



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 1 242 205 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**25.06.2003 Patentblatt 2003/26**

(51) Int Cl.7: **B22D 17/00**, F27D 3/12,  
F27B 9/32

(21) Anmeldenummer: **00991167.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP00/12554**

(22) Anmeldetag: **12.12.2000**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 01/045880 (28.06.2001 Gazette 2001/26)**

(54) **VORBEHANDLUNG EINES THIXOTROPEN METALLBOLZENS**

PRE-TREATMENT OF A THIXOTROPIC METAL BOLT

PRETRAITEMENT D'UNE BILLETTE THIXOTROPIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH DE ES FR IT LI LU NL**

(30) Priorität: **22.12.1999 EP 99811196**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**25.09.2002 Patentblatt 2002/39**

(73) Patentinhaber: **Alcan Technology & Management  
AG  
8212 Neuhausen am Rheinfall (CH)**

(72) Erfinder:  
• **PLATA, Miroslaw  
CH-1963 Vétroz (CH)**

- **BAGNOUD, Christophe  
CH-3968 Veyras (CH)**
- **ARNOLD, Grégoire  
CH-3972 Miège (CH)**
- **BOLLIGER, Martin  
CH-3973 Venthône (CH)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 645 206 EP-A- 0 713 736**  
**EP-A- 0 841 406 US-A- 5 878 804**

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1997, no.  
03, 31. März 1997 (1997-03-31) & JP 08 300126 A  
(HONDA MOTOR CO LTD), 19. November 1996  
(1996-11-19)**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

**EP 1 242 205 B1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorbehandlungsvorrichtung zur Bereitstellung eines thixotropen Metallbolzens in einer Giesskammer einer Thixoformeinrichtung, enthaltend einen Behälter für die Aufnahme eines Metallbolzens, einen Ofen zur Überführung des im Behälter befindlichen Metallbolzens in einen teilflüssigen, thixotropen Zustand, sowie eine Transportvorrichtung für das Transportieren und Einführen des thixotropen Metallbolzens in die Giesskammer, und die Verwendung der Vorbehandlungsvorrichtung. Die Erfindung betrifft weiter ein entsprechendes Verfahren nach den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 12, und die Verwendung des Verfahrens.

**[0002]** Das Thixoformen betrifft die Herstellung von Formteilen aus thixotropen Metallbolzen. Als Metallbolzen kommen dabei alle Bolzen aus einem in einen thixotropen Zustand überführbaren Metall in Frage. Insbesondere können die Metallbolzen aus Aluminium, Magnesium oder Zink und den Legierungen dieser Metalle bestehen.

**[0003]** Beim Thixoformen werden die thixotropen Eigenschaften teilflüssiger bzw. teilfester Metalllegierungen ausgenützt. Die thixotropen Eigenschaften einer Metalllegierung bedeuten, dass ein entsprechend vorbereitetes Metall sich unbelastet wie ein Festkörper verhält, unter Schubbeanspruchung seine Viskosität jedoch soweit verringert, dass es sich ähnlich einer Metallschmelze verhält. Dazu ist ein Aufheizen der Legierung in das Erstarrungsintervall zwischen Liquidus- und Solidustemperatur erforderlich. Die Temperatur ist dabei so einzustellen, dass beispielsweise ein Gefügeanteil von 20 bis 80 Gew. % aufgeschmolzen wird, der Rest jedoch in fester Form verbleibt.

**[0004]** Beim Thixoformen wird teilfestes/teilflüssiges Metall in einer modifizierten Druckgiessmaschine, einer sogenannten Thixoformeinrichtung, zu Formteilen verarbeitet. Die zum Thixoformen eingesetzten Druckgiessmaschinen unterscheiden sich gegenüber den Druckgiessmaschinen zum Druckgiessen von Metallschmelzen durch beispielsweise eine länger ausgestaltete Giesskammer zur Aufnahme des thixotropen Metallbolzens und einen dadurch benötigten grösseren Kolbenhub, und beispielsweise einer mechanisch verstärkten Ausgestaltung der die thixotrope Metalllegierung führenden Teile der Druckgiessmaschine infolge der höheren Druckbelastung dieser Teile während dem Thixoformen.

**[0005]** Das Aufheizen der Metallbolzen geschieht üblicherweise in einem separaten Ofen. Die Beheizung der Öfen kann mit Brennstoff, wie beispielsweise Gas oder Öl, oder elektrischer Energie, wie beispielsweise mittels einer Widerstandsheizung oder mittels induktiver Energieeinbringung, geschehen.

**[0006]** Der Aufheizung der Metallbolzen kommt, in Bezug auf den grossen Einfluss, welcher der Zustand des in die Giesskammer eingeführten Bolzens auf die

Qualität des Produktes ausübt, eine grosse Bedeutung zu, da:

- der Bolzenzustand, d.h. seine Teilfestigkeit, üblicherweise nur in einem kleinen Temperaturbereich vorhanden ist,
- lang dauernde Aufheizzeiten, beispielsweise der Bildung einer dicken Oxidhaut oder einer möglichen Kornvergröberung wegen, vermieden werden sollen,
- und zur Erzielung eines homogenen Endproduktes die Temperaturverteilung im thixotropen Metallbolzen, dem sogenannten Thixo-Rohling, möglichst homogen sein soll.

**[0007]** Deshalb geschieht das Überführen des Metallbolzens in den thixotropen Zustand, d.h. die Erwärmung des Bolzens bis der gewünschte Legierungsanteil aufgeschmolzen ist, zweckmässigerweise durch eine mit Sensoren geregelte Ofentemperatur.

**[0008]** Zum Aufheizen der Metallbolzen werden diese üblicherweise in ein schalenförmiges Behältnis, beispielsweise in eine metallische Schale aus rostfreiem Stahl, oder einem Tiegel aus Ton-Graphit oder Ton-SiC gegeben und in horizontaler Lage in den thixotropen Zustand überführt.

**[0009]** Der thixotrope Metallbolzen kann dann, beispielsweise in demselben Behälter, mittels beispielsweise einem Greifer zur Giesskammer einer Horizontal-Thixoformeinrichtung transferiert und durch Kippen des Behälters in die Giesskammer eingeführt werden. In diesem Fall bleibt der Metallbolzen während dem Aufheizprozess und dem Transport bis zur Giesskammer in demselben Behälter.

**[0010]** Die EP-A-0 645 206 beschreibt eine Vorrichtung zur Herstellung von mechanisch hoch beanspruchten Teilen durch Thixoformen, welche eine eingangs beschriebene Vorbehandlungsvorrichtung enthält. Dabei werden die Metallbolzen in tassenförmigen Behältern in einem rohrförmigen Durchlaufofen in den thixotropen Zustand überführt, und der den thixotropen Bolzen enthaltende Behälter wird mittels einem Roboter zur Giesskammer transportiert, und durch Kippen des Behälters wird der thixotrope Bolzen in die Giesskammer befördert.

**[0011]** Die EP-B-0 713 736 beschreibt eine Haltevorrichtung zum induktiven Aufheizen von Bolzen aus Metalllegierungen mit thixotropen Eigenschaften und zum Halten und Transportieren der Bolzen bis zum Vergiessen. Die Haltevorrichtung ist dabei eine speziell gestaltete wannenförmige Schale.

**[0012]** Die in der Praxis angewandten technischen Lösungen hinsichtlich der Bolzen-Aufheizung und dem Bolzen-Transport von thixotropen Metallbolzen gewährleisten oft weder eine ausreichende thermische Homogenität des in die Giesskammer eingeführten Bolzens,

noch die für die Erreichung einer stabilen Qualität notwendige Wiederholbarkeit des Aufheizprozesses. Die thermische Inhomogenität manifestiert sich beispielsweise in einer in Bezug auf den Bolzenquerschnitt unregelmässigen Verteilung des Flüssiganteils, wobei dies oft zu einer lokalen Anschmelzung des Metallbolzens, insbesondere an den Metallbolzen-Enden, führt. Als Folge davon kann sich die Geometrie des Bolzens wesentlich verändern (Ovalisierung, Krater), was in der Anfangsphase des Thixoformprozesses üblicherweise ein Eindringen von Luft und/oder von Aluminium-Oxiden in die Formkavität bewirkt und als Konsequenz zu einer Erhöhung des Ausschusses führt.

**[0013]** Ein weiteres Problem während des Aufheizprozesses kann sich durch das Austreten von flüssigem Metall aus dem Bolzen ergeben, da solches flüssiges Metall während dem Transport des Behälters, beispielsweise noch innerhalb des Ofens, nach aussen dringen kann, was häufig das Innere des Ofens, insbesondere bei Verwendung eines Induktionsofens, beschädigt. Hierbei ist zu beachten, dass das während dem Bolzen-Aufheizprozess aus dem Metallbolzen austretende Volumen von flüssigem Metall typischerweise bis zu 10 % des Bolzenvolumens betragen kann.

**[0014]** Ein weiteres Problem durch das Ausscheiden von flüssigem Metall während dem Aufheizprozess kann entstehen, wenn flüssiges Metall in die Giesskammer eingefüllt wird, da dadurch Vorerstarrungen in der Giesskammer entstehen können, welche dann eine Vielzahl von Defekten, wie Lufteinschlüsse oder Strukturinhomogenitäten, im Thixo-Formteil verursachen können.

**[0015]** Aufgabe vorliegender Erfindung ist die Vermeidung der vorgenannten Nachteile des Standes der Technik und die Angabe einer Vorbehandlungsvorrichtung und eines Verfahrens zur reproduzierbaren Bereitstellung von thixotropen Metallbolzen in einer Giesskammer einer Thixoformeinrichtung, wobei der thixotrope Metallbolzen eine homogene Temperaturverteilung und einen über den ganzen Bolzenquerschnitt und die ganze Bolzenlänge homogen verteilten Flüssiganteil aufweist, und das Auslaufen von flüssigem Metall in den Aufheizofen sowie das Einbringen von flüssigem Metall in die Giesskammer vermieden werden. Eine weitere Aufgabe vorliegender Erfindung ist der Erhalt der Bolzen-Gestalt während dem Aufheizprozess und dem Transport des thixotropen Bolzens zur Giesskammer und während dessen Einführen in die Giesskammer. Eine noch weitere Aufgabe vorliegender Erfindung wird in der Möglichkeit einer Erhöhung der Transportgeschwindigkeit gesehen, da dadurch die während dem Bolzen-transport vom Ofen zur Giesskammer sich ergebende Abkühlung verringert wird.

**[0016]** Erfindungsgemäss wird dies durch die Merkmale des Anspruchs 1 erreicht.

**[0017]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemässen Vorbehandlungsvorrichtung sind in den Ansprüchen 2 bis 8 beschrieben.

**[0018]** Das erfindungsgemässe, neue Konzept, demgemäss sich der Metallbolzen während dem ganzen Vorbehandlungsprozess in einem hohlzylinderförmigen Behälter, dem sogenannten Aufheizrohr, befindet:

- 5 - garantiert eine homogene und symmetrische Erwärmung in achsialer und radialer Richtung des Bolzens;
- 10 - minimiert während dem Aufheizprozess in einem Induktionsofen die Inhomogenitäten des magnetischen Feldes an den Rändern des Bolzens;
- 15 - verhindert übermässiges Aufschmelzen der Bolzenoberfläche;
- 20 - gewährleistet den Formerhalt des Bolzens während dem Aufheizprozess, dem Transport zur Giesskammer und in der Giesskammer;
- 25 - beseitigt den Einfluss von allfällig vorhandenen, strukturellen Inhomogenitäten und der chemischen Zusammensetzung des Metallbolzens auf den Erwärmungsprozess;
- 30 - ermöglicht die Anwendung einer billigeren und effizienteren Erwärmung mittels Induktionsfeld mit einer gegenüber dem Stand der Technik höheren Frequenz;
- 35 - vermeidet - abgesehen vom Metallbolzen und dem Aufheizrohr - das Erfordernis und die Anwesenheit anderer Metallelemente innerhalb eines Induktionsofens, was die Störung der Homogenität des magnetischen Feldes innerhalb eines Induktionsofens minimiert;
- 40 - ermöglicht eine gegenüber dem Stand der Technik präzisere Kontrolle des Erwärmungsprozesses durch direkte Messung der Temperatur des Aufheizrohres und der während dem Aufheizprozess sich einstellenden, thermischen Längenausdehnung des Metallbolzens, wobei die Längenausdehnung des Metallbolzens während dem Aufheizprozess oberhalb der Solidustemperatur des Bolzenmaterials proportional zum Flüssiganteil ist;
- 45 - eliminiert die Notwendigkeit der Verwendung von Kompensationsplatten an den Bolzenenden innerhalb eines Induktionsofens zur Homogenisierung des magnetischen Feldes, was die Kosten für die Vorbehandlungsvorrichtung senkt und ihre Funktionssicherheit erhöht; und
- 50 - ermöglicht einen gegenüber dem bekannten Stand der Technik schnelleren Transport des thixotropen Metallbolzens vom Aufheizofen in die Giesskammer.
- 55

**[0019]** Die erfindungsgemässe Vorbehandlungsvorrichtung eignet sich für alle Metallbolzen aus handelsüblichen Legierungen, die in einen thixotropen Zustand überführt werden können. Besonders geeignete Metallbolzenmaterialien sind Legierungen aus Aluminium, Magnesium oder Zink. Insbesondere werden Aluminium-Guss sowie Aluminium-Knetlegierungen bevorzugt. Die erfindungsgemässe Vorbehandlungsvorrichtung eignet sich vorteilhaft auch für die Verarbeitung von partikelverstärkten Aluminiumlegierungen, die beispielsweise homogen verteilte SiC- oder  $Al_2O_3$ -Partikel enthalten. Ganz besonders geeignet ist die erfindungsgemässe Vorbehandlungsvorrichtung für Aluminiumlegierungen, die ein ausgeprägtes Erstarrungsintervall aufweisen, wie beispielsweise AlSi7Mg.

**[0020]** Die Metallbolzen enthalten zweckmässigerweise homogen verteilte, primär erstarrte Festteilchen, die aus einzelnen degenerierten Dendriten bestehen. Bevorzugt beträgt der Anteil an primär erstarrten Festteilchen zwischen 40 und 80 Gew.-%. Zur Erzielung eines guten thixotropen Verhaltens muss beispielsweise bei Aluminiumlegierungen der Alpha-Mischkristall in globulistischer Form vorliegen, um ein gleichmässiges Fließen von Schmelze und Feststoff zu erreichen.

**[0021]** Die degenerierten Dendriten der Metallbolzen weisen allgemein vorzugsweise eine globulistische Gestalt auf, wodurch ein gleichmässig homogenes Fließen von Schmelze und Feststoff ohne Entmischung erreicht werden kann. Die Herstellung von Metallbolzen mit einem Gefüge mit globulistischen Dendriten erfolgt u.a. durch ein Stranggiessverfahren, kombiniert mit einem intensiven elektromagnetischen Rühren auch während der Erstarrungsphase. Dadurch kommt es zum Abschmelzen und Abbrechen von Dendritenarmen, die sich nahe der Solidustemperatur einformen und das globulistische Gefüge bilden.

**[0022]** Die für das Thixoformen benötigten Metallbolzen werden vorgängig zum Thixoformprozess mittels der erfindungsgemässen Vorbehandlungsvorrichtung auf eine Temperatur oberhalb der Solidustemperatur und unterhalb der Liquidustemperatur, d.h. bis zur Erreichung eines teilfesten, thixotropen Zustandes, aufgeheizt.

**[0023]** Im teilfesten Zustand enthält die thixotrope Legierung, der sogenannte thixotrope Legierungsbrei, die zurückentwickelten dendritischen, primärfesten Partikel in einer diese umgebenden Matrix aus flüssigem Metall. Bevorzugt enthält der thixotrope Legierungsbrei einen Flüssiganteil von 40 Gew.-% bis 50 Gew.-% und insbesondere zwischen 43 Gew.-% und 48 Gew.-%.

**[0024]** Während dem Aufheizprozess können sich die Metallbolzen bezüglich ihrer Längsachse in vertikaler oder horizontaler Lage befinden.

**[0025]** Zur Überführung des Metallbolzens in einen thixotropen Zustand wird bevorzugt ein Induktionsofen verwendet. Dabei ist beispielsweise eine Primärspule um den Behälter angeordnet, wobei der in der Primärspule fließende Wechselstrom im Behälter und/oder im

Metallbolzen ein magnetisches Wechselfeld induziert. Die Erwärmung des Aufheizrohres bzw. des Metallbolzens geschieht durch das magnetische Wechselfeld, welches im Aufheizrohr bzw. im Metallbolzen kräftige Wirbelströme und dadurch eine entsprechende Erwärmung hervorruft. Die Eindringtiefe der Wirbelströme und somit die Tiefe der erwärmten Schicht ist frequenzabhängig; bei Anwendung hoher Frequenzen erfolgt eine rasche Aufheizung vorwiegend der oberflächennahen Schichten.

**[0026]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Aufheizrohres besteht dieses aus einem Metall. Bevorzugt werden dazu Metalle der Reihe der eisen-kohlenstoffhaltigen Metalle, wie Stahl, Edelstahl, Therman-Stahl, Warmarbeitsstahl oder aus der Reihe der Metalle Tantal, Niob, Vanadium, Wolfram oder Titan oder Legierungen davon verwendet. Weiter bevorzugt werden Aufheizrohre aus Kupfer oder seinen Legierungen. Speziell bevorzugt werden Aufheizrohre aus Stahl und insbesondere aus Edelstahl oder Werkzeugstahl.

**[0027]** Wird für den Aufheizprozess in einem Induktionsofen ein metallenes Aufheizrohr, insbesondere ein Aufheizrohr aus Stahl, verwendet, so durchdringt das magnetische Feld im wesentlichen nur das Aufheizrohr, so dass der Induktionsofen im wesentlichen nur das Aufheizrohr direkt aufheizt und die Erwärmung des Metallbolzens fast ausschliesslich durch Wärmeleitung vom Aufheizrohr in den Metallbolzen geschieht. Die Aufheizung des Bolzenmaterials geschieht somit durch Aufheizung des Aufheizrohres und durch Wärmeleitung vom Aufheizrohr auf das Bolzenmaterial. Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit eines metallenen Aufheizrohres ergibt sich eine radialsymmetrischen Wärmeleitung vom Aufheizrohr auf den Metallbolzen, sofern der Metallbolzen über seinen gesamten Umfang in thermischem Kontakt mit dem Aufheizrohr ist. Die radialsymmetrische Wärmeleitung bewirkt dann auch eine radialsymmetrische Temperaturverteilung im Metallbolzen, wobei durch die hohe Wärmeleitfähigkeit des Metallbolzens sich sehr schnell ein geringer radialer Temperaturgradient einstellt.

**[0028]** Durch die erfindungsgemässe Aufheizvorrichtung mit einem metallenen Aufheizrohr wird eine sehr homogene Temperatur- und damit auch eine sehr homogene Flüssigmetall-Verteilung im ganzen Metallbolzen erreicht. Dies insbesondere auch, weil die direkte Energieeinbringung in das Aufheizrohr geschieht und das Bolzenmaterial nur indirekt durch Wärmeleitung aufgeheizt wird, so dass allfällige, lokal vorhandene Unterschiede in der Gefügestruktur oder in der chemischen Zusammensetzung des Bolzenmaterials keinen Einfluss auf die direkte Energieeinbringung haben.

**[0029]** Gemäss einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Aufheizrohres kann dieses aus keramischem Material bestehen. Bei Verwendung derartiger Aufheizrohre in einem Induktionsofen durchdringt das magnetische Feld das Aufheizrohr, d.h. das keramische Material des Aufheizrohres ist für das magnetische Feld

transparent. Die Aufheizung des Metallbolzens geschieht dann durch direkte Wechselwirkung mit dem Magnetfeld des Induktionsofens.

**[0030]** Geeignete keramische Materialien sind beispielsweise  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_3\text{O}_4$ , BN, SiC,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , MgO, TiO,  $\text{ZrO}_2$ , stabilisierte, wie Yttrium-stabilisierte  $\text{ZrO}_2$ , Gläser oder feuerfeste Zemente oder Mischungen, welche die genannten Materialien enthalten. Weiter bevorzugt kann das Aufheizrohr aus faserverstärktem keramischem Material bestehen oder solche Materialien enthalten, und die Fasern des faserverstärkten keramischen Materials können beispielsweise aus SiC,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Glas oder Kohlenstoff sein.

**[0031]** Zur Gewährleistung des Einführens des Metallbolzens in das Aufheizrohr ist der Innendurchmesser  $d_R$  des Aufheizrohres im kalten Zustand, insbesondere bei Raumtemperatur, d.h. bei einer Temperatur von  $15^\circ\text{C}$  bis  $30^\circ\text{C}$ , zweckmässigerweise etwas grösser als der Bolzendurchmesser  $d_B$  des kalten Metallbolzens.

**[0032]** Der Innendurchmesser  $d_R$  des Aufheizrohres in Abhängigkeit des Bolzendurchmessers  $d_B$  wird bevorzugt derart gewählt, dass der Metallbolzen im kalten Zustand, insbesondere bei Raumtemperatur, d.h. bei einer Temperatur von  $15^\circ\text{C}$  bis  $30^\circ\text{C}$ , um ein Mass  $\Delta d$  von ca. 0.5 mm, vorzugsweise  $0.5 \pm 0.3$  mm, insbesondere  $0.5 \pm 0.1$  mm, kleiner als der Innendurchmesser  $d_R$  des Aufheizrohres ist.

**[0033]** Während des Aufheizprozesses dehnt sich der Metallbolzen in radialer und axialer Richtung aus, so dass zu einem bestimmten Zeitpunkt der Bolzendurchmesser  $d_B$  dem Innendurchmesser  $d_R$  des Aufheizrohres entspricht, wobei zu berücksichtigen ist, dass der Innendurchmesser  $d_R$  ebenfalls temperaturabhängig ist.

**[0034]** Bei Verwendung eines metallenen Aufheizrohres, insbesondere bei Verwendung eines Aufheizrohres aus Stahl, wird während dem Aufheizprozess des Metallbolzens - sobald infolge der Wärmeausdehnung der Bolzendurchmesser  $d_B$  gleich dem Innendurchmesser  $d_R$  des Aufheizrohres entspricht - eine sehr gleichmässige, radialsymmetrische Wärmeübertragung vom Aufheizrohr auf den Metallbolzen gewährleistet. Eine radialsymmetrisch gleichmässige Wärmeübertragung ist insbesondere nach Erreichen der Solidustemperatur des Metallbolzens von grosser Bedeutung, da eine lokal überhöhte Temperatur in einem Temperaturbereich oberhalb der Solidustemperatur eine entsprechende lokale Aufschmelzung des Bolzenmaterials bewirkt und folglich unbedingt vermieden werden soll.

**[0035]** Im Rahmen der erfinderischen Tätigkeit hat sich gezeigt, dass die Verwendung einer dünnen Schmierschicht zur Vermeidung eines Anhaftens des Metallbolzens am Aufheizrohr praktisch keinen Einfluss auf die Wärmeübertragung zwischen dem Bolzen und dem Aufheizrohr bewirkt. Dabei ist zu beachten, dass die als Trennmittel eingesetzten Schmiermittel - falls überhaupt notwendig - meist nur bei Aufheizrohren aus Metall eingesetzt werden, d.h. bei Verwendung von Auf-

heizrohren aus keramischem Material werden üblicherweise keine Trennmittel benötigt.

**[0036]** In einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorbehandlungsvorrichtung wird der Werkstoff des Aufheizrohres und der Innendurchmesser  $d_R$  des Aufheizrohres derart gewählt, dass der Metallbolzen bei seiner Solidustemperatur  $T_{\text{solidus}}$  im Wesentlichen denselben Durchmesser  $d_B$  wie der Innendurchmesser  $d_R$  des Aufheizrohres aufweist. Weiter bevorzugt erfüllt der Bolzendurchmesser  $d_B$  bei  $T_{\text{solidus}}$  die Beziehung  $0.996 d_R \leq d_B \leq d_R$ , besonders bevorzugt  $0.998 d_R \leq d_B \leq d_R$  und insbesondere  $0.999 d_R \leq d_B \leq d_R$ .

**[0037]** Die Metallbolzen sind zylinderförmig und weisen in der Regel einen runden oder ovalen Querschnitt auf, können jedoch auch polygonalen Querschnitts sein. Der Durchmesser der Metallbolzen im kalten Zustand beträgt beispielsweise 50 bis 180 mm, zweckmässigerweise 75 bis 150 mm und bevorzugt 100 bis 150 mm. Die Länge der Metallbolzen beträgt im kalten Zustand beispielsweise 80 bis 500 mm.

**[0038]** Beim Aufheizen des Metallbolzens dehnt sich der Metallbolzen wie auch das Aufheizrohr aus. Unterschiedliche Materialien weisen verschiedene thermische Ausdehnungskoeffizienten auf. Der thermische Ausdehnungskoeffizient von Stahl oder keramischem Material ist wesentlich kleiner als derjenige von beispielsweise Aluminium oder Aluminiumlegierungen. Demzufolge dehnt sich beispielsweise ein Metallbolzen aus einer Aluminiumlegierung stärker aus als ein Aufheizrohr aus beispielsweise Stahl oder keramischem Material, so dass - ausgehend von einem im kalten Zustand gegenüber dem Innendurchmesser des Aufheizrohres kleineren Durchmesser des Metallbolzens - der Metallbolzen bei einer bestimmten Temperatur den gleichen Durchmesser wie das Aufheizrohr aufweist. Erfindungsgemäss bevorzugt ist nun, dass bei der Solidustemperatur  $T_{\text{solidus}}$  des Metallbolzenmaterials der Durchmesser des Metallbolzens im Wesentlichen dem Durchmesser des Aufheizrohres entspricht, so dass im Temperaturbereich, in dem die thixotropen Eigenschaften des Metallbolzens im Wesentlichen eingestellt werden, ein optimaler thermischer Kontakt zwischen Aufheizrohr und Metallbolzen gebildet wird. Bei Erwärmung des den Metallbolzen enthaltenden Aufheizrohres über die Solidustemperatur  $T_{\text{solidus}}$  hinaus, findet die Aufschmelzung des Eutektikums statt, verbunden mit einer Volumenvergrösserung des Metallbolzens. Das Eutektikum von für das Thixoformen geeigneten Aluminiumlegierungen bildet sich typischerweise bei ca. 550 bis 570  $^\circ\text{C}$ . Die Volumenvergrösserung im Bereich zwischen Solidus- und Liquidustemperatur beträgt bei thixotropen Aluminiumlegierungen typischerweise ca. 1.0 bis 5.5 % und insbesondere zwischen 1.5 bis 3 %. Bei der Aufheiz- oder Erwärmungsphase oberhalb der Solidustemperatur  $T_{\text{solidus}}$ , welche bei für das Thixoformen geeigneten Aluminiumlegierungen

typischerweise ca. 520 bis 550 °C beträgt, kann sich das Bolzenmaterial nur noch in Längsrichtung des Aufheizrohres ausdehnen, sofern die Bedingung, wonach bei  $T_{\text{solidus}}$  der Bolzendurchmesser  $d_B$  dem Durchmesser  $d_R$  des Aufheizrohres entspricht, erfüllt ist. Bei Aluminiumlegierungen manifestiert sich die Volumenvergrößerung zwischen Solidus- und Liquiduszustand - abhängig von der Bolzenlänge - in einer Zunahme der Bolzenlänge von typischerweise ca. 3 bis 16 mm und insbesondere von 3 bis 6 mm. Die Längenzunahme eines Aluminiumbolzens unterhalb der Solidustemperatur beträgt - abhängig von der Bolzenlänge - typischerweise zwischen 1 und 2 mm.

**[0039]** Aufgrund der Längenänderung des Metallbolzens während seiner Überführung in den thixotropen Zustand und zum wenigstens teilweisen Einführen von Verschlusselementen in den Hohlraum des Aufheizrohres muss die Länge des Aufheizrohres grösser als die Bolzenlänge sein. Vorzugsweise wird die Länge des Aufheizrohres derart gewählt, dass das Aufheizrohr insgesamt ca. 5 bis 30 mm, insbesondere 10 bis 20 mm, länger ist als der darin zu erwärmende Metallbolzen. Bei einer Aufheizung des Metallbolzens in horizontaler Lage steht somit auf jeder Seite des Aufheizrohres die Stirnseite des Aufheizrohres gegenüber der Simseite des Metallbolzens bevorzugt um ca. 2.5 bis 15 mm und insbesondere um 5 bis 10 mm vor. Bei einer Aufheizung des Metallbolzens in vertikaler Lage steht die Stirnseite des Aufheizrohres am oberen Rohrende gegenüber der Stirnseite des Metallbolzens bevorzugt um ca. 5 bis 30 mm und insbesondere um 10 bis 20 mm vor.

**[0040]** Die Wanddicke des Aufheizrohres beträgt für Stahlrohre bevorzugt 1 bis 5 mm, für Kupferrohre bevorzugt 4 bis 10 mm und für keramische Rohre bevorzugt 8 bis 15 mm.

**[0041]** Das erfindungsgemässe Aufheizrohr ist beidseits verschliessbar. Dazu werden bevorzugt Verschlusselemente aus keramischem Material verwendet. Als keramische Materialien für die Verschlusselemente eignen sich dieselben vorbeschriebenen Materialien wie für die eine bevorzugte Ausführungsvariante des Aufheizrohres aus keramischem Material. Keramisches Material weist gegenüber dem Metallbolzenmaterial eine geringe Wärmeleitfähigkeit auf, so dass die radiale Temperaturverteilung an den stirnseitigen Randbereichen des Metallbolzens durch solche Verschlusselemente nur wenig beeinflusst wird.

**[0042]** Bei einer während dem Aufheizprozess im Wesentlichen horizontalen Lage des Metallbolzens wird das Aufheizrohr auf seinen beiden Stirnseiten zweckmässigerweise mittels Verschlusselementen, bevorzugt durch stopfen- oder zapfenförmige Verschlusselemente, dicht verschlossen. Die Dichtheit bezieht sich dabei auf die Vermeidung des Austretens von flüssigem Metall aus dem Aufheizrohr während dem Aufheizprozess.

**[0043]** Weiter bevorzugt sind die stopfen- oder zapfenförmige Verschlusselemente bezüglich Materialwahl

und Form derart ausgebildet, dass deren Reibungseigenschaften im Aufheizrohr einerseits eine durch die thermische Ausdehnung des Metallbolzens während dem Aufheizprozess bedingte Verschiebung in Richtung der Längsachse des Aufheizrohres erlauben und andererseits eine Verschiebung durch den vom Metallbolzen auf die Verschlusselemente ausgeübten Druck nach Erreichen der für den gewünschten thixotropen Zustand erforderlichen Temperatur vermieden wird. Die Verschlusselemente werden vorgängig dem Aufheizprozess bevorzugt soweit in das Aufheizrohr geschoben, dass diese in direktem mechanischem Kontakt zu den Stirnseiten des Metallbolzens stehen. Dadurch verschieben sich die Verschlusselemente während dem Aufheizvorgang im Aufheizrohr infolge der thermischen Längenausdehnung des Metallbolzens.

**[0044]** Bei einer während dem Aufheizprozess im Wesentlichen senkrechten Metallbolzen-Lage wird das Aufheizrohr einseitig, am unteren Rohrende dicht verschlossen. Auch hier bezieht sich die Dichtheit nur auf die Vermeidung des Ausfliessens von flüssigem Metall aus dem Aufheizrohr. Das Aufheizrohr kann dazu mit einer Stirnseite direkt auf einer bevorzugt höhenverstellbaren Tischplatte, vorzugsweise auf einer Tischplatte aus keramischem Material, festgelegt werden, oder das Aufheizrohr kann mittels einem Verschlusselement, bevorzugt durch ein stopfen- oder zapfenförmiges Verschlusselement, dicht verschlossen und mittels diesem Verschlusselement auf einer bevorzugt höhenverstellbaren Tischplatte aus beliebigem, wärmefestem Material in vertikaler Position festgelegt werden. Insbesondere bei Verwendung eines stopfen- oder zapfenförmigen Verschlusselementes ist das Verschlusselement bezüglich Materialwahl und Form bevorzugt derart ausgebildet, dass einerseits während dem Aufheizprozess im Ofen kein flüssiges Metall aus dem Aufheizrohr austreten kann und andererseits die Reibung des Verschlusselementes im Aufheizrohr weniger als 10 N beträgt.

**[0045]** Die Reibung des Verschlusselementes muss gering sein, damit ein Greifarm einer Transportvorrichtung, insbesondere ein Robotergreifarm, das Aufheizrohr ohne grosse Kraftaufwendung, d.h. ohne dass der Greifarm für grosse mechanische Beanspruchungen ausgelegt werden muss, vom auf der Tischplatte festgelegten Verschlusselement abheben kann. Andererseits ist eine hohe Reibung für die Erreichung einer hohen Dichtheit auch nicht erforderlich, da das Verschlusselement nur das Auslaufen von flüssigem Metall während dem Aufheizvorgang verhindern muss und aufgrund der Kohäsion von Metallschmelzen, insbesondere von Aluminiumschmelzen, dies keine hohe Dichtheit erfordert. Zweckmässigerweise beträgt die Reibung des Verschlusselementes im Aufheizrohr weniger als 30 N, bevorzugt zwischen 2 und 20 N und insbesondere zwischen 5 und 10 N.

**[0046]** Die erfindungsgemässe Vorbehandlungsvorrichtung eignet sich für die Bereitstellung eines thixotropen Metallbolzens in einer Giesskammer einer Vertikal-

oder Horizontal-Thixoformeinrichtung. Besonders vorteilhaft ist diese Vorbehandlungsvorrichtung jedoch für die Bereitstellung eines thixotropen Metallbolzens in einer horizontal liegenden Giesskammer, da hierbei der Formerhalt mit der erfindungsgemässen Vorrichtung besonders gut gewährleistet werden kann. Bei einer Horizontal-Thixoformeinrichtung liegt die Giesskammer, die den thixotropen Metallbolzen aufnimmt, waagrecht.

**[0047]** Besonders vorteilhaft ist die erfindungsgemässe Vorrichtung für die Bereitstellung von thixotropen Metallbolzen aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen. Aluminiumbolzen werden dabei ganz besonders bevorzugt in einem Induktionsofen mit einem vertikal liegenden Aufheizraum aufgeheizt.

**[0048]** Die auf das Verfahren gerichtete Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die Merkmale des Anspruchs 11 gelöst.

**[0049]** Bevorzugte Weiterbildungen des erfindungsgemässen Verfahrens sind in den abhängigen Ansprüchen 12 bis 14 beschrieben. Die für die erfindungsgemässe Vorbehandlungsvorrichtung gemachten Aussagen hinsichtlich besonderer Merkmale und Einzelheiten gelten sinngemäss auch für das erfindungsgemässe Verfahren.

**[0050]** Das den thixotrope Metallbolzen enthaltende Aufheizrohr wird nach dem Aufheizvorgang und nach allfälligem Abtropfen von während dem Aufheizvorgang aus dem Metallbolzen ausgetretener Metallschmelze durch beispielsweise einen Roboter zur Giesskammer transportiert und in den vorderen, halboffenen Teil der Giesskammer eingelegt. Nach der Vorbehandlung, d.h. zu Beginn des eigentlichen Thixoformprozesses, schiebt der Giesskolben den Metallbolzen aus dem Aufheizrohr in einen geschlossenen Teil der Giesskammer; danach wird die thixotrope Metallegierung durch eine Durchgangsöffnung in Eingusskanäle und danach in die Formkavität eingeleitet. Nach dem Thixoformprozess wird der Giesskolben zurückgezogen, so dass danach ein Greifarm der Transportvorrichtung das Aufheizrohr wieder aus der Giesskammer abholen und der Verwendung für weitere Vorbehandlungsverfahren zuführen kann. Die Rückführung des Aufheizrohres zur Weiterverwendung für weitere Vorbehandlungsverfahren geschieht zweckmässigerweise während der Erstarrungsphase der thixotropen Metallegierung in der Formkavität. Das sich während der Erstarrung der thixotropen Metallegierung in der Formkavität ausbildende Gussgefüge bestimmt wesentlich die Eigenschaften der Formteile. Die Gefügebildung ist gekennzeichnet durch die Phasen, wie Mischkristall und eutektische Phasen, das Gusskorn, wie Globuliten und Dendriten, Seigerungen als auch Gefügefehler wie Porosität (Gasporen, Mikrolunker) und Verunreinigungen, wie beispielsweise Oxide.

**[0051]** Bevorzugt wird nach dem Aufheizprozess, jedoch vor dem Einführen des den thixotropen Metallbolzen enthaltenden Aufheizrohres in die Giesskammer, das während dem Aufheizprozess aus dem Metallbol-

zen ausgetretene, flüssige Metall wenigstens teilweise aus dem Aufheizrohr entfernt. Der während dem Aufheizprozess aus dem Metallbolzen austretende Flüssigmetall-Anteil beträgt typischerweise weniger als 1 Gew.-% des Bolzenmaterials.

**[0052]** Der Transport des thixotropen Metallbolzens vom Aufheizofen in die Giesskammer mittels einem Roboter dauert typischerweise 5 bis 30 s und bevorzugt 8 bis 15 s. Die Zeitdauer, während der der thixotrope Metallbolzen in der Giesskammer verbleibt, beträgt typischerweise zwischen 3 und 5 s. Diese Zeit wird für das Wegfahren eines Roboters-Greifarmes aus der Giesskammer und für die elektronische Bereitschaftskontrolle einer Thixoformeinrichtung benötigt.

**[0053]** Das erfindungsgemässe Vorbehandlungsverfahren bringt wesentliche Vorteile, insbesondere:

- es führt zu einer wesentlichen Reduktion der Wärmeverluste des thixotropen Metalles während dem Transport vom Aufheizofen zur Giesskammer und in der Giesskammer dank des bis auf die gleiche Temperatur wie der Metallbolzen erwärmten Aufheizrohres;
- durch das Absetzen des Metallbolzens innerhalb des Aufheizrohres in die Giesskammer, insbesondere in die Giesskammer einer Horizontal-Thixoformeinrichtung, eliminiert es den Schock des Falls, was die Beibehaltung der Form und der Homogenität des Metallbolzens gewährleistet;
- es vermeidet die Trennung des Flüssiganteils beim Einlegen des thixotropen Metallbolzens in die Giesskammer, so dass damit verbundene Vorerstarrungen von Flüssigmetall in der Giesskammer vermieden werden;
- es verhindert zu einem wesentlichen Teil die Oxidation der Metallbolzenoberfläche, da der Metallbolzen während des Aufheizvorganges und dem Transport in die Giesskammer und dessen Aufenthalt in der Giesskammer bis zum Beginn des eigentlichen Thixoformprozesses nicht einer freien Atmosphäre ausgesetzt ist;
- es vermindert das Risiko von Lufteinschlüssen und von Oxiden in der Giesskammer während der Füllphase der Formkavität, da einerseits die Oxidbildung vermindert wird und andererseits durch den Formerhalt des Metallbolzens während der Vorbehandlung auch Lufteinschlüsse durch Bolzenverformungen vermieden werden.

**[0054]** Die genannten Vorteile haben einen direkten Einfluss auf die Qualität der produzierten Formteile; dadurch wird der Ausschuss verringert.

**[0055]** Die erfindungsgemässe Vorbehandlungsvorrichtung und das erfindungsgemässe Verfahren eignen

sich zur Bereitsstellung von thixotropen Metallbolzen in vertikal oder horizontal liegenden Giesskammern. Bevorzugte Verwendungen des erfindungsgemässen Verfahrens sind in den Verwendungsansprüchen 18 und 19 beschrieben.

#### Beispiel:

**[0056]** Für die Verifikation des Erwärmungsprinzips in einem Aufheizrohr wird ein kreiszylinderförmiger Aluminiumbolzen mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Länge von 200 mm in vertikaler Lage in einem Ofen mit einer Widerstandsheizung auf eine erforderliche Temperatur oberhalb der Solidustemperatur aufgeheizt, wobei die Endtemperatur und das zeitabhängige Temperaturprofil des Aufheizofens derart gewählt werden, dass am Ende des Aufheizprozesses ein thixotroper Metallbolzen mit einem Flüssiganteil von ca. 50 Gew.-% vorliegt. Der Aluminiumbolzen befindet sich während des Aufheizprozesses in einem Aufheizrohr aus Edelstahl mit einer Wanddicke von 5 mm. Das Aufheizrohr und somit auch der Metallbolzen liegen am unteren Ende auf einer Wärmeisolationsplatte auf. Am oberen Ende des Aufheizrohres ragt dessen kreisförmige Oberkante etwa 5 mm über den oberen Bolzenrand vor. Das obere Ende des Aufheizrohres ist nicht verschlossen, so dass die Längenänderung mittels einem Laser-Interferometer während dem ganzen Aufheizprozess gemessen werden kann.

**[0057]** Die Bolzentemperatur wird mittels parallel zur Bolzen-Längsachse liegenden Thermoelementen während dem Aufheizprozess kontinuierlich erfasst, wobei - bezüglich der konzentrischen Längsachse des Aluminiumbolzens - ein erstes Thermoelement zur Messung der Randtemperatur  $T_0$  im Randbereich des Aluminiumbolzens eingeführt ist, ein zweites Thermoelement zur Messung der Temperatur  $T_1$  in der Mitte zwischen Bolzenmitte und Bolzenrand positioniert wird und ein drittes Thermoelement zur Messung der Temperatur  $T_2$  ungefähr 5 mm von der Bolzenmitte entfernt angeordnet ist. Die Thermoelemente werden ca. 50 mm tief in den Bolzen gesteckt. Die mit den genannten drei Thermoelementen gemessenen, zeitabhängigen Temperaturprofile  $T_0(t)$ ,  $T_1(t)$  und  $T_2(t)$  sind in Fig. 3 dargestellt und zeigen - innerhalb einer Messgenauigkeit von  $\pm 1\%$  - im Wesentlichen alle denselben Temperaturverlauf.

**[0058]** Die während des in Fig. 3 dargestellten Aufheizprofils gemessene Längenänderung des Metallbolzens ist in Fig. 4 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass sich der Aluminiumbolzen bis zum Erreichen der Solidustemperatur in Längsrichtung um ca. 1.5 mm ausdehnt, wobei oberhalb der Solidustemperatur die thermische Längenausdehnung stark zunimmt.

**[0059]** Zur Untersuchung der Formstabilität des thixotropen Bolzens wird ein Aluminiumbolzen erfindungsgemäss in senkrechter Lage aufgeheizt bis der thixotrope Bolzen einen Flüssiganteil von ca. 50 Gew.-% aufweist, dann aus dem Ofen genommen, in eine horizontale La-

ge überführt und aus dem Aufheizrohr ausgestossen. Die Prüfung der geometrischen Gestalt des thixotropen Aluminiumbolzens zeigt, dass die Formstabilität gegeben ist, d.h. der thixotrope Aluminiumbolzen hat im Wesentlichen - abgesehen der thermischen Ausdehnung - dieselbe Gestalt wie der ursprüngliche Aluminiumbolzen.

**[0060]** Im Weiteren wird festgestellt, dass während dem Aufheizprozess nur sehr wenig flüssiges Metall aus dem Metallbolzen austritt. Zudem behält der thixotrope Bolzen seine glatte Oberfläche auch während dem Aufheizprozess. Oxidationsspuren können an der Oberfläche keine beobachtet werden. Die Prüfung der Flüssigmetall-Verteilung mittels einem Schneidtest zeigt weiter, dass die Homogenität des thixotropen Zustandes ebenfalls sehr gut erfüllt ist.

**[0061]** Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der Figuren 1 bis 4, sowie anhand der Zeichnungen.

Fig. 1 zeigt schematisch die zeitliche Abfolge der wesentlichen Verfahrensschritte für die Bereitstellung eines thixotropen Metallbolzens in der Giesskammer einer Horizontal-Thixoformeinrichtung, wobei der Metallbolzen in einer Horizontalage in den thixotropen Zustand überführt wird;

Fig. 2 zeigt schematisch die zeitliche Abfolge der wesentlichen Verfahrensschritte für die Bereitstellung eines thixotropen Metallbolzens in der Giesskammer einer Horizontal-Thixoformeinrichtung, wobei die Aufheizung des Metallbolzens in einer vertikalen Lage geschieht;

Fig. 3 zeigt beispielhaft eine typische Aufheizkurve;

Fig. 4 zeigt beispielhaft eine typische temperaturabhängige Deformationskurve eines Metallbolzens während eines erfindungsgemässen Aufheizvorganges.

**[0062]** Die Zeichnungen a) bis c) von Fig. 1 zeigen jeweils einen vertikalen Längsschnitt entlang der konzentrischen Längsachse  $\ell$  eines Metallbolzens 10, resp. durch die Vorrichtungselemente 14, 20, 30, in denen sich der Metallbolzen 10 während der Vorbehandlung befindet, wobei der Aufheizvorgang des Metallbolzens 10 in einer horizontalen Lage geschieht.

**[0063]** Fig. 1 a) zeigt das Laden eines in einem festen Aggregatzustand befindlichen Metallbolzens 10 in ein horizontal liegendes Aufheizrohr 14. Das Aufheizrohr 14 wird mit stopfenförmigen Verschlusselementen 16, 18 verschlossen, wobei die Verschlusselemente 16, 18 einerseits an den Stirnseiten 15 des Aufheizrohres 14 anliegen und andererseits mit dem Metallbolzen 10 bündig schliessen, d.h. die Verschlusselemente 16, 18 liegen



innerhalb des Aufheizrohres 14 an den Stirnseiten 12 des Metallbolzens 10 an.

**[0064]** Das den Metallbolzen 10 enthaltende und mit den Verschlusselementen 16, 18 verschlossene Aufheizrohr 14 wird waagrecht in den Aufheizraum 21 eines Induktionsofens 20 eingeschoben. Dabei befindet sich das Aufheizrohr 14 in der Mitte des von Induktionsspulen 22 umschlossenen Aufheizraumes 21, d.h. die konzentrische Längsachse des Aufheizraumes 21 und die konzentrische Längsachse  $\ell$  des Metallbolzens 10 fallen zusammen. Während des Aufheizvorganges dehnt sich der Metallbolzen anfänglich in allen Richtungen aus. Wenn der Metallbolzen seine Solidustemperatur  $T_{\text{solidus}}$  erreicht, stösst der Metallbolzen 10 am Aufheizrohr 14 an, so dass sich der Metallbolzen 10 radial im Wesentlichen nicht mehr weiter ausdehnt, d.h. die weitere radiale Ausdehnung des Metallbolzens 10 ist auf die üblicherweise sehr geringe radiale Ausdehnung des Aufheizrohres 14 beschränkt. Demnach ist die weitere thermische Ausdehnung des Metallbolzens 10 nach Erreichen der Solidustemperatur  $T_{\text{solidus}}$  im Wesentlichen nur in Richtung seiner konzentrischen Längsachse  $\ell$  möglich, wobei die Verschlusselemente 16, 18 entsprechend der thermischen Ausdehnung des Metallbolzens 10 voneinander weggeschoben werden, so dass die stopfenförmigen Verschlusselemente 16, 18 nicht mehr an den Stirnseiten 15 des Aufheizrohres 14 anliegen.

**[0065]** Fig. 1 b) zeigt das Entladen des Induktionsofens 20, d.h. das Herausführen des den thixotropen Metallbolzen 10 enthaltenden Aufheizrohres 14 aus dem Aufheizraum 21 des Induktionsofens 20. Die Verschlusselemente 16, 18 werden nach dem Entladen des Induktionsofens 20 vom Aufheizrohr 14 getrennt. Im Weiteren wird die während dem Aufheizvorgang aus dem Metallbolzen 10 ausgetretene, flüssige Metallschmelze 24 aus dem Aufheizrohr 14 entfernt, indem man das flüssige Metall 24 aus dem Aufheizrohr 14 abtropfen lässt, wobei das flüssige Metall beispielsweise in einer Auffangschale (nicht eingezeichnet) aufgefangen wird.

**[0066]** Fig. 1 c) zeigt das in eine Giesskammer 30 einer Horizontal-Thixoformeinrichtung eingeführte Aufheizrohr 14. Dabei ist das Aufheizrohr 14 derart im Giesskammerhohlraum 32 der Giesskammer 30 positioniert, dass während dem nachfolgenden Thixoformprozess der Giesskolben 34 den thixotropen Metallbolzen 10 aus dem Aufheizrohr 14 stossen kann, so dass die thixotrope Metalllegierung anschliessend durch die Durchgangsöffnung 36 in die Eingusskanäle (nicht eingezeichnet) und dann in die Formkavität (nicht eingezeichnet) eingeleitet werden kann. Die Giesskammer 30 weist eine Aussparung für die Aufnahme des Aufheizrohres auf. Diese Aussparung dient einerseits für die Zentrierung des Aufheizrohres 14 und andererseits als Anschlag für das Festlegen des Aufheizrohres 14 während dem Herausstossen des thixotropen Metallbolzens 10 zu Beginn des Thixoformprozesses.

**[0067]** Die Zeichnungen a) bis e) von Fig. 2 zeigen

jeweils einen vertikalen Längsschnitt entlang der konzentrischen Längsachse  $\ell$  eines Metallbolzens 10, resp. durch die Vorrichtungselemente 14, 20, 30, in denen sich der Metallbolzen 10 während der Vorbehandlung befindet, wobei der Aufheizvorgang des Metallbolzens 10 in einer vertikalen Bolzen-Lage geschieht.

**[0068]** Fig. 2 a) zeigt das Einführen eines in einem senkrechten Aufheizrohr 14 befindlichen Metallbolzens 10 in einen vertikal liegenden, zylinderförmigen Aufheizraum 21 eines Induktionsofens 20. Das Aufheizrohr 14 ist am unteren Rohrende, d.h. an der unteren Stirnseite 15 des Aufheizrohres 14, mit einem stopfenförmigen Verschlusselement 16 verschlossen. Das Verschlusselement liegt auf einer Tischplatte 26 auf. Das Einführen des den Metallbolzen 10 enthaltenden Aufheizrohres 14 in den Induktionsofen 20 geschieht durch senkrechtes Aufsetzen des Aufheizrohres 14 auf die Tischplatte 26, wobei das Verschlusselement 16 auf die Tischplatte 26 zu liegen kommt, und durch Heben der Tischplatte 26 bis das Aufheizrohr 14 vollständig in den Aufheizraum 21 des Induktionsofens 20 zu liegen kommt. Das Aufheizrohr 14 befindet sich mittig im durch die Induktionsspulen 22 begrenzten Aufheizraum 21, d.h. die konzentrische Längsachse des Aufheizraumes 21 fällt mit der konzentrischen Längsachse  $\ell$  des Metallbolzens 10 zusammen.

**[0069]** Während des Aufheizvorganges dehnt sich der Metallbolzen anfänglich in radialer wie auch in senkrechter Richtung aus. Wenn der Metallbolzen seine Solidustemperatur  $T_{\text{solidus}}$  erreicht, stösst der Metallbolzen 10 in radialer Richtung am Aufheizrohr 14 an, so dass sich der Metallbolzen 10 radial im Wesentlichen nicht mehr weiter ausdehnt, d.h. die weitere radiale Ausdehnung des Metallbolzens 10 ist auf die üblicherweise sehr geringe radiale Ausdehnung des Aufheizrohres 14 beschränkt. Demnach ist die weitere thermische Ausdehnung des Metallbolzens 10 nach Erreichen der Solidustemperatur  $T_{\text{solidus}}$  im Wesentlichen nur in senkrechter Richtung, parallel zu seiner konzentrischen Längsachse  $\ell$  möglich. Das obere Rohrende 15 des Aufheizrohres 14 ist offen, so dass sich der Metallbolzen 10 ungehindert nach oben thermisch ausdehnen kann.

**[0070]** Fig. 2 b) zeigt den Induktionsofen 20, nachdem das Aufheizrohr 14 mit dem thixotropen Metallbolzen 10 aus dem Aufheizraum 21 herausgeführt ist. Das Herausführen des thixotropen Metallbolzens geschieht hierbei durch Absenkung der Tischplatte 26.

**[0071]** Fig. 2 c) zeigt das in senkrechter Richtung aus dem Ofen herausgeführte, den thixotropen Metallbolzen 10 enthaltende, senkrecht auf der Tischplatte 26 festgelegte Aufheizrohr 14, welches zudem noch mit dem stopfenförmigen Verschlusselement 16 dicht verschlossen ist.

**[0072]** Fig. 2 d) zeigt das von der Tischplatte 26 und dem Verschlusselement 16 getrennte, den thixotropen Metallbolzen 10 enthaltende Aufheizrohr 14 in horizontaler Lage. Zweckmässigerweise geschieht die Trennung des Aufheizrohres 14 vom Verschlusselement 16

und die Überführung des Aufheizrohres in eine horizontale Lage mittels einem Roboter. Dabei ist die vom Roboterarm für das Abheben des Aufheizrohres 14 von der Tischplatte 26 und dem Verschlusselement 16 aufzuwendende Kraft gering.

**[0073]** Das Verschlusselement 16 verschliesst das Aufheizrohr 14 formschlüssig und dicht. Die Dichtheit wird jedoch nur zur Vermeidung des Ausfliessens von flüssigem Metall gefordert, so dass aufgrund der Oberflächenspannung des flüssigen Metalls das Verschlusselement 16 im Wesentlichen nur formschlüssig in das Aufheizrohr 14 greifen muss und daher keine hohe Reibung zwischen Aufheizrohr 14 und Verschlusselement 16 erforderlich ist.

**[0074]** Der thixotrope Metallbolzen ist derart im Aufheizrohr eingeklemmt, d.h. dessen Adhäsion ist so gross, dass das Aufheizrohr in vertikaler Richtung vom Verschlusselement abgehoben werden kann, ohne dass der thixotrope Metallbolzen 10 aus dem Aufheizrohr 14 fällt. Das vertikale Abheben des Aufheizrohres 14 vom auf der Tischplatte 26 festgelegten Verschlusselement 16 erlaubt zudem das Abtropfen des sich während dem Aufheizvorgang gebildeten flüssigen Metalles 24 ausserhalb des Aufheizofens 20.

**[0075]** Fig. 2 e) zeigt das in eine Giesskammer 30 einer Horizontal-Thixoformeinrichtung eingeführte Aufheizrohr 14. Dabei ist das Aufheizrohr 14 derart im Giesskammerhohlraum 32 der Giesskammer 30 positioniert, dass während dem nachfolgenden Thixoformprozess der Giesskolben 34 den thixotropen Metallbolzen 10 aus dem Aufheizrohr 14 stossen kann, so dass die thixotrope Metalllegierung anschliessend durch die Durchgangsöffnung 36 in die Eingusskanäle (nicht eingezeichnet) und dann in die Formkavität (nicht eingezeichnet) eingeleitet werden kann. Die Giesskammer 30 weist eine Aussparung für die Aufnahme des Aufheizrohres auf. Diese Aussparung dient einerseits zur Zentrierung des Aufheizrohres 14 und andererseits als Anschlag für das Festlegen des Aufheizrohres 14 während dem Herausstossen des thixotropen Metallbolzens 10 zu Beginn des Thixoformprozesses.

**[0076]** Das Einlegen des thixotropen Metallbolzens 10 in den Giesskammerhohlraum 32 der Giesskammer 30 geschieht zweckmässigerweise mittels einem Roboter. Das Einlegen des thixotropen Metallbolzens hat dabei so sanft zu erfolgen, dass der Formerhalt des Bolzens 10 nach dem Einlegen in die Giesskammer 30 gewährleistet ist.

**[0077]** Fig. 3 zeigt eine typische Aufheizkurve bis zur Erreichung der Solidustemperatur  $T_{\text{solidus}}$  eines in einem erfindungsgemässen Aufheizrohr 14 befindlichen Aluminiumbolzens 10 in einem Widerstandsofen. Die Aufheizkurve betrifft einen in einem Aufheizrohr 14 aus Edelstahl befindlichen, kreiszylinderförmigen Aluminiumbolzen 10 mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Länge von 200 mm in vertikaler Lage, wobei das Aufheizrohr 14 eine Wanddicke von 5 mm aufweist und die untere Stirnseite 12 des Aluminiumbolzens 10 auf

einer Wärmeisolationsplatte 26 direkt aufliegt, d.h. die untere Stirnseite 12 des Aluminiumbolzens 10 und die untere Stirnseite 15 des Aufheizrohres 14 liegen in derselben Ebene.

**[0078]** Die Aufheizkurve, d.h. die zeitabhängige Bolzentemperatur, wird mittels parallel zur Bolzen-Längsachse  $\ell$  liegenden Thermoelementen während dem Aufheizprozess kontinuierlich erfasst, wobei - bezüglich der konzentrischen Längsachse  $\ell$  des Aluminiumbolzens 10 - ein erstes Thermoelement zur Messung der Randtemperatur  $T_0(t)$  im Randbereich des Aluminiumbolzens 10 eingeführt ist, ein zweites Thermoelement zur Messung der Temperatur  $T_1(t)$  in der Mitte zwischen Bolzenmitte und Bolzenrand positioniert wird und ein drittes Thermoelement zur Messung der Temperatur  $T_2(t)$  ungefähr 5 mm von der Bolzenmitte entfernt angeordnet ist. Die Thermoelemente werden ca. 50 mm tief in den Bolzen 10 gesteckt. Die mit den genannten drei Thermoelementen gemessenen, zeitabhängigen Temperaturprofile  $T_0(t)$ ,  $T_1(t)$  und  $T_2(t)$  sind in Fig. 3 dargestellt und zeigen - innerhalb einer Messgenauigkeit von  $\pm 1\%$  - im Wesentlichen alle denselben Temperaturverlauf.

**[0079]** Fig. 4 zeigt beispielhaft eine typische temperaturabhängige Deformationskurve während des in Fig. 3 durch die Aufheizkurve dargestellten, erfindungsgemässen Aufheizvorganges eines Aluminiumbolzens 10. Aus Fig. 4 ist ersichtlich, dass sich der Aluminiumbolzen 10 bis zum Erreichen der Solidustemperatur  $T_{\text{solidus}}$  bei ca.  $560^\circ\text{C}$  in Längsrichtung im Wesentlichen linear temperaturabhängig um ca. 1.5 mm ausdehnt, wobei oberhalb der Solidustemperatur die thermische Längenausdehnung  $\Delta L(T)$  sprunghaft zunimmt.

## Patentansprüche

1. Vorbehandlungsvorrichtung zur Bereitstellung eines thixotropen Metallbolzens (10) in einer Giesskammer (30) einer Thixoformeinrichtung, enthaltend einen Behälter für die Aufnahme eines Metallbolzens (10), der homogen verteilte, primär erstarrte Festteilchen aus einzelnen degenerierten Dendriten enthält, einen von der Thixoformeinrichtung räumlich getrennten Ofen (20) zur Überführung des im Behälter befindlichen Metallbolzens (10) in einen teilflüssigen, thixotropen Zustand, sowie eine Transportvorrichtung für das Transportieren und Einführen des thixotropen Metallbolzens (10) in die Giesskammer (30),

**dadurch gekennzeichnet, dass**

der Behälter ein zylinderförmiges, seitlich durch stopfen- oder zapfenförmige Verschlusselemente (16, 18) verschliessbares Aufheizrohr (14) darstellt, wobei die Verschlusselemente (16, 18) derart gestaltet sind, dass diese beim aus dem Ofen (20) herausgeführten Aufheizrohr (14) vor dem Einführen des Aufheizrohres (14) in die Giesskammer (30)

wegnehmbar sind, und der Innendurchmesser  $d_R$  des Aufheizrohres (14) in Abhängigkeit des Bolzendurchmessers  $d_B$  derart gewählt ist, dass der Metallbolzen (10) bei seiner Solidustemperatur  $T_{\text{solidus}}$  im Wesentlichen denselben Durchmesser  $d_B$  wie der Innendurchmesser  $d_R$  des Aufheizrohres (14) aufweist, und die Vorbehandlungsvorrichtung dergestalt ausgebildet ist, dass der Metallbolzen (10) während der ganzen Vorbehandlung, nämlich dem Aufheizprozess im Ofen (20) und dem Transport in die Giesskammer (30) und dem Verweilen in der Giesskammer (30) bis zum Beginn des Thixoformprozesses, im Aufheizrohr (14) verbleiben kann.

2. Vorbehandlungsvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Aufheizrohr (14) aus Metall, vorzugsweise aus Stahl, insbesondere aus Edelstahl oder Werkzeugstahl, besteht. 15
3. Vorbehandlungsvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Aufheizrohr (14) aus keramischem Material besteht. 20
4. Vorbehandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einer während dem Aufheizprozess im Wesentlichen horizontalen Lage des Metallbolzens (10) das Aufheizrohr (14) beidseits durch Verschlusselemente (16, 18) dicht verschlossen ist, wobei die Verschlusselemente (16, 18) bezüglich Materialwahl und Form derart ausgebildet sind, dass deren Reibungseigenschaften im Aufheizrohr (14) einerseits eine durch die thermische Ausdehnung des Metallbolzens (10) während dem Aufheizprozess bedingte Verschiebung in Richtung der Längsachse  $\ell$  des Aufheizrohres (14) erlauben und andererseits eine Verschiebung durch den vom Metallbolzen (10) auf die Verschlusselemente (16, 18) ausgeübten Druck nach Erreichen der für den gewünschten thixotropen Zustand erforderlichen Temperatur vermieden wird. 25 30 35 40
5. Vorbehandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einer während dem Aufheizprozess im Wesentlichen senkrechten Metallbolzen-Lage das Aufheizrohr (14) einseitig, am unteren Rohrende (15) verschlossen ist, wobei bei Verwendung eines Verschlusselementes (16) das Verschlusselement (16) bezüglich Materialwahl und Form derart ausgebildet ist, dass einerseits während dem Aufheizprozess im Ofen (20) kein flüssiges Metall (24) aus dem Aufheizrohr (14) austreten kann und andererseits die Reibung des Verschlusselementes (16) im Aufheizrohr (14) weniger als 10 N beträgt. 45 50 55
6. Vorbehandlungsvorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verschluss-

selemente (16, 18) aus keramischem Material bestehen.

7. Vorbehandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ofen (20) ein Induktionsofen ist. 5
8. Vorbehandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Transportvorrichtung einen Roboter darstellt, wobei die Klemmvorrichtung des Roboters zur Halterung des Aufheizrohres wenigstens an der gegen das Aufheizrohr gerichteten Oberfläche aus keramischem Material besteht. 10
9. Verwendung der Vorbehandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8 für die Bereitstellung eines thixotropen Metallbolzens (10) in einer Giesskammer (30) einer Horizontal-Thixoformeinrichtung. 15
10. Verwendung der Vorbehandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8 für die Bereitstellung eines thixotropen Metallbolzens (10) aus einer Aluminiumlegierung. 20
11. Verfahren zur Bereitstellung eines thixotropen Metallbolzens (10) in einer Giesskammer (30) einer Thixoformeinrichtung, wobei ein Metallbolzen (10), der homogen verteilte, primär erstarrte Festteilchen aus einzelnen degenerierten Dendriten enthält, in einem festen Aggregatzustand in einen Behälter gegeben und der im Behälter befindliche Metallbolzen (10) in einem von der Thixoformeinrichtung räumlich getrennten Ofen (20) solange aufgeheizt wird, bis sich der Metallbolzen (10) in einem thixotropen Zustand befindet, und der thixotrope Metallbolzen (10) mit Hilfe einer Transportvorrichtung in die Giesskammer (30) der Thixoformeinrichtung eingeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Behälter ein zylinderförmiges, seitlich durch stopfen- oder zapfenförmige Verschlusselemente (16, 18) verschliessbares Aufheizrohr (14) darstellt, das Aufheizrohr (14) während dem Aufheizprozess des Metallbolzens (10) wenigstens einseitig durch ein stopfen- oder zapfenförmiges Verschlusselement (16, 18) verschlossen wird, der Metallbolzen (10) während dem Aufheizprozess und dem daran anschliessenden Transport in die Giesskammer (30) stets im Aufheizrohr (14) verbleibt, die Verschlusselemente (16, 18) nach dem Herausführen des Aufheizrohres (14) aus dem Ofen (20), jedoch vor dem Einführen des Aufheizrohres (14) in die Giesskammer (30) vom Aufheizrohr (14) getrennt werden, der Innendurchmesser  $d_R$  des Aufheizrohres (14) in Abhängigkeit des Bolzendurchmessers  $d_B$  derart gewählt wird, dass bei Raumtemperatur

der Innendurchmesser  $d_R$  grösser ist als der Bolzendurchmessers  $d_B$  und bei der Solidustemperatur  $T_{\text{solidus}}$  des Metallbolzens (10) der Bolzendurchmessers  $d_B$  im Wesentlichen dem Innendurchmesser  $d_R$  des Aufheizrohres (14) entspricht, und das den Metallbolzen (10) enthaltende Aufheizrohr (14) in der Giesskammer (30) derart positioniert wird, dass während dem nachfolgenden Thixoformprozess der Giesskolben (34) der Thixoformeinrichtung den thixotropen Metallbolzen (10) aus dem Aufheizrohr (14) stossen kann.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Aufheizprozess, jedoch vor dem Einführen des den thixotropen Metallbolzen (10) enthaltenden Aufheizrohres (14) in die Giesskammer (30), das während dem Aufheizprozess aus dem Metallbolzen (10) ausgetretene, flüssige Metall (24) wenigstens teilweise aus dem Aufheizrohr (14) entfernt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein einends am unteren Rohrende (15) mit einem Verschlusselement (16) dicht verschlossenes, den Metallbolzen (10) enthaltendes Aufheizrohr (14) in vertikaler Position senkrecht auf eine Tischplatte (26) gegeben wird, vorzugsweise auf eine Tischplatte (26) aus keramischem Material, und die Tischplatte (26) in vertikaler Richtung, vorzugsweise von unten, in den Ofen (20) eingeführt und das den Metallbolzen (10) enthaltende Aufheizrohr (14) solange aufgeheizt wird, bis der Metallbolzen (10) sich in einem thixotropen Zustand befindet, und nachfolgend das den thixotropen Metallbolzen (10) enthaltende Aufheizrohr (14) in vertikaler Richtung, vorzugsweise durch eine Absenkung der Tischplatte (26), aus dem Ofen (20) herausgeführt und vom Verschlusselement (16) getrennt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das den Metallbolzen (10) enthaltende Aufheizrohr (14) beidseitig mit je einem in Richtung der konzentrischen Längsachse  $\ell$  des Aufheizrohres (14) verschiebbaren Verschlusselement (16, 18) mit zwischen dem Aufheizrohr (14) und dem Verschlusselement (16, 18) vorgegebenen Reibungseigenschaften dicht verschlossen und in einer im Wesentlichen horizontalen Lage in den Ofen (20) eingeführt wird, wobei während dem Aufheizprozess die beiden Verschlusselemente (16, 18) infolge der thermischen Ausdehnung des Bolzenmaterials (10) voneinander weggeschoben und nach Erreichen des thixotropen Zustandes die Verschlusselemente (16, 18) infolge Reibung in ihrer Position gehalten werden, und nach dem Herausführen des den Metallbolzen (10) enthaltenden Aufheizrohres (14) aus dem Ofen (20) die beiden

Verschlusselemente (16, 18) vom Aufheizrohr (14) entfernt werden.

15. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 11 bis 14 zur Bereitstellung eines thixotropen Metallbolzens (10) in einer Horizontal-Thixoformeinrichtung.

16. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 11 bis 14 zur Bereitstellung eines thixotropen Metallbolzens (10) aus einer Aluminiumlegierung.

## Claims

1. Pretreatment device for the production of a thixotropic metal bolt (10) in a shot chamber (30) of a thixoforming device, comprising a container for receiving a metal bolt (10) comprising homogeneously distributed, primary-solidified solid particles consisting of individually degenerated dendrites, a furnace (20) disposed at a distance from the thixoforming device for converting the metal bolt (10) situated in the container into a partially liquid, thixotropic state, as well as a conveying device for conveying and feeding the thixotropic metal bolt (10) into the shot chamber (30), **characterised in that** the container is a cylindrical heating tube (14) that can be closed laterally by means of plug-shaped or peg-shaped closing elements (16, 18), the closing elements (16, 18) being designed in such a manner that they can be removed when the heating tube (14) is brought out of the furnace (20) and before the heating tube (14) is fed into the shot chamber (30), the inner diameter  $d_R$  of the heating tube (14) is selected as a function of the bolt diameter  $d_B$  in such a manner that the metal bolt (10) has substantially the same diameter  $d_B$  as the inner diameter  $d_R$  of the heating tube (14) at its solidus temperature  $T_{\text{solidus}}$ , and the pretreatment device is designed in such a manner that the metal bolt (10) can remain in the heating tube (14) during the entire pretreatment operation, i.e. the heating process in the furnace (20), the conveying into the shot chamber (30) and the residence time in the shot chamber (30) until the beginning of the thixoforming process.

2. Pretreatment device according to claim 1, **characterised in that** the heating tube (14) consists of metal, preferably steel, in particular stainless steel or tool steel.

3. Pretreatment device according to claim 1, **characterised in that** the heating tube (14) consists of ceramic material.

4. Pretreatment device according to one of claims 1 to

- 3, **characterised in that**, when the metal bolt (10) is in a substantially horizontal position during the heating process, the heating tube (14) is closed tightly at both ends by means of closing elements (16, 18), the material and shape of the closing elements (16, 18) being such that their friction properties in the heating tube (14), on the one hand, allow for displacement in the direction of the longitudinal axis  $\ell$  of the heating tube (14) due to the thermal expansion of the metal bolt (10) during the heating process and, on the other hand, prevent displacement as a result of the pressure exerted on the closing elements (16, 18) by the metal bolt (10) once the required temperature for the desired thixotropic state has been achieved.
5. Pretreatment device according to one of claims 1 to 3, **characterised in that**, when the metal bolt is in a substantially vertical position during the heating process, the heating tube (14) is closed at one end, i.e. at the lower tube end (15), wherein, when one closing element (16) is used, the material and shape of the closing element (16) are such that, on the one hand, no liquid metal (24) can emerge from the heating tube (14) during the heating process in the furnace (20) and, on the other hand, the friction of the closing element (16) in the heating tube (14) is less than 10 N.
6. Pretreatment device according to claim 4 or claim 5, **characterised in that** the closing elements (16, 18) consist of ceramic material.
7. Pretreatment device according to one of claims 1 to 6, **characterised in that** the furnace (20) is an induction furnace.
8. Pretreatment device according to one of claims 1 to 7, **characterised in that** the conveying device is a robot, the clamping device of the robot for holding the heating tube consisting of ceramic material at least on the surface directed towards the heating tube.
9. Use of the pretreatment device according to one of claims 1 to 8 for the production of a thixotropic metal bolt (10) in a shot chamber (30) of a horizontal thixoforming device.
10. Use of the pretreatment device according to one of claims 1 to 8 for the production of a thixotropic metal bolt (10) from an aluminium alloy.
11. Process for the production of a thixotropic metal bolt (10) in a shot chamber (30) of a thixoforming device, in which a metal bolt (10) comprising homogeneously distributed, primary-solidified solid particles consisting of individually degenerated dendrites is added to a container in a solid state of aggregation and the metal bolt (10) situated in the container is heated in a furnace (20) disposed at a distance from the thixoforming device until the metal bolt (10) is in a thixotropic state and the thixotropic metal bolt (10) is fed into the shot chamber (30) of the thixoforming device with the aid of a conveying device, **characterised in that** the container is a cylindrical heating tube (14) that can be closed laterally by means of plug-shaped or peg-shaped closing elements (16, 18), the heating tube (14) is closed at least at one end by means of a plug-shaped or peg-shaped closing element (16, 18) during the heating process, the metal bolt (10) always remains in the heating tube (14) during the heating process and the subsequent conveying into the shot chamber (30), the closing elements (16, 18) are separated from the heating tube (14) after the heating tube (14) has been brought out of the furnace (20), but before the heating tube (14) is fed into the shot chamber (30), the inner diameter  $d_R$  of the heating tube (14) is selected as a function of the bolt diameter  $d_B$  in such a manner that the inner diameter  $d_R$  is larger than the bolt diameter  $d_B$  at room temperature and the bolt diameter  $d_B$  corresponds substantially to the inner diameter  $d_R$  of the heating tube (14) at the solidus temperature  $T_{\text{solidus}}$  of the metal bolt (10), and the heating tube (14) containing the metal bolt (10) is positioned in the shot chamber (30) in such a manner that the injection piston (34) of the thixoforming device can push the thixotropic metal bolt (10) out of the heating tube (14) during the subsequent thixoforming process.
12. Process according to claim 11, **characterised in that**, after the heating process, but before the heating tube (14) containing the thixotropic metal bolt (10) is fed into the shot chamber (30), the liquid metal (24) emerging from the metal bolt (10) during the heating process is at least partially removed from the heating tube (14).
13. Process according to claim 11 or claim 12, **characterised in that** a heating tube (14) containing the metal bolt (10) closed tightly at one end, i.e. at the lower tube end (15) by means of a closing element (16) is placed in a vertical position on a table top (26), preferably on a table top (26) made of ceramic material, the table top (26) is fed into the furnace (20) in the vertical direction, preferably from below, the heating tube (14) containing the metal bolt (10) is heated until the metal bolt (10) is in a thixotropic state and then the heating tube (14) containing the thixotropic metal bolt (10) is brought out of the furnace (20) in the vertical direction, preferably by lowering the table top (26), and separated from the closing element (16).

14. Process according to claim 11 or claim 12, **characterised in that** the heating tube (14) containing the metal bolt (10) is closed tightly at both ends by means of respective closing elements (16, 18) displaceable in the direction of the concentric longitudinal axis  $\ell$  of the heating tube (14) with predetermined friction properties between the heating tube (14) and the closing element (16, 18) and is fed into the furnace (20) in a substantially horizontal position, the two closing elements (16, 18) being pushed away from one another during the heating process as a result of the thermal expansion of the bolt material (10), the closing elements (16, 18) being held in their positions as a result of friction once the thixotropic state has been achieved and the two closing elements (16, 18) being removed from the heating tube (14) after the heating tube (14) containing the metal bolt (10) has been brought out of the furnace (20).
15. Use of the process according to one of claims 11 to 14 for the production of a thixotropic metal bolt (10) in a horizontal thixoforming device.
16. Use of the process according to one of claims 11 to 14 for the production of a thixotropic metal bolt (10) from an aluminium alloy.

## Revendications

1. Dispositif de prétraitement pour la mise à disposition d'une billette thixotropique (10) dans une chambre de coulée (30) d'une installation de thixoformage, comprenant un récipient pour accueillir une billette (10) contenant des particules solides de solidification primaire réparties de manière homogène qui sont constituées de dendrites individuelles dégénérées, un four (20) séparé dans l'espace de l'installation de thixoformage pour amener la billette (10) se trouvant dans le récipient dans un état partiellement liquide, thixotrope, ainsi qu'un dispositif de transport pour transporter et introduire la billette thixotropique (10) dans la chambre de coulée (30), **caractérisé en ce que** le récipient est constitué par un tube d'échauffement (14) cylindrique, pouvant être fermé latéralement par des éléments de fermeture en forme de bouchons ou de tenons (16, 18), les éléments de fermeture (16, 18) étant conçus de telle sorte que ceux-ci peuvent être enlevés du tube d'échauffement (14) extrait du four (20) avant l'introduction du tube d'échauffement (14) dans la chambre de coulée (30) et que le diamètre intérieur  $d_R$  du tube d'échauffement (14) est sélectionné de telle façon en fonction du diamètre de la billette  $d_B$  que la billette (10) présente à sa température de solidus  $T_{\text{solidus}}$  essentiellement le même diamètre  $d_B$  que le diamètre intérieur  $d_R$  du tube d'échauffement (14) et que le dispositif de prétraitement est conçu de telle façon que la billette (10) peut rester dans le tube d'échauffement (14) pendant tout l'ensemble du prétraitement, à savoir le processus d'échauffement dans le four (20) et le transport dans la chambre de coulée (30) et le séjour dans la chambre de coulée (30) jusqu'au début du processus de thixoformage.
2. Dispositif de prétraitement suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** le tube d'échauffement (14) est en métal, de préférence en acier, en particulier en acier inoxydable ou en acier à outils.
3. Dispositif de prétraitement suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** le tube d'échauffement (14) est en matériau céramique.
4. Dispositif de prétraitement suivant l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que**, pour une position de la billette (10) essentiellement horizontale pendant le processus d'échauffement, le tube d'échauffement (14) est fermé des deux côtés de manière étanche par des éléments de fermeture (16, 18), les éléments de fermeture (16, 18) étant conçus de telle façon du point de vue du choix du matériau et de la forme que leurs propriétés de frottement dans le tube d'échauffement (14) d'une part permettent un déplacement dû à la dilatation thermique de la billette (10) dans le sens de l'axe longitudinal 1 du tube d'échauffement (14) pendant le processus d'échauffement et évitent d'autre part un déplacement sous l'effet de la pression exercée par la billette (10) sur les éléments de fermeture (16, 18) lorsque la température nécessaire pour l'état thixotropique désiré est atteinte.
5. Dispositif de prétraitement suivant l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que**, pour une position de la billette essentiellement verticale pendant le processus d'échauffement, le tube d'échauffement (14) est fermé d'un côté, à l'extrémité inférieure (15) du tube, en cas d'utilisation d'un élément de fermeture (16), l'élément de fermeture (16) étant conçu de telle façon du point de vue du choix du matériau et de la forme que, d'une part, du métal liquide (24) ne peut pas s'écouler du tube d'échauffement (14) dans le four (20) pendant le processus d'échauffement et, d'autre part, le frottement de l'élément de fermeture (16) dans le tube d'échauffement (14) est inférieur à 10 N.
6. Dispositif de prétraitement suivant la revendication 4 ou 5, **caractérisé en ce que** les éléments de fermeture (16, 18) sont en matériau céramique.
7. Dispositif de prétraitement suivant l'une des reven-

dications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le four (20) est un four à induction.

8. Dispositif de prétraitement suivant l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le dispositif de transport est constitué par un robot, l'élément de serrage du robot pour maintenir le tube d'échauffement est constitué au moins à la surface orientée vers le tube d'échauffement d'un matériau céramique.

9. Utilisation du dispositif de prétraitement suivant l'une des revendications 1 à 8 pour la mise à disposition d'une billette thixotropique (10) dans une chambre de coulée (30) d'une installation de thixoformage horizontale.

10. Utilisation du dispositif de prétraitement suivant l'une des revendications 1 à 8 pour la mise à disposition d'une billette thixotropique (10) d'un alliage d'aluminium.

11. Procédé de mise à disposition d'une billette thixotropique (10) dans une chambre de coulée (30) d'une installation de thixoformage, une billette (10), qui contient des particules solides de solidification primaire réparties de manière homogène qui sont constituées de dendrites individuelles dégénérées, étant placée à l'état solide dans un récipient et la billette (10) se trouvant dans le récipient étant chauffée dans un four (20) séparé dans l'espace de l'installation de thixoformage jusqu'à ce que la billette (10) se trouve dans un état thixotropique, et la billette thixotropique (10) étant introduite dans la chambre de coulée (30) de l'installation de thixoformage à l'aide d'un dispositif de transport,

**caractérisé en ce que**

le récipient est constitué par un tube d'échauffement (14) cylindrique, pouvant être fermé latéralement par des éléments de fermeture en forme de bouchons ou de tenons (16, 18), le tube d'échauffement (14) étant fermé au moins d'un côté pendant le processus d'échauffement de la billette (10) par un élément de fermeture en forme de bouchon ou de tenon (16, 18), la billette (10) restant en permanence dans le tube d'échauffement (14) pendant le processus d'échauffement et le transport subséquent dans la chambre de coulée (30), les éléments de fermeture (16, 18) sont séparés du tube d'échauffement (14) après l'extraction du tube d'échauffement (14) hors du four (20), mais avant l'introduction du tube d'échauffement (14) dans la chambre de coulée (30), le diamètre intérieur  $d_R$  du tube d'échauffement (14) est sélectionné de telle façon en fonction du diamètre de la billette  $d_B$  que, à température ambiante, le diamètre intérieur  $d_R$  est plus grand que le diamètre de la billette  $d_B$  et qu'à la température de solidus  $T_{Solidus}$  de la billette (10)

le diamètre de la billette  $d_B$  correspond essentiellement au diamètre intérieur  $d_R$  du tube d'échauffement (14), et que le tube d'échauffement (14) contenant la billette (10) est positionné de telle façon dans la chambre de coulée (30) que, pendant le processus de thixoformage qui suit, le piston d'injection (34) de l'installation de thixoformage peut repousser la billette thixotropique (10) hors du tube d'échauffement (14).

12. Procédé suivant la revendication 11, **caractérisé en ce que** le métal liquide (24) sorti de la billette (10) pendant le processus d'échauffement est éliminé au moins partiellement du tube d'échauffement (14) après le processus d'échauffement, mais avant l'introduction du tube d'échauffement (14) contenant la billette thixotropique (10) dans la chambre de coulée (30).

13. Procédé suivant la revendication 11 ou 12, **caractérisé en ce qu'un** tube d'échauffement (14) contenant la billette (10), fermé de manière étanche d'un côté, à l'extrémité inférieure (15) du tube, par un élément de fermeture (16), est placé en position verticale sur un plateau de table (26), de préférence sur un plateau de table (26) en matériau céramique, et le plateau de table (26) est introduit en direction verticale, de préférence par le bas, dans le four (20) et le tube d'échauffement (14) contenant la billette (10) est chauffé jusqu'à ce que la billette (10) se trouve dans un état thixotropique, et ensuite le tube d'échauffement (14) contenant la billette thixotropique (10) est extrait du four (20) en direction verticale, de préférence par un abaissement du plateau de table (26), et séparé de l'élément de fermeture (16).

14. Procédé suivant la revendication 11 ou 12, **caractérisé en ce que** le tube d'échauffement (14) contenant la billette (10) est fermé de chaque côté de manière étanche par un élément de fermeture (16, 18) pouvant se déplacer dans le sens de l'axe longitudinal concentrique 1 du tube d'échauffement (14) avec des propriétés de frottement prédéfinies entre le tube d'échauffement (14) et l'élément de fermeture (16, 18) et est introduit dans une position essentiellement horizontale dans le four (20), les deux éléments de fermeture (16, 18) étant écartés l'un de l'autre pendant le processus d'échauffement suite à la dilatation thermique du matériau de la billette (10) et, après avoir atteint l'état thixotropique, les éléments de fermeture (16, 18) étant maintenus dans leur position par le frottement, et, après l'extraction hors du four (20) du tube d'échauffement (14) contenant la billette (10), les deux éléments de fermeture (16, 18) étant séparés du tube d'échauffement (14).

15. Utilisation du procédé suivant l'une des revendications 11 à 14 pour la mise à disposition d'une billette thixotropique (10) dans une installation de thixoformage horizontale.

5

16. Utilisation du procédé suivant l'une des revendications 11 à 14 pour la mise à disposition d'une billette thixotropique (10) d'un alliage d'aluminium.

10

15

20

25

30

35

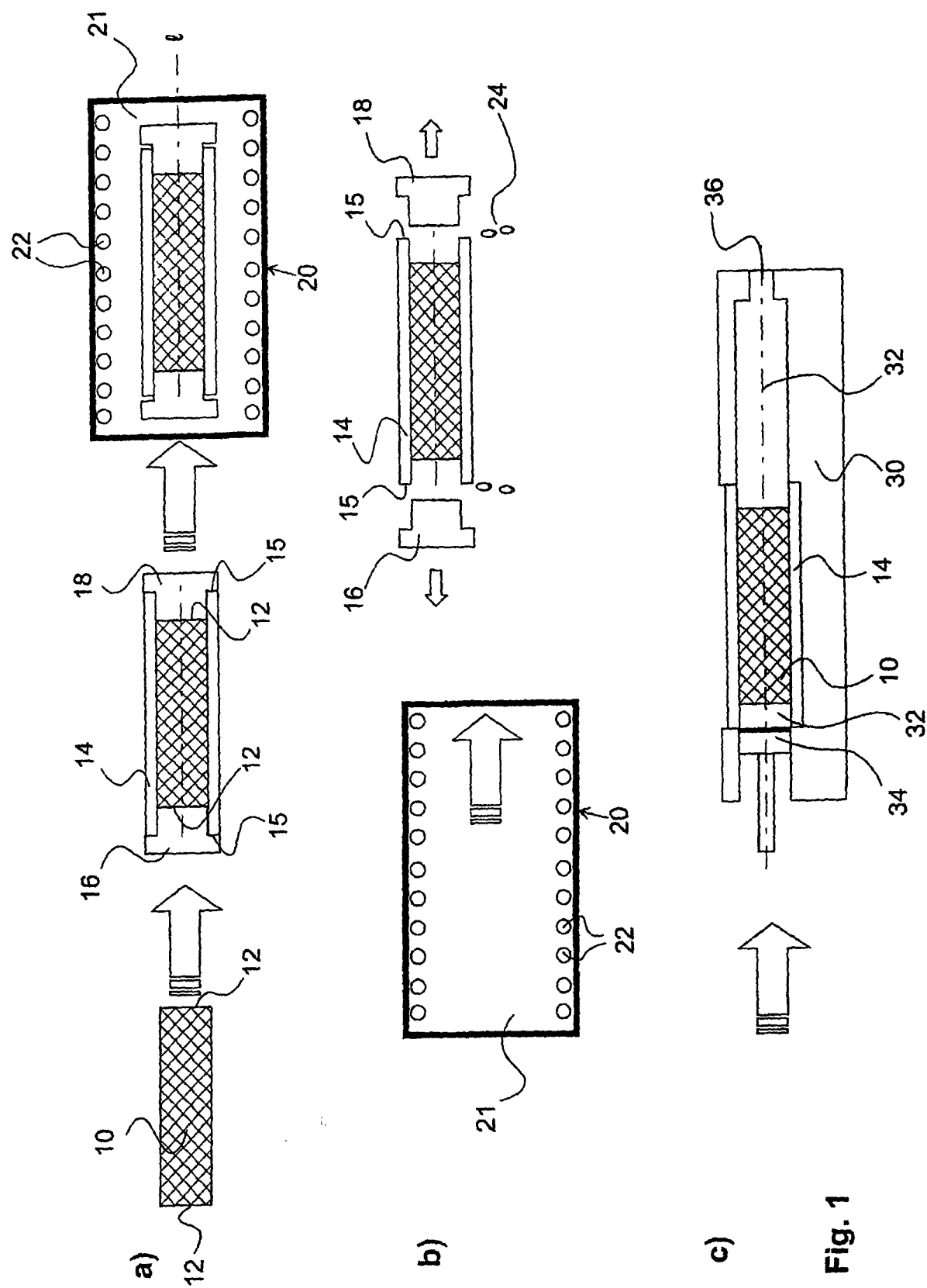
40

45

50

55





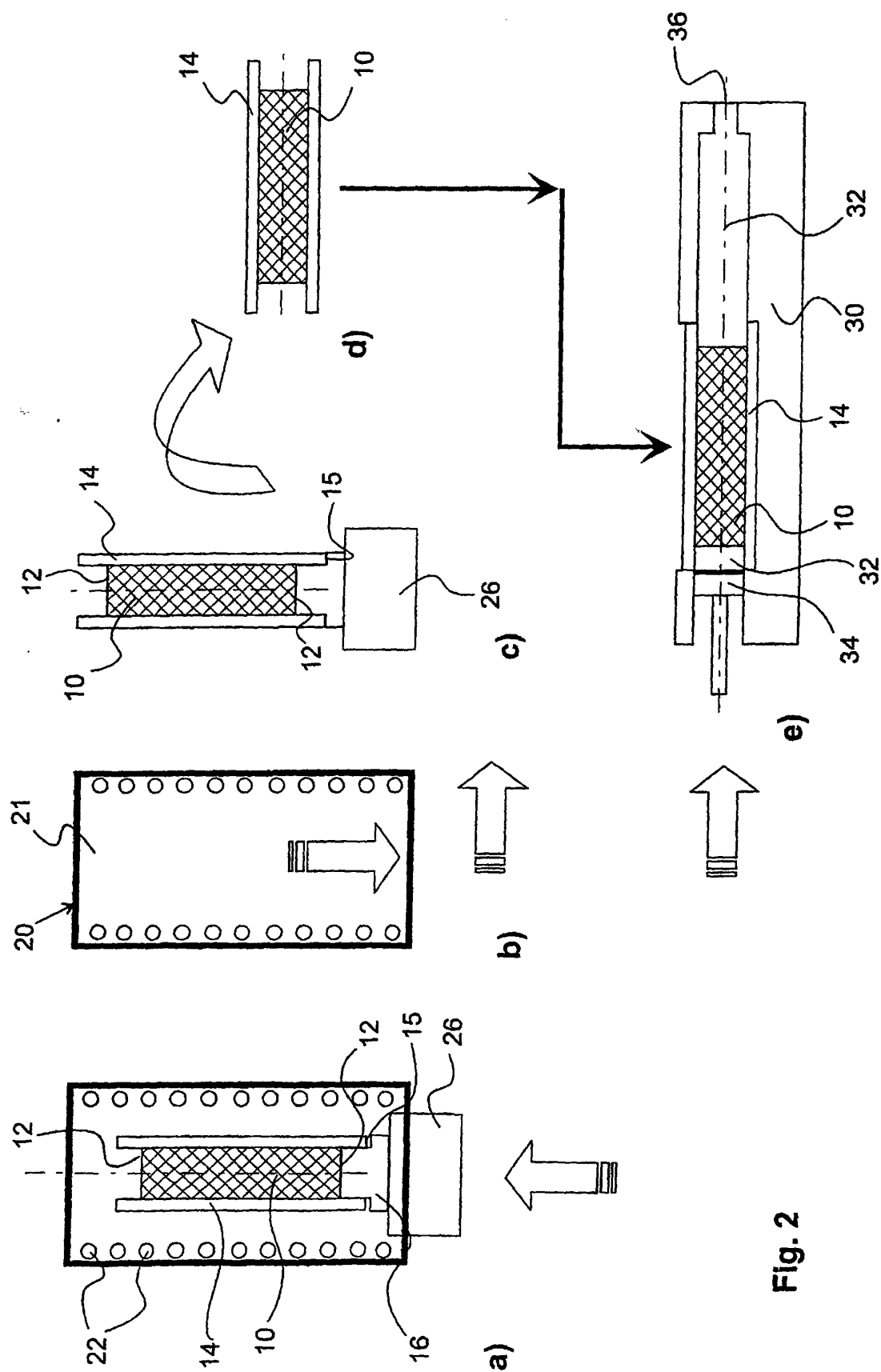
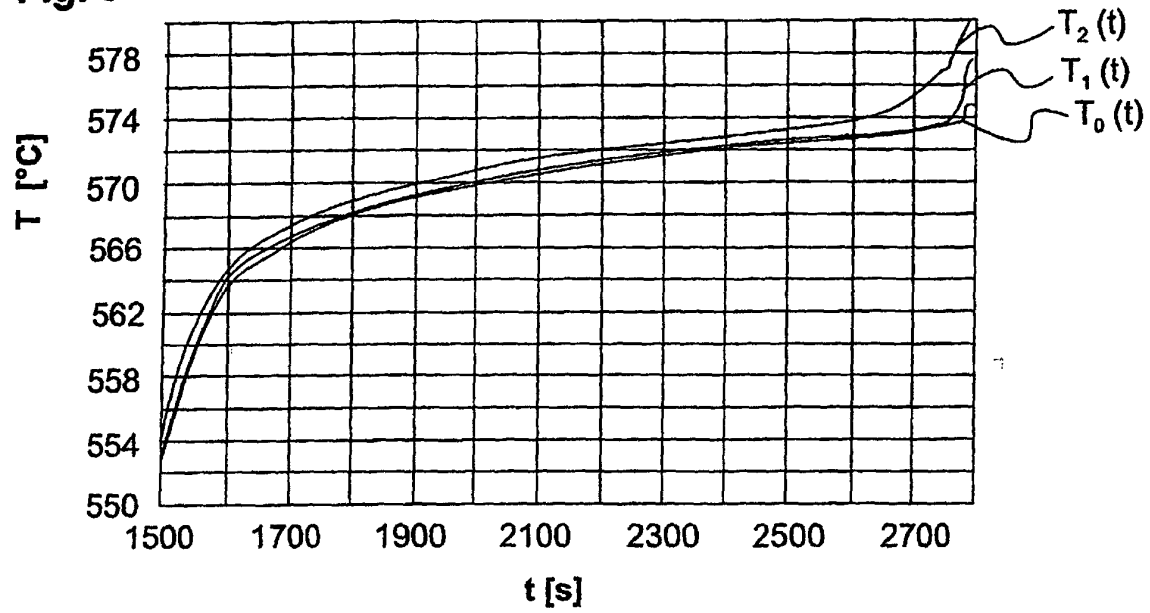


Fig. 2

**Fig. 3****Fig. 4**