

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **033878**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

- | | |
|---|--|
| <p>(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.12.04</p> <p>(21) Номер заявки
201691326</p> <p>(22) Дата подачи заявки
2014.12.30</p> | <p>(51) Int. Cl. B22D 13/00 (2006.01)
C22C 37/00 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)
C22C 29/00 (2006.01)</p> |
|---|--|

(54) КОМПОЗИЦИОННОЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ИЗДЕЛИЕ

- | | |
|--|--|
| <p>(31) 2013905093</p> <p>(32) 2013.12.30</p> <p>(33) AU</p> <p>(43) 2016.11.30</p> <p>(86) PCT/AU2014/001176</p> <p>(87) WO 2015/100472 2015.07.09</p> <p>(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ВИЭ МИНЕРАЛС АВСТРАЛИЯ ЛТД
(AU)</p> <p>(72) Изобретатель:
Тан Синьху, Долман Кевин Фрэнсис
(AU)</p> <p>(74) Представитель:
Угрюмов В.М. (RU)</p> | <p>(56) AU-A1-2013203102
US-A-5025849
US-B1-6805757</p> |
|--|--|

- (57) В изобретении представлено центробежно-литое композиционное металлическое изделие, имеющее ось вращения, аксиально вытянутую наружную поверхность и массу по меньшей мере 5 кг, содержащее матрицу из сплава на основе железа и 5-50 об.% нерастворимых твердых частиц тугоплавкого материала, распределенных в сплаве на основе железа, при этом частицы тугоплавкого материала представляют собой карбиды, и/или бориды, и/или нитриды одного или более чем одного переходного металла, при этом частицы тугоплавкого материала формируют радиальные слои изделия и включены в наружный поверхностный слой изделия, который составляет менее чем 50% от радиальной толщины изделия в направлении от наружной поверхности изделия, при этом образуется неоднородное распределение тугоплавких частиц в радиальной толщине изделия, где неоднородное распределение тугоплавких частиц включает первую концентрацию частиц в изделии в одном слое изделия, которая является более высокой, чем вторая концентрация частиц в другом слое в изделии.

033878
B1

033878
B1

Область техники, к которой относится настоящее изобретение

Настоящее изобретение относится к способу центробежного литья композиционного металлического изделия, при этом конечное изделие обычно варьирует по массе в диапазоне 20-5000 кг, имеет матрицу из основного металла, обычно матрицу из сплава на основе железа, и содержит наружный поверхностный слой номинальной толщиной 1-20 мм, состоящий из твердых нерастворимых тугоплавких частиц для повышенной износостойкости.

Настоящее изобретение также относится к центробежно-литым композиционным металлическим изделиям.

В контексте настоящего изобретения термин "тугоплавкие частицы" подразумевает включение частиц карбидов, и/или нитридов, и/или боридов с высокой температурой плавления одного или более чем одного из девяти переходных металлов, таких как титан, цирконий, гафний, ванадий, ниобий, тантал, хром, молибден и вольфрам, диспергированных в вязком основном металле, который действует в качестве связующей фазы. Каждая из этих тугоплавких частиц представляет собой частицу тугоплавкого материала и называется в настоящем документе как "тугоплавкий материал". Как правило, основным металлом является сплав на основе железа. Основным металлом могут также являться суперсплавы на основе никеля и кобальта.

В контексте настоящего изобретения термин "нерастворимый" означает для всех намерений и целей, что тугоплавкий материал не растворяется в основном металле при температурах литья, обычно в интервале 1200-1600°C для основных металлов из сплава на основе железа. Может иметься ограниченная растворимость. Однако тугоплавкие частицы существенно отличаются от основного металла тем, что имеется незначительное распределение элементов частиц тугоплавкого материала по основному металлу во время литья и в отвержденном продукте.

Краткое описание изобретения

В первом аспекте раскрыты варианты осуществления центробежно-литого композиционного металлического изделия, имеющего ось вращательной симметрии и массу по меньшей мере 5 кг, обычно по меньшей мере 10 кг и чаще по меньшей мере 20 кг и содержащего основной металл и нерастворимые твердые частицы тугоплавкого материала в неоднородном распределении по основному металлу, при этом частицы имеют плотность, которая находится в пределах 30%, обычно в пределах 20% от плотности основного металла при его температуре литья.

Композиционное металлическое изделие содержит две различные зоны в отвержденном материале, а именно зону нерастворимых твердых частиц тугоплавкого материала и область основного металла, которая почти не содержит тугоплавких частиц, при этом тугоплавкие частицы существенно отличаются от основного металла тем, что имеется незначительное распределение элементов частиц тугоплавкого материала по основному металлу при температуре литья и в отвержденном продукте.

Отличительной особенностью данного изобретения является то, что твердые частицы тугоплавкого материала нерастворимы в основном металле при температуре литья и после отверждения, и это отличает данное изобретение от предложений предшествующего уровня техники, таких как JPS632864, в котором в основной металл из сплава на основе железа добавляют ферросплавы (a) Fe-W, (b) Fe-Mo и (c) Fe-Cr с образованием соответственно (a) карбида вольфрама, (b) карбида молибдена и (c) карбида хрома, которые растворимы до различных степеней в основном металле при обычных температурах литья. В результате, в этих системах объемный процент (%) твердых нерастворимых тугоплавких карбидов в микроструктуре является существенно сниженным, и растворенный вольфрам, и/или молибден, и/или хром могут отрицательно влиять на физические и химические свойства основного металла при комнатной температуре в неизвестной степени (например, снижение вязкости и другая реакция на термическую обработку).

В некоторых вариантах осуществления тугоплавкие частицы могут иметь плотность, которая выше плотности основного металла, и в этом случае будет наблюдаться более высокая концентрация тугоплавких частиц в направлении к наружной поверхности центробежно-литого композиционного металлического изделия.

В некоторых вариантах осуществления тугоплавкие частицы могут иметь плотность ниже, чем плотность основного металла, и в этом случае будет наблюдаться более высокая концентрация тугоплавких частиц в направлении к внутренней поверхности изделия.

В некоторых вариантах осуществления неоднородное распределение тугоплавких частиц может включать первую концентрацию тугоплавких частиц в наружном или внутреннем поверхностном слое изделия, которая является более высокой, чем вторая концентрация тугоплавких частиц в другом слое в изделии.

В некоторых вариантах осуществления первая концентрация тугоплавких частиц в наружном поверхностном слое изделия может превышать по меньшей мере на 50 об.%, обычно по меньшей мере на 60 об.%, обычно по меньшей мере на 70 об.% и чаще на 50-120 об.% номинальный объемный процент тугоплавкого материала в изделии.

В некоторых вариантах осуществления первая концентрация тугоплавких частиц в наружном поверхностном слое изделия может составлять по меньшей мере 10%, обычно по меньшей мере 20%,

обычно менее чем 40% и чаще находится в диапазоне 10-40 об.% от общего объема наружного поверхностного слоя.

В некоторых вариантах осуществления вторая концентрация тугоплавких частиц в другом слое изделия может находиться в диапазоне 2-4,5 об.%, обычно 2-3,5 об.% от общего объема другого слоя.

В некоторых вариантах осуществления наружный или внутренний поверхностный слой изделия может иметь толщину по меньшей мере 5%, обычно по меньшей мере 20%, чаще по меньшей мере 25% от радиальной толщины изделия в направлении от наружной или внутренней поверхности.

В некоторых вариантах осуществления наружный или внутренний поверхностный слой изделия может иметь толщину по меньшей мере 50%, обычно по меньшей мере 40%, чаще по меньшей мере 20% от радиальной толщины изделия в направлении от наружной или внутренней поверхности.

В некоторых вариантах осуществления наружный или внутренний поверхностный слой изделия может проходить по меньшей мере на 10 см, обычно по меньшей мере на 20 мм, обычно менее чем на 50 мм, обычно 1-50 мм и чаще 5-20 мм от наружной или внутренней поверхности.

В некоторых вариантах осуществления первая концентрация тугоплавких частиц в наружном поверхностном слое изделия может составлять по меньшей мере 5 об.%, обычно по меньшей мере 10 об.%, обычно 5-90 об.% и чаще 10-40 об.% от общего объема частиц.

В некоторых вариантах осуществления общая концентрация тугоплавких частиц в изделии может составлять по меньшей мере 5 об.%, обычно по меньшей мере 10 об.% и чаще находится в диапазоне 5-50 об.% от общего объема изделия.

В некоторых вариантах осуществления общая концентрация тугоплавких частиц в изделии может находиться в диапазоне 5-40 об.% от общего объема изделия.

В некоторых вариантах осуществления общая концентрация тугоплавких частиц в изделии может находиться в диапазоне 5-20 об.% от общего объема изделия.

В некоторых вариантах осуществления тугоплавкие частицы могут представлять собой карбиды, и/или бориды, и/или нитриды одного или более чем одного переходного металла, при этом частицы представляют собой химическую смесь (но не физическую смесь) карбидов, и/или боридов, и/или нитридов переходных металлов. Другими словами, в случае карбидов тугоплавкие частицы могут относиться к типу, описанному как $(M_1, M_2)C$ или $(M_1, M_2, M_3)C$, где M представляет собой переходный металл. Далее в настоящем документе в качестве примера описаны частицы типа $(Nb, Ti, W)C$.

Основной металл может представлять собой любой подходящий основной металл. Основной металл может представлять собой сплав на основе железа, такой как нержавеющая сталь или аустенитная марганцевая сталь или литейный чугун. Основной металл может представлять собой цветной металл, такой как титан или титановый сплав.

В некоторых вариантах осуществления основной металл может представлять собой сплав, включающий любой из следующих сплавов:

- (a) сталь Гадфильда для использования, например, в мантиях гирационных дробилок;
- (b) нержавеющая сталь 420C для использования, например, во втулках вала в шламowych насосах и
- (c) высокохромистый белый чугун.

Как используется в некоторых вариантах осуществления, сталь Гадфильда может содержать

1,0-1,4 мас.% C,
0,0-1,0 мас.% Si,
10-15 мас.% Mn,
0,0-3,0 мас.% Mo,
0,0-5,0 мас.% Cr,
0,0-2,0 мас.% Ni,

при этом остальные компоненты представляют собой Fe и случайные примеси.

Как используется в некоторых вариантах осуществления, нержавеющая сталь 420C может содержать

0,3-0,5 мас.% C,
0,5-1,5 мас.% Si,
0,5-3,0 мас.% Mn,
0,0-0,5 мас.% Mo,
10-14 мас.% Cr,
0,0-1,0 мас.% Ni,

при этом остальные компоненты представляют собой Fe и случайные примеси.

Как используется в некоторых вариантах осуществления, высокохромистый белый чугун может содержать

1,5-4,0 мас.% C;
0,0-1,5 мас.% Si,
0,5-7,0 мас.% Mn,
0,0-1,0 мас.% Mo,
15-35 мас.% Cr,

0,0-1,0 мас.% Ni,

при этом остальные компоненты представляют собой Fe и случайные примеси.

Композиционное металлическое изделие может представлять собой любое изделие, которое адаптировано для центробежного литья и для которого требуется обладание высокой износостойкостью и высокой вязкостью. Примеры таких изделий включают мантию гирационной дробилки для первичного, вторичного или третичного дробления, втулку вала шламового насоса, валки для использования в дробилках (включая валки большого диаметра, которые имеют диаметр порядка 1 м и толщину радиальной стенки в диапазоне 300-400 мм) и другие элементы дробилок и насосов.

Во втором аспекте раскрыты варианты осуществления, в которых композиционное металлическое изделие согласно первому аспекту может представлять собой мантию гирационной дробилки для первичного, вторичного или третичного дробления.

В третьем аспекте раскрыты варианты осуществления, в которых композиционное металлическое изделие согласно первому аспекту может представлять собой втулку вала шламового насоса.

В четвертом аспекте раскрыты варианты осуществления способа центробежного литья композиционного металлического изделия, имеющего ось вращательной симметрии и массу по меньшей мере 5 кг, обычно по меньшей мере 10 кг и чаще по меньшей мере 20 кг и содержащего основной металл и неоднородное распределение нерастворимых твердых тугоплавких частиц тугоплавкого материала, при этом способ включает:

(a) формирование суспензии, содержащей твердые частицы тугоплавкого материала, диспергированные в жидком основном металле, при этом концентрация тугоплавких частиц составляют 5-50 об.%, обычно 5-40 об.% от общего объема суспензии, при этом тугоплавкие частицы нерастворимы при температуре литья и тугоплавкие частицы имеют плотность, которая находится в пределах 30%, обычно в пределах 20% от плотности основного металла при температуре литья; и

(b) заливку суспензии в форму для композиционного металлического изделия, центробежное литье изделия в форме и получение неоднородного распределения нерастворимых твердых тугоплавких частиц по основному металлу.

В некоторых вариантах осуществления стадия (a) может включать формирование тугоплавких частиц *in situ* в расплавленном основном металле и диспергирование частиц в расплавленном основном металле.

В некоторых вариантах осуществления стадия (a) может включать добавление тугоплавких частиц в расплавленный основной металл.

В некоторых вариантах осуществления стадии (a) и (b) могут выполняться в инертной атмосфере, например в атмосфере инертного газа.

В некоторых вариантах осуществления стадия (b) может включать подготовку формы путем создания инертной атмосферы внутри формы.

В некоторых вариантах осуществления стадия (b) может включать вращение формы вокруг оси после и/или во время заливки суспензии в форму для того, чтобы вызвать увеличение концентрации тугоплавких частиц на наружной поверхности или вблизи наружной поверхности, или на внутренней поверхности или вблизи внутренней поверхности композиционного металлического изделия, которая является более высокой, чем концентрация частиц где-либо в других местах в изделии.

В некоторых вариантах осуществления стадия (b) может включать вращение формы при 10-120 единицах g-фактора, при этом g-фактор представляет собой центробежную силу, действующую на вращающееся тело, деленую на гравитационную силу.

В некоторых вариантах осуществления стадия (b) может включать вращение формы с окружной скоростью 2,5-25 м/с.

В некоторых вариантах осуществления стадия (b) может включать вращение формы в течение времени, достаточного для получения неоднородного распределения твердых частиц по основному металлу.

В некоторых вариантах осуществления стадия (b) может включать вращение формы до отверждения основного металла.

В некоторых вариантах осуществления стадия (b) может включать заливку суспензии в форму при температуре литья в интервале 1200-2000°C, обычно в интервале 1350-1650°C.

В некоторых вариантах осуществления способ может включать выбор производственных параметров для формирования суспензии на стадии (a), которая обладает требуемой текучестью для обработки на стадии (b).

Производственные параметры могут включать один или несколько из размера частиц, реакционной способности, плотности и растворимости тугоплавких материалов, как описано в международной заявке на патент PCT/AU2011/000092 (WO2011/094800) на имя настоящего заявителя. Раскрытие этой международной заявки включено здесь путем перекрестной ссылки. Ниже рассматривается плотность и растворимость тугоплавкого материала.

Параметром, подлежащим рассмотрению в ходе осуществления способа согласно настоящему изобретению, является плотность тугоплавкого материала частиц относительно плотности основного металла в жидком состоянии для контроля диспергирования тугоплавких частиц в горячем основном металле.

Номинальная плотность основного жидкого металла на основе железа при 1400°C составляет 6,9 г/см³. Когда тугоплавкие частицы в форме частиц карбида вольфрама (WC) с плотностью 15,7 г/см³ при 25°C добавляются в основной металл на основе железа для формирования суспензии, частицы WC будут оседать на дно суспензии. Когда тугоплавкие частицы в форме частиц карбида титана (TiC) с плотностью 4,8 г/см³ при 1400°C добавляются в такой же основной металл на основе железа, частицы TiC будут всплывать к поверхности суспензии. Тугоплавкие частицы в форме карбида ниобия (NbC), имеющие плотность 7,7 г/см³ при 1400°C, очень близки по плотности к основному жидкому металлу на основе железа, имеющему плотность 6,9 г/см³, и менее склонны к описанной выше сегрегации в основном жидком металле на основе железа, чем TiC или WC.

TiC с плотностью 4,9 г/см³ при 25°C полностью растворим в NbC, который имеет плотность 7,8 г/см³ при 25°C. Таким образом, тугоплавкие частицы с плотностью в диапазоне 4,9-7,8 г/см³ при 25°C могут быть получены путем выбора частиц (Nb,Ti)C с требуемым содержанием ниобия и титана.

Карбид вольфрама (WC) с плотностью 15,7 г/см³ при 25°C в основном растворим в NbC, TiC и (Nb,Ti)C. Таким образом, тугоплавкие частицы с плотностью в диапазоне 4,8-15,7 г/см³ при 25°C могут быть получены путем отбора частиц (Nb,Ti,W)C с требуемым содержанием ниобия, титана и вольфрама.

Все тугоплавкие частицы, описанные формулой (Nb,Ti,W)C, нерастворимы в основных жидких металлах на основе железа при температурах литья в диапазоне 1200-1600°C.

Карбид ниобия и карбид титана имеют сходные кристаллические структуры и являются изоморфными.

Из вышеизложенного следует, что выбор требуемого соотношения Nb:Ti в химическом соединении (Nb,Ti)C или требуемого соотношения Nb:Ti:W в химическом соединении (Nb,Ti,W)C может обеспечить получение тугоплавкого материала с требуемой плотностью в пределах 20% от плотности основного металла на основе железа.

Добавление тугоплавких частиц, которые являются для всех намерений и целей нерастворимыми (то есть минимально растворимы в основном жидком металле), для получения центробежно-литой отливки композиционного металлического изделия в соответствии со способом согласно настоящему изобретению обеспечивает получение изделия, обладающего сходными с основным металлом физическими и химическими свойствами, со значительно улучшенной износостойкостью благодаря присутствию в микроструктуре основного металла контролируемой дисперсии с высоким объемным процентом частиц тугоплавкого материала.

Например, растворимость тугоплавкого материала в форме (Nb,Ti,W)C в жидких основных металлах в форме (а) жидкой стали Хадфильда, (b) жидкой нержавеющей стали 420С и (с) жидкого высокохромистого белого чугуна при повышенных температурах является ничтожно малой (<0,3 мас.%). Добавление (Nb,Ti,W)C с требуемыми плотностями в эти три основных металлических сплава с последующим центробежным литьем композиционного металлического изделия и стандартная процедура термической обработки каждого основного металла обеспечивает получение в изделии микроструктур, содержащих дисперсию первичных карбидов ниобия-титана-вольфрама в основных металлах, которые в основном не содержат ниобия, титана и вольфрама, то есть имеется незначительное распределение переходных металлов, содержащихся в частицах суспензии тугоплавкого материала, по жидкому основному металлу.

Таким образом, частицы тугоплавкого материала незначительно влияют на физические свойства (например, температуру плавления) и химические свойства (например, реакцию на термическую обработку) основного металла.

В дополнение к вышеизложенному, в частности, заявитель обнаружил, что обеспечение композиционного металлического изделия микроструктурой, включающей диспергированные в матрице основного металла частицы карбида ниобия и/или частицы химической (но не физической) смеси двух или более чем двух из карбида ниобия, карбида титана и карбида вольфрама, значительно улучшает износостойкость твердого металлического материала без ухудшения благоприятного влияния других компонентов сплава на другие свойства композиционного металлического изделия.

В дополнение и как описано выше, в частности, заявитель обнаружил, что возможно регулировать плотность частиц химической смеси двух или более чем двух из карбида ниобия, карбида титана и карбида вольфрама до достаточной степени относительно плотности основного металла, который образует матрицу композиционного металлического изделия. Эта возможность контроля плотности является важным открытием применительно к центробежно-литым отливкам из твердого металлического материала.

В частности, благодаря этому открытию возможно получение центробежно-литых отливок композиционного металлического изделия с контролируемым неоднородным распределением, то есть сегрегацией частиц в частях отливок. Это является важным для конечного применения отливок, когда желательно иметь концентрацию частиц с высокой износостойкостью вблизи поверхности отливки из твердого металлического материала.

Кроме того, заявитель обнаружил, что включение в формование отливок композиционного металлического изделия частиц карбида ниобия и/или частиц химической смеси двух или более чем двух из карбида ниобия, карбида титана и карбида вольфрама в диапазоне 5-50 об.%, обычно 5-40 об.%, чаще

5-20 об.% от общего объема композиционного металлического изделия, диспергированных в основном металле, который образует матрицу композиционного металлического изделия, не оказывает значительного отрицательного влияния на коррозионную стойкость и вязкость материала на основе железа в основном металле. Таким образом, настоящее изобретение обеспечивает возможность достижения высокой износостойкости композиционного металлического изделия без утраты других желательных свойств материала.

Таким образом, в пятом аспекте обеспечен способ центробежного литья композиционного металлического изделия, имеющего ось вращательной симметрии и массу по меньшей мере 5 кг, и содержащего основной металл и неоднородное распределение нерастворимых твердых тугоплавких частиц тугоплавкого материала, при этом способ включает добавление (а) ниобия или (б) двух или более чем двух из ниобия, и титана, и вольфрама в расплав, содержащий основной металл в форме, которая обеспечивает получение твердых тугоплавких частиц карбида ниобия, нерастворимых при температуре литья, и/или твердых тугоплавких частиц химической смеси двух или более чем двух из карбида ниобия, и карбида титана, и карбида вольфрама, нерастворимых при температуре литья, при этом концентрация твердых тугоплавких частиц находится в диапазоне 5-50 об.%, обычно 5-40 об.%, чаще 5-20 об.% от общего объема изделия, центробежное литье изделия в форме и получение неоднородного распределения нерастворимых твердых частиц по основному металлу.

Термины "химическая смесь карбида ниобия и карбида титана" и "карбида ниобия/титана" в настоящем документе понимаются как синонимы. Кроме того, термин "химическая смесь" в данном контексте означает, что карбиды ниобия и карбиды титана присутствуют в смеси не в виде частиц карбидов одного металла, а в виде частиц карбидов ниобия/титана, (Nb,Ti)C.

Термины "химическая смесь карбида ниобия, и карбида титана, и карбида вольфрама" и "карбида ниобия/титана/вольфрама" в настоящем документе понимаются как синонимы. Кроме того, термин "химическая смесь" в данном контексте означает, что карбиды ниобия, и карбиды титана, и карбиды вольфрама присутствуют в смеси не в виде частиц карбидов одного металла, а в виде частиц карбидов ниобия/титана/вольфрама (Nb,Ti,W)C.

Карбид ниобия, и карбид титана, и карбид вольфрама, каждый, имеют твердость по Виккерсу около 25 ГПа, которая примерно на 10 ГПа выше твердости карбидов хрома (номинально 15 ГПа). Таким образом, композиционные металлические изделия, имеющие микроструктуру, содержащую 5-50 об.%, обычно 5-40 об.%, чаще 5-20 об.% карбида ниобия, и/или карбида ниобия/титана, и/или карбида ниобия/титана/вольфрама, обладают превосходной износостойкостью. Заявитель пришел к выводу, что карбиды ниобия, и карбиды титана, и карбиды вольфрама, и карбиды ниобия/титана, и карбиды ниобия/титана/вольфрама являются, по существу, химически инертными по отношению к другим компонентам композиционного металлического изделия, поэтому эти компоненты обеспечивают получение изделия со свойствами, из-за которых они были выбраны. Например, хром, добавленный в чугунный сплав, также образует карбиды хрома и обеспечивает коррозионную стойкость.

Ниобий и титан, и вольфрам могут быть добавлены в расплав основного металла для формирования суспензии в любой подходящей форме, учитывая требование к формированию нерастворимых твердых частиц карбидов ниобия и/или карбидов ниобия/титана и/или карбидов ниобия/титана/вольфрама в композиционном металлическом изделии.

Например, способ может включать добавление ниобия в расплав в форме ферро-ниобия, например частиц ферро-ниобия. В этой ситуации ферро-ниобий растворяется в расплаве и образовавшийся свободный ниобий и углерод химически соединяются с образованием в расплаве нерастворимых твердых карбидов ниобия.

Способ может также включать добавление ниобия в расплав в виде элементарного ниобия.

Способ может также включать добавление ниобия и титана в расплав в виде ферро-ниобия-титана.

Способ может также включать добавление ниобия, и титана, и вольфрама в расплав в виде ферро-ниобия-титана-вольфрама.

Способ может также включать добавление ниобия в расплав в форме частиц карбида ниобия.

Способ может также включать добавление ниобия и титана в расплав в форме нерастворимых твердых частиц карбидов ниобия/титана.

Способ может также включать добавление ниобия, и титана, и вольфрама в расплав в форме нерастворимых твердых частиц карбидов ниобия/титана/вольфрама.

В каждом из этих случаев отвержденный сплав металлов может быть образован из суспензии частиц карбида ниобия и/или карбидов ниобия/титана/вольфрама, суспендированных в расплаве. Если массовая доля этих карбидов в расплавленной суспензии является слишком высокой, свойства текучести суспензии могут быть значительно ухудшены, в результате чего могут быть получены некачественные отливки.

Нерастворимые твердые частицы карбидов ниобия/титана могут представлять собой любую подходящую химическую смесь общей формулы $(Nb_xTi_y)C$.

Нерастворимые твердые частицы карбидов ниобия/титана/вольфрама могут представлять собой любую подходящую химическую смесь общей формулы $(Nb_xTi_yW_z)C$. Например, карбиды нио-

бия/титана/вольфрама могут представлять собой $(\text{Nb}_{0.25}\text{Ti}_{0.50}\text{W}_{0.25})\text{C}$.

Ниобий, и/или титан, и/или вольфрам могут быть добавлены в расплав с получением нерастворимых твердых частиц карбида ниобия, и/или карбидов ниобия/титана, и/или карбидов ниобия/титана/вольфрама в количестве в диапазоне 12-33 мас.% карбидов ниобия, или карбидов ниобия/титана, или карбидов ниобия/титана/вольфрама от общей массы литого материала.

Ниобий, и/или титан, и/или вольфрам могут быть добавлены в расплав с получением нерастворимых твердых частиц карбида ниобия, и/или карбидов ниобия/титана, и/или карбидов ниобия/титана/вольфрама в количестве в диапазоне 12-25 мас.% карбидов ниобия, или карбидов ниобия/титана, или карбидов ниобия/титана/вольфрама от общей массы литого материала.

Количество частиц карбида ниобия, и/или карбидов ниобия/титана, и/или карбида ниобия/титана/вольфрама в микроструктуре отвержденного твердого металлического материала может зависеть от системы.

Заявитель рассматривает, в частности, твердые композиционные металлические изделия, которые включают основные металлы в форме сплавов на основе железа, таких как сплавы на основе железа, описанные как высокохромистые белые чугуны, нержавеющие стали и аустенитные марганцевые стали (такие как стали Хадфильда). Для сплавов на основе железа количество нерастворимых твердых частиц тугоплавкого материала в форме карбида ниобия, и/или карбидов ниобия/титана, и/или карбидов ниобия/титана/вольфрама в конечном композиционном металлическом изделии может находиться в диапазоне 5-50 об.%, обычно 5-40 об.%, чаще 5-20 об.% от общего объема литого композиционного металлического изделия.

Размер частиц карбида ниобия, и/или карбида ниобия/титана, и/или карбида ниобия/титана/вольфрама может находиться в диапазоне 1-150 мкм в диаметре.

Способ может включать перемешивание суспензии с инертным газом или магнитную индукцию или любые другие подходящие средства для диспергирования частиц карбида ниобия, и/или карбидов ниобия/титана, и/или карбидов ниобия/титана/вольфрама в суспензии.

Способ может включать добавление частиц карбида ниобия и/или частиц карбидов ниобия/титана/вольфрама в расплав основных металлов из сплава на основе железа в инертных условиях, таких как аргоновая подушка, для снижения степени окисления карбида ниобия и/или карбида ниобия/титана/вольфрама при добавлении в расплав.

Способ может включать добавление частиц ферро-ниобия, и/или ферро-титана, и/или ферро-вольфрама, и/или ферро-ниобия-титана-вольфрама в расплав в инертных условиях, таких как аргоновая подушка, для снижения степени окисления ниобия, и/или титана, и/или вольфрама при добавлении в расплав.

В ситуации, когда в литом композиционном металлическом изделии требуется присутствие частиц карбидов ниобия/титана/вольфрама, способ может включать предварительное расплавление ферро-ниобия, и ферро-титана, и ферро-вольфрама и/или ферро-ниобия-титана-вольфрама в инертных условиях и формирование жидкой фазы, представляющей собой гомогенную химическую смесь железа, ниобия, и титана, и вольфрама, и отверждение этой химической смеси. Затем химическая смесь может быть обработана надлежащим образом, например измельчением до частиц требуемого размера, и затем добавлена в расплав (содержащий углерод) в инертных условиях. Железо, ниобий, и титан, и вольфрам растворяются в расплаве и химически соединяются с углеродом с образованием карбидов ниобия/титана/вольфрама в расплаве.

Другие аспекты, отличительные признаки и преимущества станут очевидными из следующего подробного описания в сочетании с сопровождающими чертежами, которые являются частью данного описания и иллюстрируют в качестве примера принципы раскрытого изобретения.

Краткое описание чертежей

Независимо от любых других форм, которые подпадают под объем способа и конечного композиционного металлического изделия, как изложено в разделе "Краткое описание изобретения", конкретные варианты осуществления способа и конечного композиционного металлического изделия будут описаны в качестве примера и со ссылкой на сопровождающие чертежи, на которых:

фиг. 1 представляет собой схему, которая иллюстрирует типичный способ центробежного литья;

фиг. 2 представляет собой изображение SEM участка одного из образцов отлитого центробежным способом испытываемого цилиндра "37863" (основной металл A05+5 об.% частиц NbC), изготовленного в ходе экспериментальной работы, связанной с изобретением;

фиг. 3 представляет собой оптические изображения поперечных срезов образцов центробежно-литых испытываемых цилиндров "37628", "37629", "37630" и "37655" (основной металл A05+5 об.% частиц NbC), изготовленных в ходе экспериментальной работы, связанной с изобретением;

фиг. 4 представляет собой график зависимости твердости от расстояния от наружных поверхностей до внутренних поверхностей образцов, описанных в отношении фиг. 3;

фиг. 5 представляет собой оптические изображения поперечных срезов образцов центробежно-литых испытываемых цилиндров "37631", "37632", "37633" и "37636" (основной металл A05+12 об.% частиц NbC), изготовленных в ходе экспериментальной работы, связанной с изобретением;

фиг. 6 представляет собой график зависимости твердости от расстояния от наружных поверхностей до внутренних поверхностей образцов, описанных в отношении фиг. 5;

фиг. 7 представляет собой оптические изображения поперечных срезов образцов центробежно-литых испытываемых цилиндров "37634" и "37635" (основной металл A05+17 об.% частиц NbC), изготовленных в ходе экспериментальной работы, связанной с изобретением;

фиг. 8 представляет собой график зависимости твердости от расстояния от наружных поверхностей до внутренних поверхностей образцов, описанных в отношении фиг. 7;

фиг. 9 представляет собой оптическое изображение поперечного среза образца центробежно-литого испытываемого цилиндра A352 (основной металл C21+10 об.% частиц NbC), изготовленного в ходе экспериментальной работы, связанной с изобретением;

фиг. 10 представляет собой оптическое изображение поперечного среза наружного слоя поперечного среза образца, показанного на фиг. 9 после травления образца;

фиг. 11 представляет собой оптическое изображение поперечного среза образца центробежно-литого испытываемого цилиндра A323 (основной металл A49+15 об.% частиц NbC);

фиг. 12 представляет собой график зависимости твердости от расстояния от наружных поверхностей до внутренних поверхностей участков образца, описанного в отношении фиг. 11;

фиг. 13 представляет собой график зависимости толщины богатого частицами NbC наружного слоя от номинального об.% NbC в общем составе центробежно-литых цилиндров из основного металла A05+частиц NbC и

фиг. 14 представляет собой график зависимости об.% NbC в богатом частицами NbC наружном слое от номинального об.% NbC в общем составе центробежно-литых цилиндров из основного металла A05+частиц NbC.

Подробное описание конкретных вариантов осуществления

Фиг. 1 была получена из Интернета и иллюстрирует в виде схемы основные стадии литья центробежным способом.

Эти стадии центробежного литья включают формирование расплава, заливку расплава в подходящую форму и вращение формы вокруг вертикальной оси (в случае расположения, показанного на чертеже) при требуемой скорости вращения для формирования литого изделия.

В альтернативных расположениях, таких как расположение, используемое для выполнения экспериментальной работы, описанной ниже, форма для литья расположена горизонтально и вращается вокруг горизонтальной оси.

В контексте настоящего изобретения расплав, как правило, представляет собой суспензию твердых нерастворимых тугоплавких частиц в основном металле, и литое изделие представляет собой композиционное металлическое изделие, которое обычно варьирует по массе в диапазоне от 5 до 5000 кг, имеет матрицу из сплава на основе железа (основной металл) и содержит неоднородное распределение твердых нерастворимых тугоплавких частиц в указанной матрице, особенно в наружном поверхностном слое номинальной толщиной 1-20 мм, состоящем из твердых нерастворимых тугоплавких частиц, которые обеспечивают повышенную износостойкость в поверхностном слое.

Фактические условия центробежного литья могут быть выбраны в любой конкретной ситуации исходя из требуемых характеристик конкретного подлежащего отливке изделия. В качестве примера условия литья включают скорость вращения формы, время вращения и условия охлаждения, а также условия, в которых проводится литье, например инертную атмосферу.

Требования к свойствам тугоплавких частиц могут включать

плотность больше или меньше, чем плотность основного металла на основе железа;

твердость больше чем 15 ГПа;

диаметр меньше чем 500 мкм, предпочтительно меньше чем 50 мкм;

10-80 об.% тугоплавких частиц присутствует в твердом поверхностном слое;

5-50 об.%, обычно 5-40 об.%, чаще 5-40 об.% тугоплавких частиц присутствует в композиционном металлическом изделии.

Композиционные металлические изделия, полученные с помощью процесса центробежного литья согласно изобретению, включают только в качестве примера следующие изделия.

1. Втулки вала шламовых насосов:

цилиндры из нержавеющей стали;

размер: диаметр в диапазоне 25-400 мм, толщина стенки 10-50 мм и длина 2000 мм;

наружный поверхностный слой толщиной 1-10 мм, содержащий высокую концентрацию твердых нерастворимых тугоплавких частиц.

Предшествующий уровень техники включает наплавку твердого сплава на поверхность цилиндра из нержавеющей стали с получением поверхностного слоя карбида вольфрама толщиной приблизительно 1 мм. Затем для получения гладкой поверхности требуется шлифовка/механическая обработка наплавленных слоев.

Центробежно-литая втулка вала шламового насоса в соответствии с изобретением позволяет изготовить цилиндр длиной примерно 2000 мм с требуемым гладким твердым поверхностным слоем за одну

операцию литья. Кроме того, длинный цилиндр может быть разделен на секции для получения нескольких втулок вала длиной от 60 до 300 мм.

2. Наружная поверхность мантий гирационных дробилок.

Стандартным составом мантий гирационных дробилок является аустенитная марганцевая сталь (сталь Хадфильда). Начальная твердость стали Хадфильда составляет примерно 200 единиц по Бринеллю (НВ), и твердость поверхностного слоя стальной конструкции повышается примерно до 550 НВ при эксплуатации, при этом внутренняя область сохраняет более низкую твердость и крайне высокую вязкость. Предел текучести для стали Хадфильда с твердостью 200 НВ составляет около 1/3 прочности на разрыв. Сильная пластическая деформация может возникать при эксплуатации до повышения твердости конструкции до 550 НВ. В результате мантии дробилок быстро изнашиваются и подвергаются чрезмерной пластической деформации на начальных стадиях эксплуатации. Все предыдущие попытки улучшить начальную твердость и предел текучести стали Хадфильда неизменно приводили к неожиданной потере вязкости и высокому риску быстрого растрескивания при эксплуатации.

Центробежное литье мантии дробилки из стали Хадфильда в соответствии с настоящим изобретением и формирование наружного поверхностного слоя из нерастворимых твердых тугоплавких карбидов во время литья с сохранением исходного состава стали Хадфильда в теле отливки обеспечивает более износостойкий материал с минимальной потерей вязкости.

3. Белые чугуны.

Центробежное литье высокохромистых белых чугунов с тугоплавкими частицами обеспечивает получение композиционных металлических изделий, имеющих поверхностные слои, содержащие высокую концентрацию тугоплавких частиц для улучшенной износостойкости.

4. Монтировки, наконечники молотков, землеройное оборудование.

Центробежное литье монтировок, наконечников молотков, землеройного оборудования из высокохромистых белых чугунов с тугоплавкими частицами обеспечивает получение поверхностного слоя, содержащего высокую концентрацию тугоплавких частиц для улучшенной износостойкости.

Экспериментальная работа.

Для проверки соответствия изобретения заявитель провел интенсивную экспериментальную работу, направленную на частицы конкретного тугоплавкого материала, а именно частицы NbC в различных основных металлах на основе железа.

В частности, в экспериментальной работе были исследованы эффекты об.% частиц NbC и толщины стенки и центробежных сил на зоны, богатые NbC, в центробежно-литых изделиях.

В экспериментальной работе четырнадцать цилиндров центробежно отливали в горизонтально расположенном устройстве для центробежного литья.

Четырнадцать цилиндрических втулок вала с различными концентрациями частиц NbC и основным металлом из сплава на основе железа, как указано ниже, центробежно отливали и механически обрабатывали, а затем испытывали.

Четыре цилиндра A301 (основной металл A05+5 об.% частиц от общего объема);

четыре цилиндра A303 (основной металл A05+12 об.% частиц от общего объема);

четыре цилиндра A304 (основной металл A05+17 об.% частиц от общего объема);

один цилиндр A352 (основной металл C21+10 об.% частиц от общего объема);

один цилиндр A323 (основной металл A49+15 об.% частиц от общего объема);

A05 представляет собой эвтектический литейный чугун с высоким содержанием Cr, C21 представляет собой нержавеющую сталь 420C и A49 представляет собой доэвтектический литейный чугун с высоким содержанием Cr. Номинальные составы сплавов A05, C21 и A49 на основе черных металлов представлены ниже с количествами каждого элемента в мас.%.

Сплав	Cr	Mn	C	Ni	Si	Fe
A05	27	2,0	3,0		0,5	баланс
C21	14	2,0	0,5	1,0	1,0	баланс
A49	28	1,5	1,5	2,0	1,5	баланс

1. Результаты и обсуждение.

Двенадцать цилиндров на основе стали A05 с различными номинальными химическими составами центробежно отливали при различных скоростях вращения (об/мин).

1.1. Центробежное литье четырех цилиндров A301 (основной металл A05+5 об.% частиц NbC).

Четыре цилиндра, содержащие 5 об.% частиц NbC в основном металле A05 из эвтектического литейного чугуна с высоким содержанием Cr центробежно отливали при различных скоростях вращения или центробежных силах. Температура литья находилась в интервале 1400-1500°C. Различие в плотности между частицами NbC и основным металлом при температуре литья составило примерно 12%. Размеры цилиндра и условия литья представлены в табл. 1.

Таблица 1
Размеры и условия литья цилиндров, содержащих 5 об.% частиц NbC

Номер цилиндра	ID (мм) (внутренний диаметр)	OD (мм) (наружный диаметр)	Длина (мм)	Об/мин
37628	91	130	400	924
37629	90,5	130	400	1100
37630	91	130	400	1285
37655	82,3	130	400	924

Каждый цилиндр длиной 400 мм разрезали на три кольца длиной примерно 280, 20 и 100 мм. Кольца толщиной 20 мм использовали для контроля и металлургического анализа.

1.1.1. Металлургическое исследование.

Образцы готовили из каждого кольца толщиной 20 мм путем разрезания по толщине в двух местах, на расстоянии примерно на 15 мм друг от друга, формируя поперечные срезы колец. Каждый разрез выполняли перпендикулярно к наружной и внутренней окружности кольца. Таким образом, ширина образца уменьшалась от наружной поверхности к внутренней поверхности. Образцы закрепляли, шлифовали и полировали, следуя стандартным металлографическим процедурам, и затем травили хлорным железом (Acidified Ferric Chloride, AFC) для металлографического исследования. Микроструктуры образцов исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа. Также использовали оптический стереомикроскоп для макроскопического исследования образцов.

Анализ образцов, полученных из цилиндров, показал, что микроструктура отливок в каждом случае содержала основной металл A05 из эвтектического белого чугуна с высоким содержанием Cг и неоднородное распределение твердых частиц NbC по основному металлу. Фиг. 2 представляет собой изображение SEM участка одного из образцов. На фиг. 2 показано неоднородное распределение частиц NbC в основном металле. На чертеже показано, что NbC были обнаруживаемыми в основном металле. В частности, было обнаружено, что частицы NbC нерастворимы в основном металле при температуре литья и в отлитых цилиндрах.

На фиг. 3 представлены оптические изображения поперечных срезов образцов, полученных из цилиндров "37628", "37629", "37630" и "37655".

На фиг. 3а показано, что образец, полученный из цилиндра "37628", имеет богатый частицами NbC наружный слой толщиной примерно 2 мм. С внутренней стороны наружного слоя имеется три слоя, пронумерованные на чертеже цифрами 2-4. Между слоями имеются границы. Каждый слой имеет толщину около 3-5 мм. Слои 2-4 образуют внутреннюю область, имеющую более низкую концентрацию частиц NbC по сравнению с наружным слоем.

На фиг. 3б показано, что образец, полученный из цилиндра "37629", имеет сходную слоистую (то есть полосчатую) структуру, но с большим количеством слоев, чем показано на фиг. 3а. Наружный слой с высокой концентрацией частиц NbC (обозначен на чертеже цифрой 1) имеет толщину около 2 мм, при этом частицы NbC равномерно распределены по образцу. Наружный слой 1 и наиболее внутренний слой (указанный на чертеже цифрой 6) наиболее сильно различаются, и слои между ними (то есть слои 2-5 на чертеже) являются очень схожими друг с другом по внешнему виду, но, тем не менее, представляют собой разные слои, разделенные границами. Было обнаружено, что микроструктуры слоев 1 и 6 сильно отличаются друг от друга, а также от микроструктур слоев 2-5. Было обнаружено, что микроструктуры слоев 2-5 являются очень схожими друг с другом. Каждый слой 1-6 имеет толщину 3-4 мм.

Цилиндр "37630" был отлит при самой высокой скорости вращения. На фиг. 3с показано, что образец имеет три слоя. По сравнению с образцами других трех цилиндров, эта отливка имеет самую низкую концентрацию частиц NbC во внутренних слоях. Высокая скорость вращения направляет больше частиц NbC к наружному слою, что приводит к получению самого толстого слоя с высокой концентрацией частиц NbC из всех отливок.

Цилиндр "37655" был отлит при такой же скорости вращения, как цилиндр "37628", но с толщиной стенки, которая была на 5 мм больше. На фиг. 3д показано, что толщина богатого частицами NbC слоя в образце, полученном из цилиндра "37655", составила около 3,5 мм, больше чем толщина в образце, полученном из цилиндра "37628". Это свидетельствует о том, что даже при одинаковых скоростях вращения более толстая стенка приводит к образованию зоны с большей толщиной, богатой частицами NbC.

Объемные фракции частиц NbC (а) богатого частицами NbC наружного слоя и (б) внутреннего слоя с низкой концентрацией частиц NbC рассчитывали из изображений SEM различных областей слоев при 100× увеличении. Значения, показанные в табл. 2, представляют собой средние значения множества измерений.

Таблица 2

Частицы NbC в наружных и внутренних слоях

ID	NbC-богатый слой		Внутренний слой, об.% NbC
	Толщина, мм	об.% NbC	
37628	2	12,9	2,0
37629	2	13,6	2,6
37630	3-5	14,2	2,4
37655	3,5	13,5	3,4

Из табл. 2 видно, что скорость вращения во время литья влияет на богатый частицами NbC наружный слой литых цилиндров. Образец из цилиндра "37630", который был отлит при самой высокой скорости, имел самую большую толщину слоя и самую высокую объемную фракцию частиц NbC. Образец из цилиндра "37629", который был отлит со второй самой высокой скоростью, был близок по объемной фракции NbC, но толщина слоя составляла почти половину толщины слоя в образце "37630". Сравнение образцов из цилиндров "37628" и "37655" показало, что даже при одинаковой скорости вращения, если толщина стенки отливки больше (то есть больше материала), то богатый частицами NbC наружный слой и его объемная фракция частиц NbC также являются больше.

Кроме того, все четыре отливки имели схожие уровни частиц NbC, присутствующих во внутренних слоях, не содержащих концентрированные частицы NbC, совместно описанные как внутренняя область для каждого образца. Большинство из частиц NbC, наблюдаемых во внутренних областях, имели типичную морфологию "Китайский почерк". Также наблюдалось небольшое количество сферических и дендритных частиц NbC.

1.1.2. Измерения твердости и содержания ферритов.

Измерения твердости по Виккерсу по сечению цилиндрического образца (Vickers hardness traverse tests) с нагрузкой 10 кг проводили на полированных поверхностях каждого образца. Измерения начинали на наружном диаметре (OD) каждого образца и затем проходили по толщине образца с интервалом 1 мм до завершения на внутреннем диаметре (ID) образца.

В табл. 3 показаны данные по средней твердости и содержанию ферритов для каждой из двух областей. Профили твердости по сечению цилиндрического образца показаны на фиг. 4.

Таблица 3

Измерения твердости и содержания ферритов

Образец	Область	HV10	Содержание ферритов (% магнитных)
37628	Наружная	640	13,4
	Внутренняя	536	9,4
37629	Наружная	676	16,2
	Внутренняя	557	10,4
37630	Наружная	660	12,6
	Внутренняя	551	8,9
37655	Наружная	608	14,2
	Внутренняя	531	9,7

Из табл. 3 и фиг. 4 видно, что богатый частицами NbC наружный слой каждого из образцов был значительно более твердым, чем внутренняя область образца, и что самые высокие значения твердости наблюдались, как правило, на наружной поверхности каждого образца и равномерно уменьшались до расстояния примерно 8 мм от наружной поверхности, после чего оставались в целом постоянными на протяжении остальной части образца. Кроме того, результаты измерения содержания ферритов для четырех отливок показали общую тенденцию, состоящую в том, что богатый частицами NbC наружный слой имеет более высокое содержание ферритов, чем слои, формирующие внутренние области. Различия в содержании ферритов были минимальными, от 13 до 16% в богатых частицами NbC наружных слоях, и от 9 до 10% во внутренних областях.

1.1.3. Краткие выводы.

Все четыре центробежно-литые отливки A301 (основной металл A05+5 об.% частиц NbC) показали сегрегацию NbC, в результате которой наружные слои каждого образца имели высокие концентрации частиц NbC.

Все четыре отливки продемонстрировали наличие слоев, расположенных ниже богатого частицами

NbC наружного слоя, которые незначительно отличались друг от друга. Каждая отливка имела разное количество слоев.

Толщина и твердость богатых частицами NbC слоев и объемные фракции частиц NbC в наружных слоях центробежно-литых цилиндров зависели от различных параметров литья, включая скорость вращения в процессе литья и толщину стенки.

Образцы для цилиндров "37628" и "37655" были отлиты при одинаковых скоростях вращения, но различной массе материала, в результате чего были получены различные размеры. Образец "37655" имел немного более толстый богатый частицами NbC наружный слой и также содержал большее количество различных полосчатых слоев по толщине образцов.

Образец для цилиндра "37629" был сходным с образцом для цилиндра "37628" несмотря на то, что был отлит при более высокой скорости вращения. Более высокая скорость вращения не повлияла на толщину богатого частицами NbC наружного слоя, но незначительно повлияла на объемную фракцию частиц NbC в наружном слое.

Образец для цилиндра "37630" был отлит при наиболее высокой скорости вращения, и это напрямую отразилось на некоторых свойствах. Образец имел самый толстый богатый частицами NbC наружный слой и самую высокую объемную фракцию частиц NbC в наружном слое. Таким образом, твердость наружного слоя была самой высокой для этой группы цилиндров.

Результаты измерения содержания ферритов для четырех отливок показали общую тенденцию, состоящую в том, что богатый частицами NbC наружный слой имел более высокое содержание ферритов, чем слои, формирующие внутренние области. Различия в содержании ферритов были минимальными, с содержанием от 13 до 16% в богатых частицами NbC наружных слоях и от 9 до 10% во внутренних областях.

1.2. Центробежное литье четырех цилиндров A303 (основной металл A05+12 об.% частиц NbC).

Четыре цилиндра отливали в таких же условиях, как четыре цилиндра, описанные выше в разделе 1.1, с использованием такого же основного металла (A05), но с более высокой общей объемной фракцией частиц NbC, составляющей 12%. Размеры цилиндров и скорости вращения показаны в табл. 4.

Таблица 4
Номера и размеры цилиндров, содержащих 12 об.% NbC

Номер цилиндра	ID (мм) (внутренний диаметр)	OD (мм) (наружный диаметр)	Длина (мм)	Об/мин
37631	89	130	400	922
37632	95	130	400	1104
37633	90	130	400	1280
37863	81	130	400	925

Каждый цилиндр длиной 400 мм разрезали на три кольца длиной примерно 280, 20 и 100 мм. Кольца толщиной 20 мм использовали для контроля и металлургического анализа. Образцы готовили и испытывали с использованием такой же методики, как описано выше в разделе 1.1.

На фиг. 5 представлены оптические изображения образцов из цилиндров "37631", "37632", "37633" и "37636".

Из фиг. 5 видно, что, как в случае цилиндров с более низкой объемной фракцией частиц NbC, описанных выше в разделе 1.1, частицы NbC имели неоднородное распределение в основном металле по толщине отливок, при этом наружные слои образцов имели более высокие концентрации частиц NbC.

Аналогичным образом, как в случае цилиндров с более низкой объемной фракцией частиц NbC, описанных выше в разделе 1.1, анализ SEM показал, что NbC были обнаруживаемыми в основном металле. В частности, было обнаружено, что частицы NbC нерастворимы в основном металле при температуре литья и в отлитых цилиндрах.

Объемные фракции частиц NbC в наружных слоях, богатых частицами NbC, и толщину наружных слоев рассчитывали с помощью анализа изображений SEM различных участков слоев при 100× увеличении. Значения, показанные в табл. 5, представляют собой средние значения множества экспериментов.

Таблица 5
Толщина наружного слоя и средний об.% частиц NbC

Образец	OD (мм) (наружный диаметр)	ID (мм) (внутренний диаметр)	Толщина NbC-слоя (мм)	Объемная фракция NbC-слоя (%)	Об/мин
37631	130	89	6	25,098	922
37632	130	95	7	26,027	1104
37633	130	90	мин. 5, макс. 7	28,989	1280
37863	130	81	5	28,45	925

Измерение твердости по Виккерсу по сечению цилиндрического образца (Vickers hardness traverse tests) с нагрузкой 10 кг проводили на полированных поверхностях каждого образца. Измерения начинали на наружном диаметре (OD) каждого образца и затем проходили по толщине образца с интервалом 1 мм до завершения на внутреннем диаметре (ID) образца.

В табл. 6 показаны данные по средней твердости и содержанию ферритов для каждой из двух областей. Профили твердости по сечению цилиндрического образца показаны на фиг. 6.

Таблица 6

Измерения твердости и содержания ферритов

Образец	Область	HV10	Содержание ферритов (% магнитных)
37631	Наружная	671	12,8
	Внутренняя	515	10,4
37632	Наружная	772	11,5
	Внутренняя	584	9,8
37633	Наружная	821	14,6
	Внутренняя	587	10,4
37863	Наружная	771	15,2
	Внутренняя	593	11,5

Из табл. 5 и 6 и фиг. 5 и 6 видно, что были получены одинаковые базовые результаты с более высоким объемным процентным содержанием для цилиндров А303, как для цилиндров А301, описанных выше в разделе 1.1.

1.3. Центробежное литье четырех цилиндров А304 (основной металл А05+17 об.% частиц NbC).

Четыре цилиндра А304 центробежно отливали с использованием таких же условий, как для цилиндров А301 и А303, описанных выше в разделах соответственно 1.1 и 1.2, с использованием такого же основного металла А05, но с более высокой объемной фракции частиц NbC. Образцы готовили и испытывали, как описано выше в разделах 1.1 и 1.2. Исследовали только три цилиндра (цилиндр "37634", отлитый при 920 об/мин, цилиндр "37635", отлитый при 1100 об/мин, и цилиндр "37636", отлитый при 1280 об/мин).

На фиг. 7 представлены оптические изображения поперечных срезов образцов из цилиндров "37634" и "37635".

Из фиг. 7 видно, что, как в случае с цилиндрами с более низкой объемной фракцией частиц NbC, описанными выше в разделах 1.1 и 1.2, частицы NbC имели неоднородное распределение в основном металле по толщине отливок, при этом наружные слои образцов имели более высокие концентрации частиц NbC. Поперечные срезы показывают богатый частицами NbC наружный слой (или область) и внутреннюю область с более низкой концентрацией частиц NbC (которая может включать множество слоев, разделенных границами).

Кроме того, как в случае цилиндров с более низкой объемной фракцией частиц NbC, описанных выше в разделах 1.1 и 1.2, анализ SEM установил, что NbC были необнаруживаемыми в основном металле. В частности, было обнаружено, что частицы NbC нерастворимы в основном металле при температуре литья и в отлитых цилиндрах.

Проведенное испытание показало, что толщина богатых частицами NbC наружных слоев в образцах для цилиндров "37634", "37635" и "37636" составила 12, 13 и 15 мм соответственно.

Объемные концентрации частиц NbC в наружных слоях этих образцов составили 28% для цилиндра "37634", 25% для цилиндра "37635" и 29% для цилиндра "37636".

В табл. 7 показана средняя твердость и содержание ферритов для каждой из внутренних и наружных областей образцов из цилиндров "37634" и "37635". Профили твердости по сечению цилиндрического образца показаны на фиг. 8.

Таблица 7

Данные по твердости и содержанию ферритов

Образец	Область	HV10	Содержание ферритов (% магнитных)
37634	Наружный	664	12,7
	Внутренний	546	10,9
37635	Наружный	661	11,7
	Внутренний	513	10,1

Из табл. 7 и фиг. 7 и 8 видно, что такие же базовые результаты были получены с более высоким объемным процентным содержанием для цилиндров А304, как для цилиндров А301 и А303, описанных выше в разделах 1.1 и 1.2.

1.4. Центробежное литье цилиндра А352 (основной металл С21+10 об.% частиц NbC)/

Один цилиндр А352 центробежно отливали из основного металла С21 с 10 об.% частиц NbC. Образцы готовили и испытывали, как описано выше.

На фиг. 9 представлено оптическое изображение поперечного среза образца цилиндра А352.

Из фиг. 9 видно, что, как в случае с другими испытываемыми цилиндрами, описанными выше, частицы NbC имеют неоднородное распределение по толщине отливки, при этом наружный слой образца имеет более высокую концентрацию частиц NbC.

Кроме того, как в случае с другими испытываемыми цилиндрами, описанными выше, анализ SEM установил, что NbC были необнаруживаемыми в основном металле. В частности, было обнаружено, что частицы NbC нерастворимы в основном металле при температуре литья и в отлитых цилиндрах.

Как показано на фиг. 9, богатый NbC слой представляет собой слой толщиной 20 мм, составляющий 50% от общей радиальной толщины образца. Было обнаружено, что образец содержал около 25 об.% частиц NbC.

После травления было идентифицировано три подслоя наружного слоя толщиной 20 мм, богатого частицами NbC, которые показаны на фиг. 10. На фиг. 10 показано, что присутствует направленное отверждение по подслоям во время центробежного литья. Было обнаружено, что столбчатая структура значительно способствует износостойкости отливки.

1.5. Центробежное литье цилиндра А323 (основной металл А49+15 об.% частиц NbC).

Один цилиндр А323 центробежно отливали из основного металла А49 и 15 об.% частиц NbC. Образцы готовили и испытывали, как описано выше.

1.5.1. Металлургическое исследование.

На фиг. 11 представлено оптическое изображение поперечного среза образца цилиндра А323. Из фиг. 11 видно, что, как в случае с другими испытываемыми цилиндрами, описанными выше, частицы NbC имеют неоднородное распределение по толщине отливки, при этом наружный слой образца имеет более высокую концентрацию частиц NbC.

Кроме того, как в случае с другими испытываемыми цилиндрами, описанными выше, анализ SEM установил, что NbC были необнаруживаемыми в основном металле. В частности, было обнаружено, что частицы NbC нерастворимы в основном металле при температуре литья и в отлитых цилиндрах.

Как видно из фиг. 11, богатый частицами NbC наружный слой представляет собой очень отчетливую полосу вдоль всего наружного края круга. Это наблюдается как на макроскопическом, так и на микроскопическом уровне.

Было обнаружено, что глубина богатого частицами NbC наружного слоя является постоянной вдоль окружности и составляет около 7-8 мм, то есть примерно 25-30% от радиальной толщины образца. Также было обнаружено, что объемная фракция NbC в этом наружном слое является постоянной в исследованных участках и составляет около 28-31 об.% от общего объема наружного слоя.

Помимо концентраций NbC было обнаружено, что микроструктуры наружного и внутреннего слоев имеют другие значительные различия. Частицы NbC в богатом частицами NbC наружном слое были в основном круглыми без каких-либо острых краев, тогда как во внутренних слоях указанные частицы имели разнообразные формы, от круглых до остроконечных дендритных форм. Структуру матрицы богатого частицами NbC наружного слоя и других слоев можно отличить, в первую очередь, по присутствию/отсутствию структуры частиц NbC типа "Китайский почерк" в аустенитных дендритах матрицы. Этот тип структуры NbC был обнаружен глубоко во внутренних слоях, но практически отсутствовал в богатом частицами NbC наружном слое. Это привело к различию в тепловых свойствах богатого частицами NbC наружного слоя и внутренних слоев.

Уникальная микроструктура была обнаружена на границе богатого частицами NbC наружного слоя и внутренних слоев. Микроструктура характеризовалась частицами NbC, которые преимущественно были крестообразными (дендритными). Некоторые частицы в этой области имели форму, которая являлась смесью круглой и дендритной.

1.5.2. Твердость и содержание ферритов.

Измерение твердости по Виккерсу по сечению цилиндрического образца с нагрузкой 10 кг проводили на полированных поверхностях двух образцов. Измерения начинали на самых наружных краях образцов и затем проходили по толщине отливок с интервалами 1 мм до завершения на самых внутренних краях. В табл. 8 показаны данные по средней твердости и содержанию ферритов для богатого частицами NbC наружного слоя и внутренних слоев каждого образца. Богатый частицами NbC наружный слой каждого образца описан в таблице как "наружная область", и внутренние слои каждого образца описаны в таблице как "внутренняя область". Профили твердости по сечению цилиндрического образца показаны на фиг. 12.

Таблица 8

Данные измерений твердости и содержания ферритов

Образец	Область	HV10	Содержание
			ферритов (% магнитных)
4719СС-А	Наружный	455	22,9
	Внутренний	357	21,2
4719СС-В	Наружный	526	19,1
	Внутренний	355	17,6

Как и следовало ожидать, более высокая концентрация частиц NbC привела к более высокой твердости богатого частицами NbC наружного слоя (наружная область) по сравнению с внутренней областью этого же самого образца. Результаты измерений твердости коррелировали с результатами измерений объемной фракции, то есть образец 4719СС-В с более высокой объемной фракцией NbC показал более высокую твердость, чем образец 419СС-А. Существенного различия в содержании ферритов между двумя областями каждого образца не наблюдалось.

При обращении на фиг. 12 можно видеть, что испытания на твердость по сечению цилиндрического образца показали, что для обоих образцов твердость была наиболее высокой на самом наружном крае образцов (то есть первых точках испытания для обоих испытаний) и твердость на границе двух областей составила около 425 единиц по Виккерсу. Внутренняя (совокупная) область сохраняла постоянную твердость почти по всей толщине.

2. Заключение.

2.4. Функционально-градиентные материалы.

В испытании, кратко описанном выше, основные металлы (А05, А49 и С21) с целым рядом объемных процентов частиц NbC центробежно отливали и исследовали. Результаты обобщены и представлены в табл. 9.

Таблица 9

Сводная таблица центробежно-литых сплавов семейства А300

№	Код	ФММСС		Об/мин	G-сила (G)	Слой, богатый NbC	
		Осн.мет., описание	NbC (об.%)			Толщина (мм)	NbC (об.%)
1	A323	A49	15	920	50	7-8	28-33
2	A301	A05	5	924	52	2	13
				1100	74	2	14
				1285	102	3-5	14
3	A303	A05	12	924	52	3,5	13,5
				922	52	6	25
				1104	75	7	26
				1280	101	5-7	29
4	A304	A05	17	925	53	5	28
				920	52	12	28
				1100	74	13	25
5	A352	C21	10	1280	101	15	29
				925	67	15-17	24

Объемная фракция тугоплавких частиц с богатыми частицами NbC в наружных слоях отливок составляла до 31% в объеме наружного слоя. Кроме того, высокие скорости вращения повышали об.% NbC, но эффекты были, как правило, незначительными. Во внутренней области каждой отливки объемный процент частиц NbC изменялся в диапазоне 2-6%.

Взаимосвязь между толщиной богатого частицами NbC наружного слоя и общим объемным процентом (об.%) NbC в композиционных составах изделий и взаимосвязь между об.% NbC в богатом частицами NbC наружном слое и общим об.% NbC в композиционных составах изделий анализировали, и результаты представлены на фиг. 13 и 14 соответственно.

Как видно на чертежах:

(а) было обнаружено, что толщина богатого NbC наружного слоя каждого центробежно-литого цилиндра напрямую зависит от номинального совокупного содержания NbC в композиционном составе изделия (см. фиг. 13); и

(б) было обнаружено, что конечное содержание NbC в богатом частицами NbC наружном слое каждого центробежно-литого цилиндра зависит от номинального совокупного содержания NbC в компози-

ционном составе изделия, при этом содержание NbC имеет тенденцию к выравниванию при максимальном содержании около 28-30% в наружном слое для конкретного основного металла A05 и является на 50-120 об.% выше, чем номинальный объемный процент тугоплавкого материала во всем изделии по диапазону номинального об.% NbC, охваченного фиг. 14.

Также было обнаружено, что толщина и концентрация частиц NbC в богатом частицами NbC наружном слое в каждом из центробежно-литых цилиндров зависит от g-фактора отливки в диапазоне 50-102.

В вышеизложенном описании предпочтительных вариантов осуществления изобретения для ясности использовались специфические термины. Однако не следует считать изобретение ограничивающимися конкретными выбранными терминами, и следует понимать, что каждый конкретный термин распространяется на все технические эквиваленты, которые работают аналогичным образом, способствуя достижению аналогичной технической цели. Такие термины, как "передний" и "задний", "внутренний" и "наружный", "выше", "ниже", "верхний" и "нижний" и подобные употребляются для удобства обеспечения мест, на которые делаются ссылки, и не должны считаться ограничивающими терминами.

Ссылка в этом описании на любую публикацию известного технического решения (или извлеченную из нее информацию) или на любую известную тему не представляет собой или не должна восприниматься как подтверждение или допущение или любая форма предположения того, что публикация известного технического решения (или извлеченная из нее информация) или известная тема образует часть общих обычных знаний в интересующей области техники, к которой относится это описание.

В этом описании слово "содержащий" следует понимать в его "открытом" смысле, то есть в смысле "включающий", и никоим образом не ограничивая его "закрытым" смыслом, который выражается словосочетанием "состоящий только из". Когда используются слова "содержат", "содержал" и "содержит", им должно придаваться соответствующее значение.

Кроме того, хотя выше описаны только некоторые варианты осуществления изобретения(й), следует понимать, что различные изменения, модификации, добавления и/или замены могут быть сделаны без отступления от объема и сущности раскрытых вариантов осуществления, при этом варианты осуществления являются иллюстративными и не ограничивающими.

Более того, хотя данное изобретение(я) было описано на основании того, что в настоящее время считается наиболее практичными и предпочтительными вариантами осуществления, следует понимать, что изобретение не ограничивается раскрытыми вариантами осуществления, но, напротив, призвано охватывать различные модификации и эквивалентные варианты осуществления, отвечающие сущности и объем изобретения(й). Также, различные варианты осуществления, описанные выше, могут быть воплощены в сочетании с другими вариантами осуществления, например аспекты, описанные в одном варианте осуществления, могут быть комбинированы с аспектами, описанными в другом варианте осуществления для реализации дополнительных вариантов осуществления. Кроме того, каждый независимый признак или компонент любого заданного сборочного узла может составлять дополнительный вариант осуществления.

В качестве примера, хотя варианты осуществления изобретения, описанные выше, включают различные типы стали (такие как нержавеющая сталь или аустенитная марганцевая сталь) в качестве основного металла, изобретение не ограничивается этим типом основного металла и распространяется на любой подходящий основной металл. В качестве примера основной металл может содержать любой один или несколько элементов переходных металлов Ti, Cr, Zr, Hf, V, Nb и Ta.

В качестве дополнительного примера, хотя описанные выше варианты осуществления изобретения направлены на использование NbC в качестве нерастворимых твердых частиц тугоплавкого материала, изобретение распространяется также на другие тугоплавкие материалы.

В качестве дополнительного примера, несмотря на то, что описанные выше варианты осуществления изобретения направлены на частицы NbC с более высокой плотностью по сравнению с плотностью основного металла, при этом более высокие концентрации тугоплавких частиц наблюдаются в направлении наружных поверхностей композиционных металлических изделий, изобретение также распространяется на варианты осуществления, в которых тугоплавкие частицы имеют более низкую плотность по сравнению с плотностью основного металла, при этом более высокие концентрации тугоплавких частиц наблюдаются в направлении внутренних поверхностей композиционного металлического изделия.

В качестве дополнительного примера, хотя экспериментальная работа, описанная выше, была проведена на центробежно-литых цилиндрах, можно без труда понять, что изобретение не ограничивается этой конкретной формой отливки и распространяется на любую форму изделия, которое может быть отлито центробежным способом.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Центробежно-литое композиционное металлическое изделие, имеющее ось вращения, аксиально вытянутую наружную поверхность и массу по меньшей мере 5 кг, содержащее матрицу из сплава на основе железа и 5-50 об.% нерастворимых твердых частиц тугоплавкого материала, распределенных в

сплаве на основе железа, при этом частицы тугоплавкого материала представляют собой карбиды, и/или бориды, и/или нитриды одного или более чем одного переходного металла и частицы представляют собой химическую смесь, но не физическую смесь, карбидов, и/или боридов, и/или нитридов переходных металлов, при этом частицы тугоплавкого материала имеют плотность, которая находится в пределах 20% от плотности сплава на основе железа при его температуре литья, частицы тугоплавкого материала формируют радиальные слои изделия и включены в наружный поверхностный слой изделия, который составляет менее чем 50% от радиальной толщины изделия в направлении от наружной поверхности изделия, и образуется неоднородное распределение тугоплавких частиц в радиальной толщине изделия, где неоднородное распределение тугоплавких частиц включает первую концентрацию частиц в изделии в одном слое изделия, которая является более высокой, чем вторая концентрация частиц в другом слое в изделии.

2. Композиционное металлическое изделие по п.1, отличающееся тем, что первая концентрация тугоплавких частиц содержится в наружном поверхностном слое изделия и находится в диапазоне 10-40 об.% от общего объема наружного поверхностного слоя.

3. Композиционное металлическое изделие по п.1 или 2, отличающееся тем, что вторая концентрация тугоплавких частиц в другом слое изделия находится в диапазоне 2-4,5 об.% от общего объема другого слоя.

4. Композиционное металлическое изделие по любому из предшествующих пунктов, отличающееся тем, что первая концентрация тугоплавких частиц на 50-120 об.% выше, чем номинальный объемный процент тугоплавкого материала в изделии.

5. Композиционное металлическое изделие по любому из предшествующих пунктов, отличающееся тем, что наружный поверхностный слой изделия проходит на 1-50 мм от наружной поверхности изделия.

6. Композиционное металлическое изделие по любому из предшествующих пунктов, отличающееся тем, что сплав на основе железа представляет собой сталь Хадфильда для использования, например, в мантиях гирационных дробилок, где сталь Хадфильда содержит 1,0-1,4 мас.% С, 0,0-1,0 мас.% Si, 10-15 мас.% Mn, 0,0-3,0 мас.% Mo, 0,0-5,0 мас.% Cr, 0,0-2,0 мас.% Ni, при этом остальные компоненты представляют собой Fe и случайные примеси.

7. Композиционное металлическое изделие по любому из пп.1-5, где сплав на основе железа представляет собой нержавеющую сталь 420С для использования, например, во втулках вала в шламowych насосах, где нержавеющая сталь 420С содержит 0,3-0,5 мас.% С, 0,5-1,5 мас.% Si, 0,5-3,0 мас.% Mn, 0,0-0,5 мас.% Mo, 10-14 мас.% Cr, 0,0-1,0 мас.% Ni, при этом остальные компоненты представляют собой Fe и случайные примеси.

8. Композиционное металлическое изделие по любому из пп.1-5, где сплав на основе железа представляет собой высокохромистый белый чугун, содержащий 1,5-4,0 мас.% С, 0,0-1,5 мас.% Si, 0,5-7,0 мас.% Mn, 0,0-1,0 мас.% Mo, 15-35 мас.% Cr, 0,0-1,0 мас.% Ni, при этом остальные компоненты представляют собой Fe и случайные примеси.

9. Композиционное металлическое изделие по любому из предшествующих пунктов, отличающееся тем, что имеет массу по меньшей мере 20 кг.

10. Способ центробежного литья композиционного металлического изделия, имеющего ось вращения, аксиально проходящую наружную поверхность и массу по меньшей мере 5 кг, содержащего матрицу из сплава на основе железа и неоднородную дисперсию нерастворимых твердых тугоплавких частиц тугоплавкого материала, как определено в любом из пп.1-9, при этом способ включает (а) формирование суспензии, содержащей твердые тугоплавкие частицы, диспергированные в жидком сплаве на основе железа, при этом тугоплавкие частицы представляют собой карбиды, и/или бориды, и/или нитриды одного или более чем одного переходного металла и частицы представляют собой химическую смесь, но не физическую смесь, карбидов, и/или боридов, и/или нитридов переходных металлов, концентрация тугоплавких частиц составляет 5-50 об.% от общего объема суспензии, тугоплавкие частицы нерастворимы при температуре литья и имеют плотность, которая находится в пределах 20% от плотности основного металла при температуре литья; и (b) заливку суспензии в форму для изделия и центробежное литье изделия с массой по меньшей мере 5 кг в форме путем вращения формы вокруг оси после и/или во время заливки суспензии в форму, чтобы вызвать формирование тугоплавкими частицами радиальных слоев изделия в радиальной толщине изделия, где наружный поверхностный слой составляет менее чем 50% от радиальной толщины изделия в направлении от наружной поверхности изделия, с концентрацией нерастворимых тугоплавких частиц в одном слое более высокой, чем концентрация частиц в другом слое в изделии, и получение неоднородного распределения нерастворимых твердых частиц по сплаву на основе железа в изделии.

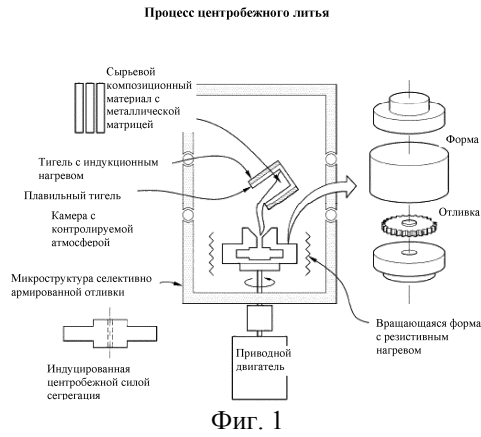
11. Способ центробежного литья композиционного металлического изделия по п.10, отличающийся тем, что стадии (а) и (b) проводят в инертной атмосфере.

12. Способ центробежного литья композиционного металлического изделия по п.10 или 11, отличающийся тем, что стадия (b) включает вращение формы при 10-120 единицах g-фактора.

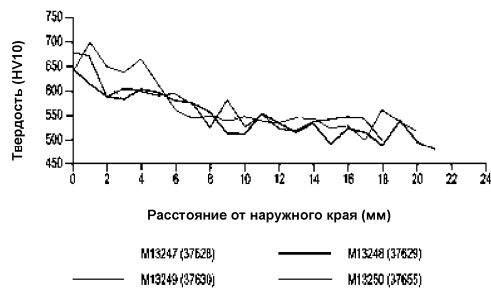
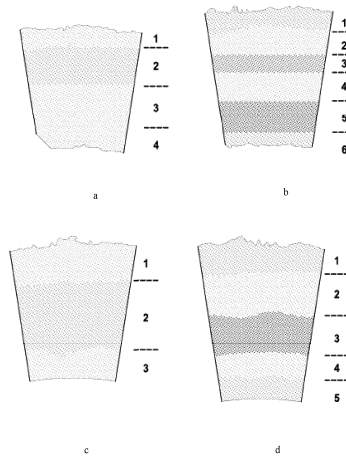
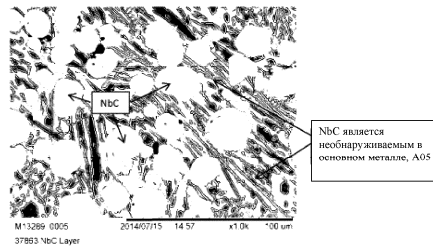
13. Способ центробежного литья композиционного металлического изделия по любому из пп.10-12, включающий формирование суспензии посредством добавления (а) ниобия или (b) двух или более чем

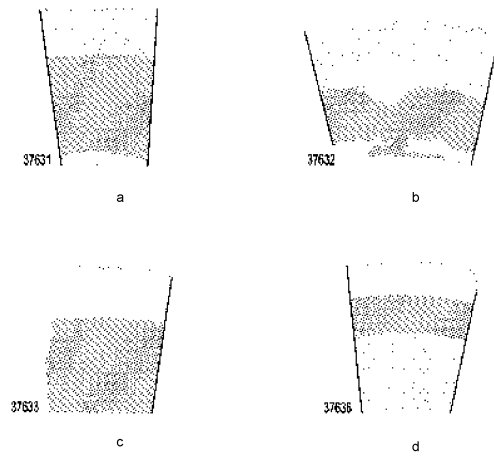
двух из ниобия, и титана, и вольфрама в форме твердых тугоплавких частиц карбида ниобия, которые нерастворимы при температуре литья, и/или твердых тугоплавких частиц химической смеси двух или более чем двух из карбида ниобия, и карбида титана, и карбида вольфрама, которые нерастворимы при температуре литья, в расплав, содержащий сплав на основе железа.

14. Способ центробежного литья композиционного металлического изделия по любому из пп.10-13, где масса продукта составляет по меньшей мере 20 кг.

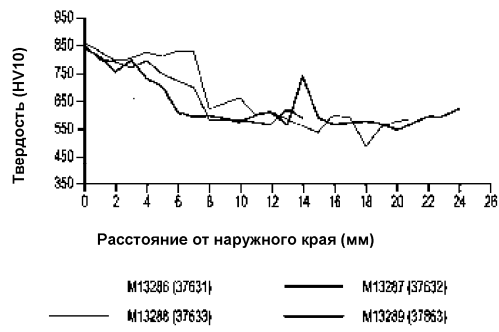


NbC, тугоплавкий карбид, нерастворим в A05

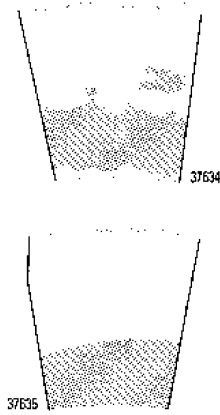




Фиг. 5a-d



Фиг. 6

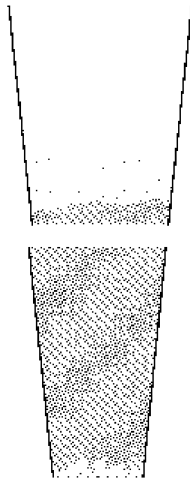


Фиг. 7

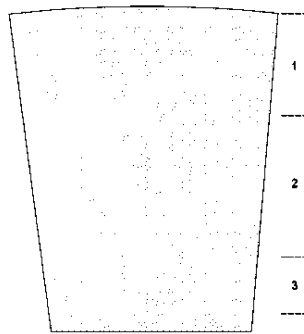


Фиг. 8

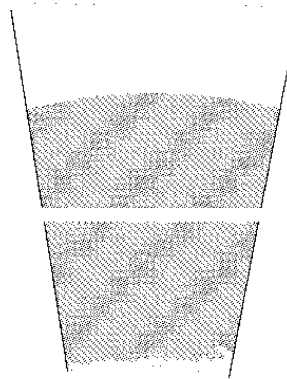
033878



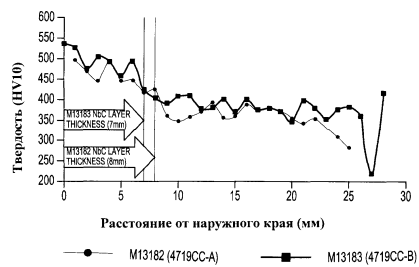
Фиг. 9



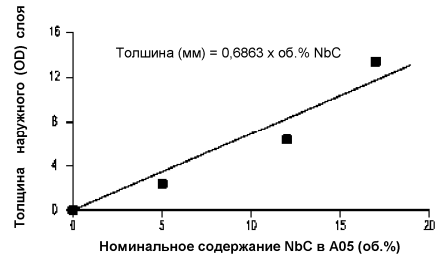
Фиг. 10



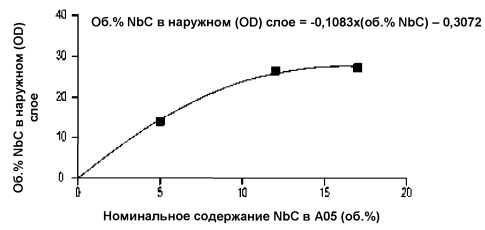
Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14

