



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
22.05.2002 Patentblatt 2002/21

(51) Int Cl.7: **B22D 11/00**

(21) Anmeldenummer: **01125434.9**

(22) Anmeldetag: **02.11.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

- **Zaoralek, Heinz-Michael, Dr.**
89551 Königsbronn (DE)
- **Laag, Rainhard, Dr.**
73441 Bopfingen-Kerkingen (DE)
- **Krüger, Jürgen**
73430 Aalen (DE)
- **Herbst, Horst**
89551 Königsbronn (DE)

(30) Priorität: **09.11.2000 DE 10055449**

(71) Anmelder: **Schwäbische Hüttenwerke GmbH**
73433 Aalen-Wasseralfingen (DE)

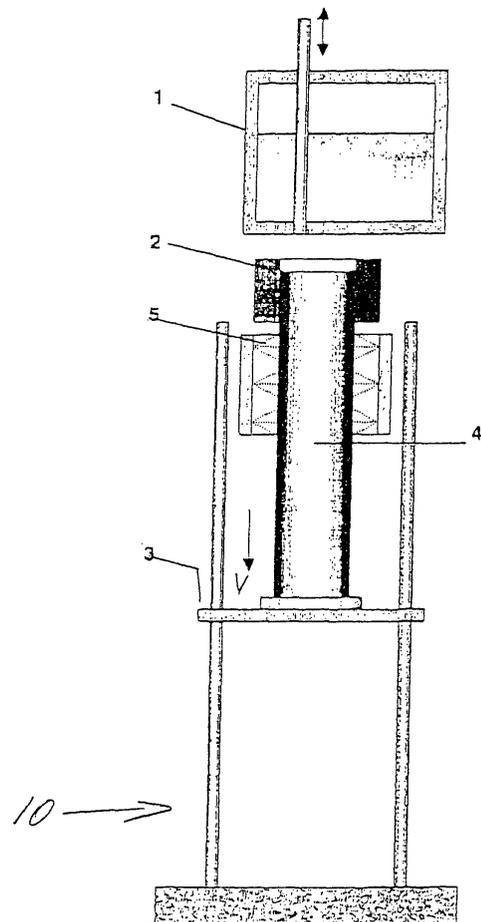
(74) Vertreter: **Schwabe - Sandmair - Marx**
Stuntzstrasse 16
81677 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Heinritz, Manfred, Dr.**
73431 Aalen (DE)

(54) **Gradientenwerkstoff-Formkörper**

(57) Gradientenwerkstoff-Formkörper, der aus wenigstens einer Metallegierung, die in einer äußeren Schale des Formkörpers außerhalb des thermodynamischen Gleichgewichts erstarrt, in einem kontinuierlichen Kokillenguss erhalten wurde.

Verfahren zur Herstellung eines Gradientenwerkstoff-Formkörpers, bei dem der Formkörper aus wenigstens einer übersättigt legierten Metallschmelze in einem kontinuierlichen Kokillenguss in seine Endform gegossen und bei dem Gießen eine äußere Formkörperschale in ihr Kristallgitter eingeschreckt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Gradientenwerkstoff-Formkörper und ein Verfahren zur Herstellung eines Gradientenwerkstoff-Formkörpers.

[0002] Für die Herstellung von Walzen zur Behandlung von bahnförmigen Materialien, wie z. B. Papier und Stahlblech, ist es von Vorteil, wenn ein Walzenkörper einer Walze über eine harte, verschleißbeständige Oberfläche und einen demgegenüber weicheren, spannend gut zu bearbeitenden Kern verfügt. Der Walzenkörper wird beispielsweise aus geschmiedetem Stahl hergestellt, dessen Oberfläche zusätzlich einem Härteprozess, beispielsweise einem induktiven Härten, unterzogen wird.

[0003] Für die Herstellung von Formkörpern, beispielsweise Walzenkörper, wie die Erfindung sie bevorzugt, jedoch nicht ausschließlich betrifft, sind der statische Kokillenguss, der Zentrifugalguss und der Verbundguss eingeführt.

[0004] Bei dem statischen Kokillenguss wird flüssiges Eisen oder eine flüssige Fe-Basislegierung in einer starkwandigen Form aus Metall vergossen. Eine schnelle Abkühlung im Randbereich, d.h. in unmittelbarer Nähe zur Metallform, kann bei geeigneter Legierung zu einer Weißerstarung des Eisens führen, d.h. der Kohlenstoff der Legierung bleibt zwischen den Gitterplätzen des Eisenkristalls. Das derart verspannte Gitter ist sehr hart. Im Kern der Walze fällt bei langsamerer Abkühlung der Kohlenstoff als Graphit aus. Dort entsteht ein graues Eisengefüge, das dem üblichen Grauguss nahe kommt. In einem Guss entsteht so ein Bi-Metallkörper mit den gewünschten Eigenschaften.

[0005] Der Zentrifugalguss unterscheidet sich im wesentlichen vom statischen Kokillenguss dadurch, dass die Form rotiert. Dies bietet die Möglichkeit, mit verschiedenen Gusslegierungen zu arbeiten. Zunächst wird ein gegebenenfalls mit Chrom und Nickel legiertes Schaleneisen in die Form gefüllt, wo es sich durch die Zentrifugalkräfte an der Forminnenwand anordnet und erstarrt. Danach wird der verbleibende Formraum mit dem sogenannten Kerneisen aufgefüllt. Bei passender Abstimmung der Temperaturen verschmelzen das Kerneisen und das Schaleneisen, so dass ebenfalls ein Bi-Metallkörper entsteht.

[0006] Auch bei dem Verbundguss kommen zwei Fe-Basislegierungen zum Einsatz. Die Form ist wie beim Kokillenguss statisch. Nach dem Füllen der gesamten Form mit dem Schaleneisen wird abgewartet, bis sich eine erstarrte Schale gebildet hat. Dann wird der noch flüssige Kern durch eine Öffnung im unteren Formbereich abgelassen. Nach dem Verschließen der Ablauföffnung wird die Form mit dem Kerneisen wieder aufgefüllt. Es existiert auch die Variante, dass das noch flüssige Schaleneisen durch Nachfüllen mit Kerneisen verdrängt wird.

[0007] Bei dem Kokillenguss ist die Herstellung der Form teuer und aufwendig. Die Form besteht aus gus-

seisernen Ringen, den Kokillen, in einer sehr hochwertigen Qualität. Die Kokillen müssen vor jedem Guss bearbeitet, innen beschichtet und angewärmt werden. Das präzise Ausrichten der über 100°C heißen Kokillen ist Schwerarbeit. Durch den Kontakt mit dem flüssigen Eisen wird die Kokillenninnenseite thermisch stark beansprucht. Es entstehen Risse, und der Graphit verbrennt. Nach mehreren Abgüssen müssen die Kokillen deshalb ausgewechselt werden. Für jeden zu liefernden Walzendurchmesser ist ein kompletter Kokillensatz zu bevorraten. Nach dem Eingießen in die Form besteht keine Möglichkeit mehr, die Gussqualität zu beeinflussen.

[0008] Bei dem Zentrifugalguss wird die rotierende Form in der Regel durch ein Rohr aus geschmiedetem, temperaturfesten Stahl gebildet und ist ebenfalls teuer. Für jeden zu liefernden Walzendurchmesser ist mindestens eine Form erforderlich. Da die Walzen unterschiedliche Längen haben, sind unter Umständen sogar mehrere Formen mit abgestufter Länge wirtschaftlich. Gegossen wird dann in die kürzestmögliche Form, und es wird das nicht benötigte Walzenstück vom erstarrten Gusskörper abgetrennt.

[0009] Für den Verbundguss gilt das für den Kokillenguss Gesagte. Hinzu kommt noch der fast doppelt so hohe Aufwand für das flüssige Eisen. Beim Verdrängungsverfahren vermischt sich zudem stets das Kerneisen mit dem verdrängten Schaleneisen, und diese Mischeisenmenge ist nur unter Einschränkungen wieder verwendbar.

[0010] In der US-PS 6,089,309 wird die Herstellung von Gradientenwerkstoffen in einem kontinuierlichen Kokillenguss aus zwei in einer Kokille miteinander vergossenen Legierungen beschrieben. Im Strang wird quer zur Strangrichtung ein Temperaturfeld so eingestellt, dass eine starke atomare Diffusion im flüssigen Zustand und im hohen Temperaturbereich des festen Zustands stattfindet, um quer zum Strang eine kontinuierliche Änderung der Materialzusammensetzung zu erhalten. Das Verfahren wird unter anderem für die Herstellung von Stahl und Halbzeugen aus Fe-Basislegierungen vorgeschlagen.

[0011] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, Walzenkörper von Walzen zur Behandlung bahnförmiger Materialien und andere Formkörper, für die ein Gradient in Bezug auf eine mechanische und/oder physikalische Materialeigenschaft vorteilhaft ist, und ein Verfahren zur preiswerten Herstellung solcher Formkörper zu schaffen.

[0012] Die Aufgabe wird durch die Ansprüche 1 und 14 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen werden durch die abhängigen Ansprüche beschrieben.

[0013] Die Erfindung hat erkannt, dass der kontinuierliche Kokillenguss für eine preiswerte Herstellung von Formkörpern mit einem Eigenschaftsgradienten geeignet ist. Der Formkörper erhält im kontinuierlichen Guss seine Endform ohne nachgeschaltete Umformprozesse. Als Formkörper im Sinne der Erfindung wird insbe-

sondere kein Halbzeug verstanden, das zur Herstellung eines Formkörpers erst noch plastisch umgeformt werden muss. Eine materialabtragende Bearbeitung nach dem Guss soll jedoch nicht ausgeschlossen sein. Der Gradientenwerkstoff-Formkörper der Erfindung kann sogar mit einer Materialzugabe gegossen und nach dem Guss unmittelbar einer gegebenenfalls noch erforderlichen materialabnehmenden Bearbeitung, beispielsweise Polier-, Schleif-, Dreh-, Fräs- und/oder Bohrvorgängen, unterzogen werden, um ein Funktionsbauteil für eine Maschine zu erhalten. Vorteilhafterweise können aus einem einzigen Strang in die Endform gegossene Fertigbauteile im vorstehend genannten Sinne in gleichen oder auch in unterschiedlichen Längen erhalten werden. Durch Ablängen kann noch während des Gusses dem Bedarf, insbesondere den Kundenwünschen, flexibel Rechnung getragen werden, indem der Strang auf die für das Fertigbauteil erforderliche Länge abgelängt wird. Ein späteres Ablängen soll jedoch nicht ausgeschlossen sein.

[0014] Eine materialabnehmende Oberflächennachbearbeitung nach dem Guss wird vorteilhafter Weise nur für eine Einstellung einer vorgegebenen Oberflächengüte vorgenommen, die für das Fertigbauteil gefordert wird. Die vorgegebene Oberflächengüte kann insbesondere die Oberflächenrauigkeit sein. Ebenso kann auf eine vorgegebene Benetzbarkeit der Oberfläche des Fertigbauteils gearbeitet werden, um die Oberfläche beispielsweise für einen nachfolgenden Beschichtungsvorgang mit einem Beschichtungswerkstoff zu präparieren. Eine materialabnehmende Nachbearbeitung, falls eine solche überhaupt erforderlich ist, dient bevorzugter Weise der Einhaltung einer vorgegebenen Rautiefe.

[0015] Gegebenenfalls kann eine materialabnehmende Bearbeitung nach dem Guss jedoch dazu dienen, eventuelle Formfehler, die sich aus dem Guss ergeben können, d.h. verfahrensimplante Formfehler, zu beseitigen. So kann der unmittelbar durch den Guss erhaltene Formkörper geringfügig krumm sein, eine Bauchigkeit oder mehrere Einzüge bzw. Einschnürungen aufweisen, die durch einen Abdrehvorgang oder falls die Formfehler sehr klein sind, durch Schleifen beseitigt werden. In diesem Sinne wird nach der Erfindung unmittelbar aus dem Guss ein endkonturnahes Fertigbauteil erhalten. Vorzugsweise ist der Gussformkörper derart endkonturnah, dass eine materialabnehmende Oberflächenbearbeitung nur noch mit der Maßgabe durchzuführen ist, dass eine vorgegebene Oberflächengüte, beispielsweise die Rautiefe, eingestellt wird. Der Formkörper nach der Erfindung weist im Ergebnis alle Werkstoffeigenschaften und alle Geometrieigenschaften, vorzugsweise bis auf die für das Fertigbauteil geltenden Toleranzen, auf. Nach der Erfindung wird der kontinuierliche Kokillenguss somit für Fertigbauteile nutzbar gemacht, die bislang im statischen Kokillenguss erhalten wurden, während der kontinuierliche Guss bislang lediglich zur Herstellung von Halbzeugen und stets

mit dem Bestreben der insgesamt homogenen Gefügestruktur verwendet wurde.

[0016] In bevorzugten Ausführungen zielt die Erfindung darauf ab, eine in Bezug auf die Gradienteneigenschaft zumindest gleichwertige, vorzugsweise sogar überlegene Alternative für solche Formkörper zu schaffen, die bislang nur statisch gegossen werden. Besonders bevorzugte Ausführungsbeispiele solcher Formkörper sind die Walzenkörper von Walzen für die Bearbeitung von bahnförmigen Materialien, beispielsweise für Kalander für die Papierherstellung, oder auch Verschleißgusskörper, insbesondere Mahlkörper, Reibkörper und Quetschkörper, beispielsweise zum Zerkleinern von granulartförmigen Stoffen. Verwendung können solche Verschleißgusskörper in der Nahrungsmittelindustrie, Beschichtungsindustrie, der Zement- und Ziegeleiindustrie und der Kohlevermahlung finden, um nur einige bevorzugte Einsatzmöglichkeiten zu nennen. Solche Funktionsbauteile sind vorteilhafterweise spanend gut bearbeitbar. Andererseits müssen diese Funktionsbauteile über eine verschleißfeste Oberfläche verfügen, um Ihre eigentliche Funktion als Einwirkkörper erfüllen zu können. So hat die Erfindung insbesondere auch einen Schalenhartguss von zylindrischen Rotationskörpern im Stranggießverfahren zum Gegenstand.

[0017] Indem eine metallische Basisschmelze derart legiert ist, dass sie bei entsprechender Temperierung bei dem Gießen außerhalb des thermodynamischen Gleichgewichts unter Bildung einer oder mehrerer Ausscheidungsphasen erstarrt, kann ein Gradientenwerkstoff-Formkörper aus einer einzigen Ausgangsschmelze hergestellt werden. Ein aufwendiges Gießen aus mehreren Ausgangsschmelzen unterschiedlicher Zusammensetzung ist nicht erforderlich, soll aber nicht ausgeschlossen werden. So kann beispielsweise das Umgießen eines an seiner Oberfläche vorzugsweise bereits stabilisierten Kerns unter gleichzeitiger Zwangskühlung von außen ebenfalls für eine Erstarrung der Schale außerhalb des thermodynamischen Gleichgewichts von Vorteil sein. Der Kern und die Schale können gemeinsam gegossen werden, wobei der ebenfalls kontinuierlich gegossene Kern nach dem Verlassen seiner Kokille bis zum Einlaufen in die nachgeordnete Kokille für das Umgießen bereits wie erwähnt oberflächlich stabilisiert ist.

[0018] Der Kern kann aber auch durch einen Fremdkern gebildet werden, der zuvor anderweitig gebildet, beispielsweise unabhängig gegossen wurde. Eine bevorzugte Anwendung für das Umgießen eines Fremdkerns ist die Herstellung eines faserverstärkten Verbundformkörpers. Beispielsweise kann solch ein Verbundformkörper mit einem gewickelten Al-B-Kern gebildet werden, der im kontinuierlichen Kokillenguss umgossen wird, vorzugsweise mit dem im Guss gebildeten Gradienten.

[0019] Im Vergleich zum statischen Guss ist ein Gusskörper bei einem kontinuierlichen Kokillenguss einer weitaus intensiveren Temperierung, insbesondere einer

stärkeren Unterkühlung, zugänglich. Ein Kühlmedium kann unmittelbar auf den sich im Strang bewegenden Gusskörper wirken. Die Kühlung außerhalb der Kokille ermöglicht eine intensive Schroffabkühlung im äußeren Bereich des Strangs.

[0020] Durch eine intensive Kühlung bei der Verfestigung des Gusskörpers vorzugsweise unmittelbar hinter der Kokille wird eine feindisperse Verteilung der Ausscheidungsphase oder der mehreren Ausscheidungsphasen erzielt. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Verfahren des kontinuierlichen Kokillengusses wird die thermische Energie des Gusskörpers in Verbindung mit der äußeren Zwangskühlung ausgenutzt, um im Gusskörper das von außen nach innen kontinuierlich sich ändernde Gefüge einzustellen. Gefügevariationen aufgrund von Ausscheidungen versucht man jedoch im traditionellen Strangguss zu verhindern oder, wo dies nicht gelingt, durch nachträgliche Wärmebehandlung wieder zu kompensieren.

[0021] Eine nachträgliche Wärmebehandlung des erfindungsgemäß erhaltenen Gusskörpers muss nicht vorgenommen werden, kann jedoch zusätzlich vorgesehen sein. So kann die Matrix des Gusskörpers durch nachträgliches Anwärmen und dadurch ermöglichte Diffusionsvorgänge konditioniert werden, um in der Gusskörperschale einen Gefügestand herzustellen, der näher am thermodynamischen Gleichgewicht liegt als unmittelbar nach dem Guss. Bei dem Guss beispielsweise aus einer kohlenstoffhaltigen Fe-Basissschmelze werden die Carbide hierbei noch feiner in der Schale verteilt, um in diesem Zustand durch nochmalige Schroffabkühlung konserviert zu werden. Die für ein nachträgliches Anwärmen erforderliche Energie kann aufgrund der durch die Erfindung bereits vorliegenden, vorteilhaften Gefügeausbildung jedoch gering gehalten werden.

[0022] In bevorzugten Ausführungsbeispielen ist ein Kern des Formkörpers im thermodynamischen Gleichgewicht erstarrt. Der Gradient stellt sich bevorzugt in einem Übergangsbereich zwischen dem Kern und der Schale ein. Ein Walzenkörper für die Bearbeitung von bahnförmigen Materialien oder ein Mahlkörper eines Mahlwerks kann in diesem Falle in der gleichen oder einer ähnlichen Gefügestruktur wie bei den für solche Körper bekannten statischen Gießverfahren erhalten werden. Allerdings können bei dem erfindungsgemäß kontinuierlichen Gießen deutlich höhere Wärmeabfuhraten an der Oberfläche des Gusskörpers als bei einem statischen Gießen und dadurch eine besonders feine Körnigkeit in der Schale eingestellt werden.

[0023] Die wenigstens eine Basissschmelze kann eine Al-, Ti-, Ni- oder Cu-Basislegierung sein. Bevorzugt handelt es sich um eine Fe-Basislegierung. Obgleich dem Basiselement grundsätzlich nur ein Legierungselement zulegiert sein kann, wird die Basissschmelze jedoch bevorzugt mit wenigstens zwei Legierungselementen gebildet, wobei jedes zulegierte Element in der Basissschmelze einen Anteil aufweist, der bis höchstens

zum nächstgelegenen ternären Eutektikum reicht. Dies gilt auch bei Zulegierung von mehr als zwei Legierungselementen, wobei C als Legierungselement gezählt wird.

[0024] Die wenigstens eine Basissschmelze ist vorzugsweise eine Gusslegierung, d.h. eine Legierung von Metallen, bei der die endgültige Werkstückform von gegebenenfalls vorzunehmenden relativ geringen Nachbearbeitungen abgesehen dadurch erhalten wird, dass die Legierung im flüssigen Zustand in eine geeignete Gießform gefüllt wird, wie dies beim statischen Formguss der Fall ist. Die Gusslegierung weist gute Gießigenschaften auf. Dieser Forderung kommen thermodynamisch unterkühlbare und somit metastabil abschreckbare Legierungen am Besten nach, die daher bevorzugte Gusslegierungen für erfindungsgemäße Gradientenwerkstoffe sind. Auch eutektisch zusammengesetzte Legierungen sind bevorzugte Gradientenwerkstoffe, insbesondere für Formkörper, bei denen besonders feinkörnige Gefüge bis in den Kern des abgegossenen Bauteils gefordert werden. Demgegenüber wird der kontinuierliche Guss bislang bei Knetlegierungen angewendet, und es erfolgt die eigentliche Formgebung zu Halbzeugformen wie Stangen, Profilen und Blechen durch eine anschließende Warmverformung und/oder mechanische Bearbeitung, so dass man dort im Gegensatz zu einem Formguss nur von einem Rohguss sprechen kann. Die Gusslegierung der Erfindung ist in noch bevorzugterer Ausführung gegenüber einer typischen Gusslegierung so abgewandelt, dass die Bildung von Ausscheidungen begünstigt wird. Ein bevorzugtes Legierungselement für jedes der Basismetalle ist Zr als starker Glasbildner. Für Al kommt insbesondere Si als Legierungselement in Frage, bevorzugt in Kombination mit Zr. Cu-Basislegierungen enthalten besonders bevorzugt als Legierungselement eines oder mehrere der Elemente Zr, B und Ti. Im Falle eines einzustellenden Härtegradienten sind Fe-Basislegierungen so legiert, dass im kontinuierlichen Guss die Schale in Hartguss unlegiert oder legiert gebildet wird, wobei die Elemente Cr und/oder Mo bevorzugte Legierungselemente für Hartguss legiert sind.

[0025] Eine besonders bevorzugte Fe-Basissschmelze ist gegenüber einem typischen Gusseisen vorzugsweise untersiliziert und weist einen Siliziumgehalt von wenigstens 0.1 und höchstens 1.2 Gewichts-%, vorzugsweise höchstens 0.8%, auf. Im übrigen entspricht die Legierung Gusseisenlegierungen. Der Siliziumgehalt der Fe-Basissschmelze ist vorzugsweise umso höher, je höher die Abkühlrate bzw. Abkühlgeschwindigkeit des Gusskörpers ist. Hieraus folgt auch, dass der Siliziumgehalt vorteilhafterweise in Abhängigkeit von dem Querschnitt des unmittelbar aus dem kontinuierlichen Gießen erhaltenen Gusskörpers gewählt wird. Bei einem Gusskörper mit beispielsweise kreiszylindrischem Querschnitt wird der Siliziumgehalt der Basissschmelze mit zunehmendem Durchmesser innerhalb des genannten Bereichs verringert. Bei nicht kreiszylind-

drischen Querschnitten gilt dies analog.

[0026] An Kohlenstoff ist eine Fe-Basissschmelze vorzugsweise übersättigt, wobei der Kohlenstoffgehalt von 0.2 bis höchstens 5 Gewichts-%, vorzugsweise höchstens 4%, reicht. Die Schmelze kann mit Vorteil auch zusätzlich zur Kohlenstoffübersättigung an einem anderen Legierungselement übersättigt sein. Die Kohlenstoffübersättigung und Untersilizierung können je einzeln zur Anwendung gelangen, sind aber in Kombination besonders vorteilhaft für die Ausscheidung von Carbiden in der Schale bei gleichzeitig stabiler Erstarrung in einem Kernbereich des Gusskörpers.

[0027] Eine ebenfalls bevorzugte Fe-Basissschmelze wird durch eine Werkzeugstahllegierung mit einem C-Gehalt von wenigstens 0.8 und höchstens 1.5 Gewichts-%, einem Cr-Gehalt von wenigstens 5 und höchstens 12 Gewichts-% und wenigstens einem der Primär-carbidbildner V, Mo und W gebildet. Wird nur einer der Primär-carbidbildner zulegiert, so ist im Falle von V der V-Gehalt wenigstens 5 und höchstens 10 Gewichts-%, im Falle von Mo der Mo-Gehalt wenigstens 0.5 und höchstens 1.5 Gewichts-%, und der W-Gehalt im Falle von W beträgt höchstens 1 Gewichts-%. Bei Zulegierung einer Kombination von Primär-carbidbildnern können die Untergrenzen pro Legierungselement auch unterschritten werden. Die Gehalte an C und den Primär-carbidbildnern werden innerhalb der angegebenen Grenzen so gewählt, dass der Kohlenstoff durch den oder die mehreren Primär-carbidbildner durch Carbidbildung aufgebraucht wird. Das Legierungselement Cr fängt die Toleranz an C, d.h. die letztlich nicht gänzlich zu vermeidende Ungenauigkeit der Zugabe an C, durch Chromcarbidbildung auf. Gegebenenfalls können auch noch Zr und/oder Y Legierungsbestandteile sein. Sie weist die Werkzeugstahllegierung vorzugsweise nicht auf. Der Formkörper weist den genannten C-Gehalt und gegebenenfalls auch die Gehalte an den weiteren Legierungselementen im Querschnitt wegen des Gradienten im Mittel auf.

[0028] Bevorzugte Gradientenwerkstoff-Formkörper, die im kontinuierlichen Kokillenguss aus der Werkzeugstahllegierung erhalten werden, sind Walzenkörper zum Walzen von Folien bzw. Walzenkörper für Folienkalender, insbesondere für hochfeste, gefüllte Kunststofffolien. Ein weiteres Beispiel für einen bevorzugten Gradientenwerkstoff-Formkörper sind Schneckengarnituren für Extruder zur Herstellung von Kunststoffprofilen.

[0029] Eine weitere bevorzugte Anwendung der Erfindung ist die Herstellung von Rotationskörpern, insbesondere Walzenkörpern, mit einem über die Walzenkörperlänge definierten Elastizitätsmodul (Young's modulus), im folgenden als E-Modul abgekürzt. So kann für einen Walzenkörper aus Werkzeugstahl für einen Folienkalender ein über die gesamte Walzenkörperlänge konstanter E-Modul von beispielsweise 210 GPa eingestellt werden. Die Einstellung eines definierten E-Moduls kann ebenso auch bei Walzenkörpern aus Gusseisen und grundsätzlich bei allen erfindungsgemäßen

Gradientenwerkstoff-Formkörpern eingesetzt werden. Der kontinuierliche Kokillenguss ermöglicht auch die kontrollierte Variation des E-Moduls über die Formkörperlänge. Beispielsweise kann durch solch eine gezielte E-Modul-Einstellung im Strangguss die radiale Steifigkeit eines Walzenkörpers für einen Kalender, beispielsweise einen Papierkalender, in axialer Richtung so eingestellt werden, dass ein Spalt, der zwischen zwei abwälzenden Walzenkörpern für die Bahnbehandlung gebildet wird, in axialer Richtung eine konstante Spaltbreite aufweist. Der im Lastfall ohne solch eine Kompensation zu erwartenden Variation der Spaltbreite wird somit bereits im Guss durch entsprechende Variation des E-Moduls in axialer Richtung Rechnung getragen.

[0030] Beim Guss auf E-Modul werden Verfahrensparameter des kontinuierlichen Kokillengusses, wie insbesondere Strangabziehgesechwindigkeit und Kühlung der Strangoberfläche, unter der Maßgabe der E-Modul-Einstellung gewählt. Zur Einstellung des E-Moduls kommt vorzugsweise ein geregeltes Gießverfahren zum Einsatz. Der E-Modul wird während des Gießens indirekt ermittelt, beispielsweise mittels Ultraschallmessung und/oder Magnetostruktionsmessung am Strang während der Erstarrung. Im Falle einer Ultraschallmessung wird durch Bestimmung der Schallgeschwindigkeit der E-Modul ermittelt. Die Schallgeschwindigkeit bildet in diesem Falle die Regelgröße der Regelung für das Gießverfahren.

[0031] Der Kernbereich des Gusskörpers kann vollzylindrisch oder hohlzylindrisch sein. Das kontinuierliche Gießen eines hohlzylindrischen Gusskörpers hat den Vorteil, dass ein Innenlunkerproblem nicht entsteht.

[0032] In bevorzugten Ausführungen wird ein zylindrischer Gusskörper dadurch erhalten, dass eine Basislegierung, beispielsweise eine Fe-Basislegierung mit einem bestimmten Kohlenstoffgehalt und einem bestimmten Siliziumgehalt und gegebenenfalls weiteren Legierungselementen, in einer Stranggießanlage zu einem kontinuierlichen, vorzugsweise geraden senkrechten, Strang vergossen wird.

[0033] Eine mittlere Abziehgesechwindigkeit des Strangs aus einer Stranggießkokille genügt vorzugsweise der Relation $10 \leq V_m \leq 7 \times 10^7 \times D^{-2}$. Die mittlere Abziehgesechwindigkeit v_m ergibt sich hieraus in mm/min. D ist der Außendurchmesser des Körpers in mm, und z ist ein dimensionsloser Faktor mit einem Wert aus dem Bereich zwischen 1,9 und 2,0. Für einen Voll- oder Hohlzylinder mit einem Außendurchmesser von beispielsweise 1000 mm gilt für die mittlere Abziehgesechwindigkeit: $10 \text{ mm/min} \leq v_m \leq 140 \text{ mm/min}$. Die metallurgische Länge ist vorzugsweise kleiner oder höchstens gleich 2/3 der Stranglänge.

[0034] Der Strang kann mit einer gleichmäßigen Gesechwindigkeit aus der Stranggießkokille abgezogen werden. In diesem Fall ist eine momentane Abziehgesechwindigkeit konstant und gleich der mittleren Abziehgesechwindigkeit. Die momentane Abziehgesechwindigkeit kann jedoch schwanken, wobei die Schwankungen

bzw. Änderungen der momentanen Abziehgesehwwindigkeit periodisch sind. Innerhalb der Periodizität kann die momentane Abziehgesehwwindigkeit sogar Null sein, wobei die sich ergebenden Stillstandsphasen jeweils nicht länger als 5 Sekunden sind.

[0035] Durch die Erfindung kann auf einen umfangreichen und teuren Kokillenpark verzichtet werden. Es muss ferner lediglich so viel flüssige Legierung bereitgestellt werden, wie für die Länge des herzustellenden Formkörpers notwendig ist.

[0036] Bei einer geringen mittleren Abziehgesehwwindigkeit kann die Unterkühlung des Strangs während des Abziehens besonders gut auf den gewünschten Gradienten angepasst werden. Die Einwirkmöglichkeiten und die Intensität sind gegenüber dem statischen Guss erheblich erweitert. Durch eine Steuerung der Abziehgesehwwindigkeit und einer Kühlung des Strangs wird der Erstarrungsprozess im Strang gezielt in Bezug auf den gewünschten Gradienten beeinflusst. Die Dicke und die Gleichmäßigkeit der Schalenbildung sind so steuerbar. Die Feinkörnigkeit des Gefüges wird verbessert und damit auch die Festigkeit und Härte der Oberfläche.

[0037] Mit wirksamen Abschreckmedien an der Oberfläche des Strangs können die Unterkühlung, Keimbildung und Kristallisation der Schmelze so beeinflusst werden, dass Legierungen weit außerhalb des thermodynamischen Gleichgewichts entstehen. Es können somit mechanische und physikalische Eigenschaften, wie beispielsweise die Härte, Zugfestigkeit, Wärmeleitfähigkeit, das mechanische Dämpfungsverhalten und/oder das Wärmespeichervermögen, erreicht werden, die bei einem Kokillenguss und einem Schleuderguss nicht oder nur mit wesentlich höherem technischen Aufwand erzielbar sind. Dies ist für die Gebrauchseigenschaften sowie die Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit von Vorteil.

[0038] Die Erfindung erlaubt die gezielte Herstellung eines mehrphasigen Gradientenwerkstoffs mit einem kontinuierlichen, aber dennoch definierten Übergang zwischen einer harten Schale und einem demgegenüber weicheren Kern aus einer einzigen Basislegierung. Die Erfindung erlaubt insbesondere eine gezielte Herstellung eines bi-metallischen Körpers durch eine metastabil erstarrte legierte Basisschmelze.

[0039] In einer bevorzugten Variante der Erfindung werden zwei Kokillen auf dem Weg des Strangs hintereinander, insbesondere untereinander, angeordnet. Die im Strang abwärtsige Kokille besitzt einen größeren Durchmesser als die aufwärtsige Kokille. In der aufwärtsigen Kokille wird ein Kernstrang gebildet, der durch die abwärtsige Kokille geführt und um den in der abwärtsigen Kokille eine Schalenlegierung gegossen wird. Hierdurch ist es möglich, in einem kontinuierlichen Stranggießverfahren einen zylindrischen Bi-Metallkörper aus Gradientenwerkstoff herzustellen, wobei der Gradientenwerkstoff durch eine erste Legierung für den Kern und eine unterschiedliche, zweite Legierung für die Schale gebildet wird.

[0040] Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der Figur erläutert. Die dabei offenbarten Merkmale bilden die beanspruchte Erfindung je einzeln und in Kombination weiter.

5 **[0041]** Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Stranggießanlage zur Herstellung eines in Schalenhartguss ausgeführten zylindrischen Formkörpers.

[0042] In eine Warmhalteeinrichtung 1 der Stranggießanlage ist eine flüssige Eisenlegierung mit einem Kohlenstoffgehalt aus dem Bereich zwischen 2 und 5 Gewichts-% und einem Siliziumgehalt aus dem Bereich zwischen 0.2 und 1.2 Gewichts-%, vorzugsweise 0.2 und 0.6%, bezogen auf die Legierungsgesamtmasse, aufgenommen. Unter der Warmhalteeinrichtung 1 ist eine Stranggießkokille 2 angeordnet. Unter der Kokille 2 befindet sich eine Absenkvorrichtung 10 mit einer absenkbaren Plattform 3. Zwischen der Kokille 2 und der Plattform 3 ist um den Strang 4 eine Kühleinrichtung 5 oder sind gegebenenfalls mehrere Kühleinrichtungen angeordnet. Die Kühleinrichtung bzw. Kühleinrichtungen 5 weist bzw. weisen Blasdüsen für ein Kühlgas und/oder Spritzdüsen für eine Kühlflüssigkeit auf.

[0043] Die flüssige Eisenlegierung wird aus der Warmhalteeinrichtung 1 der Kokille 2 zugeführt. Die Schmelze erstarrt an der Oberfläche in einer dünnen Stützhaut in der gekühlten Kokille 2. Nach der Kokille 2 durchläuft der derart stabilisierte Strang 4 die Kühleinrichtung 5 und wird gesteuert abgekühlt, nachdem er aus dem Wirkungsbereich der Kokille 2 abgesenkt worden ist. Die Zwangskühlung beginnt nah bei der Kokille, vorzugsweise unmittelbar hinter dem Kokillenauslass.

[0044] Bei dem Durchziehen durch die Kühleinrichtung 5 wird eine Schroffabkühlung durchgeführt, bei welcher innerhalb einer äußeren Schale des Strangs und späteren Formkörpers in feindisperser Verteilung Carbide ausgeschieden und das feinkörnige Gefüge eingeschreckt wird. Radial unter der derart gebildeten, harten Schale erfolgt die Erstarrung stabil, d.h. es bildet sich die thermodynamisch stabile Graphitphase. Auf diese Weise entsteht ein Rohling mit einem Grauguskern und einer weiß erstarrten Schale, der nach dem Guss in gleicher Weise wie die durch die statischen Gießverfahren erhaltenen Rohlinge bearbeitet wird, um beispielsweise einen Walzenkörper für die Behandlung eines bahnförmigen Materials oder einen Mahlkörper zu erhalten.

[0045] Der Strang 4 ruht auf der Plattform 3. Durch Absenken der Plattform 3 innerhalb der Absenkvorrichtung 10 wird der Strang 4 aus der Kokille 2 abgezogen. Die Abziehgesehwwindigkeit v des Strangs 4, d.h. die Geschwindigkeit, mit der der Strang 4 aus der Kokille 2 abgezogen und durch die Kühleinrichtung 5 geführt wird, ist gleich der Absenkgeschwindigkeit der Plattform 3.

[0046] Die Absenkvorrichtung 10 lagert und führt die Plattform 3. Die Plattform 3 ist vorzugsweise wie eine hydraulische Hebebühne ausgebildet.

[0047] Der Strang 4 kann im Falle eines kreiszylindrischen Strangs bei dem Gießen einer Fe-Basislegierung

einen Durchmesser von bis zu 2000 mm haben. Beim kontinuierlichen Kokillenguss einer Cu-Basislegierung kann der Strangdurchmesser wegen der besseren Wärmeleitfähigkeit von Cu durchaus noch größer sein. Der Siliziumgehalt einer Fe-Basissschmelze wird in bevorzugten Ausführungsbeispielen mit dem Strangdurchmesser erhöht. Bei dünnen Strängen, von beispielsweise etwa 200 mm kann der Siliziumgehalt bis zu 0.7% betragen, während der Siliziumgehalt der Basisschmelze bei dickeren Strängen geringer sein sollte und bei einem Strangdurchmesser von etwa 2000 mm vorzugsweise bis auf 0.1% gesenkt wird. Durch die Untersilizierung wird die Gradientenbildung unterstützt.

[0048] Die außerhalb des thermodynamischen Gleichgewichts erstarrte äußere Schale ist vorzugsweise umso dicker, je größer der Durchmesser des Gusskörpers ist, nicht zuletzt um die bei größeren Durchmesser gewünschte größere Materialzugabe im Falle einer spanenden Nachbearbeitung der Oberfläche zu erhalten. Bei Durchmessern von 2000 mm beträgt die Dicke der Schreckschicht bei Walzenkörpern vorzugsweise etwa 100 mm. Für den Großteil der Formkörper beträgt die Dicke der Schreckschicht vorteilhafterweise zwischen 1% und 10% des Durchmessers des Gusskörpers, wobei die Dicke über den Umfang des Gusskörpers möglichst gleichmäßig eingestellt wird. Für besondere Verwendungen des Formkörpers kann die Dicke der Schreckschicht über den Umfang auch gezielt variiert werden.

[0049] Für das Stranggießen eines Hohlzylinders kann mit einem Kern oder mit einer Innenkokille gearbeitet werden. Wenn mit einem Kern gegossen wird, dann ist eine Ausgestaltung der Plattform in der Weise vorteilhaft, dass die Plattform mit der Unterseite des Kerns verbunden wird. Der Kern selbst wird dabei bevorzugt an einer Hebe- bzw. Absenkvorrichtung über der Kokille befestigt.

Patentansprüche

1. Gradientenwerkstoff-Formkörper, der aus wenigstens einer Metalllegierung, die in einer äußeren Schale des Formkörpers außerhalb des thermodynamischen Gleichgewichts erstarrt ist, in einem kontinuierlichen Kokillenguss nicht als Halbzeug, sondern als endkonturnahes Fertigbauteil erhalten wurde.
2. Gradientenwerkstoff-Formkörper nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Formkörper in einem Kern stabil bzw. im thermodynamischen Gleichgewicht erstarrt ist.
3. Gradientenwerkstoff-Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metalllegierung eine Gusslegierung ist.
4. Gradientenwerkstoff-Formkörper nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metalllegierung keine Knetlegierung ist.
5. Gradientenwerkstoff-Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metalllegierung eine Gusseisenlegierung ist.
6. Gradientenwerkstoff-Formkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metalllegierung eine Werkzeugstahllegierung mit einem C-Gehalt von wenigstens 0.8 bis höchstens 1.5% im Mittel und einem Cr-Gehalt von wenigstens 5 und höchstens 12% ist, die als weiteres Legierungselement wenigstens eines der Elemente V, Mo und W enthält, wobei der V-Gehalt höchstens 10%, der Mo-Gehalt höchstens 1.5% und der W-Gehalt höchstens 1% beträgt.
7. Gradientenwerkstoff-Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Formkörper ein Funktionsbauteil, vorzugsweise ein zylindrischer Rotationskörper, für eine Ver- oder Bearbeitungsmaschine ist.
8. Gradientenwerkstoff-Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Formkörper ein Walzenkörper zur Bearbeitung eines bahnförmigen Materials oder ein Verschleißgusskörper zum Zerkleinern, Quetschen, Mahlen oder Reiben ist.
9. Gradientenwerkstoff-Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die äußere Schale eine Dicke aufweist, die zwischen 1% und 20% des mittleren Abstands der Schalenoberfläche von einer Mittellängsachse des Formkörpers beträgt.
10. Gradientenwerkstoff-Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine weiß erstarrte Fe-Basislegierung die Schale bildet.
11. Gradientenwerkstoff-Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Formkörper aus einer einzigen Metalllegierung, vorzugsweise eine Fe-Basislegierung, gegossen ist.
12. Gradientenwerkstoff-Formkörper nach einem Ansprüche 1-10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schale und ein Kern des Formkörpers durch unterschiedliche Metalllegierungen gebildet werden, wobei die Metalllegierungen vorzugsweise je Fe-Basislegierungen sind.

13. Gradientenwerkstoff-Formkörper nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Formkörper ein Verbundformkörper mit von der Metalllegierung umgossenen, sich in Längsrichtung des Formkörpers erstreckenden Fasern ist. 5
14. Verfahren zur Herstellung eines Gradientenwerkstoff-Formkörpers, bei dem der Formkörper aus wenigstens einer übersättigt legierten Metallschmelze in einem kontinuierlichen Kokillenguss in seine Endform gegossen und bei dem Gießen eine äußere Formkörperschale in ihr Kristallgitter eingeschreckt wird. 10
15. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Formkörper in einem senkrechten Strang gegossen wird. 15
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschmelze mit einem Basismetall und wenigstens zwei Legierungselementen gebildet wird, wobei die Legierungselemente je in einem Anteil zulegiert sind, der bis höchstens zum nächstgelegenen ternären Eutektikum reicht. 20
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Basismetall Al, Ti, Fe, Ni oder Cu ist und die Legierungselemente zu der Gruppe umfassend B, C, Si, P, S, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Co, Zr, Mo und W gehören. 25
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschmelze eine untersiliziierte Fe-Basissschmelze ist mit einem Siliziumgehalt von wenigstens 0.1% und höchstens 1.2%. 30
19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschmelze an Kohlenstoff übersättigt ist mit einem Kohlenstoffgehalt von wenigstens 0.2% bis höchstens 5%. 35
20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschmelze eine Werkzeugstahllegierung mit einem C-Gehalt von wenigstens 0.8 und höchstens 1.5%, einem Cr-Gehalt von wenigstens 5 und höchstens 12% ist, die als weiteres Legierungselement wenigstens eines der Elemente V, Mo und W enthält, wobei der V-Gehalt höchstens 10%, der Mo-Gehalt höchstens 1.5% und der W-Gehalt höchstens 1% beträgt. 40
21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren so durchgeführt wird, dass sich in Querschnitten des Formkörpers, vorzugsweise in allen Querschnitten des Formkörpers, ein über dem jeweiligen Querschnitt gemittelter, vorgegebener Elastizitäts-Modul einstellt. 45
22. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des Gusses eine physikalische Kenngröße des Guskörpers gemessen und als Regelgröße zu einer Verfahrensregelung zurückgeführt wird, wobei die physikalische Kenngröße so gewählt ist, dass aus ihr auf den sich einstellenden Elastizitäts-Modul geschlossen werden kann. 50
23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschmelze in einer Stranggießanlage (1, 2, 5, 10) zu einem kontinuierlichen Strang (4) vergossen wird und eine mittlere Abziehggeschwindigkeit (v_m) des Strangs (4) der Relation $v_m \leq 7 \times 10^7 \times D^{-2}$ genügt, wobei v_m die mittlere Abziehggeschwindigkeit in mm/min, D der Außendurchmesser des Formkörpers in mm und z ein dimensionsloser Faktor mit einem Wert zwischen 1,9 und 2,0 ist. 55
24. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine momentane Abziehggeschwindigkeit (v) periodisch geändert wird.
25. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich ergebende Stillstandsphasen des Strangs (4) eine Dauer von höchstens 5 Sekunden aufweisen.
26. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschmelze als Schale um einen zuvor ebenfalls in einem kontinuierlichen Kokillenguss gebildeten Kern oder um einen Fremdkern gegossen wird.
27. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kern aus einer Schmelze kontinuierlich gegossen wird und die Schmelze für den Kern eine andere Legierungszusammensetzung als die Schmelze für die Schale aufweist.
28. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein in einer ersten Kokille kontinuierlich gegossener Kernstrang durch eine zweite Kokille geführt und in der zweiten Kokille mit der Schale umgossen wird.

