zwar mit seinem Flansch 4 an der Formschicht 2, so dass sichergestellt ist, dass der Kern 3 bei dem anschliessenden Ausschmelzen des Modells 1 aus der Formschicht 2 an seinem Platz verbleibt.

Nach Abschluss des letzten Zyklus aus Überziehen und Bestreuen mit Sand werden zwei Arbeitsschritte ausgeführt, bei denen das Modell 1 vorläufig angeschmolzen und dann vollständig ausgeschmolzen wird, so dass in der Formschicht 2 ein mittlerer Hohlraum entsprechend der Gestalt der zu giessenden Schiffsschraube verbleibt. Der erste dieser Arbeitsschritte wird in einem Anschmelzofen 5 ausgeführt, der in Fig. 2 gezeigt ist.

Gemäss Fig. 2 ist quer in einem unteren Teil des Anschmelzofens 5 eine horizontale Trennwand 6 vorgesehen, welche im untersten Teil des Anschmelzofens 5 eine Heizkammer 7 definiert. Die Heizkammer 7 ist mit einem Fluid, z. B. Öl, gefüllt. Ein elektrisches Heizrohr 8, dem Spannung

über eine Zuleitung 9 zugeführt wird, ist an einem unteren Seitenwandabschnitt des Anschmelzofens 5 angebracht und ragt in die Heizkammer 7 hinein. Beim Anlegen von Spannung wird daher das Fluid in der Heizkammer 7 vom Heizrohr 8 erwärmt, ausserdem auch die Trennwand 6.

Das mit der Formschicht 2 bedeckte Modell 1 wird mittels Stützen 11 im Anschmelzofen derart gehalten, dass die vom Überzug freie Öffnung 10 nach unten weist. Dadurch kann der geschmolzene Modellwerkstoff auf die Trennwand 6 fallen, auf welcher er dann eine Schicht 12 bildet. Um den Modellwerkstoff aufzulösen, wird der Anschmelzofen 5 mit einer geeigneten Menge eines organischen Lösungsmittels in Form eines Äthylenkohlenwasserstoffs oder eines Chlorkohlenwasserstoffs beschickt, z. B. 1,1,1-Trichloräthan ($\text{CH}_3\text{-CCl}_3$), 1,1,2-Trichloräthan ($\text{CHCl} = \text{CCl}_2$) oder 1,1,2,2-Tetrachloräthylen ($\text{Cl}_2\text{C} = \text{CCl}_2$).

Eigenschaften verschiedener nach der Erfindung zur Anwendung kommender Lösungsmittel sind in Tabelle 3 am Schluss der Beschreibung wiedergegeben.

Damit keine unnötig grosse Menge Lösungsmittel benötigt wird, und um eine Luftverunreinigung zu vermeiden, sind um den oberen Teil der Innenwand des Anschmelzofens 5 herum Kühlrohre 13 vorgesehen. Durch diese wird kalte Luft oder ein anderes kaltes Fluid mittels äusserer, an sich bekannter und deshalb nicht gezeigter Einrichtungen umgewälzt. Wenn bei dieser Anordnung der Dampf des Lösungsmittels in den oberen Teil des Anschmelzofens 5 aufsteigt, wird er dort von den Kühlrohren 13 gekühlt und bildet Tropfen 14, die aufgrund ihres gegenüber Luft höheren Gewichtes, vgl. Tabelle 3, an der Innenwand des Anschmelzofens 5 herunter laufen und so als Lösungsmittel wieder gewonnen werden.

Der wärmschmelzbare Modellwerkstoff wird durch die latente Wärme des kondensierenden bzw. sich wieder verflüssigenden Lösungsmittels geschmolzen und ausserdem durch den Dampf des Lösungsmittels aufgelöst. Gleichzeitig tritt der Lösungsmittel-Dampf durch Mikro-Poren der keramischen Formschicht 2 hindurch, so dass auch die Formschicht durch die latente Wärme erhitzt wird, die bei der Verflüssigung dieses Dampfes frei wird. Es ist unzweckmässig, das Modell 1 mit seiner Formschicht 2 für längere Zeit im Anschmelzofen 5 zu belassen, nachdem die Verdampfung des Lösungsmittels begonnen hat. Nachdem so viel des Modellwerkstoffs aufgeschmolzen ist, dass ein Zwischenraum oder Spalt 3a von mehreren Millimetern Dicke zwischen der Aussenfläche des Modells 1 und der Innenfläche der Formschicht 2 entstanden ist, wird das Modell 1 mit der Formschicht 2 aus dem Anschmelzofen 5 entfernt und zu einem Ausschmelzofen 15 transportiert.

Gemäss Fig. 3 wird das Modell mit der Formschicht im Ausschmelzofen 15 mit der Öffnung 10 nach unten weisend von Stützen 20 gehalten, die die gleiche Ausbildung wie die Stützen 11 im Anschmelzofen 5 haben. Mittels Luft wird es auf eine Temperatur von 350 bis 450 °C erwärmt. Die Luft wird mittels eines Hochdruck-Brenners 16 über ein oder mehrere Rohre 17 in das Innere des Ausschmelzofens 15 geleitet. Die Einleitung der heissen Luft in den Ausschmelzofen 15 erfolgt vorzugsweise in einer solchen Richtung, dass die Luft aus dem Rohr oder den Rohren 17 nicht unmittelbar auf das Modell mit der Formschicht geblasen wird. Der Ausschmelzofen 15 ist oben geschlossen; die Luft kann aus dem Ausschmelzofen 15 über geeignete, nicht gezeigte Kanäle austreten.

Der geschilderte zweistufige Ausschmelz-Vorgang beim erfindungsgemässen Verfahren ist hinsichtlich der Masshaltigkeit der Gussteile sehr günstig. Zwar kann eine Rissbildung in der keramischen Formschicht auch bei den bekannten Verfahren zum Ausschmelzen eines Modells vermieden

werden, bei denen das Modell mit der Formschicht in kochendes Wasser getaucht oder vom Beginn des Vorgangs an mit einem Heissluftstoss auf eine Temperatur im Bereich zwischen 350 und 450 °C erwärmt wird. Beim ersten Verfahren führt das lange Eintauchen zu einer Schwächung des Bindematerials und zu einer entsprechenden ungewollten Verformung der Formschicht oder Form, während es beim zweiten Verfahren schwierig ist, den Wärmetransportweg von der Wellennuss der Schiffsschraube zu den Flügelspitzen oder -kanten zu steuern. Wenn ausserdem der Modellwerkstoff einen hohen Zusatz von Polystyrol enthält, z. B. 3% oder mehr, kann es aufgrund der Tatsache, dass dieser Werkstoff sich vor dem Schmelzen ausdehnt, zu einem Brechen grosser Teile der Form dort kommen, wo diese die Flügelkanten definiert.

Beim erfindungsgemässen Verfahren sind diese Probleme jedoch vermieden, da sich der Modellwerkstoff beim ersten Schritt des vorläufigen Anschmelzens praktisch nicht ausdehnt, weil das Anschmelzen bei einer niedrigen Temperatur stattfindet und nur kurz zu dauern braucht. Es genügt, einfach einen Spalt 3a in der Grössenordnung von 0,5 bis 1 mm zwischen dem Modellwerkstoff und dem Inneren der Formschicht zu erzeugen, um sicherzustellen, dass die thermische Ausdehnung bei dem anschliessenden vollständigen Ausschmelzen keine nachteiligen Auswirkungen hat.

Das Ausschmelzen des Modellwerkstoffes im Ausschmelzofen 15 führt zum Erhalt einer hohlen keramischen Formschicht, die eine Gussform 2a darstellt. Um alle Feuchtigkeit oder restlichen Modellwerkstoff zu entfernen, der an der Innenfläche der Gussform 2a hängengeblieben sein kann, und um ausserdem die Gussform 2a fest und stabil zu machen, wird die Form 2a für eine bestimmte Zeit in einem Brennofen 22 auf einer Temperatur zwischen 500 und 1100 °C gehalten. Gemäss Fig. 4 besitzt der Brennofen 22 Stahlwände, welche innen mit einer feuerfesten Auskleidung 23 versehen sind. In der Mitte der unteren Wand ist ein Ständer 24 vorgesehen, auf welchem die Form 2a so abgestützt ist, dass sich der Wellennuss-Teil unten befindet und die Öffnung 10 nach oben weist. Damit eine sichere Auflage der Gussform 2a gewährleistet ist, ist der Ständer 24 an der Oberseite flach. Im Ständer 24 sind Düsen 27 ausgebildet, die eine Verbindung zwischen dem Inneren des Brennofens 22 und einem Hochdruckbrenner 25 herstellen, der unter dem Ständer 24 und ausserhalb des Hauptkörpers des Brennofens 22 vorgesehen ist und der Gas über eine Leitung 26 erhält. Bei Betätigung des Hochdruckbrenners 25 wird so die Gussform 2a einem Heissluftstoss bzw. -strom ausgesetzt, durch den Wasser und andere Werkstoffrückstände vollständig beseitigt werden. Im Brennofen 22 wird die Gussform 2a nicht nur getrocknet, sondern auch auf eine Temperatur vorerhitzt, die soweit wie möglich der Temperatur des geschmolzenen Giess-Metalls angenähert ist, mit dem die Gussform anschliessend abgegossen wird. Beispielsweise wird die Gussform 2a im Brennofen 22 für ungefähr drei Stunden gehalten, wenn die Gussform auf eine Temperatur im Bereich zwischen 400 °C und 700 °C vorerhitzt werden muss.

Im Anschluss an obigen Vorgang wird die Gussform 2a in einem Formkasten 28 z. B. gemäss Fig. 5 so angeordnet, dass ihre Öffnung nach oben weist und nun einen Giesstrichter 10a darstellt. Jetzt wird die Gussform 2a mit Stahlsand, Chromitsand, Zirkonsand oder einem ähnlichen Trockensand 29 hinterfüllt, wobei lediglich der Giesstrichter 10a so frei gelassen wird, dass er über den Trockensand 29 hinaussteht. Der hinausstehende Abschnitt wird mit einem Isoliermaterial 30, beispielsweise aus keramischer Faser, umwickelt.

In dem in Fig. 5 gezeigten Zustand ist die Gussform 2a für den Abguss mit geschmolzenem Giess-Metall bereit. Einer der wesentlichen Vorteile des erfindungsgemässen Verfahrens besteht darin, dass als Giess-Metall Edelstahl bzw. rostfreier Stahl verwendet werden kann. Obwohl in jüngerer Zeit gelegentlich Werkstoffe wie z. B. Aluminium-Bronze anstelle hochfesten Messings (HBs C-1) verwendet werden, das früher der Hauptwerkstoff zur Herstellung von Schiffsschrauben war, gibt es bis heute keine Möglichkeit, rostfreien Stahl wirtschaftlich zu verarbeiten. Dies hat seinen Grund darin, dass gewöhnlich die sogenannten Drehbett-Formverfahren mit Kohlendioxyd- oder Nassguss-Formen Anwendung finden und es hierbei wegen Problemen mit dem Verlauf und wegen anderer Einflüsse notwendig ist, eine Bearbeitungszugabe von 2 bis 3 mm für eine spanabhebende Bearbeitung nach dem Giessen zu belassen. Das ist für übliche Kupferlegierungen, die vergleichsweise billig und leicht spanabhebend bearbeitet werden können, keine zu grosse Menge, jedoch für rostfreien Stahl, da dieser nur mit Schwierigkeiten spanabhebend bearbeitet werden kann und ausserdem teuer ist. Im Ergebnis bedeutet dies, dass bei Anwendung konventioneller Verfahren der Guss von Schiffsschrauben in rostfreiem Stahl drei- bis fünffach teurer als bei Verwendung von Kupferlegierungen ist. Mit dem erfindungsgemässen Verfahren wird jedoch eine extrem hohe Oberflächengüte und eine sehr enge Toleranzeinhaltung erzielt, und zwar selbst wenn rostfreier Stahl zum Guss von Schiffsschrauben verwendet wird. Die Materialmenge, die nach dem Giessen entfernt werden muss, liegt nur in der Grössenordnung von 0,3 mm. Mit anderen Worten bietet die Erfindung den Vorteil, dass hinsichtlich der Gesamtkosten der Herstellung nur ein kleiner Unterschied zwischen der Verwendung von rostfreiem Stahl und der Verwendung von Kupferlegierungen zur Herstellung von Schiffsschrauben besteht. Mit anderen Worten lassen sich Schiffsschrauben in einfacher und wirtschaftlicher Weise aus rostfreiem Stahl herstellen, der für Schiffsschrauben den Kupferlegierungen weit überlegen ist.

Beispiele geeigneter Arten und Zusammensetzungen von rostfreien Stählen, die für die Herstellung von Schiffsschrauben verwendbar sind, zeigt die Tabelle 4 am Schluss der Beschreibung. Es wurde festgestellt, dass es bei Anwendung des erfindungsgemässen Verfahrens keinen Einfluss auf die Gussoberfläche hatte, ob von oben oder von unten abgegossen wurde. Jedoch wird das Abgiessen von oben vorgezogen, da es hinsichtlich der Herstellung der Formen Vorteile bildet. Wenn eine Giessbohrung verwendet wird, weist das fertige Gussstück nur äusserst wenig Schlacke-Einschlüsse auf. Unter dem Gesichtspunkt eines leichten Abgiessens wird am besten unter Verwendung eines Tüllen-Giesslöffels ein vorläufiger Abguss und dann ein Fertig-Abguss vorgenommen.

Im Anschluss an den Abguss lässt man die Gussstücke abkühlen. Dann werden in bekannter Weise Steiger abgeschnitten sowie spanabhebende Bearbeitungen und Endbearbeitungen vorgenommen, um die fertigen Schiffsschrauben zu erhalten.

Im Gegensatz zu den durchschnittlichen Werten von 50 bis 150 µm der Oberflächenrauheit von Schiffsschrauben, die in üblichen Sandformen gegossen wurden, haben Schiffsschrauben, die gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren aus rostfreiem Stahl 18-8 gegossen wurden, eine sehr geringe Oberflächenrauheit im Bereich von 5 bis 15 µm. Dank dessen ist eine Endbearbeitung nur in kleinem Ausmass notwendig und der Zeit- und Kostenaufwand für die Herstellung einer fertigen Schiffsschraube entsprechend niedrig.

Einzelne Beispiele der guten, mit der Erfindung zu erzielenden Ergebnisse sind in der Tabelle 5 wiedergegeben,

die die Guss-Abmessungen von Schiffsschrauben zeigt, die nach der Erfindung gegossen wurden.

Zur weiteren Veranschaulichung der Vorteile der Erfindung gibt die Tabelle 6 am Schluss der Beschreibung einen Vergleich der Schiffsschrauben-Flügelsteigung, die mit dem üblichen Nassguss erzielt wird, mit derjenigen, die bei Anwendung der Erfindung erzielt wird.

Im Idealfall sind die Abmessungen vom ersten bis zum dritten Flügel die gleichen. In der Praxis bestehen jedoch unvermeidlich Unterschiede in der Dimension oder Steigung zwischen den Flügeln. Anhand der Tabelle 6 erkennt man, dass dieser Unterschied bei in üblicher Weise gegossenen Schiffsschrauben gross ist, während er bei Schiffsschrauben, die nach dem erfindungsgemässen Verfahren gegossen wurden, klein ist. Mit anderen Worten ermöglicht es die Erfindung, Schiffsschrauben herzustellen, die mit hoher Drehzahl betrieben werden können und trotzdem nur sehr geringe Schwingungen erleiden.

Es folgt die Angabe eines speziellen Beispiels der Herstellung einer Schiffsschraube aus rostfreiem Stahl unter Anwendung des erfindungsgemässen Verfahrens.

1. Abmessungen der Schiffsschraube

Durchmesser 810 mm.

Flügelflächenverhältnis 45%.

Gewicht 15 kg.

Flügel-Anzahl 3.

2. Herstellungsschritte

a) Unter Berücksichtigung von Schwund und Bearbeitungszugabe gegenüber dem fertigen Produkt mit den benötigten Abmessungen wurde eine Gips-Matrize angefertigt.

b) Naphthalin wurde bei einer Temperatur von 85 °C geschmolzen, es wurde 1% Polystyrol zugegeben und darin geschmolzen, und es wurde diese Mischung in die Gips-Matrize zur Bildung eines Modells gegossen.

c) Nach dem Aushärten des Modells wurde es aus der Matrize befreit und dann auf Raumtemperatur abgekühlt.

d) Das Schiffsschrauben-Modell wurde überzogen, indem es in eine Aufschlammung getaucht wurde, die aus Silika-Puder bestand, der vollständig in kolloidales Silika eingemischt war, und wurde dann im noch nassen Zustand mit Silika-Körnern bestreut und anschliessend getrocknet. Dieser Prozess aus Überziehen und Bestreuen mit Sand wurde 8 Mal wiederholt, was zur Ausbildung einer keramischen Formschicht oder -schale mit einer durchschnittlichen Dicke von 6 mm auf dem Modell führte.

e) Das auf diese Weise überzogene Modell wurde während ungefähr 12 Stunden getrocknet und dann für ungefähr 15 Minuten in ein Trichloräthylen-Dampfbad eingetaucht, um ein vorläufiges Anschmelzen an der Aussenfläche des Modells in einer Tiefe von ungefähr 1 mm zu erreichen. Danach wurde das Modell mit der Formschicht zu einem Heissluftofen transportiert, in dem es für ungefähr 30 Minuten einem Heissluftstrom mit einer Temperatur von 350 °C ausgesetzt wurde, um den Modellwerkstoff vollständig auszusmelzen und so eine Schalen-Gussform zu erzeugen.

f) Die derart erzeugte Schalen-Gussform wurde für ungefähr 15 Minuten in einem mit Hochdruckbrennern arbeitenden Brennofen getrocknet und gehärtet und danach ungefähr auf die Temperatur von geschmolzenem Stahl 18-8 erhitzt.

g) Die heisse Gussform wurde in Trockensand gepackt und dann mit rostfreiem Stahl 18-8 abgegossen, der in einem elektrischen Ultraschall-Ofen zuvor geschmolzen worden war.

h) Nach dem Abguss wurde das Guss-Metall auf Raumtemperatur abkühlen gelassen und dann aus der Gussform entfernt.

3. Masshaltigkeit nach dem Guss.

Es wurde die Dicke an jeweils zwei Stellen von 20 Schiffsschrauben gemessen, die gemäss obigem Prozess hergestellt worden waren. Hierbei wurde festgestellt, dass die Dicken-Schwankung oder -Variation für die ganze Probe von 20 Schiffsschrauben nicht grösser als $\pm 0,41$ mm war und die Standard-Abweichung 0,12 mm betrug. Demgegenüber beträgt die Dicken-Schwankung bei normalen Sandform-Gussstücken $\pm 1,5$ mm und mehr.

4. Oberflächenrauheit nach dem Guss.

Die Oberflächenrauheit wurde an jeweils 3 Stellen der 20 Schiffsschrauben gemessen. Hierbei wurde festgestellt, dass die Oberflächenrauheit der gegossenen Teile ohne weitere Bearbeitung im Bereich zwischen 8 und 12 μm lag, was ein viel geringerer Wert als die 50 bis 140 μm sind, die bei üblichen Verfahren erhalten werden.

Tabelle 1
Eigenschaften von Styrol-Naphthalin

	Zusammensetzung		Schwindung (unbelastet) (%) (Formguss)	Biegefestigkeit (kg/cm^2) (Giessform- material)	Linearer Dehnungs- koeffizient ($\times 10^{-5}$) (20–60 °C)
	Naphthalin	Polystyrolharz			
Naphthalin	100	0	0,23	6,8	0,57
Styrol-Naphthalin	1 99,5	0,5	0,26	20,8	0,87
Styrol-Naphthalin	2 99,0	1,0	0,4	25,5	1,02
Styrol-Naphthalin	3 97,0	3,0	0,5	31,0	1,56
Styrol-Naphthalin	4 95,0	5,0	0,5	34,0	2,71
Styrol-Naphthalin	5 90,0	10,0	0,7	37,4	–

Tabelle 2
Eigenschaften typischer Wachse

	Zusammensetzung						Schwindung (unbelastet) (%)		Biegefestig- keit (kg/cm ²) Spritzguss + +	Linearer Dehnungs- Koeffizient (× 10 ⁻⁵) (20–40 °C)
	Paraffin	Stearin	Zeresin	Braunes Kohlen- wachs	Torf- wachs	Harz- paraffin	andere Bestand- teile	Formguss +	Spritzguss + +	
Wachs 1	50	50						1,5	0,7–0,8	18–20
Wachs 2	58		25	12			5	1,5	1,05	25–28
Wachs 3	60			18	15	7		–	1,0–1,18	31–42

+ Werte für formgegossenes Wachs

++ Werte für in teigigem Zustand spritzgegossenes Wachs

Tabelle 3

	Molekular- gewicht	Siedepunkt (°C)	Spezifische Wärme (2 °C)	Spezifisches Gew. (4 °C)	Dampf- dichte (g/l)	Spezifisches Gewicht relativ zu Luft	Dampfdruck (mmHg)
$\text{CH}_3\text{--CCl}_3$	133,41	74,0	0,255	1,346	4,69	4,55	100
$\text{CHCl}=\text{CCl}_2$	131,39	87,1	0,227	1,464	4,45	4,54	57,8
$\text{Cl}_2\text{C}=\text{CCl}_2$	165,83	121,2	0,205	1,623	5,13	5,72	14,4

Tabelle 4

	Material (Code)	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu
Nr. 1	KSP-1	0,04	1,4	1,2	18,8	8,5	1,0	–
Nr. 2	KSP-2	0,05	0,8	0,8	13,0	4,0	0,7	–

Tabelle 5

Grösse	Massgenauigkeit
< 25 mm	< $\pm 0,2$ mm
25–75 mm	$\pm 0,15-0,5$ mm
75–200 mm	$\pm 0,4 -1,0$ mm
200–400 mm	$\pm 0,8 -1,5$ mm
400–600 mm	$\pm 1,2 -2,0$ mm
600–800 mm	$\pm 1,8 -2,4$ mm
> 800 mm	$\pm 0,2 -0,4$ mm

Tabelle 6

Abstand von Wellenmitte (mm)		88,8	106,5	142,0	177,5	213,0	248,5	284,0
Messbereichswinkel		30	30	30	30	30	30	30
Radius-Verhältnis		0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Übliche Beispiele	Erster Flügel	650,4	670,8	709,2	724,8	726,0	727,8	731,4
	Zweiter Flügel	649,8	678,6	708,6	718,8	725,4	730,8	728,4
	Dritter Flügel	657,6	693,6	727,8	739,8	745,2	747,0	751,2
Differenz zwischen								
Minimum und Maximum		7,8	22,8	19,2	21,0	19,8	23,1	22,8
Durchschnitt		652,6		715,2	727,8	732,2	735,2	737,0
(Nr. 1)	Erster Flügel	628,8	660,0	682,8	691,2	687,6	687,6	690,0
KSP-1	Zweiter Flügel	624,0	644,0	676,8	698,4	688,0	686,4	686,4
	Dritter Flügel	627,6	655,2	681,6	686,4	679,2	676,8	681,6
	Differenz zwischen							
Minimum und Maximum		4,8	16,0	6,0	12,0	9,6	10,6	8,4
Durchschnitt		626,8	653,1	680,4	692,0	686,9	683,6	687,2
(Nr. 2)	Erster Flügel	631,2	658,2	687,0	699,6	706,2	711,6	700,8
KSP-2	Zweiter Flügel	624,0	658,2	688,8	700,2	697,2	692,4	683,4
	Dritter Flügel	635,4	669,6	704,4	712,8	714,0	710,0	707,4
	Differenz zwischen							
Minimum und Maximum		11,4	11,4	17,4	13,2	16,8	19,2	24,0
Durchschnitt		630,2	662,0	693,4	704,2	705,8	704,7	697,2

FIG. 1

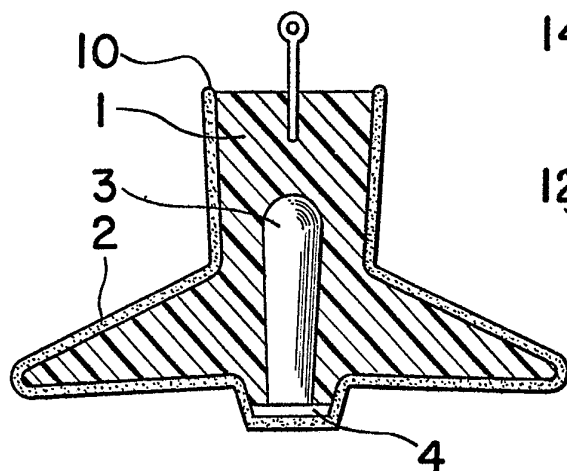


FIG. 2

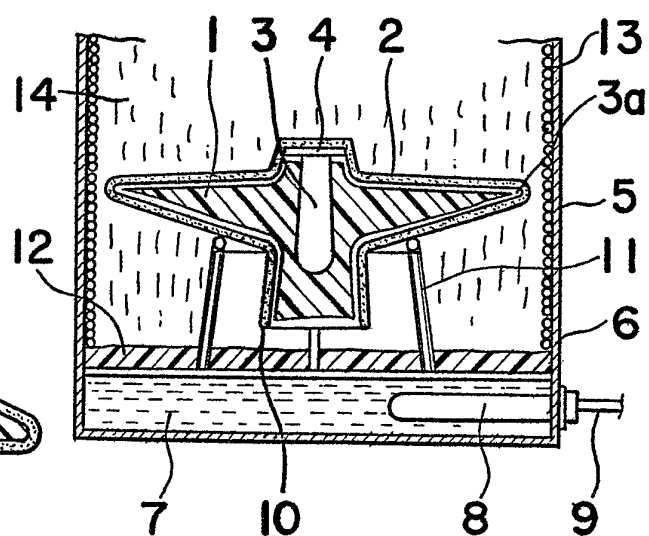


FIG. 3

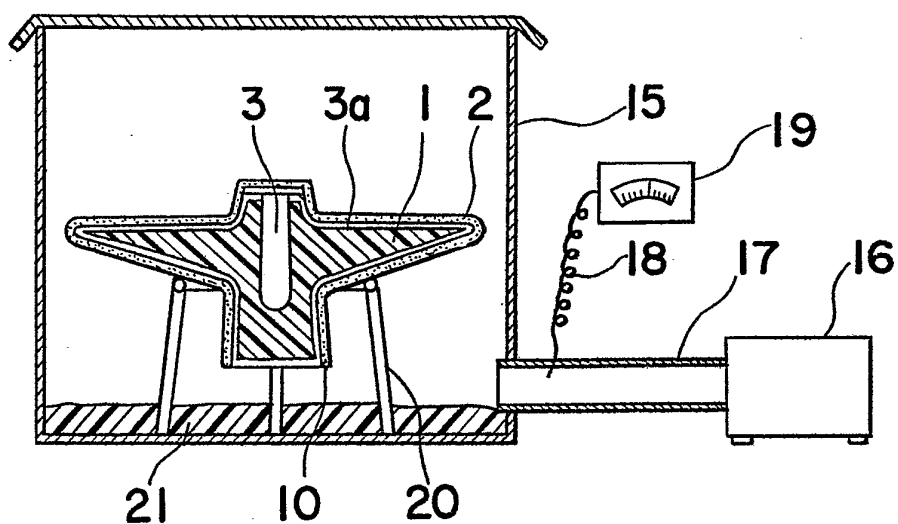


FIG. 4

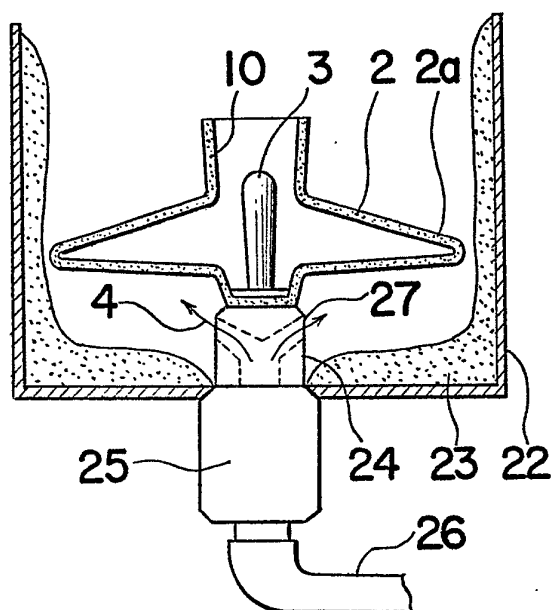


FIG. 5

